



# REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS PECUARIAS

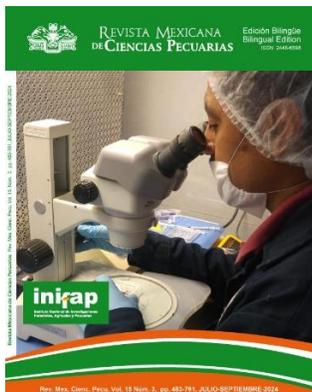
Edición Bilingüe  
Bilingual Edition  
ISSN: 2448-6698

Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias Rev. Mex. Cienc. Pecu. Vol. 15 Núm. 3, pp. 483-761, JULIO-SEPTIEMBRE-2024



**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Identificación, clasificación y selección de embriones para transferir; Laboratorio de Reproducción de Ovinos y Caprinos del Colegio de Postgraduados  
 Autor: **Christofer I. Márquez Hernández**

**REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS PECUARIAS** Volumen 15 Numero 3, Julio-Septiembre 2024. Es una publicación trimestral de acceso abierto, revisada por pares y arbitrada, editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Avenida Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, C.P. 04010, Ciudad de México, [www.inifap.gob.mx](http://www.inifap.gob.mx).

Distribuida por el Centro de Investigación Regional Sureste, Calle 6 No. 398 X 13, Avenida Correa Racho, Col. Díaz Ordaz, Mérida Yucatán, C.P. 97130.

Editor responsable: Arturo García Fraustro Reservas de Derechos al Uso Exclusivo número 04-2022-033116571100-102, ISSN: 2448-6698, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR).

Responsable de la última actualización de este número: Arturo García Fraustro, Campo Experimental Mochochá, Km. 25 Antigua Carretera Mérida-Motul, Mochochá, Yuc. C.P. 97454. <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx>, la presente publicación tuvo su última actualización en agosto de 2024.

## DIRECTORIO

### FUNDADOR

John A. Pino

### EDITOR EN JEFE

Arturo García Fraustro

### EDITORES ADJUNTOS

Oscar L. Rodríguez Rivera

Alfonso Arias Medina

## EDITORES POR DISCIPLINA

**Dra. Yolanda Beatriz Moguel Ordóñez**, INIFAP, México  
**Dr. Ramón Molina Barrios**, Instituto Tecnológico de Sonora,  
**Dr. Alfonso Juventino Chay Canul**, Universidad Autónoma de Tabasco, México  
**Dra. Maria Cristina Schneider**, Universidad de Georgetown, Estados Unidos  
**Dr. Feliciano Milian Suazo**, Universidad Autónoma de Querétaro, México  
**Dr. Javier F. Enríquez Quiroz**, INIFAP, México  
**Dra. Martha Hortencia Martín Rivera**, Universidad de Sonora URN, México  
**Dr. Fernando Arturo Ibarra Flores**, Universidad de Sonora URN, México  
**Dr. Eduardo Daniel Bolaños Aguilar**, INIFAP, México  
**Dr. Sergio Iván Román-Ponce**, INIFAP, México  
**Dr. Jesús Fernández Martín**, INIA, España  
**Dr. Mauricio A. Elzo**, Universidad de Florida  
**Dr. Sergio D. Rodríguez Camarillo**, INIFAP, México  
**Dra. Nydia Edith Reyes Rodríguez**, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México  
**Dra. Maria Salud Rubio Lozano**, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, México  
**Dra. Elizabeth Loza-Rubio**, INIFAP, México  
**Dr. José Armando Partida de la Peña**, INIFAP, México  
**Dr. José Luis Romano Muñoz**, INIFAP, México  
**Dr. Jorge Alberto López García**, INIFAP, México  
**Dr. Alejandro Plascencia Jorquera**, Universidad Autónoma de Baja California, México  
**Dr. Juan Ku Vera**, Universidad Autónoma de Yucatán, México  
**Dr. Ricardo Basurto Gutiérrez**, INIFAP, México

**Dr. Luis Corona Gochi**, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, México  
**Dr. Juan Manuel Pinos Rodríguez**, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, México  
**Dr. Carlos López Coello**, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, México  
**Dr. Arturo Francisco Castellanos Ruelas**, Facultad de Química. UADY  
**Dra. Guillermina Ávila Ramírez**, UNAM, México  
**Dr. Emmanuel Camuus**, CIRAD, Francia.  
**Dr. Juan Hebert Hernández Medrano**, UNAM, México  
**Dr. Adrian Guzmán Sánchez**, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México  
**Dr. Eugenio Villagómez Amezcua Manjarrez**, INIFAP, CENID Salud Animal e Inocuidad, México  
**Dr. José Juan Hernández Ledezma**, Consultor privado  
**Dr. Fernando Cervantes Escoto**, Universidad Autónoma Chapingo, México  
**Dr. Adolfo Guadalupe Álvarez Macías**, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México  
**Dr. Alfredo Cesín Vargas**, UNAM, México  
**Dra. Marisela Leal Hernández**, INIFAP, México  
**Dr. Efrén Ramírez Bribiesca**, Colegio de Postgraduados, México  
**Dra. Itzel Amaro Estrada**, INIFAP, México  
**Dr. Einar Vargas Bello Pérez**, Universidad Autónoma de Chihuahua, México  
**Dra. Liliana Aguilar Marcelino**, INIFAP, México

**TIPOGRAFÍA Y FORMATO:** Oscar L. Rodríguez Rivera

Indizada en el "Journal Citation Report" Science Edition del ISI . Inscrita en el Sistema de Clasificación de Revistas Científicas y Tecnológicas de CONACyT; en EBSCO Host y la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (RedALYC) ([www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)); en la Red Iberoamericana de Revistas Científicas de Veterinaria de Libre Acceso ([www.veterinaria.org/revistas/revivec](http://www.veterinaria.org/revistas/revivec)); en los Índices SCOPUS y EMBASE de Elsevier ([www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)).

# REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS PECUARIAS

La Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias es un órgano de difusión científica y técnica de acceso abierto, revisada por pares y arbitrada. Su objetivo es dar a conocer los resultados de las investigaciones realizadas por cualquier institución científica, relacionadas particularmente con las distintas disciplinas de la Medicina Veterinaria y la Zootecnia. Además de trabajos de las disciplinas indicadas en su Comité Editorial, se aceptan también para su evaluación y posible publicación, trabajos de otras disciplinas, siempre y cuando estén relacionados con la investigación pecuaria.

Se publican en la revista tres categorías de trabajos: Artículos Científicos, Notas de Investigación y Revisiones Bibliográficas (consultar las Notas al autor); la responsabilidad de cada trabajo recae exclusivamente en los autores, los cuales, por la naturaleza misma de los experimentos pueden verse obligados a referirse en algunos casos a los nombres comerciales de ciertos productos, ello sin embargo, no implica preferencia por los productos citados o ignorancia respecto a los omitidos, ni tampoco significa en modo alguno respaldo publicitario hacia los productos mencionados.

Todas las contribuciones serán cuidadosamente evaluadas por árbitros, considerando su calidad y relevancia académica. Queda entendido que el someter un manuscrito implica que la investigación descrita es única e inédita. La publicación de Rev. Mex. Cienc. Pecu. es

trimestral en formato bilingüe Español e Inglés. El costo total por publicar es de \$ 7,280.00 más IVA por manuscrito ya editado.

Se publica en formato digital en acceso abierto, por lo que se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de los artículos si se cita la fuente.

El envío de los trabajos de debe realizar directamente en el sitio oficial de la revista. Correspondencia adicional deberá dirigirse al Editor Adjunto a la siguiente dirección: Calle 36 No. 215 x 67 y 69 Colonia Montes de Amé, C.P. 97115 Mérida, Yucatán, México. Tel/Fax +52 (999) 941-5030. Correo electrónico (C-ele): rodriguez\_oscar@prodigy.net.mx.

La correspondencia relativa a suscripciones, asuntos de intercambio o distribución de números impresos anteriores, deberá dirigirse al Editor en Jefe de la Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, Campo Experimental Mocochoá, Km. 25 Antigua Carretera Mérida-Motul, Mocochoá, Yuc. C.P. 97454; garcia.arturo@inifap.gob.mx o arias.alfonso@inifap.gob.mx.

Inscrita en la base de datos de EBSCO Host y la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (RedALyC) ([www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)), en la Red Iberoamericana de Revistas Científicas de Veterinaria de Libre Acceso ([www.veterinaria.org/revistas/revivec](http://www.veterinaria.org/revistas/revivec)), indizada en el "Journal Citation Report" Science Edition del ISI (<http://thomsonreuters.com/>) y en los Índices SCOPUS y EMBASE de Elsevier ([www.elsevier.com](http://www.elsevier.com))

VISITE NUESTRA PÁGINA EN INTERNET

Artículos completos desde 1963 a la fecha y Notas al autor en: <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx>

Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias is an open access peer-reviewed and refereed scientific and technical journal, which publishes results of research carried out in any scientific or academic institution, especially related to different areas of veterinary medicine and animal production. Papers on disciplines different from those shown in Editorial Committee can be accepted, if related to livestock research.

The journal publishes three types of papers: Research Articles, Technical Notes and Review Articles (please consult Instructions for authors). Authors are responsible for the content of each manuscript, which, owing to the nature of the experiments described, may contain references, in some cases, to commercial names of certain products, which however, does not denote preference for those products in particular or of a lack of knowledge of any other which are not mentioned, nor does it signify in any way an advertisement or an endorsement of the referred products.

All contributions will be carefully refereed for academic relevance and quality. Submission of an article is understood to imply that the research described is unique and unpublished. Rev. Mex. Cienc. Pecu. is published quarterly in original language Spanish or English. Total fee charges are US \$ 425.00 per article in both printed languages.

Part of, or whole articles published in this Journal may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying or otherwise, provided the source is properly acknowledged.

Manuscripts should be submitted directly in the official web site. Additional information may be mailed to Associate Editor, Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, Calle 36 No. 215 x 67 y 69 Colonia Montes de Amé, C.P. 97115 Mérida, Yucatán, México. Tel/Fax +52 (999) 941-5030. E-mail: rodriguez\_oscar@prodigy.net.mx.

For subscriptions, exchange or distribution of previous printed issues, please contact: Editor-in-Chief of Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, Campo Experimental Mocochoá, Km. 25 Antigua Carretera Mérida-Motul, Mocochoá, Yuc. C.P. 97454; garcia.arturo@inifap.gob.mx or arias.alfonso@inifap.gob.mx.

Registered in the EBSCO Host database. The Latin American and the Caribbean Spain and Portugal Scientific Journals Network (RedALyC) ([www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)). The Iberoamerican Network of free access Veterinary Scientific Journals ([www.veterinaria.org/revistas/revivec](http://www.veterinaria.org/revistas/revivec)). Thomson Reuter's "Journal Citation Report" Science Edition (<http://thomsonreuters.com/>). Elsevier's SCOPUS and EMBASE ([www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)) and the Essential Electronic Agricultural Library ([www.teal.org](http://www.teal.org))

VISIT OUR SITE IN THE INTERNET

Full articles from year 1963 to date and Instructions for authors can be accessed via the site <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx>

**CONTENIDO**  
**Contents**

**ARTÍCULOS**  
**Articles**

Pág.

<b>Modelación de curvas de lactancia para producción de leche, grasa y proteína, y evaluación de factores que las afectan en ganado Holstein en México</b> Modeling lactation curves for milk production, fat and protein, and evaluation of factors that affect them in Holstein cattle in Mexico Luis Enrique Trejo-Díaz, Felipe De Jesús Ruiz-López, Hugo Oswaldo Toledo-Alvarado, Marina Durán-Aguilar, Adriana García-Ruiz .....	483
<b>Aceite de maíz en la transferencia de embriones de ovejas Pelibuey</b> Corn oil in Pelibuey ewes embryo transfer Christofer Israel Márquez Hernández, Arturo Pro Martínez, Glafiro Torres Hernández, Raymundo Rangel Santos, Jaime Gallegos Sánchez.....	501
<b>Modelo alternativo para medir la adopción de innovaciones: aplicación en el sistema apícola poblano</b> Alternative model to measure the adoption of innovations: application in the Puebla beekeeping system Irving César Farrera-Vázquez, Enrique Genaro Martínez-González, Vinicio Horacio Santoyo-Cortés, Norman Aguilar-Gallegos, Reyna Azucena Luna-Olea, José Miguel Omaña-Silvestre .....	515
<b>Caracterización de mataderos ovinos para la producción de barbacoa en un municipio del altiplano central de México</b> Characterization of sheep slaughterhouses for barbacoa production in a municipality in the Central Mexican Plateau Enrique Daniel Archundia Velarde, Gisela Velázquez Garduño, Jorge Osorio Avalos, Jesús Terreros Mecalco, María Antonia Mariezcurrena Berasain .....	534
<b>Tipología de productor y efectos indirectos del cambio climático en la ganadería bovina en Sinaloa</b> Producer typology and indirect effects of climate change on cattle ranching in Sinaloa Venancio Cuevas-Reyes, Alfredo Loaiza Meza, Obed Gutiérrez Gutiérrez, Mercedes Borja Bravo, Cesar A. Rosales-Nieto .....	555

**Effect of sex on meat quality traits and sensory properties in Argentine crossbred pigs**

Efecto del sexo sobre los rasgos de calidad de la carne y las propiedades sensoriales en cerdos mestizos argentinos

César Federico Guzmán, Julieta Fernández Madero, Alberto Enrique Carini, Malvina Marcela Tolaba, Alejandra Picallo, Enrique Paván, Laura Pouzo .....570

**Resistencia a la ivermectina en *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) en el noreste de México y factores de riesgo asociados**

Ivermectin resistance in *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) in northeastern Mexico and associated risk factors

Samantha Abigail Moreno-Linares, Romario García-Ponce, Jesús Jaime Hernández-Escareño, Heidi Giselle Rodríguez-Ramírez, José Pablo Villarreal-Villarreal ..... 584

**Efecto del pastoreo, corte y riego en la producción y valor nutritivo de zacate Buffel**

Effect of grazing, cutting, and irrigation on the production and nutritional value of Buffelgrass

Cristian Lizarazo-Ortega, Guadalupe Rodríguez-Castillejos, Hugo Bernal-Barragán, Erasmo Gutiérrez-Ornelas, Emilio Olivares-Sáenz, José Luis Hernández-Mendoza .....602

**REVISIONES DE LITERATURA**

**Reviews**

**Regiones genómicas, genes y polimorfismos de un solo nucleótido en la resistencia a nematodos gastrointestinales en ovinos. Revisión**

Genomic regions, genes, and single nucleotide polymorphisms in resistance to gastrointestinal nematodes in sheep. Review

Marcela Villegas-Castañeda, Vielka Jeanethe Castañeda-Bustos, Juan Manuel Bello-López, Clemente Cruz-Cruz .....616

**Uso y evolución del sexado espermático en bovinos. Revisión**

Use and evolution of sperm sexing in cattle. Review

Horacio Álvarez Gallardo, David Urbán Duarte, Adriana Velázquez Roque, José Fernando De La Torre Sánchez .....641

**Winemaking by-products and grape polyphenols extracts as phytogetic feed additives in the pork production. Review**

Subproductos de la vinificación y extractos de polifenoles de la uva como aditivos fitogénicos para raciones en la producción porcina. Revisión

Dan María Alejandra Ospina-Romero, Humberto González-Ríos, Miguel Ángel Barrera-Silva, Martin Valenzuela-Melendres, Miguel Ángel Martínez-Téllez, Araceli Pinelli-Saavedra .....669

**Re-seed or not re-seed? Factors affecting rangeland grass-seedling establishment.  
Review**

Contribution of forage grasses to biological nitrogen fixation and their response to diazotroph inoculation. Review

Aldo Torres Sales, José Carlos Villalobos González .....700

**NOTAS DE INVESTIGACIÓN**

**Technical notes**

**Estimación de parámetros genéticos para características de flujo y conductividad de la leche en un sistema de ordeño robotizado**

Estimation of genetic parameters for milk flow rate and conductivity traits in a robotic milking system

Norma Leticia Cornejo-García, Marina Durán-Aguilar, Felipe de Jesús Ruiz-López, Germinal Jorge Cantó-Alarcón, José Luis Romano-Muñoz .....721

**Ácidos grasos y terpenos del extracto metanólico de *Artemisia cina* como posibles responsables del efecto ovicida sobre *Haemonchus contortus***

Fatty acids and terpenes from the methanolic extract of *Artemisia cina* as possible compounds responsible for the ovicidal effect on *Haemonchus contortus*

Luis David Arango-De la Pava, Héctor Alejandro De la Cruz-Cruz, Jorge Alfredo Cuéllar-Ordaz, Alejandro Zamilpa, Manasés González-Cortazar, María Eugenia López-Arellano, Rosa Isabel Higuera-Piedrahita, Raquel López-Arellano .....734

**Frecuencia y factores asociados al diagnóstico de *Ehrlichia canis* y *Anaplasma* spp. en perros**

Frequency and factors associated with the diagnosis of *Ehrlichia canis* and *Anaplasma* spp. in dogs

Antuané Jesús Carbajal Ruiz, Jorge Luis Vilela Velarde .....749

## NOTAS AL AUTOR

La **Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias** se edita completa en dos idiomas (español e inglés) y publica tres categorías de trabajos: Artículos científicos, Notas de investigación y Revisiones bibliográficas.

Los autores interesados en publicar en esta revista deberán ajustarse a los lineamientos que más adelante se indican, los cuales, en términos generales, están de acuerdo con los elaborados por el Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas (CIERM) Bol Oficina Sanit Panam 1989;107:422-437.

1. Sólo se aceptarán trabajos inéditos. No se admitirán si están basados en pruebas de rutina, ni datos experimentales sin estudio estadístico cuando éste sea indispensable. Tampoco se aceptarán trabajos que previamente hayan sido publicados condensados o in extenso en Memorias o Simposio de Reuniones o Congresos (a excepción de Resúmenes).
2. Todos los trabajos estarán sujetos a revisión de un Comité Científico Editorial, conformado por Pares de la Disciplina en cuestión, quienes desconocerán el nombre e Institución de los autores proponentes. El Editor notificará al autor la fecha de recepción de su trabajo.
3. El manuscrito deberá someterse a través del portal de la Revista en la dirección electrónica: <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx>, consultando el "**Instructivo para envío de artículos** en la página de la Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias". Para su elaboración se utilizará el procesador de Microsoft Word, con letra **Times New Roman a 12 puntos**, a doble espacio. Asimismo, se deberán llenar los formatos de postulación, carta de originalidad y no duplicidad y disponibles en el propio sitio oficial de la revista.
4. Por ser una revista con arbitraje, y para facilitar el trabajo de los revisores, todos los renglones de cada página deben estar numerados de manera continua a lo largo de todo el documento; asimismo cada página debe estar numerada, inclusive cuadros, ilustraciones y gráficas.
5. Los artículos tendrán una extensión máxima de 20 cuartillas a doble espacio, sin incluir páginas de Título, y cuadros o figuras (los cuales no deberán exceder de ocho y ser incluidos en el texto). Las Notas de investigación tendrán una extensión máxima de 15 cuartillas y 6 cuadros o figuras. Las Revisiones

bibliográficas una extensión máxima de 30 cuartillas y 5 cuadros.

6. Los manuscritos de las tres categorías de trabajos que se publican en la **Rev. Mex. Cienc. Pecu.** deberán contener los componentes que a continuación se indican, empezando cada uno de ellos en página aparte.

**Página del título**

**Resumen en español**

**Resumen en inglés**

**Texto**

**Agradecimientos y conflicto de interés**

**Literatura citada**

7. **Página del Título.** Solamente debe contener el título del trabajo, que debe ser conciso pero informativo; así como el título traducido al idioma inglés. En el manuscrito no se debe incluir información como nombres de autores, departamentos, instituciones, direcciones de correspondencia, etc., ya que estos datos tendrán que ser registrados durante el proceso de captura de la solicitud en la plataforma del OJS (revisar el Instructivo para envío de artículos en la dirección: <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx>).
8. **Resumen en español.** En la segunda página se debe incluir un resumen que no pase de 250 palabras. En él se indicarán los propósitos del estudio o investigación; los procedimientos básicos y la metodología empleada; los resultados más importantes encontrados, y de ser posible, su significación estadística y las conclusiones principales. A continuación del resumen, en punto y aparte, agregue debidamente rotuladas, de 3 a 8 palabras o frases cortas clave que ayuden a los indizadores a clasificar el trabajo, las cuales se publicarán junto con el resumen.
9. **Resumen en inglés.** Anotar el título del trabajo en inglés y a continuación redactar el "abstract" con las mismas instrucciones que se señalaron para el resumen en español. Al final en punto y aparte, se deberán escribir las correspondientes palabras clave ("keywords").
10. **Texto.** Las tres categorías de trabajos que se publican en la **Rev. Mex. Cienc. Pecu.** consisten en lo siguiente:

a) Artículos científicos. Deben ser informes de trabajos originales derivados de resultados parciales o finales de investigaciones. El texto del Artículo científico se divide en secciones que llevan estos encabezamientos:

Introducción  
Material y Métodos  
Resultados  
Discusión  
Conclusiones e implicaciones  
Literatura citada

En los artículos largos puede ser necesario agregar subtítulos dentro de estas divisiones a fin de hacer más claro el contenido, tanto en Material y métodos como en las secciones de Resultados y de Discusión, las cuales también pueden presentarse como una sola sección.

b) Notas de investigación. Consisten en modificaciones a técnicas, informes de casos clínicos de interés especial, preliminares de trabajos o investigaciones limitadas, descripción de nuevas variedades de pastos; así como resultados de investigación que a juicio de los editores deban así ser publicados. El texto contendrá la misma información del método experimental señalado en el inciso a), pero su redacción será corrida del principio al final del trabajo; esto no quiere decir que sólo se supriman los subtítulos, sino que se redacte en forma continua y coherente.

c) Revisiones bibliográficas. Consisten en el tratamiento y exposición de un tema o tópico de relevante actualidad e importancia; su finalidad es la de resumir, analizar y discutir, así como poner a disposición del lector información ya publicada sobre un tema específico. El texto se divide en: Introducción, y las secciones que correspondan al desarrollo del tema en cuestión.

11. **Agradecimientos y conflicto de interés.** Siempre que corresponda, se deben especificar las colaboraciones que necesitan ser reconocidas, tales como a) la ayuda técnica recibida; b) el agradecimiento por el apoyo financiero y material, especificando la índole del mismo; c) las relaciones financieras que pudieran suscitar un conflicto de intereses. Las personas que colaboraron pueden ser citadas por su nombre, añadiendo su función o tipo de colaboración; por ejemplo: "asesor científico", "revisión crítica de la propuesta para el estudio", "recolección de datos", etc. Siempre que corresponda, los autores deberán mencionar si existe algún conflicto de interés.
12. **Literatura citada.** Numere las referencias consecutivamente en el orden en que se mencionan por primera vez en el texto. Las referencias en el

texto, en los cuadros y en las ilustraciones se deben identificar mediante **números arábigos** entre paréntesis, sin señalar el año de la referencia. Evite hasta donde sea posible, el tener que mencionar en el texto el nombre de los autores de las referencias. Procure abstenerse de utilizar los resúmenes como referencias; las "observaciones inéditas" y las "comunicaciones personales" no deben usarse como referencias, aunque pueden insertarse en el texto (entre paréntesis).

Reglas básicas para la Literatura citada

Nombre de los autores, con mayúsculas sólo las iniciales, empezando por el apellido paterno, luego iniciales del materno y nombre(s). En caso de apellidos compuestos se debe poner un guión entre ambos, ejemplo: Elías-Calles E. Entre las iniciales de un autor no se debe poner ningún signo de puntuación, ni separación; después de cada autor sólo se debe poner una coma, después del último autor se debe poner un punto.

El título del trabajo se debe escribir completo (en su idioma original) luego el título abreviado de la revista donde se publicó, sin ningún signo de puntuación; inmediatamente después el año de la publicación, luego el número del volumen, seguido del número (entre paréntesis) de la revista y finalmente el número de páginas (esto en caso de artículo ordinario de revista).

Puede incluir en la lista de referencias, los artículos aceptados, aunque todavía no se publiquen; indique la revista y agregue "en prensa" (entre corchetes).

En el caso de libros de un solo autor (o más de uno, pero todos responsables del contenido total del libro), después del o los nombres, se debe indicar el título del libro, el número de la edición, el país, la casa editorial y el año.

Cuando se trate del capítulo de un libro de varios autores, se debe poner el nombre del autor del capítulo, luego el título del capítulo, después el nombre de los editores y el título del libro, seguido del país, la casa editorial, año y las páginas que abarca el capítulo.

En el caso de tesis, se debe indicar el nombre del autor, el título del trabajo, luego entre corchetes el grado (licenciatura, maestría, doctorado), luego el nombre de la ciudad, estado y en su caso país, seguidamente el nombre de la Universidad (no el de la escuela), y finalmente el año.

Emplee el estilo de los ejemplos que aparecen a continuación:

#### Revistas

Artículo ordinario, con volumen y número. (Incluya el nombre de todos los autores cuando sean seis o menos; si son siete o más, anote sólo el nombre de los seis primeros y agregue "et al.>").

- I) Basurto GR, Garza FJD. Efecto de la inclusión de grasa o proteína de escape ruminal en el comportamiento de toretes Brahman en engorda. *Téc Pecú Méx* 1998;36(1):35-48.

Sólo número sin indicar volumen.

- II) Stephano HA, Gay GM, Ramírez TC. Encephalomyelitis, reproductive failure and corneal opacity (blue eye) in pigs associated with a paramyxovirus infection. *Vet Rec* 1988;(122):6-10.

- III) Chupin D, Schuh H. Survey of present status of the use of artificial insemination in developing countries. *World Anim Rev* 1993;(74-75):26-35.

No se indica el autor.

- IV) Cancer in South Africa [editorial]. *S Afr Med J* 1994;84:15.

Suplemento de revista.

- V) Hall JB, Staigmiller RB, Short RE, Bellows RA, Bartlett SE. Body composition at puberty in beef heifers as influenced by nutrition and breed [abstract]. *J Anim Sci* 1998;71(Suppl 1):205.

Organización, como autor.

- VI) The Cardiac Society of Australia and New Zealand. Clinical exercise stress testing. Safety and performance guidelines. *Med J Aust* 1996;(164):282-284.

En proceso de publicación.

- VII) Scifres CJ, Kothmann MM. Differential grazing use of herbicide treated area by cattle. *J Range Manage* [in press] 2000.

#### Libros y otras monografías

Autor total.

- VIII) Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co.; 1980.

Autor de capítulo.

- IX) Roberts SJ. Equine abortion. In: Faulkner LLC editor. *Abortion diseases of cattle*. 1st ed. Springfield, Illinois, USA: Thomas Books; 1968:158-179.

Memorias de reuniones.

- X) Loeza LR, Angeles MAA, Cisneros GF. Alimentación de cerdos. En: Zúñiga GJL, Cruz BJA editores. Tercera reunión anual del centro de investigaciones forestales y agropecuarias del estado de Veracruz. Veracruz. 1990:51-56.

- XI) Olea PR, Cuarón IJA, Ruiz LFJ, Villagómez AE. Concentración de insulina plasmática en cerdas alimentadas con melaza en la dieta durante la inducción de estro lactacional [resumen]. Reunión nacional de investigación pecuaria. Querétaro, Qro. 1998:13.

- XII) Cunningham EP. Genetic diversity in domestic animals: strategies for conservation and development. In: Miller RH et al. editors. *Proc XXVI eltsville Symposium: Biotechnology's role in genetic improvement of farm animals*. USDA. 996:13.

↓

Tesis.

- XIII) Alvarez MJA. Inmunidad humoral en la anaplasmosis y babesiosis bovinas en becerros mantenidos en una zona endémica [tesis maestría]. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México; 1989.

- XIV) Cairns RB. Infrared spectroscopic studies of solid oxygen [doctoral thesis]. Berkeley, California, USA: University of California; 1965.

Organización como autor.

- XV) NRC. National Research Council. The nutrient requirements of beef cattle. 6th ed. Washington, DC, USA: National Academy Press; 1984.

- XVI) SAGAR. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Curso de actualización técnica para la aprobación de médicos veterinarios zootecnistas responsables de establecimientos destinados al sacrificio de animales. México. 1996.

- XVII) AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists. 1990.

- XVIII) SAS. SAS/STAT User's Guide (Release 6.03). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1988.

- XIX) SAS. SAS User's Guide: Statistics (version 5 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1985.

Publicaciones electrónicas

- XX) Jun Y, Ellis M. Effect of group size and feeder type on growth performance and feeding patterns in growing pigs. *J Anim Sci* 2001;79:803-813. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/79/4/803.pdf>. Accessed Jul 30, 2003.
- XXI) Villalobos GC, González VE, Ortega SJA. Técnicas para estimar la degradación de proteína y materia orgánica en el rumen y su importancia en rumiantes en pastoreo. *Téc Pecu Méx* 2000;38(2): 119-134. <http://www.tecnicapecuaria.org/trabajos/200212175725.pdf>. Consultado 30 Ago, 2003.
- XXII) Sanh MV, Wiktorsson H, Ly LV. Effect of feeding level on milk production, body weight change, feed conversion and postpartum oestrus of crossbred lactating cows in tropical conditions. *Livest Prod Sci* 2002;27(2-3):331-338. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03016226>. Accessed Sep 12, 2003.
13. **Cuadros, Gráficas e Ilustraciones.** Es preferible que sean pocos, concisos, contando con los datos necesarios para que sean autosuficientes, que se entiendan por sí mismos sin necesidad de leer el texto. Para las notas al pie se deberán utilizar los símbolos convencionales.
14. **Versión final.** Es el documento en el cual los autores ya integraron las correcciones y modificaciones indicadas por el Comité Revisor. Se les enviará a los autores un instructivo que contendrá los puntos esenciales para su correcta elaboración. Las fotografías e imágenes deberán estar en formato jpg (o compatible) con al menos 300 dpi de resolución. Tanto las fotografías, imágenes, gráficas, cuadros o tablas deberán incluirse en el mismo archivo del texto. Los cuadros no deberán contener ninguna línea vertical, y las horizontales solamente las que delimitan los encabezados de columna, y la línea al final del cuadro.
15. Una vez recibida la versión final, ésta se mandará para su traducción al idioma inglés o español, según corresponda. Si los autores lo consideran conveniente podrán enviar su manuscrito final en ambos idiomas.
16. **Tesis.** Se publicarán como Artículo o Nota de Investigación, siempre y cuando se ajusten a las normas de esta revista.
17. Los trabajos no aceptados para su publicación se regresarán al autor, con un anexo en el que se explicarán los motivos por los que se rechaza o las modificaciones que deberán hacerse para ser reevaluados.
- 18.

**Abreviaturas de uso frecuente:**

- cal caloría (s)  
cm centímetro (s)  
°C grado centígrado (s)  
DL50 dosis letal 50%  
g gramo (s)  
ha hectárea (s)  
h hora (s)  
i.m. intramuscular (mente)  
i.v. intravenosa (mente)  
J joule (s)  
kg kilogramo (s)  
km kilómetro (s)  
L litro (s)  
log logaritmo decimal  
Mcal megacaloría (s)  
MJ megajoule (s)  
m metro (s)  
msnm metros sobre el nivel del mar  
µg microgramo (s)  
µl microlitro (s)  
µm micrómetro (s)(micra(s))  
mg miligramo (s)  
ml mililitro (s)  
mm milímetro (s)  
min minuto (s)  
ng nanogramo (s)  
P probabilidad (estadística)  
p página  
PC proteína cruda  
PCR reacción en cadena de la polimerasa  
pp páginas  
ppm partes por millón  
% por ciento (con número)  
rpm revoluciones por minuto  
seg segundo (s)  
t tonelada (s)  
TND total de nutrientes digestibles  
UA unidad animal  
UI unidades internacionales  
vs versus  
xg gravedades

Cualquier otra abreviatura se pondrá entre paréntesis inmediatamente después de la(s) palabra(s) completa(s).

19. Los nombres científicos y otras locuciones latinas se deben escribir en cursivas.

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

**Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias** is a scientific journal published in a bilingual format (Spanish and English) which carries three types of papers: Research Articles, Technical Notes, and Reviews. Authors interested in publishing in this journal, should follow the below-mentioned directives which are based on those set down by the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) Bol Oficina Sanit Panam 1989;107:422-437.

1. Only original unpublished works will be accepted. Manuscripts based on routine tests, will not be accepted. All experimental data must be subjected to statistical analysis. Papers previously published condensed or *in extenso* in a Congress or any other type of Meeting will not be accepted (except for Abstracts).
2. All contributions will be peer reviewed by a scientific editorial committee, composed of experts who ignore the name of the authors. The Editor will notify the author the date of manuscript receipt.
3. Papers will be submitted in the Web site <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx>, according the "Guide for submit articles in the Web site of the Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias". Manuscripts should be prepared, typed in a 12 points font at double space (including the abstract and tables), At the time of submission a signed agreement co-author letter should enclosed as complementary file; co-authors at different institutions can mail this form independently. The corresponding author should be indicated together with his address (a post office box will not be accepted), telephone and Email.
4. To facilitate peer review all pages should be numbered consecutively, including tables, illustrations and graphics, and the lines of each page should be numbered as well.
5. Research articles will not exceed 20 double spaced pages, without including Title page and Tables and Figures (8 maximum and be included in the text). Technical notes will have a maximum extension of 15 pages and 6 Tables and Figures. Reviews should not exceed 30 pages and 5 Tables and Figures.
6. Manuscripts of all three type of articles published in **Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias** should contain the following sections, and each one should begin on a separate page.
 

<ol style="list-style-type: none"> <li>7. <b>Title page.</b> It should only contain the title of the work, which should be concise but informative; as well as the title translated into English language. In the manuscript is not necessary information as names of authors, departments, institutions and correspondence addresses, etc.; as these data will have to be registered during the capture of the application process on the OJS platform (<a href="http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx">http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx</a>).</li> <li>8. <b>Abstract.</b> On the second page a summary of no more than 250 words should be included. This abstract should start with a clear statement of the objectives and must include basic procedures and methodology. The more significant results and their statistical value and the main conclusions should be elaborated briefly. At the end of the abstract, and on a separate line, a list of up to 10 key words or short phrases that best describe the nature of the research should be stated.</li> <li>9. <b>Text.</b> The three categories of articles which are published in <b>Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias</b> are the following:               <ol style="list-style-type: none"> <li><i>a) Research Articles.</i> They should originate in primary works and may show partial or final results of research. The text of the article must include the following parts:                   <ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction</li> <li>Materials and Methods</li> <li>Results</li> <li>Discussion</li> <li>Conclusions and implications</li> <li>Literature cited</li> </ul>                   In lengthy articles, it may be necessary to add other sections to make the content clearer. Results and Discussion can be shown as a single section if considered appropriate.                 </li> <li><i>b) Technical Notes.</i> They should be brief and be evidence for technical changes, reports of clinical cases of special interest, complete description of a limited investigation, or research results which should be published as a note in the opinion of the editors. The text will contain the same</li> </ol> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Title page</b></li> <li><b>Abstract</b></li> <li><b>Text</b></li> <li><b>Acknowledgments and conflict of interest</b></li> <li><b>Literature cited</b></li> </ol>
---	---

information presented in the sections of the research article but without section titles.

- c) *Reviews.* The purpose of these papers is to summarize, analyze and discuss an outstanding topic. The text of these articles should include the following sections: Introduction, and as many sections as needed that relate to the description of the topic in question.
10. **Acknowledgements.** Whenever appropriate, collaborations that need recognition should be specified: a) Acknowledgement of technical support; b) Financial and material support, specifying its nature; and c) Financial relationships that could be the source of a conflict of interest.

People which collaborated in the article may be named, adding their function or contribution; for example: "scientific advisor", "critical review", "data collection", etc.

11. **Literature cited.** All references should be quoted in their original language. They should be numbered consecutively in the order in which they are first mentioned in the text. Text, tables and figure references should be identified by means of Arabic numbers. Avoid, whenever possible, mentioning in the text the name of the authors. Abstain from using abstracts as references. Also, "unpublished observations" and "personal communications" should not be used as references, although they can be inserted in the text (inside brackets).

#### *Key rules for references*

a. The names of the authors should be quoted beginning with the last name spelt with initial capitals, followed by the initials of the first and middle name(s). In the presence of compound last names, add a dash between both, i.e. Elias-Calles E. Do not use any punctuation sign, nor separation between the initials of an author; separate each author with a comma, even after the last but one.

b. The title of the paper should be written in full, followed by the abbreviated title of the journal without any punctuation sign; then the year of the publication, after that the number of the volume, followed by the number (in brackets) of the journal and finally the number of pages (this in the event of ordinary article).

c. Accepted articles, even if still not published, can be included in the list of references, as long as the journal is specified and followed by "in press" (in brackets).

d. In the case of a single author's book (or more than one, but all responsible for the book's contents), the title of the book should be indicated after the names(s), the number of the edition, the country, the printing house and the year.

e. When a reference is made of a chapter of book written by several authors; the name of the author(s) of the chapter should be quoted, followed by the title of the chapter, the editors and the title of the book, the country, the printing house, the year, and the initial and final pages.

f. In the case of a thesis, references should be made of the author's name, the title of the research, the degree obtained, followed by the name of the City, State, and Country, the University (not the school), and finally the year.

#### Examples

The style of the following examples, which are partly based on the format the National Library of Medicine of the United States employs in its Index Medicus, should be taken as a model.

#### Journals

*Standard journal article* (List the first six authors followed by *et al.*)

- I) Basurto GR, Garza FJD. Efecto de la inclusión de grasa o proteína de escape ruminal en el comportamiento de toretes Brahman en engorda. *Téc Pecu Méx* 1998;36(1):35-48.

#### *Issue with no volume*

- II) Stephano HA, Gay GM, Ramírez TC. Encephalomyelitis, reproductive failure and corneal opacity (blue eye) in pigs associated with a paramyxovirus infection. *Vet Rec* 1988;(122):6-10.

- III) Chupin D, Schuh H. Survey of present status of the use of artificial insemination in developing countries. *World Anim Rev* 1993;(74-75):26-35.

#### *No author given*

- IV) Cancer in South Africa [editorial]. *S Afr Med J* 1994;84:15.

#### *Journal supplement*

- V) Hall JB, Staigmiller RB, Short RE, Bellows RA, Bartlett SE. Body composition at puberty in beef heifers as influenced by nutrition and breed [abstract]. *J Anim Sci* 1998;71(Suppl 1):205.

#### Organization, as author

- VI) The Cardiac Society of Australia and New Zealand. Clinical exercise stress testing. Safety and performance guidelines. *Med J Aust* 1996;(164):282-284.

*In press*

- VII) Scifres CJ, Kothmann MM. Differential grazing use of herbicide-treated area by cattle. *J Range Manage* [in press] 2000.

Books and other monographs

*Author(s)*

- VIII) Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co.; 1980.

*Chapter in a book*

- IX) Roberts SJ. Equine abortion. In: Faulkner LLC editor. Abortion diseases of cattle. 1st ed. Springfield, Illinois, USA: Thomas Books; 1968:158-179.

*Conference paper*

- X) Loeza LR, Angeles MAA, Cisneros GF. Alimentación de cerdos. En: Zúñiga GJL, Cruz BJA editores. Tercera reunión anual del centro de investigaciones forestales y agropecuarias del estado de Veracruz. Veracruz. 1990:51-56.
- XI) Olea PR, Cuarón IJA, Ruiz LFJ, Villagómez AE. Concentración de insulina plasmática en cerdas alimentadas con melaza en la dieta durante la inducción de estro lactacional [resumen]. Reunión nacional de investigación pecuaria. Querétaro, Qro. 1998:13.
- XII) Cunningham EP. Genetic diversity in domestic animals: strategies for conservation and development. In: Miller RH *et al.* editors. Proc XX Beltsville Symposium: Biotechnology's role in genetic improvement of farm animals. USDA. 1996:13.

*Thesis*

- XIII) Alvarez MJA. Inmunidad humoral en la anaplasmosis y babesiosis bovinas en becerros mantenidos en una zona endémica [tesis maestría]. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México; 1989.
- XIV) Cairns RB. Infrared spectroscopic studies of solid oxygen [doctoral thesis]. Berkeley, California, USA: University of California; 1965.

Organization as author

- XV) NRC. National Research Council. The nutrient requirements of beef cattle. 6th ed. Washington, DC, USA: National Academy Press; 1984.
- XVI) SAGAR. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Curso de actualización técnica para la aprobación de médicos veterinarios zootecnistas responsables de establecimientos destinados al sacrificio de animales. México. 1996.

- XVII) AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists. 1990.

- XVIII) SAS. SAS/STAT User's Guide (Release 6.03). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1988.

- XIX) SAS. SAS User's Guide: Statistics (version 5 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1985.

*Electronic publications*

- XX) Jun Y, Ellis M. Effect of group size and feeder type on growth performance and feeding patterns in growing pigs. *J Anim Sci* 2001;79:803-813. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/79/4/803.pdf>. Accessed Jul 30, 2003.
- XXI) Villalobos GC, González VE, Ortega SJA. Técnicas para estimar la degradación de proteína y materia orgánica en el rumen y su importancia en rumiantes en pastoreo. *Téc Pecu Méx* 2000;38(2): 119-134. <http://www.tecnicapecuaria.org/trabajos/200212175725.pdf>. Consultado 30 Jul, 2003.
- XXII) Sanh MV, Wiktorsson H, Ly LV. Effect of feeding level on milk production, body weight change, feed conversion and postpartum oestrus of crossbred lactating cows in tropical conditions. *Livest Prod Sci* 2002;27(2-3):331-338. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03016226>. Accessed Sep 12, 2003.

12. **Tables, Graphics and Illustrations.** It is preferable that they should be few, brief and having the necessary data so they could be understood without reading the text. Explanatory material should be placed in footnotes, using conventional symbols.

13. **Final version.** This is the document in which the authors have already integrated the corrections and modifications indicated by the Review Committee. The works will have to be elaborated with Microsoft Word. Photographs and images must be in jpg (or compatible) format with at least 300 dpi resolution. Photographs, images, graphs, charts or tables must be included in the same text file. The boxes should not contain any vertical lines, and the horizontal ones only those that delimit the column headings, and the line at the end of the box.

14. Once accepted, the final version will be translated into Spanish or English, although authors should feel free to send the final version in both languages. No charges will be made for style or translation services.

15. **Thesis** will be published as a Research Article or as a Technical Note, according to these guidelines.

16. Manuscripts not accepted for publication will be returned to the author together with a note explaining

the cause for rejection, or suggesting changes which should be made for re-assessment.

**17. List of abbreviations:**

cal calorie (s)  
cm centimeter (s)  
°C degree Celsius  
DL50 lethal dose 50%  
g gram (s)  
ha hectare (s)  
h hour (s)  
i.m. intramuscular (..ly)  
i.v. intravenous (..ly)  
J joule (s)  
kg kilogram (s)  
km kilometer (s)  
L liter (s)  
log decimal logarithm  
Mcal mega calorie (s)  
MJ mega joule (s)  
m meter (s)  
µl micro liter (s)  
µm micro meter (s)  
mg milligram (s)

ml milliliter (s)  
mm millimeter (s)  
min minute (s)  
ng nanogram (s)  
*P* probability (statistic)  
p page  
CP crude protein  
PCR polymerase chain reaction  
pp pages  
ppm parts per million  
% percent (with number)  
rpm revolutions per minute  
sec second (s)  
t metric ton (s)  
TDN total digestible nutrients  
AU animal unit  
IU international units  
*vs* *versus*  
xg gravity

The full term for which an abbreviation stands should precede its first use in the text.

18. Scientific names and other Latin terms should be written in italics.



## Modelación de curvas de lactancia para producción de leche, grasa y proteína, y evaluación de factores que las afectan en ganado Holstein en México



Luis Enrique Trejo-Díaz <sup>a</sup>

Felipe De Jesús Ruiz-López <sup>b</sup>

Hugo Oswaldo Toledo-Alvarado <sup>a</sup>

Marina Durán-Aguilar <sup>c</sup>

Adriana García-Ruiz <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. Circuito de Posgrados, Edificio B, 1<sup>er</sup> Piso, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán. 04510, Ciudad de México, México.

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Querétaro, México.

<sup>c</sup> Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales, Querétaro, México.

\*Autor de correspondencia: [garcia.adriana@inifap.gob.mx](mailto:garcia.adriana@inifap.gob.mx)

### Resumen:

El conocimiento y modelación de curvas de lactación hacen posible identificar factores que ayuden a explicar las variaciones ambientales y genéticas, que permitan implementar un programa de selección. El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes modelos para las curvas de producción de leche, grasa y proteína en ganado Holstein en México, así como evaluar algunos factores que las afectan. Se usó información de 125,982 lactaciones pertenecientes a 68,804 animales nacidos del año 2000 al 2020. Se evaluó el efecto del número de parto, época del año y hato. Con la paquetería Lactcurves de R, se ajustaron los 38 modelos que incluye, de los cuales se eligieron los cuatro mejores (Wood, Wilmink, Ali & Schaeffer y Pollot modificado) que posteriormente se usaron para modelar las curvas

individuales a través de un modelo de regresión no lineal. Los parámetros calculados para cada modelo fueron estadísticamente diferentes entre el número de lactación ( $P<0.05$ ), así como el número de parto, época de parto y hato ( $P<0.01$ ). Las curvas modeladas tienen formas similares a las reportadas en otros estudios, a excepción de las obtenidas para proteína en el tercer y cuarto o más partos con el modelo de Pollot modificado. La ecuación propuesta por Wilmink fue la que presentó mejor ajuste para la población de estudio según los diferentes criterios de evaluación. El emplear el modelo que mejor se adapte a los datos dará predicciones más cercanas a la realidad, y poder aplicarlo a distintos ámbitos como el mejoramiento genético.

**Palabras clave:** Curvas de lactación, Producción de leche, Grasa, Proteína, Holstein.

Recibido: 11/07/2023

Aceptado: 13/05/2024

## Introducción

La curva de lactación, definida como la representación gráfica de la producción de leche en el transcurso del ciclo productivo, puede ser descrita por medio de funciones matemáticas que explican un proceso biológico de producción, sujeto a influencias, tanto genéticas como ambientales<sup>(1,2)</sup>. La modelación adecuada de las curvas de lactación permite realizar un buen pronóstico de la producción total a partir de muestras parciales, una planificación del hato a partir de la predicción confiable de la producción, y la selección de animales mediante el conocimiento de las diferentes partes de la curva. Por lo anterior, es importante encontrar en cada medio de producción la función matemática que mejor describa la curva de lactación de los animales<sup>(2,3)</sup>.

Generalmente, la curva de lactación se analiza a través de cuatro secciones consecutivas: a) Producción inicial, estimada por la media de producción durante los días 4 a 6 después del periodo calostrado, b) Fase ascendente o de incremento de la producción, que es la tasa de ascenso, hasta alcanzar el máximo nivel de producción, c) Punto máximo o pico de producción, determinado por el nivel más alto de producción que la vaca alcanza dentro de los primeros 90 días de lactación, y d) Descendente o reducción de la producción, también denominada persistencia, que refiere a la disminución en la secreción de leche a partir del pico de producción<sup>(4)</sup>.

El uso de modelos matemáticos ha permitido conocer las curvas de lactación en diferentes sistemas de producción lechera. Sin embargo, no todas las poblaciones y sistemas de producción se ajustan a una curva de lactación típica, con sus diferentes parámetros y fases

de la curva como inicio, fase ascendente, pico y decremento. Los parámetros de un modelo que se adecuan a la curva de lactación deben reflejar diversos factores, como pueden ser: genéticos, fisiológicos, productivos, ambientales, y las interacciones entre los mismos<sup>(2,3)</sup>. Por lo tanto, es posible generar tantas curvas como lactaciones y fuentes de variación existan. De ahí se desprende la importancia de conocer niveles estándar de producción de leche por grupo de animales, con características similares, como misma etapa de lactación, época de parto, nivel productivo, o número de lactación<sup>(5)</sup>.

Los modelos no lineales para representar las curvas de lactación fueron propuestos inicialmente por Wood y se han usado en bovinos, ovinos, cabras, búfalos y camélidos sudamericanos<sup>(2)</sup>. Los diferentes modelos matemáticos propuestos, han presentado ventajas en la modelación específica de secciones de la curva de lactación, o se ajustan de manera correcta a diversos sistemas de producción. Por ejemplo, el modelo de Wood se ajusta bien a los datos de producción de leche, predice mejor los datos reales durante la lactación temprana y tardía, y predice con menor precisión los datos durante la lactación media que otros modelos no lineales<sup>(2,6)</sup>. El modelo de Wilmink también es muy usado para describir las curvas de lactación en ganado lechero, especialmente empleado para detectar los efectos ambientales, aunque se ha reportado que en algunas poblaciones este modelo tiende a subestimar la parte media de la curva y a sobreestimar la parte final. El modelo Ali-Schaeffer se ajusta bien para lactaciones que comienzan con una producción baja y alcanzan el pico más pronto de lo normal<sup>(7)</sup>.

Uno de los principales problemas que han tenido los modelos empíricos es que ha sido difícil dar un significado fisiológico a los parámetros derivados de estos. Se han realizado diversas modificaciones a algunos modelos con la finalidad de tener una interpretación más cercana a los aspectos fisiológicos de la curva de lactación, como las propuestas por Pollot<sup>(8)</sup>, en donde los parámetros resultantes tienen una interpretación biológica, basados en los cambios en el número de células en la glándula mamaria durante la gestación, lactación e involución, y sus efectos en la producción de leche<sup>(9)</sup>.

El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes modelos matemáticos, así como algunos factores que afectan las curvas de lactación de producción de leche y sus componentes (grasa y proteína) en una población de bovinos de la raza Holstein de México.

## **Material y métodos**

### **Edición y descripción de los datos**

El estudio incluyó información de producción de leche en kilogramos, porcentajes de grasa y de proteína de 68,804 vacas Holstein nacidas del año 2000 al 2020, pertenecientes a 198

datos del sistema de producción intensiva. Los datos provienen de 17 estados del país: Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Nayarit, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas, donde suelen predominar climas templado (zona centro) y semidesértico (zona norte). Querétaro, Guanajuato, Chihuahua y el Estado de México concentran la mayor proporción de información. Dichos datos fueron proporcionados por la Asociación Holstein de México. En la base de datos, se excluyeron lactaciones que no tuvieron pesaje de producción en los primeros 30 días, al igual que las que fueron mayores a 500 días; así como lactaciones que presentaban doble o triple pico de producción, ya que no corresponde a una curva de producción estándar. Cada lactación contó con información de 4 a 12 pesajes y se eliminaron lactaciones que tenían menos de cuatro pesajes útiles.

Los días en leche de cada pesaje se ajustaron a valores mínimos y máximos de 5 a 305 días, cuando el registro estaba fuera de este rango el pesaje no se incluyó en el análisis. La producción de leche en kilos, grasa y proteína en porcentaje se ajustaron a la media  $\pm 3$  desviaciones estándar. Cuando no se contó con información de grasa o proteína, se eliminó la información de ambos componentes. Para definir la variable época de parto, se agruparon a los animales en tres categorías según el mes en el que parieron, los cuales corresponden a épocas de frío, calor y lluvia respectivamente. El primer grupo abarca los meses de noviembre a febrero; el segundo de marzo a junio; el tercero de julio a octubre.

Después de la edición, el estudio incluyó información de 68,804 vacas Holstein, con información de 125,982 lactaciones (72,979 pertenecientes a la primera lactación, 31,371 a la segunda, 11,922 a la tercera y 9,710 a 4 o más lactaciones), y en total se contó con 1'319,810 de pesajes.

Se utilizó RStudio<sup>(10)</sup> para evaluar diferentes modelos matemáticos para describir la representación de curvas de lactación. Se ajustaron 38 modelos incluidos en la paquetería Lactcurves de R<sup>(11)</sup>, y se eligieron los cuatro mejores según los siguientes criterios de selección (Cuadro 1): error estándar del residual (RSE), coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  adjus), logaritmo de verosimilitud (LogL), criterio de información de Akaike (AIC), criterio de información corregida de Akaike (AICC), criterio de información bayesiano (BIC) y coeficiente de Durbin Watson (DW).

Los mejores modelos, se ajustaron a las lactaciones por animal, utilizando un modelo de regresión no lineal (NLIN), mediante el programa Statistic Analysis System<sup>(12)</sup>. Se obtuvo de cada curva los parámetros que la describen, así como la persistencia, días al pico y rendimiento al pico.

Además, mediante el proceso de modelos lineales generalizados (PROC GLM) en SAS<sup>(12)</sup>, se evaluó si en cada modelo el número de parto, el hato y la época de parto eran estadísticamente importantes en la producción láctea, esto con la intención de evaluar

parámetros que pudieran incorporarse en el modelo de predicción. Con la paquetería ggplot en R, se graficaron las curvas por lactación.

El modelo de Wood<sup>(2)</sup> usado fue el siguiente:

$$y_t = at^b \exp(-ct)$$

Donde:  $y_t$  = rendimiento lechero a los  $t$  días en kg,  $a$ = rendimiento inicial,  $b$ =fase de incremento en la curva,  $c$ = fase de descenso en la curva y  $t$ = días

A partir de los parámetros calculados se pueden estimar días al pico ( $\frac{b}{c}$ ), rendimiento máximo al pico ( $a(b/c)^b \exp(-b)$ ) y persistencia:  $((1/c)^{b+1})$ .

El modelo de Wilink<sup>(13)</sup> se describe como:

$$y_1 = a + be^{-kt} + ct$$

Donde:  $y_t$  = rendimiento lechero a los  $t$  días en kg,  $a$ = rendimiento inicial,  $b$ =fase de incremento en la curva,  $c$ = fase de descenso en la curva,  $k$ =parámetro asociado a los días al pico y  $t$ = días en producción.

A partir de los parámetros calculados se pueden estimar persistencia ( $\frac{c*305}{a*100}$ ), días al pico ( $\frac{1}{k} \log\left(\frac{c}{kb}\right)$ ) y rendimiento al pico ( $a + ck(1 + \log(bkc))$ )<sup>(14)</sup>.

El modelo de Ali-Schaeffer<sup>(15)</sup> es:

$$y_t = a + b\left(\frac{t}{340}\right) + c\left(\frac{t}{340}\right)^2 + d \log\left(\frac{t}{340}\right) + f\left(\frac{t}{340}\right)^2$$

Donde:  $t$ = días en leche,  $a$ = relacionado al pico de producción,  $b$  y  $c$ = relacionado con la disminución de la producción,  $d$  y  $f$ = relacionado con el incremento de producción.

El modelo de Pollot modificado<sup>(8)</sup> se describe como:

$$y_t = (a / 1 + b * e(-c * t))^* (2 - e(-d*t))$$

Donde:  $y_t$ = producción de leche al día  $t$ ,  $t$  = días en leche,  $a$ = máximo potencial de secreción de la lactación,  $b$ = relacionado con el potencial de producción de leche,  $c$ = tasa de proliferación relativa del número de células secretoras durante la lactación temprana y  $d$ = disminución relativa en el número de células a medida que avanza la lactación.

## Resultados

Los modelos mejor evaluados, de acuerdo con los criterios de selección, fueron Wood, Wilmink, Ali-Schaeffer y Pollot modificado. En el Cuadro 1 se muestran los resultados de los cuatro modelos y los valores de los criterios de selección para estimar las curvas de producción láctea para el ganado Holstein en México en el sistema de producción intensiva. En la mayoría de los criterios el modelo de Wilmink es el que presenta mejores resultados.

**Cuadro 1:** Parámetros de selección de los modelos Wood, Wilmink, Ali- Schaeffer y Pollot modificado en ganado Holstein en México

Modelos	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	RSE	LogL	AIC	AICC	BIC	DW
Wood	0.1378	0.138	8.911	-4998010	9996029	9996025	9996078	0.555
Wilmink	0.1381	0.138	8.910	-4997858	9995726	9995721	9995786	0.555
Ali-Schaeffer	0.1380	0.138	8.911	-4997941	9995894	9995888	9995967	0.555
Pollot modificado	0.1381	0.138	8.910	-4997874	9995758	9995753	9995819	0.555

R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación, R<sup>2</sup>adj= coeficiente de determinación ajustado, RSE= error estándar del residual, LogL= logaritmo de verosimilitud, AIC= criterio de información de Akaike, AICC= criterio de información corregida de Akaike, BIC= criterio de información bayesiano, DW= coeficiente de Durbin Watson.

En el Cuadro 2 se observan los resultados de la prueba de ANOVA y Tukey para los parámetros de los cuatro modelos seleccionados, diferenciando por el número de lactación, y la media de todos los animales. En el modelo de Wood, se observa que los estimadores *a*, *b* y *c* son estadísticamente diferentes entre los diferentes números de lactación, a excepción del estimador *c* para las lactaciones 3 y 4 o más. Además, se presentan los valores de persistencia, pico de producción y días al pico para cada una de las lactaciones.

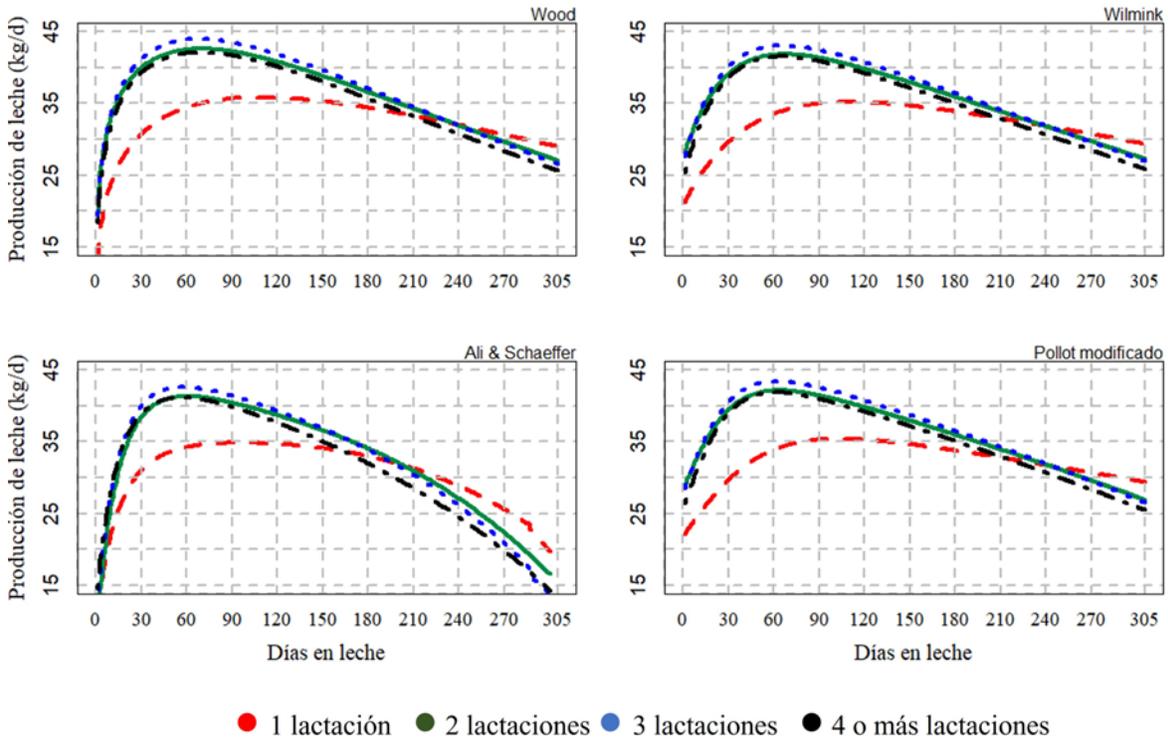
En lo que respecta al modelo de Wilmink, el parámetro *a* de la lactación 1 resultó distinto en las lactaciones 2 y 3, que a su vez se diferenciaron del obtenido para 4 o más lactaciones. En cuanto al parámetro *b* y *k*, no hubo diferencias significativas entre los grupos, mientras que en el parámetro *c*, las lactaciones 2 y 4 son iguales entre ellas, pero distintas al resto. En el modelo de Ali & Schaeffer se observa que los parámetros *a*, *b*, *c*, *d* y *f* en las lactaciones 1 y 4 son estadísticamente diferentes a los de las lactaciones 2 y 3.

Para el modelo de Pollot modificado se observa que el parámetro *a* es distinto entre la primera, cuarta y segunda-tercera lactación; en cuanto al parámetro *c*, el de la primera lactación es distinto al de todas las demás; en lo que respecta a los parámetros *b* y *d* son diferentes entre cada una de las lactaciones.

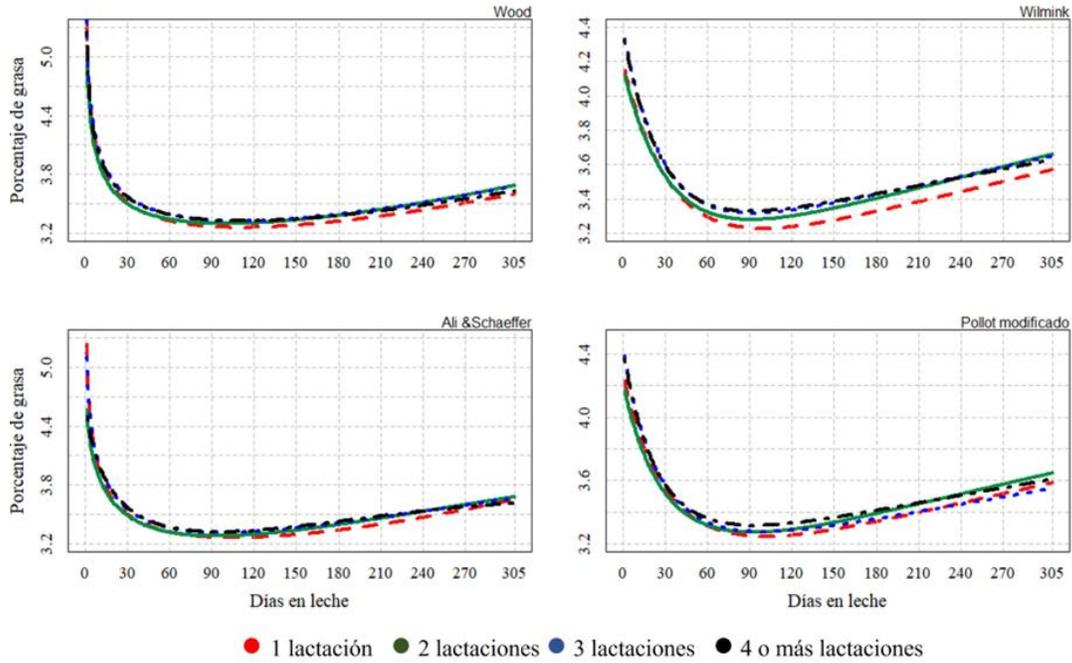
En el cuadro 2 también se observan los valores estimados de persistencia, producción al pico en kilogramos y días al pico por lactación para Wood, Wilmink, Ali-Schaeffer y Pollot modificado por número de parto, así como la media de todos los animales. En la Figura 1 se presentan las curvas de lactación para cada uno de los modelos.

En la evaluación de factores que afectan la curva de lactación presentados en el Cuadro 2, se encontró que el número de parto, época de parto y hato son significativos ( $P < 0.05$ ) en los modelos usados, a excepción de hato en el de Ali Schaeffer. En el Cuadro 3 se observan los parámetros para grasa y proteína con los diferentes modelos empleados, donde se puede observar que todos los parámetros son distintos entre los números de parto ( $P < 0.05$ ). En el Cuadro 4 se observan las estimaciones para los componentes de la curva con los diferentes modelos; mientras que en las Figuras 2 y 3 se muestran las curvas calculadas para grasa y proteína, respectivamente. En el modelo de Pollot modificado para proteína, en las lactaciones 3 y 4 o más, los parámetros no modelaron una curva, por lo que no fue posible obtener los días al pico, producción al pico y persistencia.

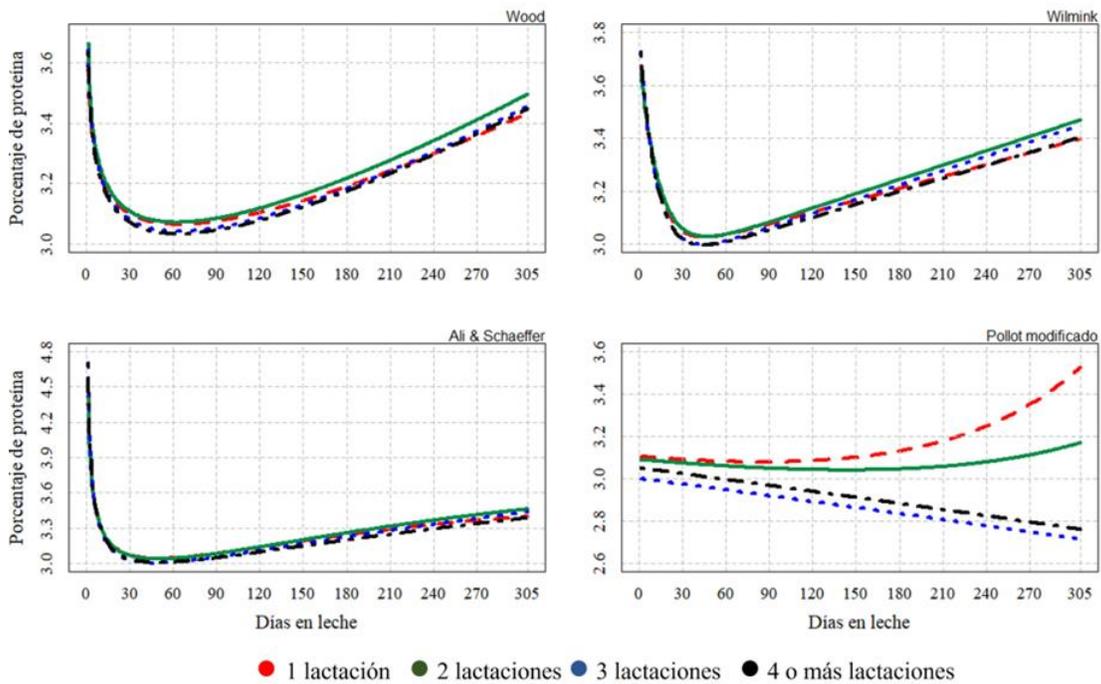
**Figura 1:** Curvas de lactación para producción de leche por número de lactación con los modelos de Wood, Wilmink, Ali & Schaeffer y Pollot modificado



**Figura 2:** Curvas de lactación para porcentaje de grasa en leche por número de lactación con los modelos de Wood, Wilmink, Ali & Schaeffer y Pollot modificado



**Figura 3:** Curvas de lactación para porcentaje de proteína en leche por número de lactación con los modelos de Wood, Wilmink, Ali & Schaeffer y Pollot modificado



## Discusión

El error cuadrático de la media fue similar entre los diversos modelos, siendo ligeramente menor en la primera lactación. Lo mismo sucede con los demás criterios de selección del modelo, siendo ligeramente mejor el modelo de Wilmink.

Los parámetros obtenidos mediante el modelo propuesto por Wood son diferentes en los números de lactación, resultados que distan de los encontrados por Duque *et al.*<sup>(16)</sup> con el modelo de Wood en el trópico colombiano con ganado Holstein en pastoreo. Duque *et al.* (2018) estimaron una media del parámetro  $b$  (0.12) y producción al pico (26.5 kg) menores a lo encontrado en el presente estudio, lo mismo sucede con los días en llegar a la máxima producción entre los diferentes números de lactaciones (entre 28 a 32 días). Es sabido que la producción láctea en trópico suele ser menor debido a diversos factores que limitan la producción, como la temperatura, donde las vacas Holstein no se adaptan de manera adecuada en climas cálidos, aunado a esto, al estar en un sistema extensivo, la alimentación en pastoreo suele variar en las distintas épocas del año. En cuanto a la persistencia, tuvieron valores más altos (66 al 82 %) en comparación a lo que se reporta en este estudio, que va del 15 al 19 %. Esto puede deberse a que están sometidos a un menor estrés de producción, además de la variación en la alimentación dependiente de la época del año y el estrés calórico.

En un estudio realizado por Vázquez *et al.*<sup>(17)</sup>, donde evaluaron vacas en su mayoría de la raza Holstein bajo un sistema intensivo en Lima Perú, los valores de los parámetros  $a$  y  $c$  del modelo de Wood entre las diferentes lactaciones (16.41 a 18.11, y 0.0023 a 0.004, respectivamente), así como la producción al pico (31.13 a 43.91 kg) son similares a lo encontrado en la población Holstein de México. En ambos estudios los animales estuvieron sometidos a sistemas de producción intensivos, y las condiciones climáticas son similares, corresponden a un clima subtropical desértico. Para el parámetro  $b$  y los días al pico de producción, Vázquez *et al.*<sup>(17)</sup> muestran valores más bajos (0.1880 a 0.3043 y 66 a 82 días, respectivamente). Esta diferencia podría atribuirse al hecho de que las vacas en el estudio de Perú se ordeñaron 3 veces al día, por lo que la cantidad leche producida en la primera etapa de la curva aumenta en comparación de las vacas que se ordeñan 2 veces al día, como es el caso, de la mayoría de la población mexicana.

En un estudio realizado por Boujenane & Btissam<sup>(18)</sup> en hatos de producción semi intensiva en Marruecos con animales Holstein, los resultados presentan algunas diferencias con respecto a este trabajo. Los valores por lactación que reportan en Marruecos para el parámetro  $a$  en los tres primeros partos (15.9, 16.9 y 17.2, respectivamente), presentan un mayor valor, especialmente para los animales de primer parto. La media del parámetro  $b$  (0.1039) es la que presenta la mayor diferencia, lo cual se ve reflejado en los resultados de

cada una de las lactaciones, donde también son mayores (0.073, 0.091 y 0.096 para la primera, segunda y tercera lactación). En el mismo estudio el parámetro  $c$  es ligeramente mayor en cada una de las lactaciones.

En lo que respecta a los componentes de la lactación, se muestran diferencias en ambos estudios. Los tres componentes mostrados por Boujenane & Btissam<sup>(18)</sup> (41.4 para días al pico, 23.6 para producción al pico y 6.56 para persistencia) son menores a lo encontrado en el presente trabajo (Cuadro 2), especialmente en los días y rendimiento al pico. Lo anterior posiblemente causado por el sistema de producción semi-intensivo y las altas temperaturas que presenta el país africano. De forma general, la producción en los animales del estudio marroquí es menor.

En lo que respecta al porcentaje de grasa, Gołębiewski *et al*<sup>(19)</sup> realizaron un estudio en ganado Holstein en Polonia, reportan valores para los parámetros con el modelo de Wood  $a$ ,  $b$  y  $c$  de 3.05, -0.07 y 0.04, respectivamente; y para porcentaje de proteína, reportan para los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $c$  un valor de 4.59, -0.19 y 0.04, valores similares a lo encontrado en la población Holstein de México (Cuadro 3). Tanto los animales Holstein polacos y mexicanos en ambos estudios estuvieron bajo un sistema intensivo, por lo que las condiciones ambientales son similares.

En lo que respecta al modelo de Wilmink, los resultados presentados por Bouallegue *et al*<sup>(20)</sup> en vacas Holstein en Túnez, el valor de los parámetros difiere a lo obtenido en la población Holstein Mexicana. Los autores muestran valores cercanos a 28 y -7 para los parámetros  $a$  y  $b$ ; el parámetro  $c$  fue similar (-0.3), mientras que el valor de  $k$  fue fijado a 0.05. Los valores calculados en el presente estudio para pico de producción y días al pico (Cuadro 4) fueron mayores a los presentados por los autores (26 kg y 48 días). En cuanto a la persistencia, ellos reportan valores alrededor del 94 %. El número de animales que usaron en el estudio fue reducido (5,649), donde los autores mencionan que se sugiere una mayor cantidad de datos, la principal diferencia de las vacas en el estudio de Túnez con el de la población mexicana fue temperatura. Las primeras estuvieron sometidas a estrés calórico debido al clima en Túnez, lo cual puede mermar la producción en bovinos Holstein, ya que los animales de esta raza suelen no adaptarse bien a este tipo de condiciones climáticas.

En cuanto a la paridad, los resultados encontrados en este estudio son similares a los reportados por Bouallegue *et al*<sup>(20)</sup>, con lo que se reitera que el número de lactación es una fuente significativa de variación, mostrando diferencias en animales con 1, 2 y 3 o más partos, debido a que animales de primer parto no han completado el proceso de maduración de la glándula mamaria, por lo que su producción suele ser menor a posteriores lactaciones. Además, Bouallegue *et al*<sup>(20)</sup> recomiendan que se use la edad al parto como fuente de variación. En cuanto el hato como factor que afecta las curvas de lactación, los

mencionados autores encontraron que es significativo, atribuyéndole un 30 % de la variación en la producción láctea. Esto resalta la importancia de las condiciones ambientales en la modelación de la curva de producción, las cuales son distintas entre los hatos.

Los parámetros de porcentaje de proteína presentan poca similitud con respecto a lo reportado en el presente trabajo (Cuadro 4). Ejemplo de ello son los resultados de pico y días al pico mostrados de los animales de Túnez (2.84 % y 53.4 días, respectivamente) que son menores con respecto a la población mexicana. Para porcentaje de grasa, las mayores diferencias con respecto a este estudio se observan en el parámetro  $b$  (1.19) donde los autores presentan valores ligeramente mayores; mientras que los días al pico (50.63) que presentan son mucho menores a lo encontrado en este estudio (Cuadro 4). Las diferencias en algunos resultados para proteína y grasa pueden deberse a altas temperaturas del Mediterráneo a la que estuvieron expuestos los animales; aunque el porcentaje de grasa tiende a variar menos por las condiciones ambientales y durante la lactación que el porcentaje de proteína.

Torshizi *et al*<sup>(7)</sup> encontraron que en vacas Holstein de primer parto en sistemas de producción intensiva en Irán, que el hato y la época de parto son fuentes de variación significativas usando el modelo de Wilmlink para modelar curvas de lactación, similar a lo encontrado en la población de México. Además, usaron 4 valores fijos para el parámetro  $k$  en sus análisis (0.05, 0.065, 0.61, 0.10), siendo el primero el que arrojó una correlación entre los valores de producción observados y los predichos más altos.

En lo que respecta a los demás parámetros, también distan en gran magnitud, siendo más evidente en los parámetros  $b$  y  $c$  (-20.227 y -0.036). El día al pico y producción al pico (66 días y 32 kg, respectivamente) son menores en las vacas iraníes. Estas diferencias pueden deberse a la longitud de las lactaciones, pues en el estudio de Torshizi *et al*<sup>(7)</sup> se incluyeron animales con ciclos productivos ajustados a 200 días, contrario a lo usual en México, que es ajustar a 305 días, y producciones mínimas de 3 kg de leche. Esto debido a la variación en la producción que tienen por cuestiones climáticas. Los autores mencionan que el mejor modelo para animales de primer parto es el de Wood.

Resultados presentados por Gök *et al*<sup>(21)</sup> con vacas Holstein de primer parto en la provincia turca de Konya, donde usaron el modelo de Ali-Schaeffer, muestran valores similares a los encontrados en el presente estudio para el parámetro  $b$  (138). En cuanto a los parámetros  $a$  y  $f$ , estos autores muestran valores mayores (-51.92 y -3.62), mientras que las estimaciones para los parámetros  $c$  y  $d$  (-648.66 y 32.68) son menores en comparación con lo encontrado en la población Holstein Mexicana (Cuadro 4). De la misma forma, los días al pico y la producción al pico son menores en los animales de Konya. La principal diferencia con este estudio fue el sistema de producción. Los animales turcos estaban bajo un sistema de pastoreo, y donde el clima suele ser extremo en las diversas estaciones del año.

Koçak & Ekiz<sup>(15)</sup> en su estudio realizado en ganado Holstein de Turquía, en donde clasificaron los animales por el número de lactación (de la 1 a la 3), usando el modelo de Ali-Schaeffer, reportaron valores para el parámetro  $b$  de (165.3, 259.3 y 280.9) y  $c$  (-101.3, -121.1 y -127.0, respectivamente) similares a los encontrados en este estudio (Cuadro 2). Mientras que el resto de los parámetros fueron mayores en el estudio realizado en Turquía (-49.0, -55.7 y -50.7 para  $a$ ; 103.36, 126.97 y 41.58 para  $c$ ; -0.10, -6.91 y -14.71 para  $f$ ). Estas diferencias en los parámetros se reflejan en los días al pico, donde las vacas turcas tienen su máxima producción (74.94, 47.62 y 39.62 para la primera, segunda y tercera lactación, respectivamente) antes que las vacas mexicanas, a pesar de que las producciones en esta etapa son similares. Los animales en el estudio de Koçak & Ekiz<sup>(15)</sup> pertenecían a sistemas de producción semi-intensivo y eran ordeñadas tres veces al día, donde a pesar de las altas temperaturas ambientales, los alojamientos contaban con sistemas de regulación de la temperatura, a diferencia de lo ocurrido en México, donde no se suelen controlar las condiciones del ambiente en los animales.

Por otra parte, Nanda *et al*<sup>(22)</sup> en su estudio realizado en un hato estabulado en Indonesia, donde modelaron las curvas usando el modelo de Ali & Schaeffer por número de parto (del 1 al 4). Los parámetros  $a$ ,  $c$  y  $f$  en cada una de las lactaciones de las vacas en Java resultaron más altos que los parámetros calculados en el presente estudio (-40.79, -16.19, -20.86 y -26.89 para  $a$ ; -16.50, -7.06, -14.74 y -25.00 para  $c$ ; -6.83, -4.59, -4.52 y -4.59 para  $f$ ) en lo que respecta a los parámetros  $b$  y  $d$  ellos reportan menores valores (68.32, 32.87, 44.25 y 59.15 para  $b$ ; 38.85, 24.43, 25.52 y 26.83 para  $d$ ). Estos valores pueden representar que las curvas de los animales del estudio en Indonesia presenten el pico de producción en menor tiempo y con menor rendimiento que la población mexicana. El clima cálido y húmedo propio de la isla de Java puede ser un factor importante que explique las diferencias en las curvas, pues estos animales no estaban alojados en sitios donde se tuviera control de la temperatura.

Adediran *et al*<sup>(23)</sup> en vacas Holstein en Australia bajo un sistema de pastoreo en un clima cálido, usaron el modelo modificado de Pollot, y encontraron que el parámetro  $a$  (13.36) fue menor al obtenido en el presente trabajo, mientras que el parámetro  $b$  fue mayor (1.23). Los parámetros  $c$  y  $d$  (2.80 y 0.0012) resultaron similares en ambos estudios. La principal diferencia con la población mexicana es el tipo de sistema de producción. En el estudio en Australia, al estar los animales en pastoreo, se tiene menor control de las condiciones ambientales, aunado al calor intenso que reportan los autores, lo que puede limitar la producción láctea, a diferencia de la población de este estudio que estaba en un sistema estabulado.

La información de los parámetros de las curvas de producción de grasa y proteína con los distintos modelos es escasa, especialmente para Ali-Schaeffer y Pollot modificado, por lo que los resultados se compararon con otros modelos, pero cabe señalar que los resultados

presentados en este estudio servirán de referencia para estas características en sistemas de producción intensiva.

## **Conclusiones e implicaciones**

De los modelos evaluados en el presente trabajo, el propuesto por Wilmink fue el que mejor se ajustó a los datos de la población Holstein de México. La importancia de elegir un modelo que mejor se adapte a la información radica en obtener predicciones más precisas que se traduce en valores más cercanos a la realidad. Además, en el estudio se evaluaron factores ambientales como número de parto, época de parto y hato fueron significativos para la modelación de las curvas de lactación, por lo que es indispensable contemplarlos como una fuente de variación en las predicciones realizadas con los distintos modelos. En futuras investigaciones se podría indagar sobre otros factores ambientales que puedan afectar las curvas. La aplicación práctica de la modelación de las curvas de lactación es basta, incluido el mejoramiento genético, por lo que tener identificadas fuentes ambientales de variación y elegir el modelo más adecuado permitirá seleccionar a los animales con un mayor valor genético.

**Cuadro 2:** Parámetros de los modelos de lactación días al pico (Dpico), pico de producción (Pico) y persistencia de la curva (Persistencia) para Wood, Wilmink, Ali-Schaeffer y Pollot modificado por número de lactación

Lactación		Parámetros						Componentes de la curva de lactación			ECM (kg)
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>k</i>	<i>f</i>	Dpico	Pico	Persistencia	
Wood	Media	14.600	0.380	0.004	-	-	-	85.020	41.140	16.990	
	1	11.920 <sup>a</sup>	0.370 <sup>a</sup>	0.003 <sup>a</sup>	-	-	-	102.970	36.780	15.970	7.27
	2	16.120 <sup>b</sup>	0.380 <sup>b</sup>	0.004 <sup>b</sup>	-	-	-	76.620	43.400	17.730	8.27
	3	15.770 <sup>c</sup>	0.400 <sup>c</sup>	0.005 <sup>c</sup>	-	-	-	74.870	44.370	19.260	9.29
	4 o más	16.290 <sup>d</sup>	0.370 <sup>d</sup>	0.005 <sup>c</sup>	-	-	-	72.760	42.990	15.560	9.64
Wilmink	Media	258.040	-316.000	-0.337	-	0.027	-	85.940	42.100	-47.440	
	1	282.120 <sup>a</sup>	-192.180 <sup>a</sup>	-0.320 <sup>a</sup>	-	0.017 <sup>a</sup>	-	107.340	37.340	-36.0050	7.27
	2	250.040 <sup>b</sup>	-432.310 <sup>a</sup>	-0.340 <sup>b</sup>	-	0.033 <sup>a</sup>	-	75.010	44.560	-54.240	8.87
	3	243.320 <sup>b</sup>	-453.410 <sup>a</sup>	-0.350 <sup>c</sup>	-	0.038 <sup>a</sup>	-	72.250	46.110	-53.510	9.29
	4 o más	227.920 <sup>c</sup>	-317.580 <sup>a</sup>	-0.330 <sup>b</sup>	-	0.041 <sup>a</sup>	-	69.480	44.260	-55.730	9.64
Ali & Schaeffer	Media	-91.640	184.090	-77.400	93.570	-	-20.680	87.250	39.990	9.270	
	1	-69.020 <sup>a</sup>	159.520 <sup>a</sup>	-72.310 <sup>a</sup>	70.810 <sup>a</sup>	-	-15.530 <sup>a</sup>	116	34.870	5.930	7.27
	2	-127.120 <sup>b</sup>	233.080 <sup>b</sup>	-93.630 <sup>b</sup>	120.330 <sup>b</sup>	-	-26.300 <sup>b</sup>	79	41.330	9.690	8.87
	3	-138.560 <sup>b</sup>	247.320 <sup>b</sup>	-98.880 <sup>b</sup>	130.450 <sup>b</sup>	-	-28.620 <sup>b</sup>	79	42.610	10.930	9.29
	4 o más	-74.110 <sup>a</sup>	151.350 <sup>a</sup>	-67.760 <sup>a</sup>	86.210 <sup>a</sup>	-	-19.600 <sup>a</sup>	75	41.160	10.540	9.64
Pollot modificado	Media	99.250	-31.930	2.95 <sup>c</sup>	-0.001	-	-	72.250	40.710	5.720	
	1	105.300 <sup>a</sup>	-37.620 <sup>a</sup>	1.850 <sup>a</sup>	-0.000 <sup>a</sup>	-	-	103	35.420	2.980	7.27
	2	97.800 <sup>b</sup>	-50.650 <sup>b</sup>	3.740 <sup>b</sup>	-0.001 <sup>b</sup>	-	-	63	42.150	6.280	8.87
	3	94.170 <sup>b</sup>	-64.980 <sup>c</sup>	3.940 <sup>b</sup>	-0.001 <sup>c</sup>	-	-	62	43.420	6.940	9.29
	4 o más	89.350 <sup>c</sup>	-35.810 <sup>d</sup>	3.370 <sup>b</sup>	-0.001 <sup>d</sup>	-	-	61	41.860	6.700	9.64

Dpico= días al pico, Pico= producción al pico, ECM= error cuadrático medio.

<sup>abcd</sup> Diferencias significativas a  $P < 0.05$ .

**Cuadro 3:** Parámetros de los modelos de lactación para porcentaje de proteína y grasa con los modelos de Wood, Wilmink, Ali Schaeffer y Pollot modificado por lactación para los modelos con mejor bondad de ajuste

		Proteína								Grasa					
		Parámetros						ECM (kg)	Parámetros						ECM (kg)
Lactaciones		a	b	c	d	k	f		a	b	c	d	k	f	
Wood	Media	3.630	-0.055	0.0009	-	-	-		5.250	-0.126	0.001	-	-	-	
	1	3.600 <sup>a</sup>	-0.051 <sup>a</sup>	0.0008 <sup>a</sup>	-	-	-	0.24	5.310 <sup>a</sup>	-0.132 <sup>a</sup>	0.001 <sup>a</sup>	-	-	-	0.62
	2	3.660 <sup>b</sup>	-0.056 <sup>b</sup>	0.0009 <sup>b</sup>	-	-	-	0.26	5.080 <sup>b</sup>	-0.120 <sup>b</sup>	0.001 <sup>b</sup>	-	-	-	0.65
	3	3.640 <sup>c</sup>	-0.057 <sup>c</sup>	0.0009 <sup>c</sup>	-	-	-	0.26	5.370 <sup>c</sup>	-0.130 <sup>c</sup>	0.001 <sup>c</sup>	-	-	-	0.66
	4 o más	3.630 <sup>d</sup>	-0.057 <sup>d</sup>	0.0009 <sup>d</sup>	-	-	-	0.27	5.250 <sup>d</sup>	-0.123 <sup>d</sup>	0.001 <sup>d</sup>	-	-	-	0.67
Wilmink	Media	2.920	0.832	0.001	-	0.082	-		3.040	1.201	0.001	-	0.032	-	
	1	2.940 <sup>a</sup>	0.798 <sup>a</sup>	0.001 <sup>a</sup>	-	0.084 <sup>a</sup>	-	0.24	2.960 <sup>a</sup>	1.221 <sup>a</sup>	0.002 <sup>a</sup>	-	0.029 <sup>a</sup>	-	0.62
	2	2.920 <sup>b</sup>	0.799 <sup>b</sup>	0.001 <sup>b</sup>	-	0.075 <sup>b</sup>	-	0.26	3.020 <sup>b</sup>	1.138 <sup>b</sup>	0.002 <sup>b</sup>	-	0.031 <sup>b</sup>	-	0.65
	3	2.900 <sup>c</sup>	0.90 <sup>c</sup>	0.001 <sup>c</sup>	-	0.087 <sup>c</sup>	-	0.26	3.100 <sup>c</sup>	1.276 <sup>c</sup>	0.001 <sup>c</sup>	-	0.035 <sup>c</sup>	-	0.66
	4 o más	2.900 <sup>d</sup>	0.89 <sup>d</sup>	0.001 <sup>d</sup>	-	0.087 <sup>d</sup>	-	0.27	3.140 <sup>d</sup>	1.230 <sup>d</sup>	0.001 <sup>d</sup>	-	0.037 <sup>d</sup>	-	0.67
Ali & Schaeffer	Media	3.090	0.657	-0.284	-0.230	-	0.083		1.980	2.151	-0.400	0.59	-	-0.01	
	1	2.950 <sup>a</sup>	0.913 <sup>a</sup>	-0.441 <sup>a</sup>	-0.150 <sup>a</sup>	-	0.06 <sup>a</sup>	0.24	2.650 <sup>a</sup>	0.864 <sup>a</sup>	0.249 <sup>a</sup>	0.23 <sup>a</sup>	-	0.03 <sup>a</sup>	0.62
	2	2.940 <sup>b</sup>	0.917 <sup>b</sup>	-0.355 <sup>b</sup>	-0.150 <sup>b</sup>	-	0.07 <sup>b</sup>	0.26	1.700 <sup>b</sup>	2.648 <sup>b</sup>	-0.594 <sup>b</sup>	0.75 <sup>b</sup>	-	-0.04 <sup>b</sup>	0.65
	3	3.380 <sup>c</sup>	0.148 <sup>c</sup>	-0.037 <sup>c</sup>	-0.420 <sup>c</sup>	-	0.11 <sup>c</sup>	0.26	1.980 <sup>c</sup>	2.288 <sup>c</sup>	-0.537 <sup>c</sup>	0.59 <sup>c</sup>	-	-0.09 <sup>c</sup>	0.66
	4 o más	3.360 <sup>d</sup>	0.117 <sup>d</sup>	-0.045 <sup>d</sup>	-0.400 <sup>d</sup>	-	0.10 <sup>d</sup>	0.27	0.930 <sup>d</sup>	4.138 <sup>d</sup>	-1.439 <sup>d</sup>	1.18 <sup>d</sup>	-	-0.09 <sup>d</sup>	0.67
Pollot modificado	Media	2.940	-0.044	-0.004	-0.0004	-	-		2.960	-0.312	0.025	0.0008	-	-	
	1	2.860 <sup>a</sup>	-0.079 <sup>a</sup>	-0.004 <sup>a</sup>	-	-	-	0.25	2.890 <sup>a</sup>	-0.323 <sup>a</sup>	0.022 <sup>a</sup>	0.0009 <sup>a</sup>	-	-	0.63
	2	2.970 <sup>b</sup>	-0.039 <sup>b</sup>	-0.005 <sup>b</sup>	0.0006 <sup>a</sup>	-	-	0.27	2.940 <sup>b</sup>	-0.302 <sup>b</sup>	0.025 <sup>b</sup>	0.0009 <sup>b</sup>	-	-	0.66
	3	3.000 <sup>c</sup>	-0.019 <sup>c</sup>	-0.003 <sup>c</sup>	-	-	-	0.45	3.040 <sup>c</sup>	-0.316 <sup>c</sup>	0.028 <sup>c</sup>	0.0007 <sup>c</sup>	-	-	0.68
	4 o más	3.050 <sup>d</sup>	-0.000 <sup>d</sup>	-0.002 <sup>d</sup>	0.0002 <sup>b</sup>	-	-	0.44	3.090 <sup>d</sup>	-0.302 <sup>d</sup>	0.030 <sup>d</sup>	0.0006 <sup>d</sup>	-	-	0.67
				-											
				0.0004 <sup>c</sup>											
				-											
				0.0003 <sup>d</sup>											

ECM= error cuadrático de la media. <sup>abcd</sup> Diferencias significativas a  $P < 0.05$ .

**Cuadro 4:** Días al pico, rendimiento al pico y persistencia para porcentaje de proteína y grasa en leche con los modelos de Wood, Wilmink, Ali-Schaeffer y Pollot modificado

Modelo	Número de lactación	Componentes de la curva de lactación			Componentes de la curva de lactación		
		Proteína			Grasa		
		Días al pico	Rendimiento al pico (%)	Persistencia	Días al pico	Rendimiento al pico (%)	Persistencia
Wood	Media	60.890	3.050	1.670	103.130	3.050	1.420
	1	61.020	3.030	1.690	105.290	3.030	1.410
	2	59.950	3.080	1.670	97.370	3.080	1.440
	3	60.040	3.090	1.670	105.650	3.090	1.410
	4 o más	63.340	3.050	1.660	106.120	3.050	1.430
Wilmink	Media	44.650	3.020	17.820	92.650	3.280	19.850
	1	44.370	3.030	16.480	97.270	3.250	21.110
	2	46.030	3.030	19.140	89.430	3.270	21.510
	3	43.190	3.000	19.020	91.050	3.310	17.770
	4 o más	44.320	2.990	17.180	85.5500	3.330	15.990
Ali & Schaeffer	Media	49.250	3.010	0.150	49.250	3.010	0.150
	1	50	3.040	0.140	105	3.260	0.190
	2	50	3.030	0.160	93	3.270	0.180
	3	47	3.000	0.160	97	3.310	0.160
	4 o más	50	3.000	0.140	90	3.320	0.130
Pollot modificado	Media				96.50	3.270	0.140
	1	85	3.07	0.20	101	3.24	0.16
	2	144	3.04	0.08	92	3.27	0.17
	3	-	-	-	99	3.27	0.13
	4 o más	-	-	-	93	3.31	0.13

**Literatura citada:**

1. Gipson TA, Grossman M. Lactation curves in dairy goats: a review. *Small Ruminant Res* 1989;(3):383-396.
2. Quintero JC, Serna JI, Hurtado NA, Rosero N, Cerón MM. Modelos matemáticos para curvas de lactancia en ganado lechero. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2007;20(2):149–156.
3. Human P, Almeyda J, Isique J. Modelación de la curva de lactación de vacas Gir y cruces Gir por Holstein (F-1) en el trópico peruano. *Ann Cient U.N.A.* 2018;79(2):511-518.
4. Palacios EA, Domínguez VJ, Padrón QY, Rodríguez CM, Espinoza J, Avila SI. Caracterización de la curva de lactancia de bovinos Siboney con modelos no lineales mixtos. *Rev Mex Cienc Pecu* 2016;7(2):233-242.
5. Castillo M, Alpizar A, Padilla J, Keim J. Efecto de la edad a primer servicio, número y época de parto sobre el comportamiento de la curva de lactancia en vacas jersey. *Nutrición Animal Trop* 2017;11(2):1-22.
6. Centoducati P, Maggiolino A, De-Palo P, Tateo A. Application of Wood's model to lactation curve of Italian Heavy Draft horse mares. *J Dairy Sci* 2012;95(1):5770–5775.
7. Torshizi M, Aslamenejad A, Nassiri M, Farhangfar H. Comparison and evaluation of mathematical lactation curve functions of Iranian primiparus Holsteins. *S Afr J Anim Sci* 2011;41(2):104-116.
8. Pollot G. A biological approach to lactation curve analysis for milk yield. *J Dairy Sci* 2000;83:2448–2458.
9. Pollot G, Gootwine E. Appropriate mathematical models for describing the complete lactation of dairy sheep. *Anim Sci* 2000;(81):197-207.
10. RR Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023 <https://www.R-project.org/>
11. Strucken EM. Lactcurves: Lactation Curve Parameter Estimation. R package version 1.1.0. 2021.
12. SAS Institute Inc 2013. SAS/ACCESS® 9.4 Interface to ADABAS: Reference. Cary, NC: SAS Institute Inc.
13. Elahi TM, Hosseinpour MM. Estudio de la persistencia del rendimiento de la leche utilizando las metodologías de predicción y regresión aleatoria en vacas lecheras Holstein iraníes. *Cuban J Agric Sci* 2018;52(2):2079-3480.

14. Bouallegue M, M'hamdi N, Ben M, Haddad B. Study of non-genetic factors on the shape of lactation curves for milk yield, fat and protein percents of Holstein Friesian cows under hot Mediterranean climate. *Arch Zootech* 2014;17(1):55-75.
15. Koçak O, Ekiz B. Comparison of different lactation curve models in Holstein cows raised on a farm in the south-eastern Anatolia region. *Archiv fur Tierzucht* 2008;51(4):329-337.
16. Duque N, Casellas J, Quijano J, Casals R, Such J. Ajuste de curvas de lactación en un rebaño Holstein Colombiano usando modelos no lineales. *Rev Fac Nac Agron Medellín* 2018;71(2):8459-8468.
17. Vázquez A, García E, Sessarego E, Chagray N. Modelación de la curva de lactación en vacas Holstein de un establo en el Valle de Huaura, Perú. *Rev Investig Vet Perú* 2021;32(1):1-13.
18. Boujenane I, Btissam H. Genetic and non-genetic effects for lactation curve traits in Holstein-Friesian cows. *Archiv Tierzucht* 2012;55(1):450-457.
19. Gołębiewski M, Brzozowski P, Gołębiewski L. Analysis of lactation curves, milk constituents, somatic cell count and urea in milk of cows by the mathematical model of Wood. *Acta Vet Brno* 2010;(8):73-80.
20. Bouallegue M, M'hamdi N, Ben M, Haddad B. Study of non-genetic factors on the shape of lactation curves for milk yield, fat and protein percents of Holstein Friesian cows under hot Mediterranean climate. *Arch Zootech* 2014;17(1):55-75.
21. Gök T, Mikail N, Akkol S. Analysis of the first lactation curve in Holstein cows with different mathematical models. *KSÜ Tarımve Doğa Derg* 2019;22(4):601-608.
22. Nanda E, Salman L, Indrijani H, Tasripin D, Anag A. Comparison of five different lactation curve models to estimate milk yield of Friesian Holstein cows at BBPTU HPT Baturraden. *Conf. Series: Earth Environmental Sci* 2019;334.
23. Adediran SA, Ratkowsky DA, Donaghy DJ, Malau-Aduli AEO. Comparative evaluation of a new lactation curve model for pasture-based Holstein-Friesian dairy cows. *JDS* 2012;95(9):5344-5356.



## Aceite de maíz en la transferencia de embriones de ovejas Pelibuey



Christofer Israel Márquez Hernández <sup>a</sup>

Arturo Pro Martínez <sup>b</sup>

Glaforo Torres Hernández <sup>b</sup>

Raymundo Rangel Santos <sup>a</sup>

Jaime Gallegos Sánchez <sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Chapingo. México.

<sup>b</sup> Colegio de Posgraduados. Programa de Ganadería, Montecillo, Texcoco, Estado de México. México.

\* Autor de correspondencia: gallegos@colpos.mx

### Resumen:

Se evaluó el efecto de la inclusión de aceite de maíz (AM) en la dieta de ovejas Pelibuey en un protocolo de transferencia de embriones. Veinticuatro ovejas donadoras fueron asignadas al azar a cada uno de dos grupos (G), G1: doce ovejas alimentadas con una dieta base (DB) con AM y, G2: doce ovejas alimentadas con DB sin AM. Los embriones fueron obtenidos 6.5 días después del estro y transferidos a ovejas receptoras formando cuatro tratamientos: T1: receptoras alimentadas con dieta base con AM (DB+AM) transferidas con embriones de una donadora del G1 (n=23), T2: receptoras alimentadas con DB sin AM (DB-AM) transferidas con embriones de una donadora del G1 (n=18), T3: receptoras alimentadas con DB+AM transferidas con embriones de una donadora del G2 (n=9) y T4: receptoras alimentadas con DB-AM transferidas con embriones de una donadora del G2 (n=11). La inclusión de AM en la dieta incrementó ( $P<0.05$ ) la tasa ovulatoria ( $10.5 \pm 2.07$  vs  $6.3 \pm 2.07$  cuerpos lúteos), el número de embriones transferibles ( $5.5 \pm 1.4$  vs  $2.8 \pm 1.4$ ), embriones calidad 1 ( $4.41 \pm 1.1$  vs  $2.08 \pm 1.1$ ) y la cantidad de estructuras totales ( $5.9 \pm 1.5$  vs  $3.1 \pm 2.7$ )

por oveja donadora, y no se encontraron diferencias ( $P>0.05$ ) en el porcentaje de gestación (43.4, 55.5, 55.5 y 36.3 %) en las receptoras para ninguno de los tratamientos. La inclusión de AM en la dieta de ovejas Pelibuey incrementa la respuesta superovulatoria en un protocolo de transferencia de embriones.

**Palabras clave:** Aceite de maíz, ovejas Pelibuey, Embriones.

Recibido: 02/05/2023

Aceptado: 15/05/2024

## Introducción

Las tecnologías reproductivas son herramientas valiosas, que ayudan a incrementar la eficiencia productiva y económica de las unidades de producción de ovinos. Por ejemplo, la transferencia de embriones (TE) ha sido utilizada exitosamente para reproducir animales genéticamente superiores<sup>(1)</sup>. Sin embargo, a pesar de que esta tecnología ha avanzado considerablemente en las últimas décadas, la respuesta a los protocolos de superestimulación y el porcentaje de fertilidad han sido inconsistentes, por lo que las investigaciones se han enfocado en dos aspectos fundamentales: Mejorar la respuesta en la superestimulación folicular de hembras donadoras de embriones, para obtener un mayor número de embriones transferibles, y aumentar el porcentaje de gestación en las hembras receptoras.

Algunos componentes específicos de la dieta, como la energía, pueden influir positivamente en ciertos aspectos reproductivos de la hembra<sup>(2)</sup>. La suplementación con aceite de maíz (AM) con alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGP; oleico, linoleico y linolénico) puede ser utilizado para modificar algunos procesos de la fisiología del ovario en ovejas<sup>(3)</sup> debido a que estos procesos están relacionados con la disponibilidad de energía<sup>(4)</sup>. Se ha demostrado que la suplementación con AM en la dieta puede mejorar la población de folículos grandes<sup>(5)</sup> favorece el número de cuerpos lúteos<sup>(6)</sup> y la prolificidad<sup>(7)</sup>. Los AGP tienen un efecto mayor en las primeras etapas de la foliculogénesis y, por lo tanto, pueden aumentar el número de embriones obtenidos por hembras donadoras y son capaces de favorecer la tasa de concepción en vacas lecheras<sup>(8)</sup>. Con base en estos antecedentes, el objetivo de la investigación fue determinar si la inclusión de AM en la dieta de ovejas Pelibuey mejora la respuesta superestimuladora e incrementa el número de embriones transferibles en las ovejas donadoras, y mejora el porcentaje de gestación de ovejas receptoras en un programa de TE en ovejas de raza Pelibuey.

## Material y métodos

El estudio se realizó durante los meses de julio a diciembre de 2017 en el Laboratorio de Reproducción de Ovinos y Caprinos (LaROCa) del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado a 19° 29' N y 98° 53' O y 2,240 msnm<sup>(9)</sup>.

Se utilizaron 24 ovejas donadoras Pelibuey de  $3.5 \pm 0.3$  años de edad y un peso promedio de  $51.9 \pm 3.2$  kg. De este grupo, doce de ovejas recibieron una dieta base con aceite de maíz (G1), a razón de  $2.0 \text{ kg oveja}^{-1} \text{ día}^{-1}$  que consistió de: 60% heno de avena, 25% alfalfa achicalada, 6% de aceite de maíz (Mazola®) y 9% concentrado comercial (Borrega plus: Alimentos Unión Tepexpan ®); el resto de las ovejas (12) recibieron la siguiente dieta sin aceite de maíz (G2): 63% heno de avena y 26% alfalfa achicalada, 11% concentrado comercial (Borrega plus: Alimentos Unión Tepexpan ®); 12 % PC, 40 % FDA, 51 % FDN, 2.3 % EE y 9 % cenizas), las dietas experimentales fueron isoenergéticas e isoprotéicas, contenían 12 % PC y 3.2 Mcal EM, y se ofrecieron durante 16 días, desde el día tres del protocolo de sincronización de estro, hasta el día previo a la transferencia (el momento de la inserción del dispositivo intravaginal CIDR fue considerado día 0).

Como ovejas receptoras se utilizaron 61 ovejas Pelibuey de  $3.4 \pm 0.3$  años de edad y un peso promedio de  $54.6 \pm 1.2$  kg. Treinta y dos (32) ovejas recibieron la misma dieta que G1 a razón de  $2.0 \text{ kg oveja}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , el resto (29) de las ovejas recibieron la alimentación igual que G2. Las dietas experimentales se ofrecieron durante 16 días, desde el día tres del protocolo de sincronización de estro, hasta el día previo a la transferencia (momento de la inserción del CIDR fue considerado como día 0). Los tratamientos quedaron asignados de la siguiente manera (Cuadro 1):

**Cuadro 1:** Asignación de tratamientos experimentales en receptoras

Tratamientos	Descripción	N
T1	Receptoras alimentadas con DB+AM, transferidas con embriones provenientes de donadoras del G1.	23
T2	Receptoras alimentadas con DB-AM, transferidas con embriones provenientes de donadoras del G1.	18
T3	Receptoras alimentadas con DB+AM transferidas con embriones provenientes de donadoras del G2	9
T4	Receptoras alimentadas con DB-AM transferidas con embriones provenientes de donadoras del G2	11

\*DB+AM= Dieta base con aceite de maíz, DB-AM=Dieta base sin aceite de maíz.

El número de hembras receptoras en los tratamientos estuvo sujeto a la disposición de los embriones transferibles al momento del lavado de las donadoras.

Todas las ovejas se manejaron según las normas establecidas por el “Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados” y la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, con la finalidad de evitar estrés y el sufrimiento innecesario de los animales.

Todas las ovejas receptoras fueron sometidas a un protocolo de sincronización de estro, mediante la inserción de un dispositivo intravaginal (CIDR®-Pfizer), impregnado con progesterona (0.3 g de P<sub>4</sub>) durante nueve días, en el día siete se aplicaron por vía IM 300 UI de gonadotropina coriónica equina eCG (Folligon-Intervet ®) además de una dosis vía IM de 5 mg de prostaglandina F<sub>2α</sub> (Lutalyse®, Laboratorios Pharmacia Animal Health). La sincronización en las donadoras fue similar, solo se incluyó en los días 6 al 9 de la inserción del CIDR, la aplicación im de 200 mg en dosis decrecientes (40-40, 30-30, 20-20, 10-10 mg) de hormona folículo estimulante (FOLLTROPIN® Laboratorios Vetoquinol) en intervalos de 12 h entre cada aplicación (am-pm) para el proceso de superestimulación.

El día nueve del protocolo de sincronización, se retiró el CIDR y la detección de hembras en estro inició 4 h después de su retiro, con el auxilio de un carnero provisto con un mandil con la finalidad de evitar la cópula. Las ovejas donadoras que presentaron conducta de estro, se inseminaron de manera intrauterina (laparoscopia) de 12 a 18 h después del inicio del estro, y permanecieron sin alimento durante 24 h, procedimiento para reducir el contenido ruminal y evitar broncoaspiraciones<sup>(10)</sup>. Para la inseminación se utilizaron dos pajillas de 0.25 ml de semen fresco conteniendo 80 x 10<sup>6</sup> de espermatozoides por pajilla.

### **Colección y transferencia de embriones**

Las ovejas que presentaron respuesta superestimuladora (>2 cuerpos lúteos<sup>(11)</sup>) se sometieron a una colecta de embriones, 6.5 días después del estro, mediante laparotomía media ventral<sup>(12)</sup>. Para ello, las ovejas fueron expuestas a un ayuno previo de 24 h al procedimiento y se registró el número de CL presentes en cada ovario. Se aplicó un protocolo de anestesia con una combinación de xilacina (Procin ® Laboratorios Pisa) Ketamina (Anesket® Laboratorios Pisa) en una dilución 0.8:0.2, aplicado de forma intravenosa en la vena yugular. Posteriormente la oveja se preparó en la camilla colocada en un plano a 45°, se aplicó 1 ml de lidocaina (Pisacaina ® Laboratorios Pisa). Se colocaron los campos quirúrgicos y se procedió a hacer una incisión de 7 cm sobre la línea media ventral y con unas pinzas de Babcock exponer el aparato reproductor. Con ayuda de un catéter intravenoso (Punzocat ® de 32 mm) se hizo una punción en la unión útero-tubárica para ingresar al lumen del cuerno uterino; enseguida se realizó una segunda punción a nivel del ligamento intercornual para introducir

un catéter Foley No. 10. Una jeringa con 60 ml de un medio de lavado (Vigro Complete Flush Solution, Laboratorios Bioniche®) a 37 °C fue conectada al catéter intravenoso para que por arrastre los embriones fueran recolectados en cajas Petri cuadrículadas con la solución que salía por el extremo anterior de la sonda Foley. Las cajas de Petri se trasladaron al laboratorio para iniciar la búsqueda y evaluación de los embriones.

La búsqueda de los embriones se realizó con un microscopio estereoscópico (Barnstead, USA) a un aumento de 40X, de manera minuciosa, observando cada uno de los cuadrantes de la caja de Petri. Las estructuras encontradas se colocaron en una caja Petri de cuatro pozos que contenía 200 µl de medio de mantenimiento (Holding®, Laboratorios Bioniche) en cada pozo, colocadas en una platina térmica a 37 °C. Los embriones fueron evaluados y clasificados en el microscopio estereoscópico a un aumento de 100X, de acuerdo a su morfología, y en base a los criterios de la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones (IETS por sus siglas en inglés<sup>(13)</sup>).

Los embriones se transfirieron en fresco, seis días y medio posteriores a la aparición del estro (tratando de aminorar el tiempo de asincronía entre la donadora y la receptora), seleccionando hembras tanto del grupo DB+AM como del grupo DB-AM, asegurándose de que a todas las hembras de los cuatro tratamientos, les tocara el mismo número y calidad de embrión transferido. Con un periodo previo de 24 h de ayuno, la receptora se colocó en una camilla y se llevó a cabo el mismo protocolo que para la colecta de embriones. Se visualizaron los cuernos uterinos por laparoscopia y mediante una laparotomía media ventral, se realizó una incisión de 2 cm en la línea media abdominal, con una pinza Bab-cock se exteriorizó el cuerno uterino ipsilateral del ovario con uno o más cuerpos lúteos normales, hidratándolo permanentemente con solución salina fisiológica (Solución CS® Pisa Laboratorios). Con ayuda de un catéter intravenoso (Punzocat ® de 32 mm) se hizo una punción en la unión útero-tubárica, se colocó un embrión de calidad 1 o 2 (dependiendo la disponibilidad) en un catéter (TOMCAT®) bajo el siguiente orden: una columna de medio, aire, medio con dos embriones, aire y finalmente medio. Con una jeringa de insulina, los embriones colocados en el catéter se impulsaron hacia la luz del cuerno uterino. La sutura de los planos quirúrgicos se realizó con Catgut® crómico calibre cero para peritoneo y el músculo, y la piel se suturó con Nylon calibre cero. Para prevenir infecciones post-operatorias y una vez terminada la sutura se aplicaron 100 mg de oxitetraciclina IM (Emicina LA ®, Laboratorios Pfizer).

Las variables evaluadas fueron:

Manifestación de estro (%): porcentaje de ovejas que mostraron signos de estro dentro de cada tratamiento.

Tiempo a la manifestación del estro (h): horas transcurridas desde el retiro del dispositivo hasta la presentación del estro.

Tasa ovulatoria (TOV): número de cuerpos lúteos presentes al momento de la extracción de los embriones (6.5 días después del estro).

Embriones calidad 1 (EQ1): número de mórulas o blastocistos calidad 1.

Embriones calidad 2 (EQ2): número de mórulas o blastocistos calidad 2.

Embriones transferibles (ET): número de mórulas o blastocistos calidad 1 y 2.

Ovocitos (OV): número de ovocitos que no fueron fertilizados.

Estructuras totales (ST): número de estructuras colectadas totales.

Porcentaje de gestación: número de ovejas receptoras gestantes a los 40 días post transferencia entre el número de ovejas en cada tratamiento, por 100.

Tasa de parición: número de ovejas receptoras paridas en relación al número de ovejas transferidas en cada tratamiento.

La respuesta en las ovejas donadoras se analizó utilizando una regresión de Poisson mediante el Modelo Lineal Generalizado (PROC GENMOD). Para analizar el porcentaje de gestación en las receptoras, se utilizó el análisis de tablas de contingencia para dos factores (DAM y RAM) utilizando el modelo Log lineal a través del procedimiento CADMOD del paquete estadístico SAS<sup>(14)</sup>. La manifestación del estro se analizó mediante una prueba de independencia de Ji-cuadrada utilizando el procedimiento PROC FREQ y el tiempo a la manifestación del estro fue analizada con el método de curvas de supervivencia de Kaplan Meier usando el procedimiento LIFETEST y se establecieron diferencias entre tratamientos con la prueba de LOG RANK.

## Resultados

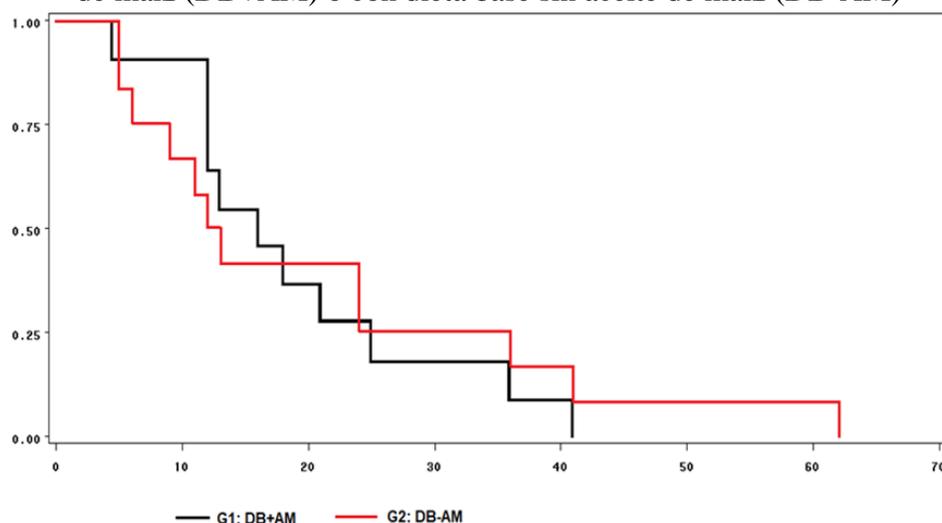
La proporción de ovejas donadoras con signos de estro y el tiempo al estro fueron similares entre tratamientos ( $P>0.05$ ); sin embargo, la inclusión de AM en la dieta de ovejas donadoras incrementó ( $P<0.05$ ) la TOV, ET, EQ1, OV, y la cantidad de ST por oveja (Cuadro 2).

**Cuadro 2:** Respuesta de ovejas donadoras Pelibuey alimentadas con dieta base con aceite de maíz (DB+AM) o con dieta base sin aceite de maíz (DB-AM) (Medias  $\pm$  EE)

Variable	G1 DB+AM (n=12)	G2 DB-AM (n=12)	P-value
Ovejas en estro, %	91.6 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>	
Tiempo al estro, h	19.13 $\pm$ 3.04 <sup>a</sup>	20.6 $\pm$ 3.1 <sup>a</sup>	
Tasa ovulatoria, n	10.5 $\pm$ 2.07 <sup>a</sup>	6.3 $\pm$ 2.07 <sup>b</sup>	<0.0001
Embriones transferibles, n	5.5 $\pm$ 1.4 <sup>a</sup>	2.8 $\pm$ 1.4 <sup>b</sup>	<0.0001
Embriones calidad 1, n	4.41 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	2.08 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	0.0002
Embriones calidad 2, n	1.08 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	0.83 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	
Ovocitos, n	0.41 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	0.33 $\pm$ 0.25 <sup>b</sup>	0.0163
Estructuras totales, n	5.9 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	3.1 $\pm$ 2.7 <sup>b</sup>	<0.0001

<sup>ab</sup> Valores con diferente literal dentro de hilera presentan diferencias ( $P < 0.05$ ).

No se observaron diferencias en la probabilidad de manifestación de estro entre grupos, obtenidas por medio de las curvas de supervivencia, (Figura 1). Así, el 100 % de las ovejas con DB+AM manifestaron estro a las 42 h post retiro del CIDR mientras que las ovejas DB-AM lo hicieron hasta las 62 h.

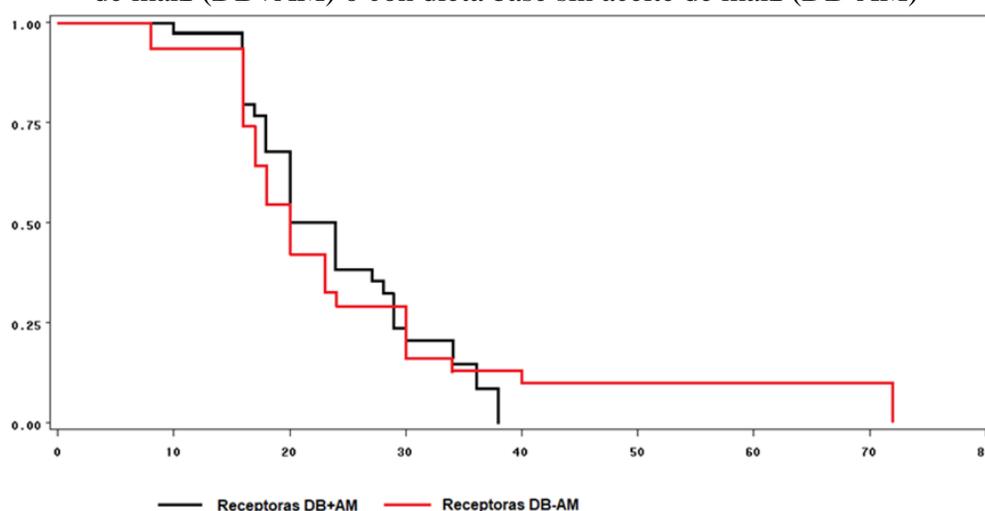
**Figura 1:** Curvas de supervivencia para el tiempo transcurrido entre el retiro del CIDR y la manifestación del estro en ovejas donadoras Pelibuey alimentadas con dieta base con aceite de maíz (DB+AM) o con dieta base sin aceite de maíz (DB-AM)

## Respuesta en receptoras

La inclusión de AM en la dieta no alteró el tiempo ni el número de ovejas receptoras en estro con dieta base con aceite de maíz (DB+AM,  $24.08 \pm 1.03$ ) o con dieta base sin aceite de maíz (DB-AM,  $25.8 \pm 3.0$ ).

Las curvas de supervivencia para la manifestación del estro en receptoras no mostraron diferencias entre tratamientos (Figura 2). El 100% de las ovejas con AM manifestaron estro a las 38 h post retiro del CIDR mientras que las ovejas testigo lo hicieron a las 72 h.

**Figura 2:** Curvas de supervivencia para el tiempo transcurrido entre el retiro del CIDR y la manifestación del estro en ovejas receptoras Pelibuey alimentadas con dieta base con aceite de maíz (DB+AM) o con dieta base sin aceite de maíz (DB-AM)



No se encontraron diferencias ( $P>0.05$ ) ni en el porcentaje de gestación y parición para ninguno de los tratamientos de las receptoras (Cuadro 3).

**Cuadro 3:** Respuesta en ovejas receptoras Pelibuey alimentadas con dieta base con aceite de maíz (DB+AM) o con dieta base sin aceite de maíz (DB-AM)

Tratamientos	Ovejas receptoras		
	Transferidas (n)	% Gestación 40 días	% Pariciones
T1	23	43.4 (10)	39.1 (9)
T2	18	55.5 (10)	50.0 (9)
T3	9	55.5 (5)	22.2 (2)
T4	11	36.3 (4)	9.0 (1)

( $P>0.05$ ).

## Discusión

La respuesta a la manifestación y el tiempo al estro en ovejas Pelibuey donadoras y receptoras, no presentó diferencias entre tratamientos ( $P>0.05$ ). En forma similar, en una investigación con ovejas Corriedale, se reportó un 100 % de ovejas superovuladas en estro con eCG y FSH durante la época de cría<sup>(15)</sup>. En el presente estudio el 25 % de las ovejas donadoras no respondió al protocolo de superovulación, lo cual coincide con otros trabajos en los que la proporción de hembras que no respondieron a la superovulación fue entre 20<sup>(16)</sup> y 30 %<sup>(17)</sup>. Al suplementar AGP omega 6 (n-6) se incrementa el consumo de energía, ya que, estos son esenciales para la alimentación en rumiantes, además de que participan en los procesos de foliculogénesis, ovulación y conducta estral<sup>(18)</sup>. La población de folículos medianos y grandes se incrementó cuando se suplementó aceite de maíz como fuente de AGP en ovejas, lo que puede dar lugar a una mayor producción de estrógenos por parte de esos folículos, ejerciendo un efecto similar a la eCG<sup>(19)</sup>. En el presente estudio la inclusión de AGP en la dieta de las ovejas no modificó su comportamiento reproductivo, posiblemente debido al corto tiempo de exposición a los AGP en la dieta; ya que se ha mencionado, que para observar una respuesta en la conducta reproductiva de las hembras, se requiere de una exposición de al menos 20 días antes del día del empadre y continuar durante el empadre<sup>(20)</sup>.

El tiempo a la manifestación de estro entre las receptoras (24.08 vs 25.8 h) y donadoras (19.13 vs 20.6 h) fue similar entre tratamientos ( $P>0.05$ ). Resultados de otros autores mostraron un inicio de estro de  $34.5 \pm 2.6$  h<sup>(21)</sup> o de  $32 \pm 5.6$  h<sup>(22)</sup> cuando se aplicaron 500 UI de eCG, difiriendo de lo encontrado en esta investigación. Se ha mencionado que el tiempo al inicio del estro está determinado por la raza y el tipo de FSH empleados en los protocolos de superovulación<sup>(23)</sup>. El tiempo al inicio del estro fue 24 h más corto cuando las ovejas fueron sometidas a una infusión intravenosa de aceite de oliva comparado con aceite de soya. Se ha mencionado que el aceite de oliva, estimula las concentraciones plasmáticas de metabolito alfa F2 de prostaglandina (PGFM) y prostaglandina E2 (PGE<sub>2</sub>)<sup>(24)</sup> aportando evidencia de la posible relación entre los ácidos grasos, las prostaglandinas y el inicio del estro<sup>(25)</sup>. En la presente investigación no fue posible observar tal efecto, probablemente debido a las hormonas utilizadas para la sincronización.

La inclusión de AM en la dieta de ovejas donadoras mejoró la respuesta a la superestimulación en el G1, resultados similares a los encontrados por Herrera-Camacho<sup>(6)</sup> al evaluar ovejas Pelibuey superovuladas y suplementadas con AM (4% MS), observándose un incremento en el número de cuerpos lúteos, embriones colectados y mórulas; por su parte, Zeron<sup>(26)</sup> reportaron una mayor calidad en los ovocitos y un incremento en la proporción de AGP en plasma, líquido folicular y células del *cumulus ooforus*, al suplementar ovejas con jabones cálcicos de aceite de pescado. La nutrición durante la maduración de los ovocitos tiene efectos importantes en la viabilidad de los embriones en ovejas superovuladas<sup>(27)</sup>. Los

AG pueden afectar directamente la maduración del ovocito a través de la composición de su membrana<sup>(28)</sup>, o indirectamente afectando la concentración de metabolitos en el líquido folicular, impactando en su posterior desarrollo y viabilidad<sup>(29)</sup>. Por tanto, se sugiere que la inclusión de AM en esta investigación pudo influir en la calidad de los ovocitos y de los embriones durante las primeras etapas de desarrollo, ya que se obtuvieron más embriones transferibles cuando se adicionó AGP en la dieta; además, el incremento en el número de cuerpos lúteos pudo haber modificado la secreción de progesterona, al tener una mayor disponibilidad de colesterol para el tejido lúteo<sup>(6)</sup>, optimizando las condiciones para un mejor desarrollo embrionario.

No se observaron diferencias en el porcentaje de gestación entre los cuatro tratamientos ( $P>0.05$ ). Resultados similares fueron encontrados en otras investigaciones en donde al adicionar AM en la dieta de ovejas Pelibuey no observaron diferencias en el porcentaje de gestación<sup>(7,19)</sup>. Al respecto se ha mencionado que tanto la subnutrición como la sobrealimentación pueden provocar alteraciones en el medio ambiente intrauterino que impiden un adecuado desarrollo del embrión, afectando su viabilidad<sup>(30)</sup>.

Las dietas que contienen altas concentraciones de AGP como el ácido linoleico en el aceite de maíz, pueden regular la síntesis de prostaglandinas y sus efectos posteriores sobre la persistencia del cuerpo lúteo, síntesis de  $E_2$ <sup>(4,8,25)</sup> y el reconocimiento materno de la preñez<sup>(31)</sup>. Además los AGP pueden incrementar las concentraciones circulantes de progesterona, debido a un aumento en la disponibilidad de colesterol<sup>(32)</sup>, el principal precursor para la síntesis de progesterona ( $P_4$ ) en el cuerpo lúteo<sup>(33)</sup>.

La respuesta a la superovulación encontrada en el presente estudio fue similar a lo reportado en otras investigaciones, obteniendo un incremento en la cantidad de embriones transferibles en las donadoras que recibieron los AGP, sin embargo, la adición de AGP en la dieta de ovejas receptoras no mejoró el porcentaje de gestación, por lo cual es necesario realizar más estudios sobre el tiempo de exposición de las hembras a la dieta con AGP, así como la cantidad y calidad de los AGP que se ofrecen, ya que en ovinos, existen muy pocos estudios publicados donde se expliquen los efectos directos de los ácidos grasos poliinsaturados sobre la fertilidad<sup>(25)</sup>.

## Conclusiones e implicaciones

En conclusión, las ovejas donadoras presentan buena respuesta a la inclusión de aceite de maíz en un programa de transferencia de embriones. El uso de aceite de maíz en la dieta de ovejas Pelibuey incrementa la tasa ovulatoria, el número de estructuras totales y embriones transferibles, pero no tiene efecto en el porcentaje de preñez de las hembras receptoras de embriones.

## Agradecimientos

Al Laboratorio de Reproducción de Ovinos y Caprinos (LaROCa), Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados y a la Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) Innovación Tecnológica y Seguridad Alimentaria en Ganadería por su apoyo financiero.

### Literatura citada:

1. Cognié Y, Baril G, Poulin N, Mermillod P. Current status of embryo technologies in sheep and goat. *Theriogenology* 2003;59(1):271-188.
2. Fouladi-Nashta A, Gutierrez ACG, Gong JG, Garnsworthy PC, Webb R. Impact of dietary fatty acids on oocyte quality and development in lactating dairy cows. *Biol Reprod* 2007;77(9-17).
3. Herrera-Camacho J, Quintal FJA, Kú VJC, Aguayo AAM, Williams LG. Dinámica folicular y concentración sérica de lípidos en ovejas Pelibuey suplementadas con ácidos grasos poliinsaturados en la dieta. *Memorias del 2do. Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Ovinocultura. Mérida, Yucatán, México. 2001.*
4. Funston RN. Fat supplementation and reproduction in beef females. *J Anim Sci* 2004;82:(154-161).
5. Meza-Villalvazo V, Magaña H, Sandoval C, Morales M, Chay A, Trejo A. Efecto de los ácidos grasos poliinsaturados sobre la población folicular y calidad ovocitaria en ovejas Pelibuey. *Univ Cienc* 2013;29(3):255-261.
6. Herrera-Camacho J, Ake LR, Kú VJC, Williams GL, Quintal FJA. Respuesta ovulatoria, estado de desarrollo y calidad de embriones de ovejas Pelibuey superovuladas suplementadas con ácidos grasos poliinsaturados. *Téc Pecu Méx* 2008;46(2):107-117.
7. Cancino AG, Herrera CJ, Ake LJR. Tasas de concepción, fertilidad y prolificidad en ovejas de pelo alimentadas con dietas enriquecidas con ácidos grasos poliinsaturados. *Univ Cienc* 2009;25(1):181-185.
8. Mattos R, Staples CR, Thatcher WW. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants, *J Reprod Fert* 2005:38-45.
9. García E. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen.* ed México. 5<sup>a</sup> ed. Instituto de Geografía. UNAM: México; 2004.

10. Swanand RS. Laparoscopic artificial insemination technique in small ruminants-A procedure review. *Front Vet Sci* 2018;5:(266):1-9.
11. Naqvi SMK, Gulyani R, Anil J, Das GK, Mittal JP. Effect of dietary regimens on ovarian response and embryo production in sheep tropics. *Small Ruminant Res* 2002;46:167-171.
12. Menchaca A, Vilariño M, Pinczak A, Kmaid S, Saldaña JM. Progesterone treatment, FSH plus eCG, GnRH administration, and day 0 protocol for MOET programs in sheep. *Theriogenology* 2009;72:477-483.
13. Strinfellow DA, Seidel S. *Manual of the International Embryo Transfer Society*. 3<sup>rd</sup> ed., USA: IETS. Savoy, Illinois; 1998.
14. SAS. Institute. SAS. *Statistic User's guides Statics*. SAS Inst. Inc 2016.
14. Simonetti L, Forcada F, Rivera OE, Carou N, Alberio RH, Abecia JA, Palacin I. Simplified superovulatory treatments in Corriedale ewes. *Anim Reprod Sci* 2008;04:227-237.
15. Cognié Y. State of the art in sheep-goat embryo transfer. *Theriogenology* 1999;51:105-116.
16. González-Bulnes A, García-García RM, Castellanos V, Santiago-Moreno J, Ariznavarreta C, Domínguez V. Influence of maternal environment on the number of transferable embryos obtained in response to superovulatory FSH treatments in ewes. *Reprod Nutr Develop* 2003;43:17-28.
17. Hess BW, Moss GE, Rule DC. A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef and sheep. *J Anim Sci* 2008;86(14 Suppl):E188-204.
18. Robinson RS, Pushpakumara PG, Cheng Z, Peters AR, Abayasekara DR, Wathes DC. Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on ovarian and uterine function in lactating dairy cows. *Reprod* 2002;124:119-131.
19. Asgari Safdar AH, Sadeghi AA, Chamani M. Effects of different fat sources (saturated and unsaturated) on reproductive performance and biological indices of ewes during flushing period. *Trop Anim Health Prod* 2017;49:1447-1453.
20. Herrera-Camacho J, Quintal FJA, Kú VJC, Williams GL. Efecto de la adición de ácidos grasos saturados sobre la dinámica folicular, tasa de gestación y respuesta ovárica en ovejas Pelibuey. *Trop Subtrop Agroeco* 2003;(2):101-104.

21. Mustafa QH, Ababneh MM, Abu-Ruman DS. The effects of the short or long term FGA treatment with or without eCG on reproductive performance of ewes bred out-of-season. *Am J Anim Vet Sci* 2007;2(1):23-28.
22. Ali A. Effects of time of eCG administration on follicular response and reproductive performance of FGA-treated Ossimi ewes. *Small Ruminant Res* 2007;72:33-37.
23. Crosby TF. Superovulation in sheep: the effects of pFSH type and ewe breed. *Theriogenology* 1993;39: Abstr 205.
24. Burke JM, Carroll DJ, Rowe KE, Thatcher WW, Stormshak F. Intravascular Infusion of lipid into ewes stimulates production of progesterone and prostaglandin. *Biol Reprod* 1996;55:169-175.
25. Gulliver CE, Friend MA, King BJ, Clayton EH. The role of omega 3 polyunsaturated fatty acids in reproduction of sheep and cattle. *Anim Reprod Sci* 2012;131:9-22.
26. Zeron Y, Sklan D, Arav A. Effect of polyunsaturated fatty acid supplementation on biophysical parameters and chilling sensitivity of ewe oocytes. *Mol Reprod Dev* 2002;(61):271-278.
27. Creed J, McEvoy TG, Robinson J, Aitken T, Palmer R, Robertson I. The effect of pre-ovulatory nutrition on the subsequent development of superovulated sheep ova in an *in vitro* culture system. *Proc British Soc Anim Prod* 1994:82.
28. Bender K, Walsh S, Evans ACO, Fair T, Brennan L. Metabolite concentrations in follicular fluids may explain differences in fertility between heifers and lactating cows. *Reprod* 2010;139:1047-1055.
29. Sturmev RG, Reis A, Leese HJ, McEvoy TJ. Role of fatty acids in energy provision during oocyte maturation and early embryo development. *Reprod Dom Anim* 2009;44: 50-58.
30. Galarraga MMB, Cueto M, De la Sota L, Lacau I, Gibbons A. Estado nutricional materno y su incidencia sobre las pérdidas embrionarias y fetales en los ovinos. *Asoc Per Reprod Anim* 2014;4(1):10-16.
31. Wathes DC, Robert D, Abayasekara E, Aitken RJ. Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction. *Biol Reprod* 2007;77:190-201.
32. Demetrio DGB, Santos RM, Demetrio CGB, Basconcelos JML. Factors affecting conception rates following artificial insemination or embryo transfer in lactating Holstein cows. *J Dairy Sci* 2007;90:5073-5082.

33. Son J, Grant RJ, Larson LL. Effects of tallow and escape protein on lactational and reproductive performance of dairy cows. *J Dairy Sci* 1996;79:822-830.



## Modelo alternativo para medir la adopción de innovaciones: aplicación en el sistema apícola poblano



Irving César Farrera-Vázquez <sup>a</sup>

Enrique Genaro Martínez-González <sup>a\*</sup>

Vinicio Horacio Santoyo-Cortés <sup>a</sup>

Norman Aguilar-Gallegos <sup>b</sup>

Reyna Azucena Luna-Olea <sup>c</sup>

José Miguel Omaña-Silvestre <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Km 38.5 Carretera México -Texcoco, Chapingo, Estado de México. México.

<sup>b</sup> Universidad Panamericana. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, México.

<sup>c</sup> Colegio de Postgraduados. Posgrado en Socioeconomía, Estadística e Informática, México.

\* Autor de correspondencia: [enriquemartinez@ciestaam.edu.mx](mailto:enriquemartinez@ciestaam.edu.mx)

### Resumen:

Este trabajo tuvo como objetivo adaptar una herramienta metodológica capaz de mejorar la forma de obtener el Índice de Adopción de Innovaciones en el sistema apícola poblano. Se diseñó y aplicó un cuestionario a una muestra de 62 apicultores de donde se obtuvo información sobre el uso de innovaciones de manejo, genética, alimentación y sanidad, de la cual se definieron 32 variables originales y siete categorías de innovación. Se rediseñó y adaptó el índice de adopción de innovación (InAI) utilizando el proceso analítico jerárquico (PAJ), lo que facilitó la identificación de aspectos sociales de los apicultores y las innovaciones que contribuyen a mejorar la productividad de miel. Los resultados muestran

que las innovaciones que más contribuyen a la producción son las contenidas en las categorías de ubicación del apiario y sanidad. Por otro lado, la evaluación del InAI<sub>alt</sub>, mostró ser una alternativa pertinente para la explicación del comportamiento del rendimiento por colmena, además de mostrar los porcentajes de aportación específicos sobre las innovaciones evaluadas, con lo cual se pueden calcular estimaciones más precisas y consistentes con los rendimientos esperados de la región.

**Palabras clave:** Apicultura, Proceso Analítico Jerárquico, Innovación agrícola, Adopción de innovaciones.

Recibido: 11/04/2024

Aceptado: 20/06/2024

## Introducción

El actual entorno económico ha impuesto demandas de competitividad sin precedentes a todas las empresas, lo que ha subrayado la importancia de las actividades de innovación, investigación y desarrollo. La innovación, siendo un proceso dinámico, no sólo impulsa el crecimiento empresarial y el desarrollo económico, sino que también se convierte en una estrategia para el cambio social y cultural dentro de la organización. Además, promueve la creación de nuevas tecnologías que sustituyen a las antiguas<sup>(1)</sup>, impulsando así la evolución continua.

Es cierto que no todas las innovaciones poseen el mismo impacto o valor, los procesos de innovación varían significativamente de un sector a otro, influenciados por sus condiciones y tasas de adopción<sup>(2,3)</sup>. Además, lo que puede ser considerado como nuevo para una persona en una región puede no serlo para otras dentro de la misma área geográfica, incluso algunas innovaciones, una vez que dejan de ser novedosas, se convierten en prácticas comunes, formando parte de un conjunto tecnológico aplicado regularmente por algunos, mientras que para otros que las están aprendiendo y utilizando, aún son consideradas como innovaciones, si no como buenas prácticas de producción<sup>(4)</sup>.

En la actualidad, existe un consenso sobre una serie de ideas para caracterizar la innovación en la agricultura. Se reconoce que la innovación requiere de conocimientos provenientes de diversas fuentes, incluidos los usuarios de esas innovaciones. Además, diferentes fuentes de

conocimiento interactúan entre sí, compartiendo y combinando ideas, en procesos que suelen ser específicos para un contexto determinado. Cada contexto tiene sus propias órdenes, reflejando sus orígenes históricos determinados por factores culturales, políticos y sociales<sup>(5)</sup>. Por lo tanto, tener metodologías que permitan medir las innovaciones resulta un eslabón fundamental para la comprensión de éstas.

Una metodología se define como un conjunto de principios, procedimientos y prácticas destinadas a alcanzar un objetivo específico<sup>(6)</sup>. Estas metodologías son relevantes en el desarrollo de productos, ya que no sólo garantizan que el producto final sea adecuado y adaptable a las necesidades del usuario, sino que también contribuyen a estructurar y mejorar el proceso de desarrollo en sí mismo. En este sentido, comprender las características de la innovación y contar con metodologías adecuadas es esencial para impulsar el desarrollo y la mejora continua en el sector agrícola<sup>(7)</sup>.

La primera metodología empleada para medir la innovación agrícola fue desarrollada por Fliegel<sup>(8)</sup>, quien propuso un indicador de adopción de prácticas agrícolas basado en el porcentaje de prácticas que los productores adoptan en comparación con el total de prácticas disponibles. Posteriormente, Muñoz *et al*<sup>(9)</sup> propusieron un índice de adopción de innovación (en adelante, InAI) para evaluar la capacidad innovadora de un productor. Este índice guarda similitudes con el propuesto por Fliegel, aunque los segundos autores categorizan las innovaciones según paquetes tecnológicos y calculan un InAI específico para cada categoría, dividiendo el número de innovaciones realizadas por el productor entre el total de innovaciones registradas en esa categoría. Luego, promedian los InAI de cada categoría para obtener el InAI general de cada productor.

Sin embargo, en ambas propuestas metodológicas no se establece una clara diferenciación entre las innovaciones evaluadas, lo cual supone que todas las innovaciones tienen el mismo peso. Por otro lado, Pérez *et al*<sup>(10)</sup> sostienen que para medir el nivel de innovación de un productor es necesario considerar tanto la cantidad como el tipo de innovaciones implementadas. Proponen la implementación de un modelo alternativo que combine elementos de enfoques tradicionales con nuevas perspectivas, con el objetivo de alcanzar un equilibrio entre complejidad y dinamismo en la medición. Para ello, se requiere determinar la fuerza de las interrelaciones entre los elementos de una jerarquía.

Un método utilizado para jerarquizar y ponderar criterios es el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), propuesto por Thomas Saaty<sup>(11)</sup> en los años 80. Esta herramienta multicriterio se basa en comparaciones por pares de criterios o alternativas mediante una escala definida, lo que permite priorizar la resolución de una variedad de problemas complejos multicriterio. El proceso implica la obtención de opiniones y evaluaciones subjetivas. En el PAJ, se comparan elementos entre sí utilizando una matriz cuadrada definida por una serie de criterios, lo que

implica ponderar el número de filas y columnas y asignar a cada elemento una importancia relativa basada en el juicio de expertos.

En este contexto, el objetivo de la investigación fue adaptar una metodología para obtener un Índice de Adopción de Innovación Alternativo (InAI<sub>alt</sub>) mediante el PAJ, con el fin de obtener un indicador que refleje de manera más precisa la medición del proceso de adopción de innovaciones, y que a su vez permita entender este proceso de vital importancia para el sector agroalimentario; con un énfasis particular en el sector apícola, el cual desempeña un papel fundamental en la polinización de cultivos y la producción de diversos productos que contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria, la biodiversidad y el desarrollo de las comunidades rurales.

## Material y métodos

La investigación fue de carácter exploratorio, descriptivo y de corte transversal, soportada en fuentes primarias y secundarias con técnicos, proveedores de insumos en el sector apícola y productores de miel. Para asegurar la integridad de la muestra, se verificó la credibilidad de las fuentes mediante la revisión de su experiencia en campo, su reputación en la comunidad apícola y la coherencia de sus datos con la literatura existente. Las encuestas se llevaron a cabo de julio de 2021 a marzo de 2022, en los municipios de Acatlán de Osorio, Guadalupe, San Pablo Anicano y San Pedro Yeloixtlahuaca, en la región mixteca del estado de Puebla. De una lista proporcionada por técnicos y proveedores de la región se entrevistaron a 48 apicultores, mientras que aquellos no registrados (14), se identificaron mediante la técnica de bola de nieve lineal durante el mismo periodo. Esta investigación se destaca por la relevancia que adquiere al enfocarse en el estado de Puebla, que ocupa el octavo lugar en la producción de miel en México<sup>(12)</sup>. Este dato subraya la presencia significativa de la apicultura en la región, la cual merece un análisis detallado de su impacto en la economía local y nacional. Específicamente, la región de la Mixteca Poblana emerge como un área propicia para el desarrollo de la apicultura y la producción de miel de alta calidad. Este fenómeno se atribuye a una combinación de factores, entre los que destacan las condiciones climáticas favorables, la riqueza de la flora local, la arraigada tradición apícola, así como el impacto económico y social generado por esta actividad en la región.

## Variables y su análisis

Se analizaron 32 ítems agrupados en siete categorías (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), tomando como base el manual de buenas prácticas pecuarias en la producción primaria de miel de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) como base de análisis.

**Cuadro 1:** Ítems de buenas prácticas de producción de miel

Categoría	Innovación tecnológica en la producción de miel
Sanidad	<b>IT01.</b> Frecuencia de revisión; <b>IT02.</b> Registro en bitácoras; <b>IT03.</b> Flameo de cuña; <b>IT04.</b> Control de varroasis; <b>IT05.</b> Retiro de timol 15 Días antes de la cosecha; <b>IT06.</b> Cambio de reina cada año; <b>IT07.</b> Cambio de bastidores de cámara de cría 2/año.
Alimentación artificial	<b>IT08.</b> Insumo para alimentación de sostén o mantenimiento; <b>IT09.</b> Insumo para alimentación de estímulo; <b>IT10.</b> Insumo para alimentación suplementaria. <b>IT 11.</b> Suspende la alimentación al inicio de la floración.
Ubicación	<b>IT12.</b> Distancia a la fuente más cercana de agua; <b>IT13.</b> Ubicación del apiario asentamientos humanos; <b>IT14.</b> Distancia a la zona de floración; <b>IT15.</b> Apiario limpio de malezas; <b>IT16.</b> Colmenas sobre base 20 cm; <b>IT17.</b> Distancia a zonas habitada; <b>IT18.</b> Conocimiento sobre aplicación de productos químicos; <b>IT19.</b> Distancia entre colmenas.
Material de protección a la colmena	<b>IT20.</b> Condición actual del equipo de la colmena; <b>IT21.</b> Material correcto para recubrir la colmena (resinas, ceras), <b>IT22.</b> Uso de ahumador con material combustible de origen vegetal.
Cosecha	<b>IT23.</b> Correcto porcentaje de operculación; <b>IT24.</b> Material utilizado para desalojar abejas durante la cosecha.
Personal	<b>IT25.</b> Personal conoce BPPM; <b>IT26.</b> Tiene bitácora de higiene; <b>IT27.</b> Vestimenta limpia; <b>IT28.</b> Vestimenta de uso exclusivo.
Limpieza e higiene	<b>IT29.</b> Programa de procedimientos sobre higiene y limpieza personal; <b>IT30.</b> Procedimientos higiene y limpieza de equipo de protección; <b>IT31.</b> Procedimientos de limpieza de los utensilios y recipientes; <b>IT32.</b> Asiste a talleres de capacitación.

IT= Innovación tecnológica.

Fuente: Elaboración propia con base en lo propuesto por SAGARPA<sup>(13)</sup>

El cálculo del InAI o de buenas prácticas de producción, se lleva a cabo para cada unidad de producción apícola, lo que permite la evaluación del grado de innovación. El InAI es una medida que varía entre cero y uno, donde cero indica un nivel de innovación nulo, mientras que uno representa el máximo nivel de innovación alcanzado por un productor. Este índice refleja el porcentaje promedio de prácticas implementadas por el productor. Para calcular el InAI de cada productor, se promedian los valores del índice de adopción de innovaciones en cada categoría, utilizando la Ecuación 1<sup>(9)</sup>.

$$InAI_i = \frac{\sum_{j=1}^n IAI_{Ck}}{K} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde  $InAI_i$ = índice de adopción de la innovación del i-ésimo productor;  $IAIC_{ik}$ = índice de adopción del i-ésimo productor en la k-ésima categoría;  $K$ = número total de categorías.

Para poder comparar el  $InAI_i$  vs el  $InAI_{alt}$  se tuvieron que emitir juicios sobre la importancia de la innovación en la producción de miel por colmena. Para ejemplificar una aplicación del PAJ se utilizó la creación del  $InAI_{alt}$ . El modelo jerárquico establecido en dicho factor se ilustra en la Figura 1, donde se observa que el  $InAI_{alt}$  es explicado por siete criterios (sanidad, alimentación artificial, ubicación, material de protección a la colmena, cosecha, personal y limpieza e higiene) y a su vez cada uno de ellos es resultado de las variables que constituyen a los subcriterios y sus alternativas.

Para determinar la importancia relativa de cada innovación, se llevó a cabo un proceso de evaluación realizado por un grupo de cinco expertos en el ámbito de la apicultura y la innovación en este sector. Estos expertos fueron seleccionados debido a su experiencia y conocimientos prácticos en la actividad apícola, así como su dominio técnico de las innovaciones y buenas prácticas de producción en el sector. Se procuró un perfil que englobara varios aspectos fundamentales para el estudio, incluyendo una comprensión sólida de las necesidades y desafíos que enfrentan las unidades de producción apícola. Durante la evaluación, los expertos asignaron un peso o ponderación a cada innovación, considerando dos criterios principales: primero, ponderaron la contribución o importancia de cada innovación dentro de las categorías correspondientes; y segundo, utilizaron una escala del 1 al 9 para indicar la prioridad relativa de una alternativa sobre las opciones comparadas. En esta escala, el valor 1 indica que ambas opciones son igualmente importantes para el objeto de estudio, mientras que el valor 9 indica la mayor prioridad de una alternativa sobre las opciones comparadas. Los detalles del criterio numérico se encuentran especificados en el Cuadro 2.

**Cuadro 2:** Escala de comparación de preferencia

Valor	Definición	Explicación
1	De igual importancia	Las innovaciones contribuyen de igual forma a la productividad
3	Moderada importancia	La innovación contribuye moderadamente a la productividad
5	Importancia fuerte	La innovación contribuye fuertemente a la productividad
7	Importancia muy fuerte o demostrada	La innovación es más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la productividad
9	Importancia extrema	La evidencia favorece a la innovación sobre la otra incuestionablemente
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Se ocupan cuando no se puede definir un valor intermedio entre las innovaciones adyacentes

Fuente: Elaboración propia adaptado de Saaty<sup>(11)</sup>.

Una vez que las matrices de comparación estuvieron llenas, se procedió a realizar un análisis de consistencia de los juicios emitidos por los expertos, siguiendo el procedimiento descrito por Zamudio Sánchez y Núñez Vera<sup>(14)</sup>; las matrices que no resultaron consistentes se reevaluaron hasta lograr consistencia con un nivel de significancia muestral menor a 0.05. Una vez probada la consistencia de la asignación de valores en las matrices se procedió a calcular los pesos de cada atributo o alternativa considerando al autovalor asociado al autovalor máximo de cada matriz de comparación siguiendo el procedimiento descrito por Saaty<sup>(11)</sup>.

Las dos tareas anteriores se automatizaron utilizando la herramienta SAS® V9 para programar en condiciones dinámicas e interactivas con el procedimiento IML (Interactive Matrix Language) los cálculos matriciales, en donde se programaron rutinas auxiliares, para generar las salidas que incluyeron los pesos específicos de cada innovación o categoría.

Con el propósito de valorar la congruencia de los valores obtenidos con el  $InAI_{alt}$  respecto a variables de importancia productiva, se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple (Ecuación 2) para explicar el rendimiento registrado por colmena como función del  $InAI_{alt}$  en interacción con el tamaño del apiario. Para la agrupación en clústeres, se utilizó el número de colmenas que tiene cada apicultor entrevistado, dividiéndolas en tres grupos (Clúster 1, 1-10 colmenas; Clúster 2, 11-20 colmenas y Clúster 3, 21-32 colmenas). Este ejercicio se contrastó con el propio que utiliza el  $InAI_i$ . Es importante mencionar que la decisión de utilizar el número de colmenas como criterio de agrupación se fundamentó en su relevancia dentro del contexto apícola regional, así como en su facilidad de medición y manejo en el estudio. Esta elección permitió una distribución equilibrada y representativa de las unidades de producción apícola, facilitando así la comparación analítica entre los distintos niveles de productividad y la adopción de innovaciones.

$$E(Y_i/X = x_i) = \beta_1 \chi_{1i} * Z_{1i} + \beta_2 \chi_{1i} * Z_{2i} + \beta_3 \chi_{1i} * Z_{3i} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde  $Y_i$ : Rendimiento por colmena del  $i$ -ésimo productor;  $X_1 = \text{InAI}_i$  o  $\text{InAI}_{\text{alt}}$  del  $i$ -ésimo productor;  $Z_{ji} = 1$  si el  $i$ -ésimo productor pertenece al clúster  $j=1,2,3$ ; y 0 de otra forma.

El propósito del modelo de regresión fue fundamental para la evaluación tanto de la precisión predictiva como explicativa de las relaciones entre las variables, considerando el  $\text{InAI}_{\text{alt}}$  como una técnica adicional para capturar de manera más efectiva la complejidad de los datos y las interacciones entre las variables. Además, se procedió a representar gráficamente los valores de  $\text{InAI}_i$  frente a los valores de  $\text{InAI}_{\text{alt}}$  obtenidos en cada categoría con el fin de evidenciar las diferencias entre estos índices.

## Resultados y discusión

La edad promedio de los apicultores fue de 39 años; más del 20 % son menores de 26 años, y el resto menor de 55 años, lo que permite suponer que la actividad apícola se encuentra en manos de gente adulta; si bien es cierto que la edad promedio coincide con lo reportado en otros estudios en México<sup>(15-18)</sup>, la apicultura en la región de estudio muestra un cambio generacional donde los jóvenes empiezan a retomar esta actividad como una fuente de ingresos alternativa.

En cuanto a los años de escolaridad promedio, estos fueron de 8.8; un dato superior al reportado por Güemes *et al*<sup>(19)</sup> y Magaña *et al*<sup>(20)</sup> para otros estados de la República Mexicana, quienes indicaron un nivel de educación de primaria incompleta.

La región presenta un promedio de ocho años dedicados a la apicultura. Sin embargo, otros estudios<sup>(21,22,23)</sup>, reportaron un promedio de 16, 21 y 22 años respectivamente de ejercer la apicultura, superior a lo encontrado en esta región, lo que indica que la actividad es relativamente joven comparada con los estados de Jalisco, Yucatán y Veracruz.

En cuanto al tiempo semanal dedicado a la actividad, el promedio fue de 1.65 h, aunque el rango varía de 1 a 3.5 h, dependiendo del número de colmenas que posea el apicultor. Esta flexibilidad en las jornadas laborales se debe a que la apicultura no requiere largas horas de trabajo para obtener buenos resultados, lo que la convierte en una excelente actividad complementaria según la percepción de los propios apicultores.

La apicultura en la región se encuentra estrechamente ligada a los cultivos básicos y a las áreas de vegetación silvestre. Se identificaron un total de 62 apiarios, los cuales albergan en conjunto 757 colmenas. Los municipios que destacan por tener el mayor número de apiarios son Guadalupe y Acatlán de Osorio, con 21 y 16 apiarios, respectivamente, seguidos por San Pablo Anicano con 15 y San Pedro Yeloixtlahuaca con 10 apiarios.

En cuanto al tamaño de las unidades de producción apícola, se observa que el promedio es de 12.21 colmenas, aunque se registran variaciones, desde un mínimo de tres hasta un máximo de 32. Este rango de tamaños refleja la diversidad en la escala de producción apícola en la región, lo cual puede estar influenciada por factores como la disponibilidad de recursos, la experiencia de los apicultores y la demanda del mercado local.

La principal fuente de ingresos para los apicultores proviene de las actividades agrícolas, representando el 57.17 % del total, según datos que coinciden con los reportados en otros trabajos<sup>(19,22)</sup>. Este dato sugiere una fuerte dependencia económica de la agricultura en la región de estudio. En segundo lugar, se encuentran las remesas provenientes de Estados Unidos, un fenómeno que también ha sido documentado<sup>(24)</sup>, donde se menciona que el 80 % de las remesas que llegan al estado de Puebla benefician a los habitantes de la región de la Mixteca. La apicultura ocupa el tercer lugar como fuente de ingresos, siendo considerada una actividad complementaria debido a la naturaleza estacional de su proceso de producción. Esta característica puede limitar su contribución económica en comparación con las actividades agrícolas y las remesas. Sin embargo, algunos productores, como los asesores técnicos y los veterinarios, encuentran en la apicultura una segunda fuente de ingresos.

De acuerdo con el Banco Mundial<sup>(25)</sup>, la diversificación de fuentes de ingresos no solo reduce la vulnerabilidad ante posibles fluctuaciones en una sola fuente de ingresos, sino que también fortalece la capacidad de resistencia financiera frente a eventos inesperados, demostrando ser un factor clave para promover el desarrollo económico local.

En el Cuadro 3 se presentan los pesos específicos por categoría según el tipo de InAI; como se mencionó anteriormente en el InAI<sub>i</sub> tradicional, tanto el valor de cada innovación como el de cada categoría siempre será el mismo. El InAI<sub>i</sub> general fue de 54.14 %, es decir, los apicultores están aplicando 17 de 32 innovaciones tecnológicas evaluadas para la producción de miel, lo cual refiere que son pocas las innovaciones adoptadas, quedando un margen para seguir avanzando en este sentido. De acuerdo con esta metodología, la categoría de cosecha es la que más aporta a la producción de miel (13.71 %).

**Cuadro 3:** Pesos específicos y número de innovaciones (INOV) por categoría

Categoría	INOV (n)	%					
		InAI <sub>i</sub>	Peso	InAI <sub>i</sub> ponderado	InAI <sub>alt</sub>	Peso	InAI <sub>alt</sub> ponderado
Ubicación	8	65.52	14.29	9.36	81.82	31.74	25.97
Sanidad	7	36.87	14.29	5.27	52.57	29.15	15.32
Alimentación	4	47.98	14.29	6.85	31.12	19.21	5.98
Materiales	3	91.94	14.29	13.13	79.98	7.78	6.22
Cosecha	2	95.97	14.29	13.71	76.86	6.87	5.28
Personal	4	27.42	14.29	3.92	51.55	2.77	1.43
Limpieza e higiene	4	13.31	14.29	1.90	17.96	2.48	0.45
Total	32		100.00	54.14		100.00	60.65

InAI<sub>i</sub>= Índice de Adopción de Innovación; InAI<sub>alt</sub>= Índice de Adopción de Innovación Alternativo.

Por otro lado, de acuerdo con los pesos obtenidos por medio del PAJ, indica que las categorías de ubicación y sanidad del apiario aportan casi el 61 % de las innovaciones para la producción de miel. La relevancia de estas categorías en la producción apícola conlleva diversas implicaciones de importancia. En primer lugar, señala que la selección correcta de la ubicación del apiario debe tener en cuenta variables como la disponibilidad de fuentes florales, las condiciones climáticas y la presencia de agentes pesticidas, ya que éstas pueden influir considerablemente en los volúmenes de producción de miel. Además, la adopción de innovaciones de manejo sanitario, incluyendo el control de enfermedades y la prevención de plagas, resulta crucial para salvaguardar la salud y el bienestar de las colonias apícolas.

En este sentido varios autores afirman que la productividad de la miel es el resultado de una combinación de varios factores, entre ellos, la densidad y calidad de la floración, el ambiente físico natural y la sanidad<sup>(26,27)</sup>. Gracias a la riqueza de los recursos naturales con los que cuenta la región de estudio, la práctica de alimentación artificial (jarabe de azúcar principalmente) a las colmenas en tiempos de escasez, es baja (2.71 veces/año). Aunque Tucuch-Haas *et al*<sup>(28)</sup> mencionan que la alimentación suplementaria incrementa el número de abejas, número de celdas con cría operculada, néctar-miel y polen.

En el Cuadro 4 se ejemplifica la construcción de las categorías y como cada innovación aporta un porcentaje a cada una de ellas. Como se planteó la ubicación del apiario es una categoría que explica un 27.21 % de la producción de miel, pero dentro de esta categoría las distancias inferiores a 1 km a la fuente de agua y la zona de floración contribuyen 68 % a esta categoría, por lo cual son actividades prioritarias para la instalación o manejo de un apiario, datos similares fueron reportados por otros investigadores<sup>(29)</sup>.

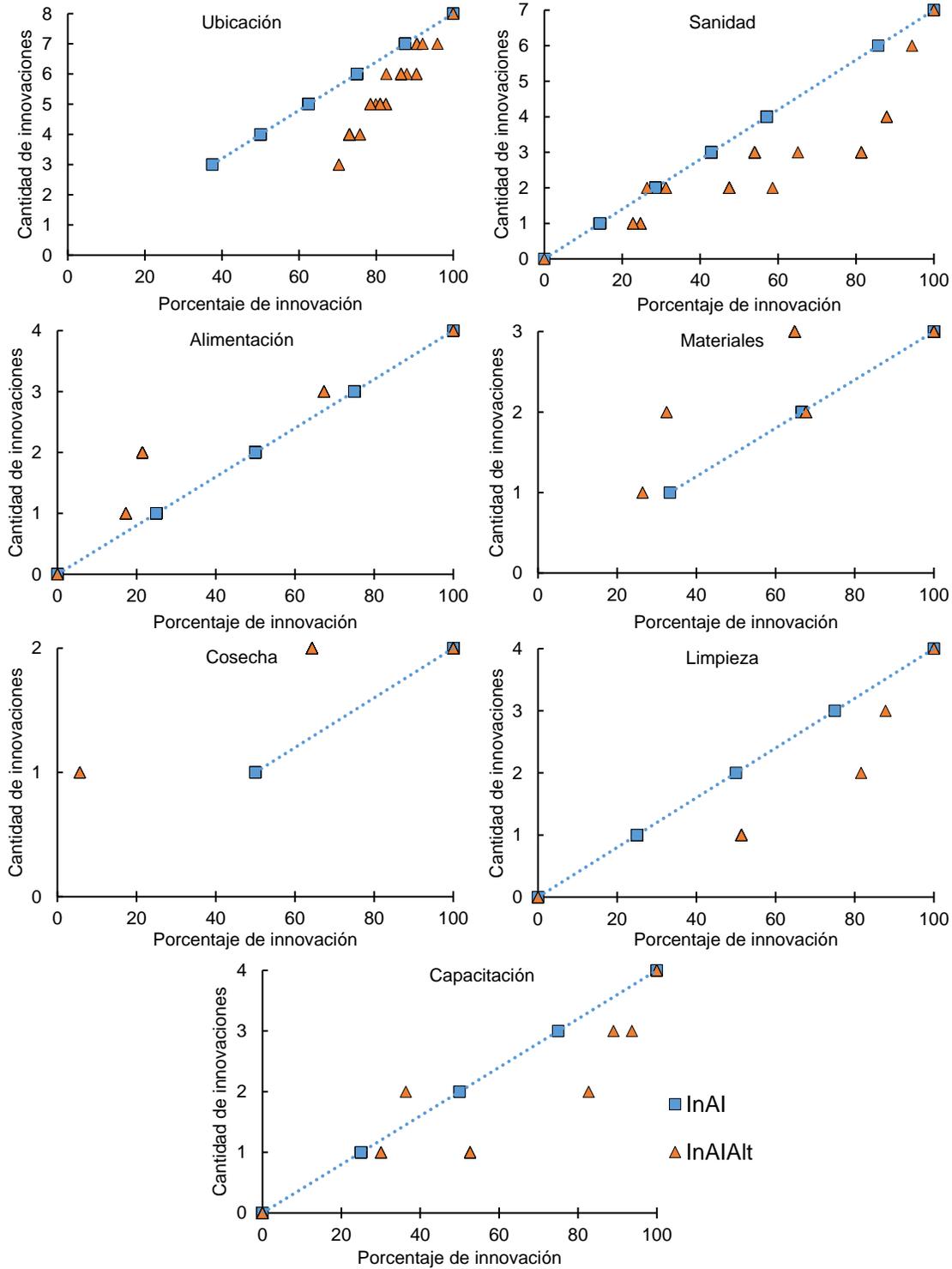
**Cuadro 4:** Peso de las principales innovaciones en la producción de miel

Ubicación del apiario		Sanidad	
Innovación	%	Innovación	%
Distancia < 1,000 m a la fuente más cercana de agua	48.35	Frecuencia de revisión $\leq$ 15 días	33.89
Distancia < 1,000 m a la zona de floración	19.69	Flameo de cuña previo a inspeccionar una colmena	24.71
Distancia mínima entre colmenas $\geq$ 2 m	9.44	Control de acaro ( <i>Varroa destructor</i> ) (timol)	22.78
Colmenas sobre base $\geq$ 20 cm	7.95	Realiza cambios de bastidores de cámara de cría 2/año	6.52
Apiario limpio de malezas	5.44	Cambio de reina cada año	5.61
Conocimiento sobre fechas de aplicación de productos químicos	4.10	Retira el timol 15 días antes de la floración	3.60
Distancia a zonas habitada > 200 m	2.74	Utiliza registro en bitácoras	2.90
Distancia > 400 m de asentamientos humanos	2.30		
Porcentaje Total	100.0		100.00

La sanidad es otro pilar fundamental, porque un manejo sanitario pobre aumenta los costos de producción y la mortalidad de las colonias de abejas; mantener una colmena fuerte se traduce en una mayor eficiencia productiva. A pesar de que existen siete innovaciones dentro de sanidad; la frecuencia de revisión, el flameo de cuña y el control de varroasis aportan más del 80 % de esta categoría, por lo cual se convierten en actividades de alto impacto.

El InAI<sub>alt</sub> presentó variaciones para diferentes innovaciones (Figura 2); se puede observar que, para una misma cantidad de innovaciones, se puede obtener un porcentaje de innovación diferente dentro de cada categoría (mayor o menor) de acuerdo al peso obtenido por medio del PAJ, a excepción de los valores extremos que siempre mantienen el mismo porcentaje (0 o 100), sin importar el número de innovaciones o el peso asignado por cualquier metodología. Esta situación favorece tanto a investigadores como a productores para conocer el nivel actual entre un productor y otro, aun teniendo el mismo número de innovaciones, debido a que cada uno tiene objetivos y prioridades distintas en términos de innovación.

**Figura 2:** Comparación de las principales categorías de innovación que aportan a la producción de miel



Una de las ventajas de usar el PAJ es que se pueden asignar valores a innovaciones que, pese a que no cumplen con lo planteado en el manual de buenas prácticas, podría tener algún valor diferente a cero o estar con un valor mayor sin cumplir en su totalidad con lo requerido, como se hace tradicionalmente con la metodología de InAI. Para ejemplificar esta situación se observa en la gráfica de materiales (Figura 1) que a pesar de cumplir con las tres características, el porcentaje de innovación es inferior al 100; esta situación podría explicarse porque a pesar de contar con los materiales necesarios para cubrir esta categoría, su condición actual puede no ser la óptima para un manejo adecuado en el apiario, pero no se puede descartar por completo porque es mejor tener esa innovación en condiciones no tan favorables, que no tenerla.

Sobre la evaluación del INAI, en el Cuadro 5 se presenta los resultados generales. Ambas regresiones (InAI e InAI<sub>alt</sub>) muestran una prueba general significativa (<.0001) y la raíz del CME alrededor de 3.4, significando que ambos modelos son estadísticamente pertinentes en la explicación del comportamiento del rendimiento por colmena. Juzgando el estadístico R<sup>2</sup> ambos modelos explican el 69 % de la variabilidad inherente al rendimiento por colmena.

**Cuadro 5:** Resultado del modelo de regresión múltiple

	Parámetro	INAI				
		Coefficiente	S.D.	Valor t	Significancia	FIV
InAI	Rendimiento/colmena*Clúster 1 (1-10 colmenas) n=30	15.80	1.37	11.55	<.0001	1.75
InAI <sub>alt</sub>		14.33	1.22	11.79	<.0001	2.07
InAI	Rendimiento/colmena*Clúster 2 (11-20 colmenas) n=19	18.69	1.44	12.94	<.0001	1.75
InAI <sub>alt</sub>		16.68	1.25	13.37	<.0001	2.07
InAI	Rendimiento/colmena*Clúster 3 (21-32 colmenas) n=13	26.09	1.39	18.75	<.0001	1.75
InAI <sub>alt</sub>		22.95	1.19	19.24	<.0001	2.07

FIV Factor de inflación de varianza.

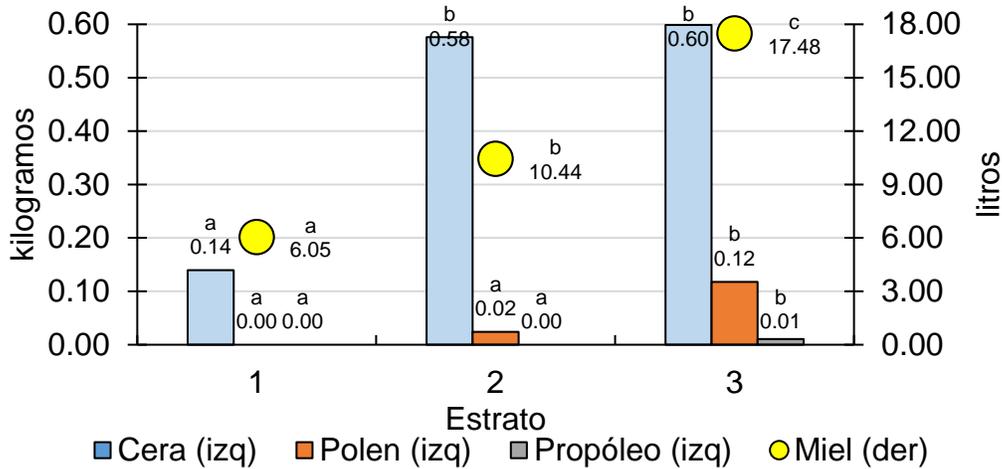
Prueba general de regresión de InAI: F-valor 217.48, P-valor <.0001, R<sup>2</sup> 0.652, RMSE 3.544.

Prueba general de regresión de InAI<sub>alt</sub>: F-valor 229.29, P-valor <.0001, R<sup>2</sup> 0.668, RMSE 3.459.

También se observa que los coeficientes asociados a los InAI e InAI<sub>alt</sub> en cada clúster son estadísticamente significativos (<.0001), es decir, todos son distintos de cero; sin embargo, los errores estándar asociados al InAI son mayores al InAI<sub>alt</sub> entre 8 y 10 %. Los coeficientes estimados revelan una diferencia significativa entre el modelo propuesto y el tradicional. Este hallazgo sugiere que los rendimientos esperados en cada clúster (pequeño, mediano y grande) están sobrevalorados cuando se emplea el método tradicional, mientras que la alternativa propuesta produce estimaciones más ajustadas a la realidad analizada. Esta discrepancia puede atribuirse a que el modelo propuesto minimiza los errores, lo que resulta en estimaciones más precisas (Figura3). Además, con el nuevo InAI<sub>alt</sub> podría ayudar a entender el por qué los productores del estrato 3 pueden llegar a obtener una mayor cantidad de

subproductos de la colmena.

**Figura 3:** Rendimiento promedio por colmena en la Mixteca Poblana, México



abc Medias con diferentes literales por columna, para la variable respectiva, indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

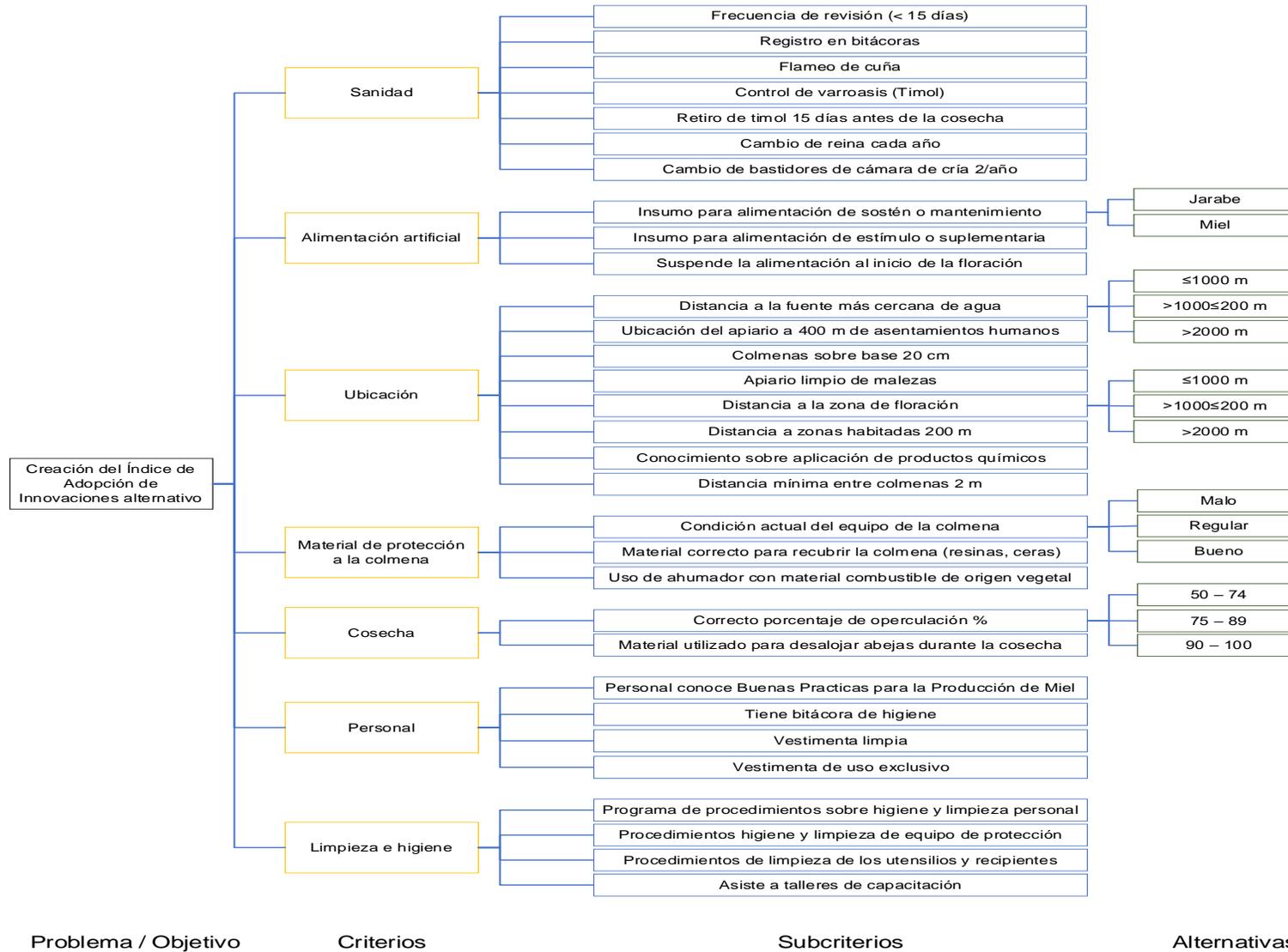
El uso del InAI<sub>alt</sub> permitió identificar las categorías y prácticas más relevantes en el ámbito de la apicultura, lo que sugiere una nueva forma de planificar y ejecutar los programas de capacitación y extensión en esta actividad. Al definir áreas prioritarias, la capacitación de los apicultores puede centrarse en aspectos clave como la salud de la colmena, el manejo de alimentos y la selección del mejor sitio para el apiario. Este enfoque posibilita que los apicultores se concentren en mejorar las prácticas que tienen un mayor impacto en la salud y productividad de las abejas, en lugar de intentar innovar en todos los aspectos simultáneamente. Esta estrategia no solo optimiza los recursos disponibles, sino que también promueve una transición gradual y exitosa hacia métodos de apicultura más eficientes y sostenibles.

### Conclusiones e implicaciones

En la Mixteca Poblana la apicultura se practica principalmente en unidades de pequeña escala y generalmente como actividad complementaria. Aunque por otro lado existe un potencial productivo debido a sus condiciones agroecológicas, además de ser una fuente de ingresos con jornadas reducidas de trabajo. El InAI<sub>alt</sub> propuesto permitió identificar las categorías e innovaciones con mayores contribuciones para la producción de miel en la región de estudio basado en los pesos otorgados a través del PAJ el cual permite adaptar esta metodología a diferentes regiones y sistemas productivos gracias a su adaptabilidad, la cual solo requiere

una base de datos con las innovaciones que se desean evaluar en un sistema productivo y un panel de expertos de la zona para llegar a un resultado más contundente con la realidad de la región. Se ha demostrado que la medición de la innovación, no sólo incluye aspectos técnicos y productivos, sino también aspectos ambientales; esta visión holística permite una evaluación más precisa del impacto global de la innovación y su contribución al desarrollo apícola. La evaluación de pertinencia del InAI<sub>alt</sub> realizada a través de los modelos de regresión indica que los resultados son consistentes con los que se obtienen en el INAI (ajuste de los modelos); sin embargo, la propuesta produce estimaciones más precisas y consistentes con los rendimientos esperados de la zona. Por lo cual se propone que para futuras investigaciones se realicen regresiones considerando cada uno de los subproductos de la apicultura para corroborar el alcance del modelo. Finalmente, la metodología propuesta exhibe una flexibilidad sectorial y territorial, caracterizándose por su versatilidad y capacidad de adaptación, lo cual la distingue como un instrumento idóneo para la implementación en múltiples escenarios productivos. En consecuencia, su adopción contribuiría a generar mejoras tangibles en términos de eficiencia y calidad en el ámbito operativo, en aras de tener una mejor medición del proceso de adopción de innovaciones en el sector agropecuario.

**Figura 1: Modelo Jerárquico para la obtención del InAI apícola con el PAJ**



**Literatura citada:**

1. Schumpeter JA. Business cycles: A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process. J Political Economy. New York: McGraw-Hill; 1939.
2. Paz A. Experiencias del programa de investigación sobre escalamiento de innovaciones rurales. 1a ed. Lima; 2013. ISBN 978-9972-51-384-8.
3. Delfín PFL, Acosta MMP. Analysis and relevance in business development. Pensam Gestión 2016;(40):184–202.
4. Ramírez-García AG, Monterroso-Rivas AI, Garcia-Espejel A. Caracterización de la red de innovación de pequeños productores ganaderos del estado de Sonora, México. Económicas CUC 2019;40(2):195–216.
5. Hall A. Challenges to strengthening agricultural innovation systems: Where do we go from here? Vol. 38, UNU-MERIT. Netherlands; 2007.
6. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], Oficina de Estadística de las Comunidades Europeas [EUROSTAT]. Manual de Oslo. Directrices para la recogida e interpretación de información relativa a innovación [Internet]. 2005.
7. Martínez PJV, Quitian MJS, Castiblanco JIA. Caracterización y comparación de metodologías ágiles y tradicionales de desarrollo de producto. Cienc Ing Neogranadina 2022;32(2):9–26.
8. Fliegel FC. A multiple correlation analysis of factors associated with adoption of farm practices. Rural Sociol 1956;21:284–292.
9. Muñoz M, Aguilar J, Rendón R, Altamirano J. Análisis de la dinámica de innovación en cadenas agroalimentarias. Chapingo UA, editor. CIESTAAM - Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 2007.
10. Pérez GRO, Martínez BH, López TBJ, Rendón MR. Estimación de la adopción de innovaciones en la agricultura. Rev Mex Cienc Agrí 2016;(15):2909–2923.
11. Saaty TL. How to make a decision: The analytic hierarchy process. Eur J Oper Res 1990;48(1):9–26.
12. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. Producción de miel en México. 2022. Citado 12 Jul, 2023. [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_p.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_p.php).
13. SAGARPA. Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de miel. Vol. 3 ed. 2015.

14. Zamudio SFJ, Núñez VMA. Género, inequidad y medición. Universidad Autónoma Chapingo; 2011.
15. Vélez IA, Espinosa GJA, Amaro GR, Arechavaleta VME. Tipología y caracterización de apicultores del estado de Morelos, México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2016;7(4):507–524.
16. Rodríguez Balam E, Pinkus Rendón M. Apicultura, entorno y modernidad en localidades de Yucatán, México. *Biotemas* 2015;28(3):143.
17. Martínez GEG, Aguilar ÁJ, Aguilar GN, García SEI, Olvera MJA, Santoyo CH. Adopción de buenas prácticas de producción de miel en Yucatán. *Livest Res Rural Dev* 2017;29(6):1–7.
18. Becerril GJ, Hernández CFI. Beekeeping: its Contribution to the income of rural households in Southern Yucatan. *Península* 2020;15(2):9–29.
19. Güemes RFJ, Echazarreta GC, Villanueva GR, Pat FJM, Gómez ÁR. La apicultura en la península de Yucatán. Actividad de subsistencia en un entorno globalizado. *Rev Mex del Caribe* 2003;8(16):117–132.
20. Magaña MMA, Tavera CME, Salazar BLL, Sanginés GJR. Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Rev Mex Cienc Agríc* 2017;7(5):1103–1115.
21. Contreras-Escareño F, Pérez AB, Echazarreta CM, Cavazos AJ, Macías-Macías JO, Tapia-González JM. Características y situación actual de la apicultura en las regiones Sur y Sureste de Jalisco, Mexico. *Rev Mex Cienc Pecu* 2013;4(3):387–398.
22. Magaña MMÁ, Aguilar AA, Lara LP, Sanginés GR. Caracterización socioeconómica de la actividad apícola en el estado de Yucatán, México. *Agronomía* 2007;15(2):17–24.
23. Luna ChG, Roque PJG, Fernández EE, Martínez ME, Díaz ZUA, Fernández LG. Caracterización apícola en la región sierra centro-norte de Veracruz: contexto y trashumancia. *Rev Mex Cienc Agríc* 2019;10(6):1339–1351.
24. Ponce JPC. Propuesta de desarrollo rural sustentable en la cuenca del río Tizaac, en la Mixteca Poblana [tesis doctorado]. Texcoco, Edo. de México. Universidad Autónoma Chapingo; 2005.
25. World Bank. World development report 2000/2001. Attacking poverty. 2001.
26. Abou-Shaara HF, Al-Ghamdi AA, Mohamed AA. A suitability map for keeping honey bees under harsh environmental conditions using geographical information system. *World Appl Sci J* 2013;22(8):1099–1105.

27. Medina-Cuéllar SE, Portillo-Vázquez M, García Álvarez-Coque JM, Terrazas-González GH, Alba-Nevárez LL. Influencia del ambiente sobre la productividad de la segunda cosecha de miel de abeja en Aguascalientes de 1998 a 2010. *Rev Chapingo, Serie Cienc Forest Amb* 2014;20(2):159–165.
28. Tucuch-Haas JI, Rangel-Fajardo MA, Casanova-Lugo F, Ruíz-Sánchez E, Utrera-Quintana F, Tucuch-Haas CJ, *et al.* Alternative supplemental feeding of *Apis mellifera* L. during the time of shortage in Yucatán, México. *Ecosist Recur Agropec* 2020;7(3):1–10.
29. Martell TAY, Lobato RFG, Landa ZM, Luna ChG, García SLE, Fernandez LG. Variables de influencia para la producción de miel utilizando abejas *Apis mellifera* en la región de Misantla. *Rev Mex Cienc Agríc* 2019;10(6):1353–1365.



## Caracterización de mataderos ovinos para la producción de barbacoa en un municipio del altiplano central de México



Enrique Daniel Archundia Velarde <sup>a</sup>

Gisela Velázquez Garduño <sup>a</sup>

Jorge Osorio Avalos <sup>b</sup>

Jesús Terreros Mecalco <sup>a</sup>

María Antonia Mariezcurrena Berasain <sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica del Valle de Toluca. Carretera del Departamento del D.F. km 7.5. 52044. Santa María Atarasquillo, México.

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Toluca, México.

\* Autora para correspondencia: maria.mariezcurrena@yahoo.com.mx

### Resumen:

Asegurar la calidad e inocuidad de la carne de animales de abasto es tema de preocupación mundial. De los factores que se deben cuidar están las actividades que generan estrés al animal durante el manejo *ante-mortem* (transporte, descanso y aturdimiento) y el manejo de la canal *post-mortem* (maduración y almacenamiento), aunado a las prácticas de higiene en instalaciones y personal. El objetivo del trabajo fue caracterizar unidades de matanza ovina con base a la normatividad mexicana vigente dentro del municipio de Capulhuac de Mirafuentes, Estado de México. Para lo cual, se realizó un análisis de componentes principales (CP), destacando que los que representaron mayor variabilidad en los centros de matanza fueron el precio de las canales y sus productos, lugar de comercialización, volumen de matanza, sexo del animal e inocuidad de las canales, los cuales representaron el 50.4 % de la varianza explicada. Así mismo se realizó un análisis de conglomerados el cual representó la integración de cuatro grupos de descriptores de matanza ( $P < 0.05$ ). Como

resultados se encontró que 65 % de animales son faenados en locales comerciales y casas habitación, los cuales no cumplen con la tecnificación descrita en la normatividad; además de que presentan manejos deficientes *ante-mortem* y *post-mortem* de animales; también se observó que el 98.3 % de los establecimientos utiliza un método de matanza denominado descabellado, no reportado en la NOM-033-SAG/ZOO/ 2014, aunado al desconocimiento del personal en temas de bienestar animal. Afectando la calidad e inocuidad de la carne y poniendo en riesgo la salud de los consumidores.

**Palabras clave:** Mataderos, Inocuidad, Bienestar animal, Calidad de la carne, Clúster.

Recibido: 19/01/2024

Aceptado: 15/05/2024

## Introducción

La matanza de un animal constituye el cambio fisicoquímico de músculo a carne<sup>(1)</sup>, en esta práctica se debe asegurar la muerte humanitaria, profesional e indolora del mismo, además de cuidar que el animal sea expuesto a un nivel bajo de estrés, garantizando el bienestar animal y la calidad del producto final denominado carne<sup>(2)</sup>.

Las características más importantes de la carne fresca que determinan la calidad, inocuidad y aceptación por parte del consumidor son las propiedades físico-químicas (pH, capacidad de retención de agua, color y textura), organolépticas (suavidad, consistencia, olor, sabor y color) y microbiológicas (ausencia de bacterias enteropatógenas y hongos)<sup>(3)</sup>.

Estas propiedades están influenciadas por factores como el sistema de producción (tipo de alimentación, manejos animales, cuidado sanitario, así como reproductivo y genético), factores *ante-mortem* (transporte, descanso, ayuno y manejo del animal)<sup>(4)</sup> y *post-mortem* (tiempo de maduración y temperatura de almacenamiento)<sup>(2,3)</sup>. Así como el manejo de animales durante la matanza por parte de los operarios<sup>(5)</sup>.

La carne ovina es considerada uno de los alimentos más completos desde el punto de vista nutricional dentro de la dieta de consumo humano<sup>(6)</sup>, debido a que proveen ácidos grasos esenciales, proteínas y grasas de alto valor biológico<sup>(7)</sup> además de ser rica en vitaminas y minerales<sup>(8)</sup>.

El México el 95 % del consumo de esta carne es a través del platillo típico denominado barbacoa, producto obtenido de la cocción al vapor de la carne ovina en un hoyo bajo tierra

cubierto de ladrillos, envuelta en pencas de maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto) adicionado con condimentos y especias y el resto 5 % en cortes finos<sup>(9,10)</sup>.

En el municipio de Capulhuac de Mirafuentes, Estado de México se matan alrededor de 400,000 cabezas de ganado ovino al año para abastecer la demanda de la zona centro del país<sup>(11)</sup>. En este municipio se comercializan alrededor de 8 mil canales de ovinos por semana, por lo cual es considerado el productor y comercializador número uno a nivel nacional de carne fresca de la especie ovina. Este municipio si bien cuenta actualmente cuenta con un rastro municipal con una capacidad instalada para albergar el 67 % de las matanzas, se ve rebasado, lo que ha orillado a los productores a generar sus propias unidades de matanza, desconociendo si cumplen con la normatividad vigente, lo cual pone en riesgo el bienestar animal, la calidad de la carne y la salud de los consumidores. Por tal motivo el objetivo del trabajo fue caracterizar unidades de matanza ovina con base a la normatividad mexicana vigente, dentro del municipio de Capulhuac de Mirafuentes, Estado de México.

## Material y métodos

El presente estudio se definió como una investigación cualitativa y descriptiva y fue realizado en el mes de julio de 2022. En el municipio de Capulhuac de Mirafuentes (19°12'N 99°28'W; 2700 msnm) Estado de México (altiplano central de México).

### Elaboración de la encuesta

Para la elaboración de la encuesta, se consultaron las normas NOM-008-ZOO-1994 (Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para la matanza de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos, en aquellos puntos que resultaron procedentes)<sup>(12)</sup>, NOM-033-SAG/ZOO/ 2014 (Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres)<sup>(13)</sup>, NOM-213 SSA-1 2018 (Productos y servicios. Productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. disposiciones y especificaciones sanitarias)<sup>(14)</sup> y NOM 194-SSA1-2004 (Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio)<sup>(15)</sup>, NOM-120-SSA1-1994 (Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas)<sup>(16)</sup>, NOM-051-ZOO-1995 (Trato humanitario en la movilización de animales)<sup>(17)</sup>. También se obtuvo información primaria y secundaria con visitas de campo y entrevistas no estructuradas con dueños y empleados de mataderos y personal del rastro municipal.

En primera instancia la encuesta fue validada por expertos académicos y médicos veterinarios zootecnistas que realizan la inspección sanitaria por parte del Instituto de Salud del Estado

de México (ISEM) y con ella, se realizó una prueba piloto, la cual fue aplicada a 10 productores, mismos que no se incluyeron en los resultados de la investigación.

Con los datos recopilados en una segunda instancia se generó una nueva final que fue estructurada mediante preguntas abiertas, cerradas y de opción múltiple con la finalidad de facilitar su aplicación y que integró 74 preguntas acordes a las especificaciones más importantes referidas por los expertos universitarios y productores ovinos como se muestra en el Cuadro 1.

### **Tamaño de muestra**

El número de establecimientos evaluados se calculó con base en un muestreo simple aleatorio, considerando una población finita. Los componentes de la fórmula fueron un valor de confianza del 95% ( $Z = 1.96$ ), precisión del 5%, un estimador de varianza igual a 0.25 [ $\sigma^2 = \pi(1-\pi)$ ] y un valor de  $N = 65$  a partir de la base de los establecimientos inscritos en el padrón de funcionamiento del Ayuntamiento Municipal de Capulhuac. El tamaño de muestra obtenido fue de  $n = 57$ .

### **Descripción del estudio**

En la aplicación de encuestas se utilizó un método de muestro probabilístico completamente al azar de manera deliberada por su alto número de matanzas ovinas que se realizan.

Para minimizar el error se informó que la participación sería voluntaria y se aseguró que los dueños y encargados de los establecimientos no conocieran el día de muestreo, además de no ofrecer alguna remuneración económica a los establecimientos participantes e indicando que toda la información sería confidencial y sólo con fines de la investigación.

### **Análisis estadístico**

Fueron utilizadas dos técnicas estadísticas multivariadas, análisis de componentes principales y análisis conglomerados (clúster). Con la información de la encuesta, la cual fue aplicada a 57 unidades de matanza ovina (UMO), en primera instancia se realizó un análisis discriminante con la finalidad de eliminar aquellas variables que no permitían la diferenciación de las unidades de matanza ovina. Posteriormente con las variables que permitieron la diferenciación se realizó el método de componentes principales para la extracción de factores, además del índice de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett para medir la correlación entre variables. Aquellas variables con una comunalidad ( $h < 0.9$ ) no fueron incluidas en el factor de análisis factorial porque indican que estas variables no fueron correlacionadas con los nuevos factores. Los factores seleccionados

fueron los que presentaron valores propios  $\geq 1$ . Para obtener una mejor comprensión de los factores obtenidos, se llevó a cabo un método de rotación ortogonal (Varimax) y, en consecuencia, las puntuaciones de los factores en el análisis se estimaron mediante el método de regresión y se guardaron como nuevas variables. Posteriormente se realizó un análisis jerárquico de conglomerados para identificar semejanzas y a su vez diferencias en las salas de matanza. La distancia utilizada fue la euclidiana cuadrada como medida de similitud y aglomeración, se realizó por el método de Ward. Para seleccionar las variables más significativas que permitirían la diferenciación entre los grupos obtenidos, se realizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis y pruebas de Mann Whitney, teniendo en cuenta las características del estudio y las variables.

## Resultados

### Análisis discriminante

Los resultados del análisis discriminante permitieron descartar 28 variables que no presentaban diferencia significativa ( $P > 0.05$ ). Por tanto, finalmente fueron consideradas solo 46 variables para los análisis posteriores, que permitieron la explicación de variabilidad de los descriptores de matanza ovina (Cuadro 2).

**Cuadro 2:** Resultados análisis discriminante

<b>Variables o descriptores de matanza seleccionados</b>	<b>Variables o descriptores de matanza discriminados</b>
1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 54, 55, 57, 58, 59, 65, 67, 69	2, 16, 21, 22, 23, 25, 31, 35, 40, 41, 42, 49, 51, 52, 53, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 68, 70, 71, 72, 73, 74

Se obtuvieron 13 componentes principales (CP) que explicaron el 78.64 % variabilidad de los datos (Cuadro 3), mismos que fueron renombrados de acuerdo con las variables que se correlacionaron. Se conformaron tres grupos, donde se pueden observar que las variables de estudio, el precio de canales y subproductos representó el 22.58 % y el lugar de comercialización de productos el 9.96 %, estos fueron las que generaron los mayores valores. Posteriormente como segundo componente, fueron integradas por las variables: volumen de matanza, sexo del animal, factores que afectan la inocuidad de las canales, generación desechos, afectaciones sociales y práctica de higiene del personal y como tercer componente de importancia, fue tan solo la variable capacitación de personal, que integrados estos tres componentes principales representaron el 46.14 % de la variabilidad.

**Cuadro 3:** Componentes principales en matanza ovina en el municipio de Capulhuac de Mirafuentes

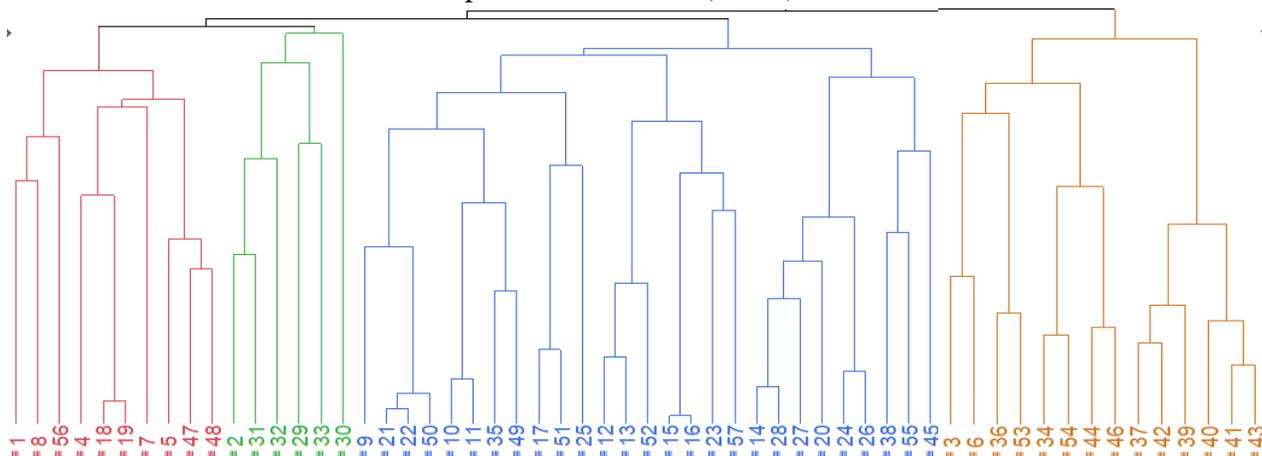
CP	Nombre	VC	Autovalor	Porcentaje 1	Porcentaje 2
CP1	Precio de canales y subproductos	7, 8, 9, 10, 11, 12	9.71	22.58	22.58
CP2	Lugar de comercialización	5, 6	4.28	9.96	32.54
CP3	Volumen de matanza	3, 4	2.81	6.54	39.09
CP4	Sexo del animal	13, 14	2.53	5.89	44.99
CP5	Factores que afectan la inocuidad de las canales	32, 34, 50, 55, 69	2.32	5.39	50.38
CP6	Generación de desechos y afectaciones sociales	20, 57, 59	2.16	5.03	55.42
CP7	Práctica de higiene del personal	45, 46, 47, 48, 54, 58	1.94	4.51	59.92
CP8	Capacitación de personal	54	1.61	3.75	63.67
CP9	Infraestructura del matadero	15, 17, 26, 27, 29, 30, 65	1.61	3.63	67.30
CP10	Factores que afectan la calidad de la carne	33, 37	1.41	3.29	70.59
CP11	Tipo de matadero	1	1.28	2.98	73.58
CP12	Método de aturdimiento	55	1.14	2.65	76.24
CP13	Periodo de descanso antes de la matanza	19	1.05	2.40	78.64

CP= componente principal; VC= variables correlacionadas; Porcentaje 1=% de la varianza total explicada; Porcentaje 2= % acumulado de la varianza explicada.

### Análisis de clúster

En la Figura 1. Se muestra el dendograma de los clústers formados de los ambientes de matanza.

**Figura 1:** Clústers jerárquico (dendograma) del análisis de agrupamiento a partir de los descriptores de matanza (N=46)



## Descripción de los agrupamientos (clúster) por similitudes en ambientes de matanza

### Clúster 1

Conformado por 10 UMO (unidades de matanza ovina), se caracteriza por estar conformado sólo de establecimientos privados que matan un promedio de 31 animales por semana (ovinos machos en 84 %), para venta de carne en el municipio de Capulhuac y la comercialización de barbacoa en la zona metropolitana de México. En cuanto a canales se comercializan dos tipos: recia (animales adultos) en un precio de \$91.00 y canal tierna (animales menores de 9 meses de edad) en un precio de \$97.00, también comercializan subproductos como vísceras en (\$163.00), patas (\$34.00), cabeza (\$53.00) y el platillo denominado barbacoa y panza de ovino en un precio de \$391.00 el kilo; en cuanto a las condiciones de infraestructura de los establecimientos que cumplen la normatividad vigente es que cuentan con una área de desembarque de animales y área de carga de canales y vísceras, contando con corrales de descanso donde les dan un tiempo de 12 a 24 h, las uniones de los pisos y paredes son de fácil limpieza.

En el área de matanza cuenta con tapetes sanitarios con solución desinfectante. Todas las áreas de la unidad de matanza se mantienen libres de plagas y se impide la entrada a animales domésticos, y en su totalidad todos los empleados usan cubrebocas, así como se les prohíbe entrar al área de matanza con algún tipo de accesorio. En cuanto al manejo *post-mortem*, los establecimientos cuentan con congeladores, dándoles un tiempo de maduración de 1 a 6 h, separando e identificando las vísceras por animal. Sin embargo, no cuentan con corrales de identificación de animales enfermos. No cuentan con plan de control de plagas, ni protecciones en ventanas y ventilas que ayuden a reducir la entrada de polvo, lluvia e insectos

y en general la sangre que se desecha es composteada; en cuanto a los litros de agua que se gastan por animal está en un rango de 7 a 12 L (Cuadro 4).

### Clúster 2

Conformado por 6 UMO, está conformado por los tres tipos de mataderos: rastro municipal, instalación de rastro con personal privado y unidades de matanza privados, en general son unidades con grandes volúmenes de matanza (promedio de 86 animales por semana). Su principal destino es la venta de carne y subproductos, así como barbacoa en el municipio de Capulhuac y principalmente para reventa. Comercializan dos tipos de canales: tierna en un precio de \$99.00 y canal recia en \$89.00, también se caracterizan por la comercialización de subproductos como vísceras: \$151.00, patas: \$35.00, cabeza: \$53.00 y la comercialización de platillo denominado barbacoa y panza de ovino en un precio de \$360.00/kg. En cuanto a preferencia de matanza por sexo de los animales, no le dan importancia. La infraestructura cumple con área de desembarque y área de carga de canales y vísceras, también cuentan con corrales para animales enfermos, así como corrales de descanso dando un periodo de entre 13 y 24 h. Cumplen con materiales en uniones de pisos y paredes que facilitan la limpieza. La limpieza de corrales, rampas, mangas, baño *ante mortem* y área de secado y escurrimiento, se realiza todos los días por los altos volúmenes de matanza, cumpliendo con la identificación de vísceras por animal. Existe nulo cumplimiento con el control de plagas y tapete sanitario. Las protecciones en ventanas y ventilas no se encuentran en buen estado para reducir la entrada de polvo, lluvia y fauna nociva. No existe rótulos que indique al personal lavarse las manos después de usar los sanitarios. No existen medidas que impidan la entrada de animales domésticos a las áreas de matanza, canales y vísceras. Tampoco se asegura que todas las áreas de la planta se mantengan libres de insectos, pájaros o roedores. El personal cumple muy poco con la existencia de ropa u objetos personales en el área de matanza. No existe prohibición a los empleados de entrar a las áreas de matanza o proceso de canal con joyas, pinzas, aretes, anillos, relojes o pulseras. El destino de la sangre es vertido al drenaje público. El gasto de agua para el procesado del animal va desde los 25 a los 48 L.

### Cluster 3

Este grupo está conformado por 26 UMO el cual se compone por mataderos privados e instalaciones del rastro con personal privado, los cuales tienen un volumen de matanza promedio de 60 animales por semana (65 % machos). Son ovinos introducidos de diferentes estados de la república, quienes sacrifican, y comercializan su carne y sus subproductos solo en el municipio de Capulhuac, con dos tipos de canales recia en un precio promedio de \$88.00 y tierna en \$97.00. También comercializan subproductos como vísceras: \$159.00, patas: \$36.00, cabeza \$53.00. La normatividad que cumple, es que cuentan con un plan de control de plagas, las uniones de piso y pared son de fácil limpieza, se impide la entrada a animales domésticos al área de matanza y tiene un tiempo de maduración de canales (7 a 12 h). Todas

las áreas de la planta se mantienen libres de insectos, pájaros y roedores, también se identifican las vísceras de cada canal para ser inspeccionadas y cuenta con congeladores. En cuanto a los empleados todos usan cubrebocas y medianamente cumple con la existencia de ropa o objetos personales en el área de matanza. La normatividad que no se cumple es que no existen tapetes sanitarios a la entrada de los establecimientos. La sangre se comercializa dentro del municipio para la realización del platillo tipo moronga. El agua que gastan en el procesado por animal es de 13 a los 24 L.

#### Clúster 4

Conformado por 14 UMO, solo matanzas en instalaciones del rastro con personal privado que matan y procesan la menor cantidad de animales (27/semana). Destinan totalmente los animales para la producción de barbacoa y panza (\$379.00/kg), sólo se comercializan en la zona metropolitana de la Ciudad de México, procesan 76 % de ovinos machos para la elaboración del platillo de la barbacoa. La normatividad que cumplen es que el establecimiento tiene área de desembarque de animales y área de carga de canales y vísceras. Cuentan con corrales para animales enfermos o sospechosos, dan un tiempo de descanso antes de la matanza de entre 13 y 24 h, tienen un plan de control de plagas, las uniones de piso y pared son de fácil limpieza, se impide la entrada a animales domésticos al área de matanza, permiten un tiempo de maduración de canales entre 7 a 12 h, todos cuentan con congeladores, todos los empleados usan cubrebocas y cumple con la nula existencia de ropa o objetos personales en el área de matanza, la normatividad que no cumple es que no existen tapetes sanitarios, ni tampoco un plan de control de plagas, ni cuentan con uniones de fácil limpieza entre pisos y paredes, no se impide la entrada de animales domésticos en las áreas de matanza, canales y vísceras, dan un tiempo deficiente de maduración de entre 7 y 12 h, no mantienen las áreas de la empresa libres de insectos, pájaros y roedores; no se prohíbe a los empleados entrar a las áreas de matanza y procesado de canales con joyas, pinzas, aretes, anillos, relojes o pulseras y tampoco se identifican las vísceras de cada animal y gastan en promedio de 7 a 12 L.

**Cuadro 5:** Principales diferencias en fortalezas y debilidades entre clústers

	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4
Fortalezas en matanza ovina	Dan un periodo adecuado de descanso antes de la matanza de 13 a 24 h <sup>(4)</sup>	El establecimiento cuenta con corrales para animales enfermos o sospechosos <sup>(4)</sup>	Cuentan con un control de plagas <sup>(4)</sup>	Dan un periodo aceptado de descanso antes de la matanza de 13 a 24 h <sup>(4)</sup>
	Cumple con la existencia de tapete sanitario con solución desinfectante como lo indica la norma <sup>(4)</sup>	Dan un periodo adecuado de descanso antes de la matanza de 13 a 24 h <sup>(4)</sup>	Cumple en impedir la entrada de animales domésticos en las	Dan un tiempo de maduración como lo indica NOM 194-SSA1-2004) el cual es de 7 a 12 h <sup>(4)</sup>

		áreas de matanza, canales y vísceras <sup>(4)</sup>	
Cumple en tener uniones de pisos y paredes de fácil limpieza <sup>(1)</sup>	Cumple con lavado diario de corrales, rampas, mangas, baño <i>ante-mortem</i> y área de secado y escurrimiento diariamente <sup>(4)</sup>	Dan un tiempo de maduración adecuado (7 a 12 h) <sup>(4)</sup>	
Cumple en impedir la entrada de animales domésticos en las áreas de matanza, canales y vísceras <sup>(4)</sup>	Cumple en tener uniones de pisos y paredes de fácil limpieza como lo indica la norma	Cumplen en su totalidad en el uso de cubrebocas en el personal de producción <sup>(3)</sup>	Cumplen en su totalidad en el uso de cubrebocas en el personal de producción <sup>(3)</sup>
Cumplen mucho en el uso de cubrebocas en el personal de producción <sup>(3)</sup>	Cumple en impedir la entrada de animales domésticos en las áreas de matanza, canales y vísceras como lo indica la norma <sup>(4)</sup>	Dan un manejo adecuado a la sangre (venta) <sup>(4)</sup>	Gastan entre 7 a 12 L de agua por matanza de animal
Dan un manejo adecuado a la sangre (composta) <sup>(4)</sup>	Cumplen en su totalidad en el uso de cubrebocas en el personal de producción, como se indica en la norma <sup>(3)</sup>	Dan un periodo de descanso antes de la matanza muy largo de 24 a 48 h <sup>(4)</sup>	Lavan semanalmente rampas, mangas, baño <i>ante-mortem</i> y área de secado y escurrimiento por tal motivo no cumple <sup>(4)</sup>
Cumple en su totalidad en la identificación de vísceras de cada canal <sup>(4)</sup>	Los establecimientos no cuentan con un plan de control de plagas <sup>(4)</sup>	Lavan semanalmente rampas, mangas, baño <i>ante-mortem</i> y área de secado y escurrimiento por tal motivo no cumple <sup>(4)</sup>	Los establecimientos no cuentan con un plan de control de plagas <sup>(4)</sup>
Gastan entre 7 a 12 L de agua por matanza de animal	No cumplen en tener en la entrada del área de matanza un tapete sanitario con solución desinfectante <sup>(4)</sup>	No cumplen en tener en la entrada del área de matanza un tapete sanitario con solución desinfectante <sup>(4)</sup>	No cumplen en tener en la entrada del área de matanza un tapete sanitario con solución desinfectante <sup>(4)</sup>
Lavan semanalmente rampas, mangas, baño	No cumplen en impedir la entrada	No cumple en la identificación de	Las uniones de pisos y paredes no

Debilidades en matanza ovina	<i>ante-mortem</i> y área de secado y escurrimiento por tal motivo no cumple con la norma <sup>(4)</sup>	de animales domésticos en las áreas de matanza, canales y vísceras <sup>(4)</sup>	vísceras de cada canal <sup>(4)</sup>	son de fácil limpieza <sup>(4)</sup>
	El establecimiento cuenta con un plan de control de plagas <sup>(4)</sup>	Dan un tiempo de maduración de canales muy corto de 1 a 6 h <sup>(4)</sup>	Gastan entre 13-24 L por animal	No cumplen en impedir la entrada de animales domésticos en las áreas de matanza, canales y vísceras <sup>(4)</sup>
	Dan un tiempo de maduración de canales muy corto de 1 a 6 h	No se cuenta con congeladores <sup>(4)</sup>		No se cuenta con congeladores <sup>(4)</sup>
		No dan un destino adecuado de la sangre (drenaje) <sup>(4)</sup>		No dan un destino adecuado de la sangre <sup>(4)</sup>
		No se identifican las vísceras de cada canal <sup>(4)</sup>		No se identifican las vísceras de cada canal <sup>(4)</sup>
			Gastan entre 25-48 L por animal	

\* Variable cualitativa, \*\* Variable cuantitativa, Escala de Likert (no cumple, cumple muy poco, medianamente cumple, cumple mucho, cumple en su totalidad), <sup>1</sup>(NOM-008-ZOO-1994), <sup>2</sup>(NOM-033-SAG/ZOO/ 2014), <sup>3</sup>(NOM-213 SSA-1 2018), <sup>4</sup>(NOM 194-SSA1-2004), <sup>5</sup>(NOM-120-SSA1-1994), <sup>6</sup>(NOM-051-ZOO-1995).

## Discusión

En México existen pocos estudios que han documentado las condiciones en las que se realiza la matanza de ovinos en las diferentes zonas del país y su efecto a la salud de los consumidores. Los resultados del presente estudio describen las condiciones de matanza de más de 400 mil ovinos al año en Capulhuac, los cuales son destinados para consumo humano a través de la venta de carne en cortes finos y barbacoa, platillo muy popular para consumir especialmente los días sábados y domingos en diferentes zonas de la zona metropolitana de la Ciudad de México, además de su ocupación en eventos sociales<sup>(18)</sup>. Se lograron caracterizar tres tipos de establecimientos de matanza ovina: el primero corresponde a todos los animales faenados en el rastro municipal de Capulhuac con personal contratado. El segundo a todos los animales faenados en área alterna al aire libre con corrales, piletas y mesas de concreto, que el rastro renta al público en general para realizar el faenado de ovinos y la tercera que corresponde a mataderos con establecimientos privados de los cuales, el 35 % cuenta con la infraestructura adecuada e instalaciones para realizar la matanza de ovinos y el 65 % corresponde a locales y casas habitación acondicionadas para realizar estas actividades.

También se encontró que los tres tipos de UMO cuentan con corrales para el periodo de descanso *ante-mortem* de los animales. Sin embargo, tienen un manejo deficiente en tiempo de descanso y ayunos prolongados, factores relacionados con generaciones de periodos de estrés al animal; esto puede ser explicado por las largas distancias que recorren los animales. Capulhuac se caracteriza por ser un introductor de animales, los cuales provienen principalmente de estados de Coahuila, Zacatecas y Jalisco, e incluso se ha llegado a importar de otros países como Nueva Zelanda<sup>(19,20)</sup>. Sin embargo, los productores de carne dan los mismos tiempos de descanso, sin tomar en cuenta, infraestructura de camiones, distancias o tiempos de traslado; factores de suma importancia que pueden desencadenar en la formación de carnes oscuras, duras y secas (DFD), y con ello afectar el rendimiento de la canal y la preferencia por los consumidores<sup>(21-25)</sup>. Cuentan entre uno y cinco empleados siendo su vestimenta habitual ropa de calle cubiertos con un mandil y botas de plástico, estando fuera de la normativa.

Los hábitos de higiene que cumplen en su totalidad son el lavado y desinfección de manos, antebrazos y uñas antes de ingresar a las áreas de matanza, así como en la prohibición a los empleados de fumar, beber, comer y escupir en áreas de matanza y procesamiento de canales. En cuanto al método de insensibilización, menos del 2 % utilizan un método aprobado por la norma NOM-033-ZOO/SAG-2014 como lo es el uso de pistola de perno cautivo de penetración y electro insensibilización, métodos que garantizan la inconciencia del animal y la nula generación de sufrimiento, mientras que el resto (98 %) utilizan un método que denominan de manera local “descabellado” y hace referencia a un método de matanza reportado por SADER conocido como “puntilla” que consiste en un proceso de destrucción del tejido nervioso en la región del tallo cerebral para asegurar la muerte del animal; se realiza insertando una puntilla que lesiona el bulbo raquídeo al introducirse en la articulación occipito-atlantoidea, ocasionando parálisis motora pero no hay pérdida inmediata de la conciencia, quedando íntegras las facultades cerebrales<sup>(26)</sup>. Este método a pesar de ser recomendado en emergencias sanitarias podría violar la norma de métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres (NOM-033-SAG/ZOO-2014), al desconocerse si nulifique la generación de estrés y dolor al animal. Factores determinantes como lo reportan algunos investigadores<sup>(6)</sup>, quienes observaron que un método deficiente de matanza puede resultar en carnes de mala calidad con vida útil más corta.

En cuanto al manejo *post-mortem* se puede observar que ninguno de los establecimientos de matanza cuenta con cámaras de refrigeración para la correcta maduración de carne y solo el 12 % le da un tiempo de entre 12 y 48 h, el resto se caracterizan por comercializar las canales calientes, factor perjudicial para la terneza de la carne, como lo mencionaron en una investigación<sup>(27)</sup> donde evaluaron diferentes tiempos de maduración de carne ovino concluyendo que la terneza de la carne se incrementa a medida que aumenta el tiempo de maduración de las canales. Se señala<sup>(28)</sup>, que el manejo pre-matanza y el tiempo de maduración, así como las condiciones de almacenamiento de la carne ejercen un papel

determinante sobre la calidad del producto final, lo cual concuerda con lo reportado<sup>(29)</sup>, quien indica que el estrés generado por el mal manejo de animales aunado a las condiciones deficientes de maduración y almacenamiento de canales afecta la pérdida de peso en canal, la terneza y genera cortes con coloraciones oscuras, afectando directamente las características sensoriales de la carne y con ello la decisión de compra o condicionando su venta a menores precios<sup>(30)</sup>.

En cuanto a los empleados, ningún establecimiento les proporciona ropa de trabajo adecuada, ni se exige desinfectar el calzado antes de entrar al área de matanza. En el 50 % de mataderos se encontraron problemas de plagas como roedores, pájaros, insectos o animales domésticos en las áreas de matanza, coincidiendo con lo observado por otros<sup>(31)</sup>, quienes mencionan que la presencia de plagas son un reflejo de las malas condiciones de limpieza en mesas de trabajo, vehículos, utensilios e indumentaria de trabajo. Por otra parte el personal carece de capacitación, al encontrar que más del 90 % desconoce cuáles son las buenas prácticas de matanza y bienestar animal, elementos de suma importancia; y que coinciden con un estudio en donde se evaluó la eficacia de capacitar al personal en cuanto al manejo y matanza de animales, como su efecto en la calidad de la carne, concluyendo que un equipamiento apropiado y la capacitación del personal mejoran significativamente la eficacia del proceso, asegurando el bienestar animal y la calidad de la carne<sup>(32)</sup>.

En el 93 % del manejo de las canales de los establecimientos no se realizan exámenes *ante-mortem*, además de no realizar el baño de animales el cual tiene la finalidad de disminuir la carga microbiológica que trae el animal como son restos de excremento, orina o tierra<sup>(33)</sup>, resultados que coinciden con un trabajo en donde se encontraron irregularidades en la inspección veterinaria, comprometiendo la recepción segura de animales e incrementando los riesgos de introducción de agentes causales de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA's) desde las explotaciones hasta el matadero<sup>(34)</sup>.

## Conclusiones e implicaciones

Los tres tipos de establecimiento conformados no cuentan con el conocimiento básico sobre las normas del bienestar animal, faltando una adecuada capacitación del personal. Las condiciones de infraestructura, del personal y el manejo de residuos no son las adecuadas de acuerdo con la normatividad vigente para asegurar la inocuidad y calidad de la matanza. Particularmente de los tres tipos de establecimientos para realizar la matanza, el rastro municipal es el que en cierta medida se apega a un nivel de cumplimiento más alto en la normatividad vigente. Sin embargo, las instalaciones ya son viejas, carentes de tecnología que lo amerita para la cantidad de animales que se faenan, aunado a el limitado personal con el que cuenta, ocasionando con ello prolongados lapsos de tiempo en el proceso de la matanza. Se sugiere implementar programas de capacitación por parte de autoridades

oficiales competentes, con la finalidad de mejorar las condiciones en el proceso de la matanza apegados a la normatividad vigente. Así como acondicionar y tecnificar las instalaciones del rastro municipal de Capulhuac de Mirafuentes para garantizar las buenas prácticas de matanza e inocuidad de la carne comercializada, así como hacer eficiente la capacidad instalada a la actual demanda en el procesado de matanza de este municipio.

### **Agradecimientos**

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por la beca de estancia de investigación otorgada, para la realización de esta investigación, así mismo al Ayuntamiento Municipal de Capulhuac de Mirafuentes, Estado de México, por las facilidades otorgadas en poder desarrollar esta investigación en el municipio.

**Cuadro 1: Preguntas de la encuesta**

(1) ¿Tipo de matadero?*	(26) ¿Los pisos de las instalaciones de matanza son impermeables, homogéneos y de características que permitan su fácil limpieza y desinfección? (Si, No)* <sup>(5)</sup>	(51) ¿Se realiza la inspección <i>ante-mortem</i> ? (Si, No)* <sup>(4)</sup>
(2) ¿Origen de los animales?*	(27) ¿A la entrada del área de matanza existe un tapete sanitario con solución desinfectante? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(52) ¿Quién realiza la inspección sanitaria <i>ante-mortem</i> ?* <sup>(4)</sup>
(3) ¿Cuántos animales matan a la semana? (N)**	(28) ¿Las uniones del piso y la pared son de fácil limpieza? (Si, No)* <sup>(1)</sup>	(53) ¿Realizan baño <i>ante-mortem</i> ? (Si, No)* <sup>(4)</sup>
(4) ¿Con que frecuencia se matan ovinos? (N)**	(29) ¿Las ventanas y ventilas están provistas de protecciones en buen estado de conservación para reducir la entrada de polvo, lluvia y fauna nociva? (Si, No)* <sup>(1)</sup>	(54) ¿Se capacita al personal para realizar su trabajo? (Escala de Likert)* <sup>(5)</sup>
(5) ¿Destino de las canales?*	(30) ¿Existen rótulos en los que se indique al personal que debe lavarse las manos después de usar los sanitarios? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(55) ¿Método de aturdimiento?*( <sup>2</sup> )
(6) ¿Lugar de comercialización?*	(31) ¿El establecimiento cuenta con una área exclusiva para el depósito temporal de desechos y basura, delimitada y fuera del área de producción? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(56) ¿Se cuenta con rieles o ganchos para el manejo de las canales? (Si, No)* <sup>(4)</sup>
(7) ¿Precio canal tierna? (\$/kg)**	(32) ¿Se impide la entrada de animales domésticos en las áreas de matanza, canales y vísceras? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(57) ¿Destino de la sangre?*( <sup>4</sup> )
(8) ¿Precio canal recia? (\$/kg)**	(33) ¿Tiempo de maduración de canales? (horas)* <sup>(4)</sup>	(58) ¿Cuenta con recipientes para desinfección de cuchillos? (Si, No)* <sup>(1)</sup>
(9) ¿Precio vísceras? (\$/kg)**	(34) ¿Todas las áreas de la planta se mantienen libres de insectos, roedores, pájaros u otros animales? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(59) ¿Se identifican las vísceras de cada canal? (Escala de Likert)* <sup>(4)</sup>
(10) ¿Precio patas? (\$/kg)**	(35) ¿El agua que se emplea para lavar los equipos y utensilios es potable? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(60) ¿En qué se depositan las vísceras?*( <sup>1</sup> )
(11) ¿Precio cabeza? (\$/kg?)**	(36) ¿Cuenta con cámara de refrigeración? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(61) ¿Existen salas separadas para el manejo de vísceras verdes y rojas? (Si, No)* <sup>(1)</sup>
(12) ¿Precio de barbacoa? (\$/kg)**	(37) ¿Cuenta con congeladores? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(62) ¿Se realiza inspección <i>post-mortem</i> ? (Si, No)* <sup>(4)</sup>
(13) Porcentaje de ovinos vendidos (%)**	(38) ¿Cuántos empleados trabajan en el establecimiento? (N)** <sup>(5)</sup>	(63) ¿Quién realiza la inspección sanitaria <i>post-mortem</i> ?***( <sup>4</sup> )
(14) Porcentaje de ovejas vendidas (%)**	(39) ¿No existe presencia de ropa u objetos personales en el área de matanza? (Escala de Likert)* <sup>(5)</sup>	(64) ¿Se cuenta con incineradores? (Si, No)* <sup>(1)(4)</sup>
(15) ¿El establecimiento cuenta con un área de desembarque para animales y área de carga de canales y vísceras? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(40) ¿Existen casilleros donde los empleados puedan guardar sus pertenencias? (Si, No)* <sup>(3)</sup>	(65) ¿Cuál es el destino de las vísceras y canales decomisadas* <sup>(4)</sup>

(16) ¿El establecimiento cuenta con un área identificada, con toma de agua y drenaje para el lavado y desinfección del transporte? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(41) ¿Los empleados se presentan aseados a trabajar? (Si, No)* <sup>(5)</sup>	(66) ¿Se lavan las canales después de remover la piel? (Si, No)* <sup>(4)</sup>
(17) ¿El establecimiento cuenta con corrales para animales enfermos o sospechosos? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(42) ¿Usan cofia? (Escala de Likert)* <sup>(5)</sup>	(67) ¿Cuántos litros de agua se gastan por animal? (L)**
(18) ¿El establecimiento cuenta con corrales para el periodo de descanso antes de la matanza? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(43) ¿Usan cubrebocas? (Escala de Likert)* <sup>(3)</sup>	(68) ¿Dónde se vierten las aguas residuales?*( <sup>4)</sup>
(19) ¿Periodo de descanso antes de la matanza? (horas)***( <sup>4)</sup>	(44) ¿El calzado es desinfectado antes de entrar al área de matanza? (Escala de Likert)* <sup>(3)</sup>	(69) ¿Existe señalización de áreas peligrosas? (Escala de Likert)* <sup>(5)</sup>
(20) ¿Con que frecuencia se lavan los corrales, rampas, mangas, baño <i>ante-mortem</i> y área de secado y escurrimiento?*( <sup>4)</sup>	(45) ¿El establecimiento proporciona ropa adecuada para trabajar? (Escala de Likert)* <sup>(3)</sup>	(70) ¿Tiene algún programa de promoción de la salud?*, (Si, No)* <sup>(5)</sup>
(21) El establecimiento cuenta con drenaje? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(46) ¿Se prohíbe a los empleados entrar a las áreas de matanza o proceso de canal con joyas, pinzas, aretes, anillos, relojes o pulseras? (Escala de Likert)* <sup>(5)</sup>	(71) ¿Saben qué son las buenas prácticas de matanza? (Si, No)***( <sup>5)</sup>
(22) El establecimiento cuenta con baños? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(47) ¿Se prohíbe a los empleados fumar, beber, comer, escupir en áreas de matanza y procesamiento de canales? (Escala de Likert)* <sup>(5)</sup>	(72) ¿Se capacita al personal en BPM? (Si, No)* <sup>(5)</sup>
(23) ¿Los baños se encuentran fuera de las instalaciones de matanza y procesamiento de la canal? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(48) ¿Con que tipo de vestimenta se presentan a trabajar los empleados?*( <sup>5)</sup>	(73) ¿Sabe que es el bienestar animal? (Si, No)* <sup>(6)</sup>
(24) ¿El establecimiento cuenta con un plan de control de plagas? (Si, No)* <sup>(4)</sup>	(49) ¿Se restringe el acceso a las salas de matanza a personal enfermo? (Escala de Likert)* <sup>(5)</sup>	(74) ¿Realizan prácticas de bienestar animal? (Si, No)* <sup>(6)</sup>
(25) ¿Material de construcción de pisos y paredes?*( <sup>1)</sup>	(50) ¿El personal debe lavarse y desinfectarse las manos y antebrazos, así como cepillarse las uñas antes de ingresar a las áreas de proceso? (Escala de Likert)* <sup>(3)(5)</sup>	

N (número), \* Variable cualitativa, \*\* Variable cuantitativa, Escala de Likert (no cumple, cumple muy poco, medianamente cumple, cumple mucho, cumple en su totalidad), <sup>1</sup>(NOM-008-ZOO-1994), <sup>2</sup>(NOM-033-SAG/ZOO/ 2014, <sup>3</sup>(NOM-213 SSA-1 2018), <sup>4</sup>(NOM 194-SSA1-2004), <sup>5</sup>(NOM-120-SSA1-1994), <sup>6</sup>(NOM-051-ZOO-1995).

**Cuadro 4. Características relevantes y de importancia de los cuatro clústers conformados en los mataderos ovinos en el municipio de Capulhuac de Mirafuentes**

No	Variable o descriptor de matanza	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4	Valor de (P)
1	Número de UMO	10	6	26	14	
2	Tipo de matadero	Mataderos privados (100%)	Mataderos privados (33.4%), Rastro Municipal (16.6%), Instalaciones de rastro con personal privado (50%)	Mataderos privados (84.6%), Instalaciones del rastro con personal privado (15.4%)	Instalaciones del rastro con personal privado (100%)	0.0001
3	Cuántos animales matan a la semana	31±26.8	86±114.0	60±58.0	27±30.0	0.1078
4	Con que frecuencia se mata ovinos	Cada semana	Cada semana	Cada semana	Cada semana	0.2285
5	Destino de las canales	Venta de carne y barbacoa	Venta de carne y barbacoa	Venta de carne	barbacoa	0.0001
6	Lugar de comercialización	Capulhuac y Zona Metropolitana Ciudad México	Capulhuac	Capulhuac	Zona Metropolitana Ciudad México	0.0001
7	Precio canal tierna/kg	96.9±4.03	99.4±8.00	97.0±6.25	N/C	0.0001
8	Precio canal recia/kg	91.50±4.03	89±8.00	88±6.50	N/C	0.0001
9	Precio vísceras/kg	163±10.59	151±18.60	159±13.20	N/C	0.0001
10	Precio patas/pza	34±5.27	35±5.00	36.30±4.05	N/C	0.0001
11	Precio cabeza/pza	53±4.40	50±0.00	53.04±5.50	N/C	0.0001
12	Precio de barbacoa/kg	391±16.93	360±28.28	N/C	379±24.66	0.0001
13	% de ovinos vendidos	84.44±7.26	50±20.54	65.83±20.14	76.5±22.11	0.0001
14	% de ovejas vendidas	16.67±5.47	50±20.54	34.2±16.32	23.5±14.12	0.0001
15	El establecimiento cuenta con un área de desembarque de animales y área de carga de canales y vísceras	Si (100%)	Si (100%)	No (100%)	Si (100%)	0.0001
16	El establecimiento cuenta con corrales para animales enfermos o sospechosos	No	Si	No	Si	0.0001
17	El establecimiento cuenta con corrales para el periodo de descanso antes de la matanza	Si	Si	Si	Si	0.3930
18	Periodo de descanso antes de la matanza	13- 24 h	13-24 h	24-48 h	13-24 h	0.0490
19	Con que frecuencia se lavan los corrales, rampas, mangas, baño <i>ante-mortem</i> y área de secado y escurrimiento	Semanalmente	Diario	Semanalmente	Semanalmente	0.0172
20	El establecimiento cuenta con un plan de control de plagas	No	No	Si	No	0.0053
21	A la entrada del área de matanza existe un tapete sanitario con solución desinfectante	Si	No	No	No	0.0012
22	Las uniones del piso y la pared son de fácil limpieza	Si	Si	Si	No	0.0001

23	Las ventanas y ventilas están provistas de protecciones en buen estado de conservación para reducir la entrada de polvo, lluvia y fauna nociva	No	No	No	No	0.0580
24	Existen rótulos en los que se indique al personal que debe lavarse las manos después de usar los sanitarios	No	No	No	No	0.8340
25	Se impide la entrada de animales domésticos en las áreas de matanza, canales y vísceras	Si	No	Si	No	0.0001
26	Tiempo de maduración de canales	1-6 h	1-6 h	7- 12 h	7- 12 h	0.0470
27	Cuenta con cámara de refrigeración	No	No	No	No	0.3643
28	Cuenta con congeladores	Si	Si	Si	Si	0.0253
29	Cuántos empleados trabajan en el establecimiento	1-5	1-5	1-5	1-5	0.9080
30	Todas las áreas de la planta se mantienen libres de insectos, pájaros y roedores	Si	No	Si	No	0.0001
31	No existe presencia de ropa u objetos personales en el área de matanza	Cumple en su totalidad	Cumple muy poco	Medianamente cumple	Cumple en su Totalidad	0.0164
32	Los responsables de los establecimientos de productos cárnicos, proporcionan ropa de trabajo limpia a los trabajadores	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	0.7601
33	Usan cubre bocas	Cumple mucho	Cumple en su totalidad	Cumple en su totalidad	Cumple en su totalidad	0.0035
34	El calzado es desinfectado antes de entrar al establecimiento	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	0.0980
35	Se les prohíbe a los empleados entrar a las áreas de matanza o proceso de canal con joyas, pinzas, aretes, anillos, relojes o pulseras	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	0.0481
36	Se les prohíbe a los empleados fumar, beber, comer, escupir en áreas de matanza y procesamiento de canales	Cumple en su totalidad	0.4727			
37	Con que tipo de vestimenta se presentan a trabajar los empleados	Mandil de plástico y botas de hule	0.0708			
38	El personal debe lavarse y desinfectarse las manos y antebrazos, así como cepillarse las uñas antes de ingresar a las áreas de proceso	Cumple en su totalidad	0.0766			
39	Se capacita al personal para realizar su trabajo	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	0.0609
40	Método de aturdimiento	Descabellado	Descabellado	Descabellado	Descabellado	0.0609
41	Destino de la sangre	Composta	Drenaje	Se vende	Drenaje	0.0193
42	Cuenta con recipientes para desinfección de cuchillos	Cumple en su totalidad	No cumple	Cumple en su totalidad	No cumple	0.1743
43	Se identifican las vísceras de cada canal	Cumple en su totalidad	Cumple en su totalidad	Cumple en su totalidad	No cumple	0.0041
44	Cuál es el destino de las vísceras y canales decomisadas	Incineran	Incineran	Incineran	Incineran	0.0697
45	Cuántos litros de agua se gastan por animal	7-12 L	25-48 L	13-24 L	7-12 L	0.0238
46	Existe señalización de áreas peligrosas	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	0.1245

**Literatura citada:**

1. Chacón A. La suavidad de la carne: implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial. *Agron Mesoam* 2004;15(2):225-243.
2. Albarracín HW, Sánchez BI. Caracterización del sacrificio de corderos de pelo a partir de cruces con razas criollas. *Rev MVZ Córdoba* 2013;18(1):3370-3378.
3. Hernández BJ, Jesica ALL, Ríos RFG. Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *Nacameh* 2007;7(2):41-64.
4. Aguayo-Ulloa L, Perdomo-Ayola SC. Bienestar animal y calidad de la canal en ovinos de pelo beneficiados en un frigorífico de Córdoba, Colombia. *C&TA* 2021;22(1):1-20. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num1\\_art:1836](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1836).
5. Delgado DH, Roque PE, Cedeño PCA, Villoch CA. Análisis del cumplimiento de las Buenas Prácticas de faenado en cinco mataderos municipales de Manabí, Ecuador. *Salud Anim* 2015;37(2):69-78.
6. Mahros MA, Elshebrawy HA, Abd-Elghany SM, Elgazzar MM, Imre K, Mora A, Herman, Khalid IS. The physicochemical and microbiological quality of meat produced in a traditional slaughterhouse in Mansoura City. Egypt. *J Infect Dev Ctries* 2022;16(3):507-515.
7. Cruz-González MI, Sánchez-Machado DI, López-Cervantes J, Munguia-Xochihua JA, Molina-Barrios RM, Rivera-Acuña F, Hernández-Chávez JF. Caracterización del perfil de ácidos grasos en carne de ovino de engorda utilizando cromatografía de gases. *NACAMEH* 2014;8(1):39-49.
8. Santaliestra-Pasías AM, Mesana GMI, Moreno ALA. La carne en la alimentación española: importancia de la carne de cordero. *Nutr Clín Diet Hosp* 2010;30(3):42-48.
9. Cruz-Sánchez OE, Herrera-Camacho JR, García-Herrera A, Aguayo-Ulloa L, Moo-Huchin VM, Cruz-Hernández A, *et al.* Effects of genotype, litter size and sex on carcass characteristics and fatty acid profile in hair lambs. *Rev Mex Cienc Pecu* 2022;13(1):1-18.
10. Mondragón-Ancelmo J, García-Hernández P, Rojas-Sandoval L, Domínguez Vara I, Gómez-Tenorio G, Rebollar-Rebollar S. Caracterización de consumidores agroindustriales de carne de pequeños rumiantes del Estado de México. *Investigación y Ciencia* 2018;74 (1):17-24.
11. Pillado AL, Romero CA, Viesca GF, Villareal LZ. Desarrollo económico de un pueblo lacustre: Capulhuac, Estado de México. *Terra* 2017;3(1):8-100.

12. NOM-008-ZOO-1994, Norma Oficial Mexicana NOM-008-ZOO-1994, Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos. Diario Oficial de la Federación; 1999.
13. NOM-033-SAG/ZOO-2014. Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Diario Oficial de la Federación; 2015.
14. NOM-213-SSA1-2018, Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2018, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Diario Oficial de la Federación; 2019.
15. NOM-194-SSA1-2004, Norma Oficial Mexicana, Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos. Diario Oficial de la Federación.
16. NOM-120-SSA1-1994, NORMA Oficial Mexicana NOM-120-SSA1-1994, Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas. Diario Oficial de la Federación.
17. NOM-051-ZOO-1995, NORMA Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995, Trato humanitario en la movilización de animales.
18. Hernández-Martínez J, Ortiz-Rivera MI, Rebollar-Rebollar S, Guzmán-Soria E, González-Razo FJ. Comercialización de ovinos de pelo en los municipios de Tejupilco y Amatepec del Estado de México, Agron Mesoam 2013;24(1):195-201 ISSN: 1021-7444.
19. Bobadilla-Soto EE, Ochoa-Ambriz F, Perea-Peña M. Dinámica de la producción y consumo de carne ovina en México 1970 a 2019. Agron Mesoam 2021;32(3): 963-984.
20. Pulido MA, Mariezcurrena-Berasain MA, Sepúlveda W, Rayas-Amor A, Salme AZM, Miranda-de la Lama GC. Hauliers. Perceptions and attitudes towards farm animal welfare could influence the operational and logistics practices in sheep transport. J Vet Behav 2018;23(1):25-32.
21. Quiroz OK, Restrepo MD, Barahona RR. Efecto del tiempo de ayuno sobre el rendimiento en canal y el pH en canales bovinas. Rev Lasallista de Investig 2016;13(2):80-84.
22. Koscinczuk P. Ambiente, adaptación y estrés. Rev Vet 2014;25(1):67-76.

23. Pérez-Linares C, Sánchez-López E, Ríos-Rincón FG, Olivas-Valdéz JA, Figueroa-Saavedra F, Barreras-Serrano A. Factores de manejo pre y post sacrificio asociados a la presencia de carne DFD en ganado bovino durante la época cálida. *Rev Mex Cienc Pecu* 2013;4(2):149-160.
24. Romero-peñuela MH, Uribe-Velásquez LF, Sánchez Valencia JA. Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. *Biosalud* 2011;10(1):71–87.
25. Adzitey F. Effect of pre-slaughter animal handling on carcass and meat quality. *Int Food Res J* 2011;18(1):485-491.
26. SADER. Secretaria de Desarrollo Rural. Manual de procedimientos para el sacrificio humanitario y la disposición sanitaria en emergencias zoonosológicas. 2011.
27. Civit D, Díaz MD, Rodríguez E, González CA. Características de la canal y efecto de la maduración sobre la calidad de la carne de ovejas de desvieje de raza Corriedale. *TEA* 2014;110(2):160-170.
28. Bianchi G, Garibotto G, Feed O, Bentancur O, Franco J. Effect of live weight at slaughter on carcass and meat quality in pure Corriedale and crossbred lambs. *Arch Med Vet* 2006;38(2):161-165.
29. Odeón MM, Romera SA. Estrés en ganado: causas y consecuencias. *Rev Vet* 2017;28(1):69-77.
30. Hermosillo GC, Kaplan JC, López Vidaurry JM, Molina JY. Factores que influyen en la decisión de compra de carne de bovino por parte de los comercializadores en Navojoa, Sonora. (*RIASF*) 2020;32(13):1-29.
31. Signorini M. Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales. *NACAMEH* 2007;1(2):118-141.
32. Signorini M. Rastros municipales y su impacto en la salud pública. *NACAMEH* 2008; 2(1):1-24.
33. Gallo C, Teuber C, Cartes M. Mejoras en la insensibilización de bovinos con pistola neumática de proyectil retenido tras cambios de equipamiento y capacitación del personal. *Arch Med Vet* 2003;35(2):159-170.
34. Fernández YE, Suasnavas N, Calzadilla C, Cepero O, César CJ. Procedimientos evaluativos de algunos prerrequisitos para la aplicación del Sistema de análisis de Peligros y puntos críticos de control (HACCP) en mataderos. *Rev Electron Vet* 2007;8(1):1695-7504 ISSN 1695-7504.



## Tipología de productor y efectos indirectos del cambio climático en la ganadería bovina en Sinaloa



Venancio Cuevas-Reyes <sup>a</sup>

Alfredo Loaiza Meza <sup>b</sup>

Obed Gutiérrez Gutiérrez <sup>b</sup>

Mercedes Borja Bravo <sup>c</sup>

Cesar A. Rosales-Nieto <sup>d\*</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Valle de México, km. 13.5 Carr. Los Reyes-Textcoco, 56250, Textcoco, Estado de México. México.

<sup>b</sup> INIFAP. Campo Experimental Valle de Culiacán. Culiacán, Sinaloa. México.

<sup>c</sup> INIFAP. Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. México.

<sup>d</sup> Texas State University. Department of Agriculture. San Marcos, Texas. EE.UU.

\*Autor de correspondencia: [nieto\\_cesar@hotmail.com](mailto:nieto_cesar@hotmail.com)

### Resumen:

El objetivo del trabajo fue tipificar unidades productivas de doble propósito y caracterizar los recursos para la producción de forrajes y los problemas que afectan a la ganadería en Sinaloa, México. Mediante muestreo no probabilístico se seleccionaron 61 ranchos de ocho municipios del estado de Sinaloa, a través de análisis factorial y análisis clúster fueron identificados cuatro grupos de productores: E1, E2, E3 y E4. Los productores tienen diversos usos de la tierra para la producción de forrajes: siembra de cultivos anuales, praderas, pastoreo en tierras en descanso y uso del agostadero. La sequía es el principal problema para el 52.5 % de los productores. Los productores que cuentan con mayor tamaño de hato (E3 y

E4) tienen mayor superficie agrícola y agostadero; sin embargo, presentan una mayor vulnerabilidad en sus sistemas de producción, por lo que tienen que recurrir a la compra de forrajes. El 86.7 % de los productores señaló que el hato ha disminuido por el problema de la sequía, por lo que se requiere del desarrollo de estrategias tecnológicas y políticas para mejorar la producción de forrajes bajo el contexto de cambio climático, y así disminuir la presión y posible deterioro de la superficie agrícola y el agostadero en la región de estudio.

**Palabras clave:** Agostadero, Pasturas y forrajes, Ganado bovino, Sequía, Trópico.

Recibido: 13/07/2023

Aceptado: 11/10/2023

## Introducción

Los principales peligros para el sector productor se relacionan no solo con las tendencias del cambio climático, sino también, y lo que es más importante, con la variabilidad climática y los fenómenos climáticos extremos, como olas de calor, sequías, inundaciones, ciclones e incendios forestales<sup>(1)</sup>. Estos eventos climáticos afectan la salud del ganado por el estrés por calor, el trastorno metabólico, el estrés oxidativo y la supresión inmunológica, lo que resulta en una mayor propensión a la incidencia de enfermedades y la muerte<sup>(2)</sup>. De forma general, se ha identificado que un evento de sequía reduce el producto interno bruto agrícola promedio en un 0.8 % a nivel mundial<sup>(3)</sup>. Los efectos directos del cambio climático sobre el ganado incluyen afectación de las tasas de crecimiento del ganado, la producción de leche y huevo, el rendimiento reproductivo, la morbilidad y la mortalidad, junto con el suministro de alimentos<sup>(4)</sup>, mientras que los efectos indirectos se relacionan con el impacto del cambio climático sobre la productividad de los pastos, los cultivos forrajeros y los piensos<sup>(5)</sup>.

En México existen estudios recientes sobre el manejo, recuperación y conservación de la cubierta vegetal y uso sustentable del agostadero en la ganadería<sup>(6,7,8)</sup>. Sin embargo, no refieren su relación con el nivel de recursos agrícolas para la producción de forrajes con que cuentan los productores bajo un contexto de sequía. A nivel del productor, los principales cambios climáticos percibidos incluyen lluvias erráticas y reducidas, aumento de la temperatura y períodos prolongados y frecuentes de sequía, lo cual ha ocasionado impactos negativos en la producción ganadera; escasez de forraje y agua, lo que lleva a la inanición, desnutrición y mortalidad del ganado, disminución de la productividad y bajos precios de mercado<sup>(9)</sup>.

Los sistemas de producción ganaderos en áreas de temporal dependen del uso del suelo para la siembra, así como el uso de la vegetación natural existente en los agostaderos de uso común para el mantenimiento del hato a lo largo del año. A nivel nacional, la producción pecuaria está asociada a una superficie con vegetación natural de 26.4 millones de hectáreas en selvas (28.3 %); de las cuales, 12.2 % corresponden al trópico húmedo y 16.1 % a trópico seco, respectivamente<sup>(10)</sup>. La producción ganadera de Sinaloa se ubica principalmente en el trópico seco, en la región confluyen una diversidad de usos de la tierra y agostadero con problemáticas y manejo específicos desde la perspectiva del productor. Además, bajo el contexto actual existe muy poca información sobre los efectos directos e indirectos del cambio climático en la ganadería.

El presente estudio realiza una descripción de la superficie agrícola y agostadero destinado a la producción de forrajes, identifica los principales problemas en la ganadería, y a la sequía como una consecuencia del cambio climático desde la perspectiva y opinión de diferentes grupos de productores. El objetivo del trabajo fue tipificar unidades productivas de doble propósito y caracterizar los recursos para la producción de forrajes y los problemas que afectan a la ganadería en Sinaloa, México. La hipótesis es que la vulnerabilidad ambiental en el sistema de producción pecuario tiene una relación directa con el nivel de recursos productivos que tiene el productor; así a mayor tamaño de hato, se tiene una mayor compra de forrajes y superficie de agostadero y una mayor percepción de la sequía como un grave problema que afecta a su sistema productivo.

## **Material y métodos**

### **Localización de la zona de estudio**

La zona de estudio se ubica al Noroeste del país, en el estado de Sinaloa, en las siguientes coordenadas extremas: al Norte 27°02'32", al Sur 22°28'02" de latitud Norte; al Este 105°23'32", al oeste 109°26'52" de longitud Oeste. El estado representa el 2.9 % de la superficie del país, y tiene colindancias al norte con el estado de Sonora y Chihuahua; al este con Durango y Nayarit; al sur con Nayarit y el Océano Pacífico; al oeste con el Golfo de California<sup>(11)</sup>. Sinaloa está integrado por 18 municipios; el presente estudio se realizó en ocho municipios, los cuales representan el 44.44 % y se ubican en tres regiones geográficas: zona sur (Rosario, Mazatlán, Concordia, San Ignacio), zona centro (Elota) y zona norte (Guasave, Mocerito, El Fuerte). Estos municipios se seleccionaron para contar con información de las tres zonas geográficas del estado.

Las condiciones climatológicas en Sinaloa son muy secas; en general presenta un clima cálido subhúmedo, seco y semiseco, y solo 2 % del estado presenta en la zona serrana un clima templado subhúmedo<sup>(12)</sup>. La precipitación ocurre de forma irregular, los registros promedio presentan valores que aumentan de norte a sur y conforme se asciende de la costa a la sierra. En la llanura costera van de 200 hasta 700 mm, y en su porción sureste sobrepasan los 1,000 mm. Al noroeste la precipitación es de 600 mm y en el sureste varía desde 800 hasta más de 1,500 mm<sup>(13)</sup>.

### **Tipos de vegetación y manejo del ganado**

El 45.1 % de la superficie de Sinaloa está cubierta por vegetación natural (selvas, bosque, vegetación hidrófila, matorral, otros tipos de vegetación y pastizal), es decir, que no ha sido alterada por el hombre o por acontecimientos naturales. En tanto, 54.9 % corresponde a terrenos para la agricultura, pastizales cultivados, zonas urbanas, áreas sin vegetación aparente, cuerpos de agua y vegetación secundaria<sup>(10)</sup>. La vegetación natural existente en el agostadero en Sinaloa corresponde, principalmente al denominado “bosque tropical caducifolio”<sup>(14)</sup>, o también denominado como “selvas secas”<sup>(15)</sup>. El manejo del ganado en Sinaloa utiliza el agostadero; este recurso es fundamental para el aporte de forraje en la alimentación del ganado durante la época de lluvias, aunado al uso de pastoreo de cultivos anuales (sorgo, maíz) en la forma tradicional<sup>(16)</sup> y el uso en época de lluvias y secas de las praderas perennes establecidas como resultado de la transferencia de tecnología realizada por centros de investigación locales.

### **Selección de la muestra e instrumento aplicado**

El estudio utilizó información obtenida a través de encuestas a productores. La muestra se obtuvo mediante el uso de muestreo no probabilístico intencional<sup>(17)</sup>. El muestreo intencional prioriza la selección de casos que provean información de calidad de un tema específico para su análisis a profundidad y es realizado a través de la definición de criterios definidos por el investigador<sup>(18,19)</sup>. La encuesta se aplicó por seis extensionistas pecuarios ubicados en la zona de estudio y contratados por la Dirección de Ganadería del Gobierno del estado de Sinaloa; ellos seleccionaron por facilidad de acceso y seguridad los municipios y productores a entrevistar, los criterios de selección fueron: 1) ser productores de ganado doble propósito (sistema representativo de Sinaloa) y, 2) accedieran a contestar la encuesta.

En total se realizaron 61 encuestas: zona norte (10), zona centro (7) y zona sur (44). La encuesta se aplicó en el primer trimestre del 2022. La encuesta se diseñó para obtener información relacionada con la edad del productor, la superficie total utilizada para la producción pecuaria, áreas de siembra, áreas con praderas, incluyendo información sobre si dispone o no de agostadero, meses de utilización y superficie total de agostadero, se obtuvo el inventario de ganado con que cuenta cada unidad de producción, se preguntó sobre la percepción que tienen sobre las fechas relacionadas con el inicio y fin de la época de lluvias (¿cuándo era el inicio y fin de la época de lluvias?), el comportamiento del tamaño del hato en los últimos diez años (¿Usted considera que el ganado había aumentado, disminuido o seguía igual en los últimos diez años? y ¿Cuál fue el motivo de la disminución?). Para identificar la problemática, se pidió al productor que eligiera, en orden de importancia de mayor a menor, los problemas que desde su percepción afectaban en mayor medida a la producción ganadera. Los problemas planteados fueron: altos costos de forrajes, alto costo de combustibles, bajo precio de la leche, bajo precio del kilo de becerro, falta de apoyos del gobierno y sequía.

### **Análisis de la información**

Se utilizó análisis factorial (AF) para poder reducir la dimensión de los datos y explicar un fenómeno desde un menor número de variables llamados factores<sup>(20)</sup>. El propósito principal del AF es “tratar de establecer una estructura subyacente entre las variables del análisis, a partir de estructuras de correlación entre ellas, es decir, busca definir grupos de variables (más conocidos como factores) que estén altamente correlacionados entre sí”<sup>(21)</sup>. Para la determinación del número de factores a extraer se consideró el criterio del porcentaje de varianza explicada, el cual para ciencias sociales se puede establecer un mínimo de 60 %<sup>(22)</sup>. La matriz de factores se estimó mediante el método de rotación Varimax con káiser; la solución rotada se detiene cuando se logra maximizar las ponderaciones a nivel del factor. Es decir, se espera que cada ítem o variable sea representativo en solo uno de ellos, con el fin de minimizar al máximo el número de variables dentro de cada factor; de esta forma, se obtuvo la matriz de factores, la cual contiene las ponderaciones (cargas o pesos) de cada variable, así una variable está contenida en un factor cuando su contribución se sitúa por encima de 0.5<sup>(23)</sup>.

El AF utilizó 10 variables cuantitativas, variables que se han utilizado en otros estudios para realizar tipologías de productores<sup>(24,25,26)</sup>: número de unidades animal y tamaño de hato, superficie sembrada, superficie de agostadero, número de hijos que trabajan en el rancho, número total de hijos, edad del productor, superficie con praderas, superficie en descanso y, número de meses con escasez de forraje. Para verificar la utilidad del análisis de factores se

obtuvo la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO): valores menores a 0.5 de este estadístico, indicarían que el AF no resultaría una técnica útil, y valores entre 0.5 y 0.6, que el grado de intercorrelación es medio, pero aplicable, en tanto un KMO con valores mayores a 0.7 indicaría un alta intercorrelación entre las variables<sup>(27)</sup>. Además, se utilizó la prueba de esfericidad de Bartlett; este test prueba la hipótesis nula de que las variables están intercorrelacionadas, es decir, evalúa si la matriz de correlaciones no es una matriz de identidad, aquella en la que no existe relación entre las variables, y esta prueba se acepta como válida si el nivel de significancia es menor al 5 %<sup>(28)</sup>.

Para la identificación de los diferentes grupos de productores se realizó un análisis clúster (AC), el cual permitió agrupar productores con características similares dentro del grupo y con amplia variabilidad entre ellos. De acuerdo con Rao y Srinivas<sup>(29)</sup> en el AC los grupos se forman de tal manera que cada objeto es parecido a los que hay dentro del clúster. Para la identificación de los grupos se utilizó el análisis de conglomerados jerárquico con el método de Ward y la distancia euclídea al cuadrado<sup>(30)</sup>. El análisis entre los grupos se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis, y pruebas de Ji cuadrada para variables cualitativas para determinar las diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los grupos. Para verificar si existe una relación entre superficie de agostadero, número de meses de compra de forraje y número de cabezas del hato se realizó un análisis de correlación de Spearman, dado que no se cumplió la normalidad de los datos. Los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS<sup>(31)</sup>.

## Resultados y discusión

### Análisis factorial

El AF permitió identificar cuatro factores que explican el 68.79 % de la varianza de los datos (Cuadro 1). Los componentes obtenidos fueron denominados de la siguiente forma: recursos agropecuarios (C1), recursos forrajeros (C2), recursos familiares (C3) y recursos forrajeros adicionales (C4); las variables fueron positivas en cada componente. La medida de adecuación muestral KMO presentó un valor de 0.61 y la prueba de esfericidad de Bartlett mostró un valor de Ji cuadrada ( $X^2$ ) de 444.73 y una significancia de  $P < 0.0001$ , por lo que se puede afirmar que el AF resultó un modelo idóneo y apropiado para la reducción de variables. El análisis clúster identificó cuatro grupos: el grupo 1 (G1) representó el 27.80 % de la muestra, el G2 representó el 49.20 % y fue el que tuvo el mayor porcentaje de productores entrevistados, el G3 representó 9.80 % y finalmente, el G4 representó el 13.10 % del total de productores.

**Cuadro 1:** Matriz de componentes rotados y porcentaje de varianza explicada

Variable	C1	C2	C3	C4	Comunalidad
Tamaño del hato	.964	.053	-.068	-.089	.945
Unidades animales	.964	.053	-.065	-.093	.945
Superficie sembrada, ha	.754	.261	-.008	.233	.691
Superficie de agostadero, ha	.529	-.400	.114	-.177	.484
Hijos que trabajan en el rancho, #	-.011	-.062	.873	-.082	.774
Número total de hijos	-.052	.344	.783	.177	.766
Edad del productor	-.068	.559	.220	.109	.378
Superficie con praderas, ha	.207	.621	.181	-.047	.464
Superficie en descanso, ha	-.040	-.034	.039	.958	.922
Meses con escasez de forraje	.062	.694	-.130	-.090	.511
Valor propio	2.813	1.861	1.185	1.021	
% de la varianza	28.132	18.606	11.845	10.214	
% acumulado	28.132	46.738	58.583	68.797	

### Recursos familiares

La edad de los productores fue similar entre los cuatro grupos ( $P>0.05$ ): fluctúa entre 50 y 57 años, los productores del G4 fueron los más jóvenes con una mediana de 50 años. Los cuatro grupos tienen entre 2 y 3 hijos en promedio. En general, existe muy poca participación de los hijos en las actividades productivas de los ranchos (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con Cuevas *et al*<sup>(32)</sup> quienes señalan que las características socioeconómicas del productor en Sinaloa presentan características homogéneas.

**Cuadro 2:** Recursos familiares de los grupos de productores (mediana±RIC\*)

Variable	G1	G2	G3	G4	P**
Edad	56.00±26.00	57.50±21.25	56.00±23.25	50.00±17.00	0.338
Hijos totales, #	3.00±3.50	2.00±3.20	2.00±3.20	3.00±3.50	0.544
Hijos trabajan, #	0±1.00	0±1.00	0±1.00	0.50±1.00	0.657

\*RIC=rango intercuartílico, \*\*Prueba de Kruskal-Wallis.

## Recursos agropecuarios

El tamaño de hato fue similar entre el G1 y G2 (36 y 42.5 cabezas de ganado por grupo), pero diferente ( $P<0.05$ ) entre el resto de los grupos (180 para el G3 y 110.5 en el G4); este comportamiento fue similar para la variable unidad animal (UA). La superficie sembrada resultó sin diferencias ( $P>0.05$ ) entre los grupos G1, G2 y G4. Mientras que la superficie de agostadero con que cuentan los productores fue diferente ( $P<0.05$ ) en tres grupos: G1, G2 y G3 (Cuadro 3).

**Cuadro 3:** Recursos agropecuarios de los grupos de productores (mediana $\pm$ RIC\*)

Variable	G1	G2	G3	G4	P**
Hato, No. de cabezas	36.00 $\pm$ 28.50 <sup>a</sup>	42.50 $\pm$ 27.25 <sup>a</sup>	180.00 $\pm$ 69.50 <sup>b</sup>	110.50 $\pm$ 21.25 <sup>c</sup>	0.001
UA	32.75 $\pm$ 26.00 <sup>a</sup>	37.25 $\pm$ 25.61 <sup>a</sup>	154.50 $\pm$ 61.70 <sup>b</sup>	95.20 $\pm$ 13.42 <sup>c</sup>	0.001
Sup. sembrada, ha	20.00 $\pm$ 21.50 <sup>a</sup>	12.00 $\pm$ 12.18 <sup>a</sup>	50.00 $\pm$ 62.50 <sup>b</sup>	13.00 $\pm$ 15.25 <sup>a</sup>	0.027
Agostadero, ha	38.00 $\pm$ 40.50 <sup>a</sup>	3.50 $\pm$ 90.00 <sup>b</sup>	65.00 $\pm$ 126.00 <sup>c</sup>	15.00 $\pm$ 80.80 <sup>a</sup>	0.001

\*RIC=rango intercuartílico, \*\*P es la probabilidad obtenida mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

<sup>abc</sup> Valores con distinta literal son diferentes ( $P<0.05$ ).

El uso de los recursos agrícolas para la producción de forraje (superficie sembrada y agostadero) están en función de la temporada de lluvias. Los productores señalaron contar con un período de lluvias de tres meses (63.90 % mencionaron que la época de lluvias inicia en julio, mientras que el 41 % señaló que termina en el mes de septiembre). Así la época de lluvias correspondería a un periodo de tres meses, de julio a septiembre, en tanto que la temporada de lluvias podría ser hasta de nueve meses al año: octubre a junio.

El agostadero es utilizado en la época de lluvias cuando el bosque tropical caducifolio se renueva; al respecto estudios previos señalan que, durante la época de lluvias el ganado improductivo, becerros y becerras destetadas son enviados al “agostadero”, para el pastoreo de hierbas y árboles<sup>(33)</sup>, estos mismos autores describen las principales especies que existen en el agostadero; la estructura vertical se encuentra constituida por árboles dominantes con alturas de 10 a 15 m, el piso superior lo integran especies como *Lysilpma divaricata*, *Caesalpinia sclerocarpa*, *Pithecellobium mangense*, *Conzattia sericea*. En tanto, el sotobosque se cubre durante el verano, por una densa alfombra de especies herbáceas, que son altamente preferidas por el ganado: *Carlowrightia costarina*, *Henrya imbricans*, *Henrya scorpioides*, *Ruellia donnell-smithii* y *Siphonoglossa sessilis*. Este recurso es utilizado por los productores y es uno de los recursos vegetales más amenazados en México; al respecto

un estudio realizado sobre este tipo de vegetación encontró una tasa de deforestación anual del 1.4 % y áreas fragmentadas y perturbadas<sup>(34)</sup>.

Finalmente, durante la “época de sequía, las tierras sembradas con cultivos agrícolas anuales, son utilizadas como “potreros”, es decir, después de cosechar el maíz o la panoja de sorgo, el resto de la planta (esquilmo) sirve como alimento para el ganado. En esta época todo el ganado se concentra en estos potreros, los cuales están cercados con alambre de púas y postes de madera regional obtenida del agostadero, y la alimentación es complementada con la compra de forrajes y uso de esquilmos de las zonas de riego del estado. Estos resultados concuerdan con un estudio del sistema bovinos de doble propósito (SBDP) llevado a cabo en el norte de Sinaloa<sup>(35)</sup> el cual señala que el SBDP basa su sustento en el pastoreo de diferentes recursos forrajeros: pastoreo en residuos en áreas cultivadas (cultivos agrícolas de maíz y sorgo), en praderas establecidas, y en el pastoreo de áreas de uso común denominado agostadero, combinado con la suplementación alimenticia.

### Recursos forrajeros para el ganado

El uso de praderas y “sabanas” resultó similar en los cuatro grupos de productores ( $P>0.05$ ). Existe una baja cantidad de superficie de praderas y tierras de descanso: solo el 45.90 % de productores reportó el uso de praderas y 21.30 % deja tierras en descanso. No obstante, todos los grupos presentan compras de forraje, pero aquellos que tienen mayor número de animales (G3 y G4) lo hacen durante un mayor número de meses; de 5 a 6.6 meses al año (Cuadro 4).

**Cuadro 4:** Recursos forrajeros de los grupos de productores (mediana $\pm$ RIC\*)

Variable (ha)	G1	G2	G3	G4	P**
Praderas	0 $\pm$ 12.50	0.50 $\pm$ 3.00	0 $\pm$ 16.00	0 $\pm$ 12.75	0.927
Compra forrajes, meses	3.00 $\pm$ 2.50	3.00 $\pm$ 3.00	5.00 $\pm$ 4.50	6.50 $\pm$ 90	0.057
Superficie en descanso, ha	0 $\pm$ 10.00	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 2.00	0 $\pm$ 0	0.107

\*RIC=rango intercuartílico, \*\*Prueba de Kruskal-Wallis.

El manejo del ganado en este tipo de recursos es el siguiente. Al inicio del periodo de lluvias, las vacas en lactancia permanecen en las superficies en descanso o “sabanas” (áreas agrícolas abiertas al cultivo que no se siembran y se utilizan para mantener este tipo de ganado pastoreando vegetación natural o hierbas nativas). El uso de sabanas es una necesidad para mantener el ganado, aun cuando los residuos de los cultivos suelen ser de baja calidad.

Los productores que tienen praderas utilizan el forraje durante la época de sequía, ya que durante la época húmeda las sabanas tienen forraje suficiente para las vacas productoras. Al

respecto un estudio realizado en Sinaloa para pequeños productores<sup>(36)</sup> señala que “los productores que cuentan con praderas de pastos perennes, las utilizan como lotes de reserva en los meses de enero a junio (sequía); los animales pastorean en forma continua hasta el consumo total de las praderas que pasan a descanso y recuperación durante el periodo húmedo (julio a diciembre), situación que va en contra del manejo de pastizales, pero la toma de decisión del productor al respecto está condicionada por el periodo de lluvias que utiliza el agostadero como fuente de alimentación”.

Los resultados de la correlación entre tamaño del hato (TH) y la compra de forrajes fue significativa ( $P<0.05$ ) con un valor de  $\rho_{59}=.255$ ,  $P=.047$ , y la correlación entre el TH y el número de hectáreas de agostadero fue moderada ( $P<0.05$ ) con un valor de  $\rho_{59}=.305$ ,  $P=.017$ . Lo anterior parece indicar que, para la muestra analizada, los productores que cuentan con mayor TH tienen mayor superficie de agostadero y mayor necesidad de compra de forraje, lo cual puede inducir a la pérdida de productividad de este recurso. Ya que como señalan Enríquez *et al*<sup>(37)</sup> en al menos 24 estados del país, el número de cabezas de ganado, es superior a la capacidad de carga, en función de la producción de forrajes. Esta situación trae como consecuencia la degradación paulatina de las praderas y, por consiguiente, una disminución de su productividad.

### Problemática en el sistema pecuario

El primer y segundo problema que tiene la producción ganadera en la región de estudio fue la sequía y el alto costo de los forrajes, en los cuatro grupos analizados no se presentó diferencias ( $P>0.05$ ), el único problema planteado que presentó diferencias entre los grupos fue el del bajo precio del becerro ( $P<0.05$ ) entre el G1 y el G4 (Cuadro 5). Los resultados coinciden con lo señalado por Habte *et al*<sup>(9)</sup> respecto a que la sequía es uno de los efectos indirectos más importantes del cambio climático en la ganadería, ya que el 52.50 % de los productores entrevistados señalaron que la principal problemática tiene relación con sequías más intensas que limitan la producción de forrajes para la alimentación del ganado.

**Cuadro 5:** Principales problemas de la ganadería bovina en la región de estudio (%)

Problema	*G1 (17)	G2 (30)	G3 (6)	G4 (4)	Promedio	X <sup>2</sup>
Sequías	64.70	43.30	50.00	62.50	52.50	0.691
Alto costo de forrajes	29.40	26.70	33.30	12.50	26.20	0.687
Bajo precio del kilo de becerro	35.30 <sup>a</sup>	13.30 <sup>b</sup>	0.0	37.50 <sup>a</sup>	21.30	0.005
Falta de apoyos del Gobierno	17.60	16.70	16.70	12.50	16.40	0.173
Bajo precio de la leche	23.50	13.30	0.0	12.50	14.80	0.188
Alto costo de combustibles	0	6.7	0.0	0.0	3.30	0.748

X<sup>2</sup>= prueba Ji-cuadrada, \*entre paréntesis se encuentra el total de productores del grupo.

<sup>ab</sup> Valores con distinta literal son diferentes ( $P<0.05$ ).

A través del monitoreo de la sequía que realiza la Comisión Nacional del Agua<sup>(38)</sup> a nivel nacional y en Sinaloa, esta institución ha identificado varios años con periodos críticos de sequía; en su reporte para el año 2021 identificó en cinco municipios de la región de estudio (Concordia, Elota, Mazatlán, Mocorito y San Ignacio) condiciones de sequía extrema, mientras que los otros tres municipios (El Fuerte, Guasave y Rosario) presentaron sequía severa en el año 2021.

El 86.70 % de los productores señaló que el inventario pecuario ha disminuido en los últimos diez años, y el 67.30 % mencionó como principal motivo, los periodos frecuentes de sequía. Ya que, los periodos de sequía intensos disminuyen la disponibilidad de forraje, y también estos fenómenos extremos como las temporadas crecientes de calor, las sequías intensas, así como las inundaciones tendrán efectos adversos para el sector agrícola y también en la productividad pecuaria y afectaciones en el inventario productor<sup>(8,9)</sup>. Cabe mencionar que no se investigó de forma directa los meses y mecanismos para otorgar agua a los animales, sin embargo, el manejo del agua para los animales se subsana mediante norias (pozos), arroyos cercanos a los corrales, y represas; los productores del norte del estado (El fuerte, Guasave) tienen sus tierras cercanas a canales de riego, así como “acarreo” de agua en camionetas. La sequía y el manejo del agua para el ganado es un tema que debe profundizar en próximos estudios en la producción pecuaria en el trópico.

## Conclusiones e implicaciones

El periodo de sequía en la muestra analizada fue de nueve meses; la escasez de forraje durante esta época obliga a los productores a comprar pasturas y otros alimentos hasta seis meses al año. En este sentido, la hipótesis planteada fue corroborada, al identificar que los productores que cuentan con mayor tamaño de hato presentan mayor vulnerabilidad en la producción de forrajes para alimentación del ganado, por lo que tienen que recurrir a la compra de forrajes y a la utilización de una mayor superficie agrícola y de agostadero. Respecto a la vulnerabilidad sobre la sequía como problema del cambio climático los productores con mayor tamaño de hato señalan como principal problemática a la sequía; sin embargo, el porcentaje de productores que señalan a la sequía como principal problema es mayor en los productores con hatos pequeños. Los resultados obtenidos aplican para los productores entrevistados, no obstante, podrían ser utilizados para regiones con condiciones geográficas similares. Se requiere del desarrollo de estrategias tecnológicas y políticas diferenciadas por tipos de productores de acuerdo con los recursos con los que cuentan, para mejorar la producción de forrajes bajo el contexto de la sequía, y así disminuir la presión y posible deterioro de la superficie agrícola y el agostadero en el estado de Sinaloa.

## Agradecimientos

Se agradece a los extensionistas que aplicaron la encuesta, a los productores entrevistados y al INIFAP por el financiamiento al proyecto SIGI 14235135370: “Producción sustentable de forraje bajo un contexto de cambio climático y degradación de suelos en el trópico seco de México”.

### Literatura citada:

1. Godde CM, Mason-D'Croz D, Mayberry DE, Thornton PK, Herrero M. Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Glob Food Sec* 2021;28:100488. doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488.
2. Ali MZ, Carlile G, Giasuddin M. Impact of global climate change on livestock health: Bangladesh perspective. *Open Vet J* 2020;10(2):178-188. doi:10.4314/ovj.v10i2.7.
3. Kim W, Iizumi T, Nishimori M. Global patterns of crop production losses associated with droughts from 1983 to 2009. *J Appl Meteorol Clim* 2019;15:1233–1244. doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0174.1.
4. Cheng M, McCarl B, Fei C. Climate change and livestock production: A literature review. *Atmosphere* 2022;13(1):140. doi.org/10.3390/atmos13010140.
5. Wreford A, Topp CF. Impacts of climate change on livestock and possible adaptations: a case study of the United Kingdom. *Agric Syst* 2020;178:102737. doi: 10.1016/j.agsy.2019.102737.
6. Alcalá-Galván CH, Barraza-Guardado RH, Álvarez FA, Rueda-Puente EO. Uso sustentable de agostaderos y el sistema vaca-cría en el Noroeste de México. *Agron Mesoam* 2018;29(2):433-447. doi:10.15517/ma.v29i2.29185.
7. Castro-Molina OA, Rodríguez-Gómez LI. Determinantes de las actitudes de los ganaderos hacia la conservación del agostadero en el río Sonora, México. *Estudios sociales* 2020;30(56). doi:10.24836/ES.V30I56.997.
8. Elizalde LGG, Sagarnaga VLM, Salas GJ M, Aguilar AJ, Barrera POT. Ganadería colectiva e individual en el sistema vaca-becerro en agostaderos de uso común en el Altiplano de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 2022;19. doi.org/10.11144/Javeriana.cdr19.gcis.
9. Habte M, Eshetu M, Maryo D, Andualem LA. Effects of climate variability on livestock productivity and pastoralist's perception: the case of drought resilience in Southeastern Ethiopia. *Vet Animal Sci* 2022;16. doi.org/10.1016/j.vas.2022.100240.

10. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2016. [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/AEGPEF\\_2016/702825087357.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/AEGPEF_2016/702825087357.pdf).
11. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario geográfico de Sinaloa 2017. [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/SIN\\_ANUARIO\\_PDF.pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/SIN_ANUARIO_PDF.pdf)
12. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Monografía Sinaloa 2011. <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/sin/territorio/clima.aspx?tema=me>.
13. Rzedowski J. Vegetación de México. México: Edit. Limusa; 1978.
14. CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Selvas secas 2022. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaSeca>.
15. Flores CLM, Arzola-González JF, Ramírez-Soto M, Osorio-Pérez A. Repercusiones del cambio climático global en el estado de Sinaloa, México. Rev Colomb Geogr 2012;21(1):115-129. doi.org/10.15446/rcdg.v21n1.25562.
16. Perales RMA, Fregoso TLE, Martínez ACO, Cuevas RV, Loaiza MA, Reyes JJE, *et al.* Evaluación del sistema agrosilvopastoril del sur de Sinaloa. Sustentabilidad y sistemas campesinos: cinco experiencias de evaluación en el México rural. Masera O, López RL editores. México: Edit. Mundiprensa; 2000.
17. Alaminos A, Castejón CJL. Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión. España: Editorial Marfil; 2006.
18. Quinn MP. Qualitative Research & Evaluation Methods. Sage Publications. USA. 2022.
19. Hernández GO. Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. Rev Cubana Med Gen Integr 2021;37(3):e1442. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-21252021000300002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252021000300002).
20. Pizarro RK, Martínez MO. Análisis factorial exploratorio mediante el uso de las medidas de adecuación muestral KMO y esfericidad de Bartlett para determinar factores principales. J Sci Res 2020;5:903–924. Doi:10.5281/zenodo.4453223.
21. Méndez MC, Rondón SMA. Introducción al análisis factorial exploratorio. Rev Colomb Psiquiatría 2012;41(1):197-207. <https://www.redalyc.org/pdf/806/80624093014.pdf>
22. Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE. Multivariate data analysis. 7th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River. 2009.

23. Pena-López JA, Sánchez SJM. Disparidades económicas intrarregionales a escala municipal: Evidencia empírica para el caso gallego. *Rev Estudios Regionales* 2008;(81):15-43. <https://www.redalyc.org/pdf/755/75511138001.pdf>.
24. Cuevas RV, Loaiza MA, Espinosa JJA, Vélez IA, Montoya FM. Tipología de las explotaciones ganaderas de bovinos doble propósito en Sinaloa, México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2016;7(1):69-83. <https://www.redalyc.org/pdf/2656/265644475007.pdf>.
25. Velázquez AJA. Tipología de productores de ganado bovino en la región indígena XIV Tulijá-Tseltal-Chol de Chiapas, México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2015;6(4):405-417. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265643592006>.
26. Méndez-Cortés V, Mora-Flores JS, García SJA, Hernández-Mendo O, García-Mata R, García-Sánchez RC. Tipología de productores de ganado bovino en la zona norte de Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2019; 22: 305-314. [doi.org/10.56369/tsaes.2723](https://doi.org/10.56369/tsaes.2723).
27. Fernández CH, Pérez RFO. El modelo logístico: una herramienta estadística para evaluar el riesgo de crédito. *Rev Ingenierías Universidad de Medellín* 2005;4(6):55-75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75040605>.
28. Garmendia ML. Análisis factorial: una aplicación en el cuestionario de salud general de Goldberg, versión de 12 preguntas. *Rev Chil Salud Pública* 2007;11(2):57-65. <https://revistasaludpublica.uchile.cl/index.php/RCSP/article/view/3095>.
29. Rao AR, Srinivas V. Regionalization of watersheds by hybrid cluster analysis. *J Hydrology* 2006;318(4):37-56. [doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.003](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.003).
30. Ward JH Jr. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J Am Statist Assoc* 1963;58(301):236-244. [doi:10.1080/01621459.1963.10500845](https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845).
31. IBM Corporation. SPSS software. <https://www.ibm.com/mx-es/analytics/spss-statistics-software>. 2023.
32. Cuevas RV, Baca MJ, Cervantes EF, Espinosa GJA, Aguilar AJ, Loaiza MA. Factores que determinan el uso de innovaciones tecnológicas en la ganadería de doble propósito en Sinaloa, México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2013;4(1):31-46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265625754005>.
33. Guízar NE, González EA, Díaz OA. Composición Florística del agostadero en las comunidades de El Huajote y Malpica, municipio de Concordia, Sinaloa. Perales RM, Fregoso L, editores. *Desarrollo sostenible de los agro ecosistemas del sur de Sinaloa*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 1994.

34. Trejo I, Dirzo R. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 2000;94:133-142. doi:10.1016/S0006-3207(99)00188-3.
35. Cuevas-Reyes V, Rosales-Nieto C. Caracterización del sistema bovino doble propósito en el noroeste de México: productores, recursos y problemática. *Rev MVZ Córdoba* 2018;23(1):6448-6460. doi:10.21897/rmvz.1240.
36. Loaiza MA, Cuevas RV, Moreno GT, Reyes JE, González GD. Innovaciones tecnológicas diferenciadas en el sistema de producción de bovinos doble propósito del trópico seco en Sinaloa. Libro Técnico Núm. 1. CIRNO-INIFAP. Sinaloa, México. 2018.
37. Enríquez QFJ, Esqueda EVA, Martínez MD. Rehabilitación de praderas degradadas en el trópico de México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2021;12(Suppl3):243-260. doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5876.
- 38.. CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. El Monitor de Sequía en México al 15 de abril de 2021. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.



## Efecto del sexo sobre los rasgos de calidad de la carne y las propiedades sensoriales en cerdos mestizos argentinos



César Federico Guzmán <sup>a\*</sup>

Julieta Fernández Madero <sup>b</sup>

Alberto Enrique Carini <sup>b</sup>

Malvina Marcela Tolaba <sup>b</sup>

Alejandra Picallo <sup>c</sup>

Enrique Paván <sup>d,e</sup>

Laura Pouzo <sup>d,e</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Cuenca del Salado, Argentina. Av. Belgrano 416, B7203AJR Rauch, 7200, Argentina.

<sup>b</sup> Universidad Católica de Salta. Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Salta, Argentina.

<sup>c</sup> Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Animal. Área Calidad de Productos Pecuarios y Estudios del Consumidor. Buenos Aires, Argentina.

<sup>d</sup> Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

<sup>e</sup> INTA, EEA Balcarce, Argentina.

\* Autor de correspondencia: [guzman.federico@inta.gob.ar](mailto:guzman.federico@inta.gob.ar)

**Resumen:**

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del sexo sobre el peso vivo final, las características de la canal, los rasgos de calidad de la carne y las propiedades sensoriales de una línea específica de cerdos mestizos (Landrace 75% x Yorkshire 25% “Degesa”). En el presente estudio se utilizaron ocho machos castrados (MC) y ocho nulíparas (H) seleccionados al azar. No se observaron diferencias ( $P>0.05$ ) entre sexos en cuanto a las características de la canal, el valor de la fuerza de cizallamiento o la longitud del sarcómero. Sin embargo, el grosor de la grasa dorsal, el pH@45, el pH@24, la capacidad de retención de agua, el puntaje de marmoleado y el contenido de grasa intramuscular fueron mayores ( $P>0.05$ ) en MC que en H. La carne de MC tuvo menor ( $P=0.04$ ) luminosidad que la de H, pero similar ( $P\geq 0.34$ ) rojez y amarillez. La proporción total de ácidos grasos saturados (AGS), así como los AGS individuales (C16:0 y C18:0) fueron mayores en MC que en H, pero la relación n-6:n-3 fue menor en los machos que en las hembras. En general, la carne de los machos fue mejor calificada que la carne de hembras por el panel entrenado en atributos de sabor, pero el resultado fue opuesto cuando se evaluaron las propiedades de textura. Además, una mayor puntuación general de color, así como los atributos de sabor, se asociaron positivamente con el contenido de grasa intramuscular y la tasa de AG monoinsaturados, pero se asociaron negativamente con la proporción de AG poliinsaturados. En conclusión, los resultados sugieren que la calidad de la carne de cerdos mestizos Degesa mostró marcadas diferencias relacionadas con el sexo y, por lo tanto, podría ser comercializado diferencialmente por sexo en el mercado de carne.

**Palabras clave:** Ácidos grasos, Grasa intramuscular, Color de la carne, Longitud del sarcómero, Panel sensorial, Fuerza de cizallamiento.

Recibido: 18/10/2023

Aceptado: 12/03/2024

## Introducción

Argentina ha sido tradicionalmente reconocida como un importante productor y consumidor de carne de ganado bovino. No obstante, en los últimos años la industria porcina ha ido creciendo, lo que ha llevado a un mayor consumo local per cápita de carne (de 8.5 kg en 2011 a aproximadamente 16 kg en 2020<sup>(1)</sup>). Si bien la calidad de la carne es un tema crítico para la industria cárnica, el sistema de clasificación de la carne de cerdo argentino se basa únicamente en la proporción (%) de tejido magro y en el rendimiento de la canal (kg) (Resolución S.A.G. y P. No. 57/95).

Los principales atributos sensoriales que definen la calidad de la carne de cerdo son el color, la terneza, la jugosidad, el olor y el sabor<sup>(2)</sup>. Los manejos productivos como la dieta y las prácticas de alimentación<sup>(3)</sup> pueden afectar esos atributos. Además, son importantes los aspectos intrínsecos como la raza, el peso y el sexo<sup>(4,5,6)</sup>. Varios estudios<sup>(7,8,9)</sup> sugirieron que los rasgos de calidad de la canal y de la carne de cerdo podrían ser altamente dependientes del sexo del animal, incluyendo el tipo de castración. Sin embargo, estos estudios obtuvieron resultados inconsistentes ya que se evaluaron diferentes líneas genéticas porcinas. Esto sugiere que las diferencias en los rasgos de calidad de la carne de cerdo relacionadas con el sexo son altamente dependientes de la raza o cruce genética considerada<sup>(6)</sup>.

A pesar de que el sexo del cerdo juega un papel clave en los aspectos de calidad de la carne, las canales de cerdo argentino se comercializan actualmente como una sola categoría “capón”, la cual incluye machos enteros o castrados y hembras, considerando que no hay investigaciones hasta el conocimiento actual que evalúen el aspecto de la calidad de la carne de la línea híbrida porcina (Landrace 75% x Yorkshire 25%). Por lo tanto, el presente estudio representa un enfoque novedoso para evaluar el efecto del sexo de las hembras y los machos castrados sobre las características de la canal y la calidad de la carne de la cruce porcina (Landrace 75% x Yorkshire 25% “Degesa”).

## Material y métodos

### Manejo de animales, mediciones de canales y recolección de muestras

El ensayo se llevó a cabo en La Isla, Cerrillos, provincia de Salta (24°52'46"S, 65°24'20"O, 1,217 m de altitud) Argentina, bajo manejo de buenas prácticas de manufactura y estándares de bienestar de acuerdo con las recomendaciones nacionales argentinas para el manejo de animales. El procedimiento fue aprobado por el comité ético y técnico institucional de la Universidad Católica de Salta (RR N° 1294/15).

Dieciséis (16) cerdos mestizos Degesa (Yorkshire 25% x Landrace 75%) se seleccionaron aleatoriamente de la misma piara: ocho hembras y ocho machos. Los machos fueron castrados quirúrgicamente (MC) y las hembras (H) permanecieron enteras. A cada grupo se le asignaron corrales separados, con un área de 1.2 m<sup>2</sup> por animal. Los animales fueron alimentados *ad libitum* con el mismo alimento comercial y agua utilizando un sistema de tolva. Todos los animales se sacrificaron el mismo día en un matadero comercial, situado a 30 km de la granja experimental. En el momento del sacrificio, los animales tenían 25 semanas de edad y su peso vivo promedio fue de 125 ± 5 kg.

En el matadero se registró el peso individual previo al sacrificio (PPS) y el peso de la canal caliente (PCC). El pH muscular se determinó a los 45 min (pH@45) y 24 h después del

sacrificio (pH@24) en el músculo *Longissimus lumborum* (LL), entre las costillas 12 y 13 de la mitad derecha de cada canal. El grosor de la grasa dorsal se midió con un calibrador manual (Starrett®, Athol, Massachusetts, EE. UU.) y el área del ojo del lomo (AOL) se trazó y determinó con el software ImageJ® a nivel de la costilla 11 (GGD; cm) en el lado izquierdo de la canal. El puntaje de marmoleado se determinó en la misma costilla a través de las tarjetas de puntuación de los Estándares Oficiales de Calidad de Marmoleado (Estándares Oficiales de Calidad de Color y Marmoleado, Pork checkoff, EE. UU.). Las secciones del *Longissimus lumborum* (LL) entre las costillas 9 y 13 de cada canal izquierda y derecha se cortaron en filetes, perpendiculares al eje longitudinal del músculo LL. Se obtuvo un filete de 2.5 cm de grosor del músculo LL de la sección de las costillas 12-13 (de craneal a caudal), de las canales izquierdas para su análisis proximal. Para este análisis, previamente se extrajo toda la grasa externa y los tejidos conectivos. Se obtuvo un filete adicional de 0.5 cm de grosor de la sección de costillas 12-13 y se almacenó para la posterior determinación de la longitud del sarcómero. El músculo LL de la sección de las costillas 9-11 se cortó en filetes de 2.5 cm de grosor para evaluar el color, la fuerza de cizallamiento Warner-Bratzler (FCWB) y la pérdida por cocción. Después de 24 h de sacrificio, las muestras de carne se envasaron al vacío y se almacenaron a -20 °C, hasta su posterior análisis en el laboratorio de calidad de carne del EEA INTA Balcarce, Argentina. Los análisis sensoriales se realizaron en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina.

## Mediciones de la calidad de la carne

### Análisis proximal

El contenido de materia seca se calculó como la diferencia entre el peso inicial (carne fresca) y el peso final después de secar la carne durante 48 h a 60 °C, por duplicado. El contenido de lípidos totales se determinó mediante un sistema de extracción automática (Ankom xt10, Ankon, Macedonia NY, EE. UU.).

### Evaluación del color de la carne

El color instrumental se registró utilizando un colorímetro de Minolta (CR-310; Minolta Inc., Osaka, Japón) con un área de medición de 50 mm de diámetro utilizando un iluminante D65, calibrado contra un disco de cerámica blanco proporcionado por el fabricante. Las lecturas de color se determinaron 24 h *post mortem* en las secciones transversales expuestas de la costilla 12 del músculo LL de la canal izquierda. La muestra de carne se expuso al oxígeno a temperatura ambiente durante 30 minutos antes de la medición del color. Cada muestra se midió seis veces y el valor se expresa como un promedio. El sistema utilizado fue el CIE Lab, el cual proporciona tres componentes de color: L\* (luminosidad, 0= negro, 100=

blanco),  $a^*$  (índice de rojez,  $-a^*$ = verde,  $+a^*$ = rojo) y  $b^*$  (índice de amarillez,  $-b^*$ = azul,  $+b^*$ = amarillo).

### **Fuerza de cizallamiento Warner-Bratzler y pérdida por cocción**

El procedimiento de la FCWB se llevó a cabo de acuerdo con las directrices de la AMSA (1995)<sup>(10)</sup>. Las muestras congeladas (filetes de 2.5 cm de grosor) se descongelaron a 4 °C durante 12 h, se pesaron y se cocinaron en parrilla eléctrica corazón abierto (Farberware, Bronks NY). Durante la cocción, los filetes se voltearon a 35.5 °C en el centro geométrico y se asaron a la parrilla hasta que la temperatura alcanzó los 71 °C. La temperatura interna se controló mediante un termómetro digital de barrido múltiple (termómetro de barrido, Digi-Sense, Cole Palmer). Las muestras cocidas se enfriaron a 4 °C durante 20 min y se pesaron de nuevo. La pérdida por cocción se calculó de la siguiente manera: pérdida por cocción (%) =  $(\text{peso de la muestra cruda} - \text{peso de la muestra cocida}) / (\text{peso de la muestra cruda}) \times 100$ . Las chuletas se enfriaron a temperatura ambiente; se extrajeron seis núcleos de 1.27 cm de diámetro paralelos a la fibra muscular, y se cortaron núcleos perpendiculares al eje longitudinal de la fibra. La fuerza de cizallamiento máxima se midió utilizando un dinamómetro digital (BFG500N, Quantro I TM, Dillon/ Quality Plus, Inc., Kansas City, MO, EE. UU.), equipado con un accesorio FCWB a una velocidad de cruceta de 200 mm/min (cizalla de carne Warner-Bratzler, G-R Manufacturing CO., Manhattan, KS, EE. UU.).

### **Longitud del sarcómero**

La longitud del sarcómero (LS) se determinó en muestras de músculo LL, utilizando un método de difracción láser de helio-neón (CVI Melles Gliot. Serie 7822 FH-1)<sup>(11)</sup>. Se midieron veinte fragmentos de miofibrillas de cada muestra para determinar la longitud promedio del sarcómero.

### **Perfil de ácidos grasos**

Los ésteres metílicos de ácidos grasos en muestras de músculo LL liofilizado se obtuvieron por transmetilación directa<sup>(12)</sup>. Los ésteres metílicos de ácidos grasos se analizaron con un cromatógrafo de gases Clarus 500 (Perking Elmer) provisto de una columna capilar CP-Select CB para FAME, sílice fundida WCOT 100 m\_0.25 mm (No. Cat. CP7420; Varian Inc.). Los ácidos grasos individuales se identificaron comparando los tiempos de retención con los patrones (Sigma, St. Louis, MO; Supelco, Bellefonte, PA; Matreya, Pleasant Gap, PA). Los ácidos grasos se cuantificaron incorporando ácido metil tricosanoico (C23:0) como patrón interno, en cada muestra durante la metilación.

## Análisis sensorial

Veinticuatro (24) horas antes del análisis sensorial, las muestras se descongelaron a  $2.5 \pm 0.5$  °C en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina. Las muestras de lomo (2.5 cm de grosor) se cocinaron en una parrilla de contacto doble hasta que la temperatura interna alcanzó los  $71 \pm 1$  °C. Las muestras fueron analizadas por un panel analítico de seis miembros capacitados de acuerdo con estándares internacionales y experiencia cárnica<sup>(13-16)</sup> en análisis sensorial. Cada panelista recibió las muestras (cubos: 1x1x2.54 cm) en placas de Petri con un código aleatorio de tres dígitos. Las muestras de los filetes se evaluaron para los siguientes atributos sensoriales: color general (CG); intensidad del olor (IO); persistencia de sabor (PS), sabor característico (SC); firmeza (F) y dureza (D). Los panelistas calificaron las muestras utilizando una escala lineal no estructurada de 10 cm, donde cada punto final correspondía a la puntuación baja o alta de cada atributo, es decir: CG: rosa claro a rojo oscuro, IO: no intenso a extremadamente fuerte, PS: no persistente a extremadamente persistente, SC: ninguno a sabor desagradable fuerte, F: extremadamente suave a duro, D: muy tierno a muy duro (límite inferior: 0 al límite superior: 10)<sup>(10)</sup>.

## Análisis estadístico

El análisis se realizó con un diseño completamente al azar. El efecto del sexo sobre los parámetros de calidad de la carne se analizó mediante una prueba de T. Cada animal se consideró una unidad experimental. Las diferencias se consideraron significativas con  $P \leq 0.05$  y las tendencias se consideraron cuando  $P \leq 0.10$ . El grado de asociación entre los datos fisicoquímicos y sensoriales se evaluó utilizando las correlaciones de Pearson (significativas a  $P \leq 0.05$ ; tendencias  $P \leq 0.10$ ). El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete *rcmdr* del programa estadístico R core team (2013).

## Resultados

### Características de la canal y rasgos de calidad de la carne

El sexo no afectó al PPS, PCC, rendimiento de la canal o al AOL ( $P=0.48$ ,  $P=0.20$ ,  $P=0.22$  y  $P=0.61$ , respectivamente; Cuadro 1). El grosor de la grasa dorsal fue 19 % mayor ( $P < 0.001$ ) en MC que en H. La carne de MC tendió ( $P=0.07$ ) a tener mayor pH@45 que la carne de H y, a las 24 h *post mortem*, el pH muscular fue mayor ( $P=0.03$ ) en MC que en H.

No se observaron diferencias ( $P \geq 0.34$ ) para los parámetros de rojez (a\*) o amarillez (b\*) en las muestras de lomo, excepto para L\* en H, que fue 7 % mayor ( $P=0.04$ ) que en MC. Además, la fuerza de cizallamiento y la longitud del sarcómero no difirieron ( $P > 0.05$ ) entre

la carne de H y MC. No se observaron diferencias ( $P=0.55$ ) en la pérdida por cocción entre sexos. La carne de MC tuvo mayor puntaje de marmoleado ( $P=0.03$ ) y contenido de grasa intramuscular que la carne de H.

**Cuadro 1:** Efecto del sexo sobre el peso vivo, las características de la canal y la calidad de la carne

	MC	H	EEM	Valor <i>P</i>
Peso previo al sacrificio, kg	124.50	121.50	7.52	0.48
Peso de la canal caliente, kg	101.60	98.00	5.78	0.22
Rendimiento de la canal, %	81.80	80.70	1.82	0.20
Grosor de la grasa dorsal, mm	25.90	21.06	3.14	<0.001
Área del ojo del lomo, cm <sup>2</sup>	36.16	36.98	3.11	0.61
Fuerza de cizallamiento Warner Bratzler, N	36.00	31.00	0.86	0.26
Longitud del sarcómero, μm	2.04	2.01	0.05	0.22
Marmoleado	2.60	1.70	0.83	0.03
Grasa intramuscular, %	3.48	2.60	0.79	0.02
Pérdida por cocción, %	25.52	26.74	0.96	0.55
pH@45	5.67	5.43	0.06	0.03
pH@24	5.41	5.23	0.05	0.07
	Color			
L*	52.44	56.13	3.60	0.04
a*	5.10	4.57	1.49	0.34
b*	14.56	15.16	2.16	0.94

MC= macho castrado; H= hembra; EEM= error estándar de la media; PPS= peso previo al sacrificio; PCC= peso de la canal caliente; RC= rendimiento de la canal; GGD= grosor de la grasa dorsal; AOL= área del ojo del lomo; FCWB= fuerza de cizallamiento Warner Bratzler; LS= longitud del sarcómero; MAR= marmoleado; PC= pérdida por cocción; GIM= grasa intramuscular; pH@45= pH del músculo *longissimus lumborum* a los 45 min *post mortem*; pH@24= pH del músculo *longissimus lumborum* a las 24 h *post mortem*; L\* (luminosidad), a\* (índice de rojez) y b\* (índice de amarillez).

### Perfil de ácidos grasos

La proporción total de ácidos grasos saturados (AGS) fue mayor ( $P<0.01$ ) en MC que en H (Cuadro 2); los AGS individuales también fueron mayores en MC que en H, con relaciones C16:0 y C18:0 más altas en MC que en H, respectivamente ( $P\leq 0.04$ ). La relación C22:5 fue mayor ( $P<0.05$ ) en H que en MC. No se encontraron diferencias ( $P>0.10$ ) entre sexos para el resto de las mediciones.

**Cuadro 2:** Efecto del sexo sobre la composición de ácidos grasos del *Longissimus lumborum* (%)

Ácidos grasos	MC	H	EEM	Valor P
AGS	37.90	36.46	0.27	<0.01
C12:0	0.10	0.09	0.01	0.19
C14:0	1.34	1.31	0.01	0.29
C16:0	23.20	22.44	0.17	0.02
C18:0	11.91	11.19	0.17	0.04
AGMI	40.03	39.97	0.47	0.95
C16:1 cis-9	2.65	2.70	0.08	0.79
C18:1 cis-9	33.94	33.63	0.37	0.69
C18:1 cis-11	2.87	3.03	0.06	0.22
AGPI	18.99	20.15	0.54	0.29
C18:2 n-6	15.01	15.77	0.43	0.39
C18:3 n-3	1.24	1.21	0.03	0.76
C20:4 n-6	2.06	2.35	0.08	0.08
C20:4 n-3	0.03	0.04	0.01	0.21
C20:5 n-3	0.10	0.11	0.01	0.37
C22:5 n-3	0.34	0.39	0.01	0.03
AGPI n-6	17.07	18.12	0.49	0.29
AGPI n-3	1.82	1.88	0.04	0.57
Proporciones				
n-6:n-3	9.33	9.64	0.06	0.12
AGPI:AGS	0.50	0.55	0.09	0.38
AGMI:AGS	1.04	1.09	0.07	0.19

MC= macho castrado; H= hembra; EEM= error estándar de la media; AGS (ácidos grasos saturados)= C12:0+ C14:0+ C16:0+ C18:0; AGMI (ácidos grasos monoinsaturados)= C14:1 cis-9 + C16:1 cis-9 + C18:1 cis-9 + C18:1 cis-11; AGPI (ácidos grasos poliinsaturados)= C18:2 n-6 + C18:3 n-3 + C18:4 n-3 + C20:4 n-6 + C20:4 n-3 + C20:5 n-3 + C22:5 n-3 + C22:6 n-3; AGPI n-6: C18:2 n-6 + C20:4 n-6; AGPI n-3: C18:3 n-3 + C18:4 n-3 + C20:4 n-3 + C20:5 n-3 + C22:5 n-3 + C22:6 n-3.

### Características sensoriales

Los atributos sensoriales de la carne fueron influenciados por el sexo de los animales. La carne de MC tuvo un puntaje más alto de persistencia de sabor ( $P<0.01$ ) y tendió a tener un color general más alto (CG,  $P<0.09$ ) y sabor característico (SC;  $P=0.06$ ) que la carne de H. La dureza (D) y la firmeza (F) fueron mayores en H ( $P<0.05$ ). No hubo diferencias significativas en el resto de los atributos ( $P>0.10$ ; Cuadro 3).

**Cuadro 3:** Efecto del sexo sobre la variabilidad de las variables sensoriales visuales, olfato-gustativas y texturales en el panel sensorial entrenado

Atributos	Descriptor	MC	H	EEM	Valor P
Visual	CG	6.01	5.53	0.15	0.09
Olfato-gustativa	FC	6.39	5.84	0.11	0.06
	PS	6.70	5.63	0.13	0.001
Textural	H	4.19	4.89	0.14	0.01
	FI	3.92	4.72	0.16	0.01

MC= macho castrado; H= hembra; EEM= error estándar de la media; CG= color general; SC= sabor característico; PS= persistencia del sabor; D= dureza; F= firmeza.

### Asociación entre variables

En el Cuadro 4 se muestra la correlación entre las variables fisicoquímicas y sensoriales. El grado de color general (CG) de los filetes se correlacionó positivamente con el puntaje de marmoleado, el contenido de grasa intramuscular y la proporción total de AGMI ( $r= 0.61$ ,  $P<0.01$ ;  $r= 0.52$ ,  $P<0.05$ ;  $r= 0.84$ ,  $P< 0.001$ ), pero se asoció negativamente con la proporción total de AGPI y la relación AGPI: AGS ( $r\geq 0.83$ ;  $P<0.001$ ). La dureza (D) de la carne se correlacionó negativamente con el pH24 ( $r= -0.46$ ,  $P<0.05$ ) y con el puntaje de marmoleado ( $r= -0.63$ ,  $P<0.001$ ), pero se correlacionó positivamente con los AGPI: AGS ( $r= 0.43$ ,  $P<0.05$ ). La puntuación general de firmeza (F) se correlacionó negativamente con el pH45 ( $r= -0.54$ ,  $P<0.05$ ), el pH24 ( $r= -0.42$ ,  $P<0.1$ ), la puntuación de marmoleado ( $r= -0.49$ ,  $P<0.05$ ) y la pérdida por cocción ( $r= -0.35$ ,  $P<0.05$ ). El SC se correlacionó positivamente con el contenido de grasa intramuscular ( $r= 0.45$ ;  $P<0.10$ ) y proporción total de AGMI ( $r= 0.54$ ;  $P<0.05$ ), pero se asoció negativamente con la proporción total de AGPI ( $r= -0.45$ ;  $P<0.10$ ). La persistencia (PS) mostró una correlación positiva con GGD, contenido de grasa intramuscular ( $P<0.01$ ) y proporción de AGMI ( $P<0.05$ ), y una correlación negativa débil con la proporción de AGPI y relación AGPI: AGS ( $P<0.1$ ). El resto de las asociaciones no fueron significativas ( $P>0.05$ ).

**Cuadro 4:** Coeficiente de correlación de Pearson entre variables fisicoquímicas y sensoriales

	CG	D	F	SC	PS
pH@45	0.03	-0.26	-0.54*	-0.27	0.06
pH@24	0.03	-0.46*	-0.42 <sup>†</sup>	-0.14	0.09
GGD	0.23	-0.37	-0.24	0.08	0.41 <sup>†</sup>
MAR	0.61**	-0.63***	-0.49*	0.25	0.29
FCWB	0.02	0.12	-0.10	0.32	0.12
LS	0.30	-0.13	-0.16	0.09	0.52*
PP (%)	-0.04	0.38	-0.35*	0.11	-0.26
GIM	0.52*	-0.46 <sup>†</sup>	-0.28	0.45 <sup>†</sup>	0.57**
AGMI	0.84***	-0.41 <sup>†</sup>	0.20	0.54*	0.48*
AGPI	-0.83***	0.45 <sup>†</sup>	-0.18	-0.45 <sup>†</sup>	-0.45 <sup>†</sup>
AGPI:AGS	-0.80***	0.43*	0.18	-0.01	-0.46 <sup>†</sup>

CG= color general; D= dureza; F= firmeza; SC= sabor característico; PS= persistencia del sabor; pH@45= pH del músculo *longissimus lumborum* a los 45 min *post mortem*; pH@24= pH del músculo *longissimus lumborum* a las 24 h *post mortem*; GGD= grosor de la grasa dorsal; MAR= marmoleado; FCWB= fuerza de cizallamiento Warner Bratzler; LS= longitud del sarcómero; PC= pérdida por cocción; GIM= grasa intramuscular; AGMI= ácidos grasos monoinsaturados; AGPI= ácidos grasos poliinsaturados; AGPI:AGS= proporción de ácidos grasos poliinsaturados-monoinsaturados.

<sup>†</sup>  $P < 0.1$ ; \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ ; \*\*\*  $P < 0.001$ .

## Discusión

La productividad y la calidad de la carne juegan un papel clave en la industria cárnica, ya que tienen un efecto directo en la rentabilidad. Acorde con reportes anteriores<sup>(17)</sup>, no se observaron diferencias en el PCC entre H y MC. Los resultados de este estudio mostraron que MC presentó mayor porcentaje de GGD y contenido de grasa intramuscular que H, en consonancia con los valores reportados por otros autores<sup>(18,19,20)</sup>, independientemente de la línea genética. La menor concentración de hormonas sexuales presentes en MC puede haber promovido la deposición de grasa en lugar de músculo<sup>(4,5)</sup>.

El área del ojo del lomo (cm<sup>2</sup>) en las muestras de MC y H enteras fue similar a la de otros autores<sup>(8,17)</sup>. La carne de H tuvo valores de L más altos que la carne de MC, en línea con el pH muscular final más bajo y una disminución de la tasa de pH más alta de H (menor pH@45). Este resultado puede atribuirse al hecho de que las hembras son más susceptibles al estrés previo al sacrificio<sup>(21)</sup>, lo que resulta en cortes de carne de cerdo pálidos.

La falta de efecto del sexo sobre los valores de fuerza de cizallamiento medidos por el procedimiento Warner Bratzler estuvo en línea con la falta de efecto del sexo sobre la longitud

del sarcómero. Se ha sugerido que una longitud de sarcómero mayor de 2  $\mu\text{m}$  en el músculo de los cerdos, como en el presente estudio, sería suficiente para asegurar carnes tiernas<sup>(22)</sup>. No obstante, estos resultados no estuvieron en consonancia con la diferencia en la disminución de la tasa observada entre sexos, probablemente porque estas diferencias fueron pequeñas.

Se observó una correlación negativa entre el marmoleado y la ternura ( $r = -0.49$ ,  $P < 0.05$ )<sup>(23)</sup>. Sin embargo, la diferencia en el porcentaje de grasa intramuscular entre MC y H observada en el presente estudio no parece ser suficiente para producir un efecto significativo sobre la ternura objetiva. Este resultado concuerda con los valores de fibrosidad más bajos en MC que H, como lo indican los atributos visuales y texturales y el coeficiente de Pearson.

El sabor y la palatabilidad de la carne dependen en gran medida de la cantidad total de grasa y del perfil de ácidos grasos<sup>(24)</sup>. Por lo tanto, el nivel de GIM encontrado en MC con respecto a H, así como algunas diferencias en el perfil de ácidos grasos, serían responsables de las diferencias en el sabor y las características del olor de la carne de cerdo observadas en el presente estudio. De manera similar, otros autores encontraron que la carne de MC tuvo mayor puntaje de sabor que la carne de muestras de H<sup>(7,25)</sup>. La correlación significativa entre el contenido de grasa intramuscular y la PS o SC observada en el presente estudio apoya la hipótesis de que la composición de la grasa intramuscular y los atributos de sabor podrían estar relacionados.

El perfil de ácidos grasos de la carne de cerdo es un factor importante para varias propiedades sensoriales, como el sabor y la firmeza de los tejidos<sup>(26)</sup>. El sabor de la carne de cerdo está directamente asociado a la oxidación lipídica que ocurre durante el procedimiento de cocción<sup>(26)</sup>, generando un perfil característico de compuestos volátiles. Las diferencias en algunos ácidos grasos poliinsaturados individuales observadas en el presente estudio podrían conducir a diferencias en la percepción de los compuestos de sabor por parte del panel sensorial. No obstante, estas diferencias fueron muy pequeñas y deben confirmarse en estudios posteriores. La proporción de ácidos grasos monoinsaturados se correlacionó positivamente con el sabor característico y su persistencia<sup>(27)</sup>. Además, como era de esperar, una mayor proporción de algunos ácidos grasos poliinsaturados individuales o totales parece contribuir negativamente a los atributos de olor y sabor, pero positivamente a los atributos texturales en la carne de hembras<sup>(27)</sup>.

## Conclusiones e implicaciones

La carne de MC quirúrgicamente y H enteras de cerdos mestizos argentinos “Degesa” (Yorkshire 25% x Landrace 75%) presentó algunos rasgos de calidad diferenciales en el músculo *Longissimus lumborum*. Los MC parecen tener mejores características

colorimétricas y sensoriales que las H. Las principales diferencias observadas entre sexos se relacionaron con una mayor cantidad de contenido de grasa intramuscular en la carne de MC. Este resultado implica que el sexo de los animales debe tenerse en cuenta a la hora de producir cortes o productos cárnicos con determinadas características de calidad. Esto significa que la categoría de carne de cerdo argentina podría diferenciarse por la calidad de la carne según el sexo. Serían necesarios más estudios con un mayor número de animales para corroborar estos hallazgos.

### **Agradecimientos y conflicto de intereses**

Esta investigación fue financiada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina y el Consejo de Investigaciones de la Universidad Católica de Salta, Argentina (UCASAL) (RR N° 694/2012, 1294/2015). Certificamos que no existe conflicto de intereses.

### **Literatura citada:**

1. MAGyP. Ministerio de agricultura ganadería y pesca de la nación. 2022. Resultados económicos ganadero. Boletín Porcino. <http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/porcinos/estadistica/Consultado> 13 Mar, 2023.
2. Auqui Silvera SM. Estrategias productivas y alimentarias para mejorar la calidad de la canal y de la carne de chato Murciano. Universidad de Murcia, Facultad de Veterinaria. 2014:221.
3. Medel P, Fuentetaja A. Efecto del perfil genético, del sexo, del peso al sacrificio y de la alimentación sobre la productividad y la calidad de la canal y de la carne de cerdos grasos. 16ºCurso de especialización FEDNA. Madrid. España 2001:1-25.
4. Gispert M, Oliver MA, Velarde A, Suarez P, Pérez J, Furnols M. Carcass and meat quality characteristics of immunocastrated male, surgically castrated male, entire male and female pigs. *Meat Sci* 2010;(84):120–127.
5. Trefan L. Development of empirical models for pork quality [Doctoral thesis]. Edinburgh: University of Edinburgh; 2011.
6. Trefan L, Doeschl-Wilson A, Rooke JA, Blom-Hansen J, Terlouw C, Bünger L. Meta-analysis of the effects of gender in combination with carcass weight and breed on pork. *J Anim Sci* 2013;(91):1480-1492.
7. D'Souza DN, Mullan BP. The effect of genotype, sex and management strategy on eating quality of pork. *Meat Sci* 2002;(60):95–101.

8. Piao JR, Tian JZ, Kim BG, Choi YI, Kim YY, Han IK. Effects of sex and market weight on performance, carcass characteristics and pork quality of market hogs. *Asian–Austr J Anim Sci* 2004;(17):1452–1458.
9. Caldara FR, Moi M, Dos Santos LS, de Lima Almeida Paz IC, Garcia RG, de Alencar Nääs I, Fernandes ARM. Carcass characteristics and qualitative attributes of pork from immunocastrated animals. *Asian-Austr J Anim Sci* 2013;(26):1630-1636.
10. AMSA. American Meat Science Association. Sensory evaluation and instrumental tenderness measurement of fresh meat. In: *Research guidelines for cookery*. Meat Am Sci Ass Nat Livestock and Meat Board. Chicago, IL. 1995.
11. Cross HR, West RL, Dutso TR. Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Sci* 1981;(5):261–269.
12. Park PW, Goins RE. *In situ* preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. *J Food Sci* 1994;(59):1262–1266.
13. ISO5496: Sensory Analysis - Methodology Initiation and training of assessors in detection-recognition of odours. 1992.
14. ISO 4121: Sensory Analysis - Methodology - Evaluation of products by methods using scales. 1987.
15. ISO8586-1: Sensory Analysis - General guidance for the selection, training and monitoring of assessors. Part 1: Selected assessors.1993.
16. ISO11036: Sensory Analysis. Methodology, Texture Profile. 1994.
17. Boler DD, Puls CL, Clark DL, Ellis M, Schroeder AL, Matzat PD, *et al*. Effects of immunological castration (Improvest) on changes in dressing percentage and carcass characteristics of finishing pigs. *J Anim Sci* 2014;(92):359–368.
18. Alonso V, Campo MM, Español S, Roncales P. Beltrán JA. Effect of crossbreed and gender on meat quality and fatty acid composition in pork. *Meat Sci* 2009;(81):209-217.
19. Ngapo TM, Riendeau L, Laberge C, Fortin J. Marbling and ageing — Part 1. Sensory quality of pork. *Food Res Intern* 2012;(49):396–405.
20. Muhlisin P, Lee SJ, Lee JK, Lee SK. Effects of crossbreeding and gender on the carcass traits and meat quality of Korean Native Black Pig and Duroc crossbred. *Asian-Austr J Anim Sci* 2014;(27):1019–1025.
21. Scheffler TL, Scheffler JM, Kasten SC, Sosnicki AA, Gerrard DE. High glycolytic potential does not predict low ultimate pH in pork. *Meat Sci* 2013;(95):85-91.

22. Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M. Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles. *J Anim Sci* 2000;(78): 958–965.
23. Noidad S, Limsupavanich R, Suwonsichon S, Chaosap C. Effect of visual marbling levels in pork loins on meat quality and Thai consumer acceptance and purchase intent. *Asian-Australas J Anim Sci* 2019;(32):1923-1932.
24. Calkins CR, Hodgen JM. A fresh look at meat flavor. *Meat Sci* 2007;77(1):63-80.
25. Furnols MFI, González J, Gispert M, Oliver MA, Hortós M, Pérez J, Suárez P, Guerrero L. Sensory characterization of meat from pigs vaccinated against gonadotropin releasing factor compared to meat from surgically castrated, entire male and female pigs. *Meat Sci* 2009;83(3):438-442.
26. Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher AV, Campo MM, Kasapidou E, Sheard PR, Enser M. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci* 2004;66(1):21-32.
27. Cameron ND, Enser M. Fatty acid composition of lipid in *Longissimus dorsi* muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality. *Meat Sci* 1991;(29): 295-307.



## Resistencia a la ivermectina en *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) en el noreste de México y factores de riesgo asociados



Samantha Abigail Moreno-Linares <sup>a</sup>

Romario García-Ponce <sup>b</sup>

Jesús Jaime Hernández-Escareño <sup>a</sup>

Heidi Giselle Rodríguez-Ramírez <sup>a</sup>

José Pablo Villarreal-Villarreal <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus de ciencias agropecuarias, C. Francisco Villa 20, Colonia Ex-Hacienda el Canadá 66054, General Escobedo, Nuevo León, México.

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

\*Autor de correspondencia: pablov\_v@hotmail.com

### Resumen:

*Rhipicephalus microplus*, es la especie parasitaria que más daño genera a la ganadería mexicana y global debido a las pérdidas directas e indirectas, como lo es el incremento de la multirresistencia y la resistencia cruzada. En la actualidad, son pocos los estudios que se tienen sobre la resistencia a lactonas macrocíclicas en México, siendo su mayoría en el sur. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el estado de la resistencia a ivermectina en *R. microplus*, en el noreste de México y factores de riesgo asociados a ésta. Se colectaron 20 poblaciones de *Rhipicephalus microplus*, en los estados de Veracruz, Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí, y se analizaron con la prueba de inmersión de larvas. Los datos de mortalidad se sometieron a un análisis Probit, estimándose las concentraciones letales (CL) del 50% y 99% y sus respectivos intervalos de confianza del 95% (IC95%) y

para la determinación de los posibles factores de riesgo se realizó un análisis multivariado y tablas de contingencia de 2 x 2 para las variables de exposición, con un intervalo de confianza del 95%, y un modelo de regresión logística binomial para aquellas variables con una  $P \leq 0.05$ . El 80 % de las poblaciones analizadas presentaron resistencia con rangos de RR50= 2.07-11.14 y RR99= 3.03-47.93 ( $P \leq 0.05$ ) y mediante la regresión logística binomial, se pudo observar que la variable frecuencia de tratamientos obtuvo una  $P \leq 0.0134$ , resultado que mostró ser significativo.

**Palabras clave:** Garrapata del ganado, Epidemiología veterinaria, Dosis-respuesta, Acaricidas.

Recibido: 26/06/2023

Aceptado: 08/02/2024

## Introducción

Las garrapatas son ectoparásitos hematófagos importantes en la salud humana y animal, dado al daño que causan al transmitir patógenos y al alimentarse<sup>(1)</sup>. *Rhipicephalus microplus*, es la especie con mayor importancia en la ganadería bovina debido a que es el principal vector de hemoparásitos como *Babesia* spp. y *Anaplasma* spp., aunado a esto las pérdidas económicas que origina a nivel productivo en México ascienden a más de 573.6 millones de dólares al año<sup>(2)</sup>. Dicha especie se encuentra dispersa en las regiones tropicales, subtropicales y semiáridas de todos los continentes a excepción de Europa<sup>(3)</sup>. La distribución geográfica de *R. microplus* en el país, está registrada por la SENASICA, quien declara que el 30.60 % del país se encuentra libre de la garrapata, el 3.44 % está en erradicación y el 65.96 % son zonas libres naturales y zonas en control<sup>(4)</sup>.

Desde hace años se utilizan ixodicidas para el control de *R. microplus*, tales como: organofosforados, amidinas, piretroides sintéticos, reguladores del crecimiento, fenilpirazolonas y lactonas macrocíclicas (LM); estos últimos son una familia de amplio espectro (endectocida) y actúan al unirse a los dominios transmembrana (TM) de los receptores Cys-loop, como el canal de cloro dependiente de glutamato (GluCl) mismos que se expresan en los sistemas motores y sensoriales de artrópodos y nematodos, causando hiperpolarización y finalmente la muerte<sup>(5,6,7)</sup>.

Todos estos fármacos tienen en común, que han generado resistencia debido a factores operacionales como el uso inadecuado y continuo<sup>(8)</sup>. En México, en el 2010, se reportó por primera vez la resistencia a la ivermectina en poblaciones de *R. microplus*<sup>(9)</sup>, siendo que ésta se utiliza desde inicios del siglo XXI y en la actualidad son pocos los estudios que se tienen sobre la resistencia a LM en México, los cuales, son escasos en el noreste del país. Es por esto que, el objetivo de la presente investigación fue determinar el estado de la resistencia a ivermectina en *R. microplus* en ranchos ganaderos del noreste de México, así como, los posibles factores de riesgo asociados a dicha resistencia.

## **Material y métodos**

### **Área y lugar de estudio**

El estudio se desarrolló en el laboratorio de Bacteriología y en el Laboratorio Multidisciplinario de Investigación (LMI) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (F.M.V.Z.) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (U.A.N.L).

Durante los meses de septiembre de 2021 a octubre de 2022, se colectaron 20 poblaciones de garrapatas pertenecientes a la especie *R. microplus*, ubicadas en 20 ranchos ganaderos distintos pertenecientes a los cuatro estados de la región noreste de México: Veracruz (Ver.), Nuevo León (N.L.), Tamaulipas (Tamps.) y San Luis Potosí (S.L.P.). Para determinar el tamaño de muestra, se utilizó un modelo simple al azar, basado en los datos del SIAP-SADER<sup>(10)</sup>.

### **Colecta e identificación de garrapatas**

Por la mañana, se colectaron de manera manual 20 a 30 hembras ingurgitadas (teleóginas) pertenecientes a la especie *R. microplus*, ubicadas en las zonas corporales del bovino siguiendo las recomendaciones de la FAO<sup>(11)</sup>. La identificación de los especímenes se llevó a cabo mediante un análisis observacional morfológico, con el uso de claves dicotómicas<sup>(12)</sup> y un microscopio estereoscópico Carl Zeiss<sup>TM</sup> Stemi<sup>TM</sup> DV4 (Göttingen, Alemania), esto con el fin de discernir entre otras especies de garrapata que también parasitan bovinos.

## **Producción de larvas infestantes**

Para llevar a cabo la ovoposición, las teleóginas se lavaron con agua destilada y secadas con toallas de papel; se colocaron en grupos de 10 en una caja Petri (100 x 15 mm) de manera dorsoventral, y se incubaron en una incubadora BOD-250 de la marca ECOSHEL a una temperatura de  $27 \pm 2$  °C y una humedad relativa entre el 80 y 90 %. Después de la ovoposición (14 a 18 días), se colectaron los huevos y transferidos a tubos de vidrio de 10 ml sellados con una tela y una liga en espera de la eclosión de las larvas; pasados otros 14 días se esperó a la maduración de las larvas, y una vez que se observó la característica del geotropismo negativo, entonces fue llevada a cabo la prueba de inmersión de larvas modificada para ivermectina<sup>(8,9,13)</sup>.

### **Prueba de inmersión de larvas modificada para ivermectina (PIL)**

Se preparó una solución madre de IVM al 1% (Sigma-Aldrich, USA) en etanol absoluto y 2% de Tritón X-100 (Sigma-Aldrich, USA). A partir de esta solución, se elaboró la dosis máxima de IVM al 0.01% (100 ppm). Posteriormente, se prepararon 11 diluciones en serie al 30 %: 0.01 %, 0.007 %, 0.0049 %, 0.00343 %, 0.0024 %, 0.00168 %, 0.00117 %, 0.00082 %, 0.00057 %, 0.0004 % y 0.00028 %. Como diluyente se usó una solución de etanol al 1% y Tritón X-100 al 0.02% en agua destilada. En tubos Eppendorf de 2.0 ml se añadieron 500 µl de cada dilución por triplicado y se colocó una cantidad de entre 100 y 150 larvas infestantes, se sumergieron durante 10 min y después, se transfirieron a papeles Walkman de 8.5 x 7.5 cm cerrados con pinzas sujeta papeles. Pasadas 24 h, se llevó a cabo el conteo de las larvas vivas y el número inicial de larvas paquete<sup>(8,13,14)</sup>.

### **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de dosis-respuesta PROBIT, se calcularon las concentraciones letales (CL) del 50 % y 99 % con sus respectivos límites de confianza del 95 % (LC 95 %) utilizando el software SPSS V.24. Se probó la hipótesis de normalidad e igualdad de la varianza con una prueba de Ji-cuadrada ( $P \leq 0.05$ ).

Se determinó la razón de resistencia (RR) de cada población y se comparó con los datos obtenidos previamente de la cepa de referencia susceptible Deutch (USDA, Cattle Fever Tick

Research Laboratory, Edinburg, TX, EE.UU.)<sup>(13)</sup>. Para determinar la susceptibilidad y resistencia se siguió la clasificación:  $RR50 \leq 1$ : susceptible;  $RR50 > 1 < 2$  resistencia incipiente e  $RR50 \geq 2$  resistente<sup>(12)</sup>. La fórmula para el cálculo de la RR fue:

## Cuestionario epidemiológico

Se aplicó un cuestionario epidemiológico a cada uno de los propietarios o encargados de los ranchos ganaderos estudiados con la finalidad de determinar las prácticas en el uso y manejo de LM, así como del control de *R. microplus*. Se incluyó información relacionada a la producción, instalaciones, razas, presencia de garrapata y otros parásitos, historial del uso de lactonas macrocíclicas (LM) e ixodicidas, frecuencia de aplicaciones, rotación de ixodicidas y de pasturas, entre otros.

El grupo con resistencia incipiente ( $RR50 > 1 < 2$ ) fue considerado como susceptible y se realizó un análisis descriptivo para calcular las frecuencias de las variables encontradas, así como un análisis multivariado utilizando tablas de contingencia 2 x 2 para evaluar la interacción entre las variables de exposición, con un intervalo de confianza del 95 % utilizando el software Epi Info V.7.2. Se utilizó la prueba de Exacto de Fisher para determinar el nivel de significancia de cada asociación y se incluyeron en el modelo de regresión logística binomial aquellas asociaciones con un valor de  $P \leq 0.20$ . Se consideró un valor de  $P \leq 0.05$  como estadísticamente significativo en el análisis de regresión binomial<sup>(8,9,15)</sup>.

## Resultados

### Lugar de colecta de las poblaciones

$$RR50 = \frac{CL50 \text{ población}}{CL50 \text{ cepa referencia}}$$

Los datos de colecta de las poblaciones de *R. microplus* pertenecientes a la región noreste de México se muestran en el Cuadro 1, mismos que fueron distribuidos de la siguiente manera: cuatro de Tamaulipas., siete de Veracruz., cinco de Nuevo León y cuatro de San Luis Potosí.

**Cuadro 1:** Localización geográfica de cada población de *R. microplus* colectada en la región noreste de México

<b>Población</b>	<b>Localización</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>
<b>ETHM</b>	Tantoyuquita, Tamps.	22°31'05.5"N 98°31'26.5"W
<b>JCG4</b>	Ciudad del Maíz, S.L.P.	22°25'01.6"N 99°35'20.7"W
<b>JAM5</b>	Tantoyuca, Ver.	21°12'38.7"N 98°08'33.5"W
<b>DALC</b>	Cadereyta, N.L.	25°33'43.4"N 99°49'11.4"W
<b>RAMT</b>	Soto la Marina, Tamps.	23°48'30.3"N 98°08'24.9"W
<b>JNSE</b>	Santa Engracia, Tamps.	24°04'05.5"N 99°14'07.7"W
<b>JVML</b>	Los Ramones, N.L.	25°42'24.6"N 99°37'27.9"W
<b>SNTM</b>	General Bravo, N.L.	25°50'17.0"N 99°15'56.4"W
<b>VMA1</b>	General Terán, N.L.	25°10'06.4"N 99°32'55.3"W
<b>PRVA</b>	Aramberri, N.L.	24°06'19.8"N 99°55'20.1"W
<b>MRNA</b>	Hidalgo, Tamps.	24°04'41.0"N 99°14'28.8"W
<b>ANGS</b>	Tantoyuca, Ver.	21°23'42.1"N 98°08'32.3"W
<b>LEX15</b>	Tantoyuca, Ver.	21°18'06.0"N 98°15'42.4"W
<b>ESHP</b>	Tantoyuca, Ver.	21°19'42.7"N 98°20'44.0"W
<b>JHE2</b>	Tantoyuca, Ver.	21°24'05.1"N 98°11'15.5"W
<b>JPN1</b>	Tantoyuca, Ver.	21°17'15.3"N 98°15'57.3"W
<b>VIHM</b>	Tantoyuca, Ver.	21°27'41.4"N 98°18'30.5"W
<b>KML1</b>	Ciudad Valles, S.L.P.	22°01'19.9"N 99°04'23.5"W
<b>EBEV</b>	Casas Viejas, S.L.P.	22°11'22.2"N 99°05'53.2"W
<b>ISALI</b>	El Naranjo, S.L.P.	22°30'58.1"N 99°21'05.0"W

### **Ranchos ganaderos con poblaciones de *R. microplus* resistentes a ivermectina y la razón de resistencia**

Utilizando la tasa de mortalidad y la metodología PROBIT, se calculó la concentración letal en % (CL50 y CL99) y la razón de resistencia (RR50 y RR99) (Cuadro 2). La población VMA1 fue susceptible a la IVM (RR50= 0.73; RR99= 3.94) y las poblaciones JCG4, JAM5 y JNSE, mostraron una resistencia incipiente (RR50 del 1.20. 1.55 y 1.61 respectivamente). Por otro lado, las 16 poblaciones restantes, mostraron resistencia a IVM (RR50= 2.07- 11.14; RR99= 3.03-47.93) y de éstas, las poblaciones JVML y LEX15 fueron altamente resistente al ixodicida (RR50= 6.98; RR99= 11.11; RR50= 11.14; RR99= 47.93).

**Cuadro 2:** Análisis de dosis-respuesta a IVM en poblaciones de *R. microplus*, concentración letal al 50 % y 99 % y razón de resistencia 50 y 99 (RR<sub>50</sub> y RR<sub>99</sub>)

Población	Pendiente	CL <sub>50</sub>	IC 95 %	RR <sub>50</sub>	CL <sub>99</sub>	IC 95%	RR <sub>99</sub>
<b>JCG4</b>	4.77	0.00067	0.00123- 0.00135-	1.20	0.00203	0.00114- 0.00491-	1.20
<b>ETHM</b>	3.82	0.00154	0.00174- 0.00074-	2.75	0.00626	0.00874- 0.00362-	3.68
<b>JAM5</b>	3.10	0.00087	0.00102- 0.00200-	1.55	0.00490	0.00758- 0.00820-	2.88
<b>DALC</b>	3.46	0.00230	0.00264- 0.00133-	4.11	0.01083	0.01616- 0.00418-	6.37
<b>RAMT</b>	4.29	0.00148	0.00164- 0.00072-	2.64	0.00515	0.00684- 0.00410-	3.03
<b>JNSE</b>	2.82	0.00090	0.00110- 0.00313-	1.61	0.00602	0.01090- 0.01173-	3.54
<b>JVML</b>	3.40	0.00391	0.00513- 0.00191-	6.98	0.01889	0.04563- 0.00695-	11.11
<b>SNTM</b>	3.83	0.00226	0.00269- 0.00027-	4.03	0.00913	0.01362- 0.00403-	5.37
<b>VMA1</b>	1.91	0.00041	0.00053- 0.00188-	0.73	0.00669	0.01585- 0.00883-	3.94
<b>PRVA</b>	3.26	0.00206	0.00225- 0.00265-	3.68	0.01067	0.01346- 0.01014-	6.28
<b>MRNA</b>	3.62	0.00303	0.00346- 0.00202-	5.40	0.01326	0.01927- 0.00948-	7.80
<b>ANGS</b>	3.32	0.00213	0.00224- 0.00547-	3.80	0.01068	0.01220- 0.05465-	6.28
<b>LEX15</b>	2.09	0.00624	0.00727- 0.00163-	11.14	0.08148	0.13760- 0.00741-	47.93
<b>ESHP</b>	3.32	0.00177	0.00192- 0.00138-	3.16	0.00889	0.01110- 0.0088-	5.23
<b>JHE2</b>	2.70	0.00156	0.00174- 0.00198-	2.78	0.01136	0.01572- 0.01526-	6.68
<b>JPN1</b>	2.38	0.00225	0.00256- 0.00222-	4.02	0.02138	0.03357- 0.01036-	12.58
<b>VIHM</b>	3.10	0.00255	0.00293- 0.00134-	4.56	0.01435	0.02122- 0.00947-	8.44
<b>KML1</b>	2.53	0.00149	0.00166	2.66	0.01242	0.01750	7.31

			0.00101-			0.00513-	
<b>ISALI</b>	3.03	0.00116	0.00132	2.07	0.00679	0.00995	4.00
			0.00095-			0.00522-	
<b>EBEV</b>	2.87	0.00116	0.00139	2.07	0.00750	0.0129	4.41
			0.00052-			0.00150-	
<b>DEUTCH<sup>a</sup></b>	4.72	0.00056	0.00060	NA	0.0017	0.00210	NA

a Cepa de referencia susceptible de USDA, Cattle Fever Tick Research Laboratory, Edinburg, TX, USA.  
CL= concentración letal; IC= intervalo de confianza; RR= razón de resistencia; NA= no aplica.

Separando las poblaciones por estado, se encontró que la resistencia a IVM supera al 70 % en cada uno de estos. En el estado de San Luis Potosí se tuvieron tres poblaciones resistentes (75 %) y una población presentó resistencia incipiente (25 %), en Tamaulipas se obtuvieron valores similares a los encontrados en el estado de San Luis Potosí: 75 % resistentes, 25 % con resistencia incipiente. Por otro lado, en Nuevo León se encontró que el 80 % de las poblaciones presentan resistencia, mientras que una población (20 %) mostró susceptibilidad, resaltando que fue la única del presente estudio. Por último, el 86 % de las poblaciones analizadas en Veracruz, presentó resistencia, mientras que el 14 % mostró resistencia incipiente.

### Factores de riesgo asociados a poblaciones resistentes

Se analizaron 14 variables independientes como posibles factores de riesgo asociados a la resistencia a IVM (Cuadro 3). Por un lado, el sistema de explotación principal es el agostadero; poco más de la mitad de los ranchos cuentan con instalaciones semitecnificadas y con razas criollas entre cebuínas y europeas. La densidad de animales por rancho es menor de 50 cabezas por hato, con una proximidad de menos de 5 km entre ranchos. La mitad de los ranchos muestreados presenta garrapatas todo el año.

En cuanto al historial de manejo de ixodicidas y LM, se observó que todos los ranchos implementan la rotación de ixodicidas utilizando diversas familias de productos, como organofosforados, amidinas, piretroides sintéticos, fenilpirazolonas e inhibidores del desarrollo. Además, todos los ranchos aplican IVM y otras LM, como doramectina, siendo la mitad de ellos utilizadas para el tratamiento de ectoparásitos. Más del 50 % de los ganaderos encuestados mencionaron utilizar formulaciones de IVM con concentraciones superiores al 1 %, aplicándolas más de cinco veces al año y ajustando la dosis según el peso del bovino. Además, la mayoría de los ranchos cuentan con asistencia veterinaria y llevan a cabo la rotación de pasturas.

Las variables de exposición "frecuencia de tratamientos" ( $P=0.026$ ) y "formulación administrada" ( $P=0.1531$ ) mostraron una significancia estadística según la prueba del exacto

de Fisher (Cuadro 4). Por lo tanto, ambas variables se incluyeron en el modelo de regresión logística binomial (Cuadro 3), donde se obtuvieron estimaciones de regresión, intervalos de confianza del 95 % (IC 95 %), odds ratio (OR), valores de  $P$  y error estándar del coeficiente de regresión. Se consideró un valor de  $P \leq 0.05$  como significativo, lo que indica una asociación estadística positiva entre las variables.

**Cuadro 3:** Análisis de frecuencias de las variables independientes de exposición como posibles factores de riesgo asociados a la resistencia a IVM por *R. microplus*

Variable	Análisis	Frecuencia (%)	$P$ (exacto de Fisher)
Sistema de explotación	Estabulado	6/20= 30	0.6573 <sup>a</sup>
	Agostadero	14/20= 70	
Tipo de instalación	Semitecnificado	11/20= 55	0.6253 <sup>a</sup>
	Familiar	9/20= 45	
Razas	Pura	2/20= 10	0.3684 <sup>a</sup>
	Criollas	18/20= 90	
Densidad de animales (número de cabezas)	> 50	8/20= 40	0.5345 <sup>a</sup>
	< 50	12/20= 60	
Proximidad a otro rancho	> 10 km	5/20= 25	0.2487 <sup>a</sup>
	< 10 km	15/20= 75	
Temporada con garrapata	Estacionalidad	10/20= 50	0.7089 <sup>a</sup>
	Todo el año	10/20= 50	
Parásito (s) blanco (s)	Ectoparásitos	10/20= 50	0.7089 <sup>a</sup>
	Endo y ectoparásitos	10/20= 50	
Frecuencia de tratamientos (año)	1- 3	9/20= 45	0.026 <sup>b*</sup>
	4- > 5	11/20= 55	
Aplicación de tratamientos	Prevención	7/20= 35	0.5607 <sup>a</sup>
	Presencia	13/20= 65	
Formulación administrada	1	8/20= 40	0.1531 <sup>b*</sup>
	3.15 - 4 %	12/20= 60	
Aplicación de acuerdo con el peso	Sí	17/20= 85	0.5087 <sup>a</sup>
	No	3/20= 15	
Asistencia veterinaria	Sí	15/20= 75	0.2817 <sup>a</sup>
	No	5/20= 25	
Rotación de ixodicidas	Sí	20/20= 100	0.4738 <sup>a</sup>
	No	0/20	
Rotación de pastura	Sí	14/20= 70	0.3426 <sup>a</sup>
	No	6/20= 30	

a= no significativo; b\*= significativo ( $P \leq 0.20$ ).

**Cuadro 4:** Análisis de regresión logística binomial en variables significativas como posibles factores de riesgo asociados a la resistencia de *R. microplus* a la IVM

Variable	OR	IC 95 %	SE ( $\beta$ )	$P \leq 0.05$
Frecuencia de tratamientos	No definido	0.0	291.26	0.0134
Formulación administrada	6.59	0.5428	1.27	0.1101

OR= razón de momios; IC= intervalo de confianza; SE ( $\beta$ )= error estándar.

## Discusión

El control químico de la garrapata en México y el mundo se ha vuelto ineficaz, dado a la aparición de poblaciones resistentes y multirresistentes a los ixodicidas<sup>(16,17,18)</sup>. Desde su introducción, en la década de los 80, la IVM ha sido el producto de salud animal con mayor importancia a nivel mundial<sup>(19)</sup>. Pocos son los estudios del estado de la resistencia a IVM en *R. microplus* en México<sup>(8,9,15)</sup>. Lo anterior destaca la importancia de realizar estudios sobre la evaluación y diagnóstico de resistencia de este fármaco en el noreste del país.

Aplicando la PIL y siguiendo la metodología Probit, se determinaron las CL50 y CL99 de las poblaciones de estudio. En los resultados obtenidos se encontró diferencia significativa con la cepa de referencia Deutch, con una población susceptible (5 %) (RR50= 0.73), tres poblaciones con resistencia incipiente (15 %) (RR50= 1.20-1.61) y el resto (80 %) con resistencia (RR50= 2.07-11.14). Estos resultados coinciden con aquellos reportados por primera vez en México<sup>(9)</sup>, en donde el 100 % de las poblaciones analizadas mostraron resistencia a la IVM con RR50= 2.04-8.59 y RR99= 2.67-87.86, además de un crecimiento exponencial en diferentes épocas de muestreo. La importancia de utilizar una cepa susceptible de referencia radica en que, es un parámetro referente para la realización de estudios bioquímicos y moleculares de resistencia<sup>(20)</sup>. Además, éstas se encuentran reguladas por organismos internacionales. En el estudio realizado en 2006<sup>(9)</sup>, se hace una comparación entre los resultados obtenidos en su investigación utilizando la cepa Deutch y otro estudio<sup>(15)</sup>, quien utiliza la cepa Porto Alegre. Dicho estudio<sup>(9)</sup>, resalta que el resultado obtenido por este equipo es superior a los del segundo, aun así, se obtuvieron valores de RR50 ligeramente más altos o iguales. En la presente investigación, se encontraron resultados similares al analizar las cepas Porto alegre, Mozo y Deutch<sup>(9,13,21)</sup> como posibles candidatos para la cepa de referencia, de modo que se optó por seleccionar la cepa Deutch debido a que, al analizar los resultados de las tres, no hubo significancia al momento de determinar la clasificación ya

estipulada, y se ajustó más a lo deseado. Por otro lado, la cepa mexicana Media Joya solo es susceptible a organofosforados, piretroides sintéticos y amidinas, y no se tiene una caracterización toxicológica de susceptibilidad a ivermectina<sup>(22)</sup>.

Autores<sup>(23)</sup>, mencionan que la resistencia está dada por factores bioquímicos/genéticos, factores operativos y factores ecológicos; estos últimos incluyen rasgos intrínsecos e interacciones de las poblaciones con su entorno y medio ambiente. Además, el desarrollo de individuos resistentes es dependiente de la frecuencia de ocurrencia de estos y de la presión de selección<sup>(9,24,25)</sup>. Asimismo, en diferentes estudios de países latinoamericanos, se obtuvieron poblaciones resistentes de entre el 40 al 100 % de las poblaciones analizadas<sup>(26,27,28)</sup>.

La respuesta de las poblaciones al aumento de la dosis (pendiente) es un indicativo importante de la resistencia. Una pendiente baja  $\leq 2$  y una CL alta (superior a la cepa de referencia) es común en poblaciones resistentes, mientras que, una pendiente elevada  $\geq 2$  y CL baja es común en poblaciones susceptibles con respuesta heterogénea<sup>(13,29)</sup>. En el presente estudio se encontraron poblaciones que respetan dicho anuncio: JCG4 (S.L.P.), JAM5 (Ver), JNSE (Tamps), VMA1 (N.L.) y la población JPN1 (Ver), mientras que, sorprendentemente tres poblaciones provenientes de Tamaulipas (ETHM, RAMT y MRNA), cuatro de Nuevo León (JVML, SNTM, PRVA y DALC), cinco de Veracruz (ANGS, LEX15, ESHP, VIHM y JHE2) y tres de San Luis Potosí (KML1, EBEV e ISALI), mostraron CL y pendientes altas. A la fecha, no existen reportes que determinen una cepa de *R. microplus* altamente resistente a la IVM<sup>(28)</sup>; de acuerdo con estos enunciados, las poblaciones descritas han sufrido una pérdida de la heterogeneidad y de los genes susceptibles, demostrando por primera vez en la presente investigación que los alelos resistentes se encuentran fijados en la población y presentan una respuesta homogénea de resistencia. Otros estudios, mencionan que la heterogeneidad de alelos resistentes llevaría a la pérdida de poblaciones susceptibles y a la aparición de poblaciones resistentes con alelos homogéneos<sup>(9,30,31)</sup>.

De las poblaciones resistentes obtenidas en este estudio, dos se catalogaron como altamente resistentes (RR50= 6.98 y RR50= 11.14), resultados que son similares a aquellos que mostraron los valores más altos de resistencia (RR50= 6.84, 7.37 y 10.23) y RR50= 5.89, 6.25 y 8.21<sup>(8,9,15)</sup>. Aun así, son necesarios estudios moleculares para analizar todas las frecuencias de los alelos resistentes de las poblaciones.

Por otro lado, se analizaron las frecuencias en base a las respuestas obtenidas en el cuestionario epidemiológico (Cuadro 3). Los municipios incluidos en el presente estudio se encuentran ubicados entre los paralelos 26° N a 21° N, humedades relativas entre el 65-79 %, temperaturas medias de 21° C y un promedio de evaporación del agua entre 1,200-1,400 mm, condiciones óptimas para el desarrollo, distribución y supervivencia de la

garrapata, así como para el aumento de generaciones por año<sup>(32,33,34)</sup>. Algunos autores mencionan que la ubicación geográfica y el nicho abiótico, son factores que promueven el mayor desarrollo de las garrapatas<sup>(3,35)</sup>.

De las 14 variables estudiadas, dos mostraron tener significancia de  $P \leq 0.20$ : frecuencia de tratamientos ( $P=0.026$ ) y formulación administrada ( $P=0.1531$ ), mismas que fueron incluidas en el modelo de regresión logística binomial.

Los sistemas de manejo de animales, así como el número de tratamientos anuales, son considerados factores que influyen en la eficacia de los fármacos, desempeñando un papel importante en el desarrollo de la resistencia<sup>(4)</sup>. En el 55 % de los ranchos, se aplica el tratamiento con IVM de 4 a más de 5 veces por año, similar a lo obtenido por Fernández-Salas *et al*<sup>(36)</sup>, donde ranchos ganaderos que aplican LM 4 o más de 5 veces al año, tienen hasta 13 veces más probabilidad de desarrollar resistencia<sup>(8)</sup>. La IVM presenta un período de disminución de la concentración posterior a la aplicación, pero debido a su alta afinidad a la grasa y su persistencia en tejidos, no se elimina por completo, de modo que la exposición prolongada a dosis terapéuticas favorece a la aparición de organismos resistentes<sup>(9,15,36)</sup>. Dicho supuesto es conocido como “efecto de cola”; si existen organismos presentes durante dicho período la selección de organismos resistentes a IVM es posible<sup>(37,38)</sup>. *R. microplus* reacciona rápidamente a la presión de selección y a mayor concentración de ixodidas<sup>(39)</sup>, por tanto, la aplicación del químico debe realizarse con menor frecuencia en intervalos de 30 días con la intención de disminuir dicha presión, no solo para la garrapata, sino también para organismos no objetivo como helmintos<sup>(40,41)</sup>.

Aplicando la regresión logística binomial se pudo observar que para la variable frecuencia de tratamientos, se obtuvo una  $P \leq 0.0134$ , resultado que mostró ser significativo, sin embargo, con un OR no definido, debido a que en uno de los grupos de la tabla de contingencia de 2 x 2, hubo una casilla en la que no se presentó una población que fuese susceptible y que se aplicara la IVM 4 o más de 5 veces al año, lo que se tuvo que computar como un cero; ya que el OR es el cociente de dos relaciones<sup>(42)</sup>. El hecho de incluir un cero dentro de la división genera un resultado incalculable. Se determinó que la administración del tratamiento de 4 o más de 5 veces al año puede ser un factor de riesgo, ya que, por una parte, las medidas de frecuencia calculadas resultaron en valores mayores a 1; el riesgo relativo obtenido fue de 1.8 y los OR se encuentran en un rango desde 1.27 hacia el infinito. Por lo cual, el aumento de la frecuencia en el grupo expuesto se puede considerar que es debido al efecto de la variable independiente. Un modo para solucionar el hecho de que el OR sea incalculable es aumentar proporcionalmente los valores de cada casilla<sup>(43)</sup>, por lo que al realizarlo se obtuvo un valor de: OR= 11.14 y  $P=0.032$ ; si bien, no se puede tomar como confiable este resultado, deja abierta la posibilidad de que, en estudios posteriores, incluyendo una mayor cantidad de

explotaciones estudiadas, se pueda comprobar el aumento de los OR para las explotaciones que aplican tratamientos 4 o más de 5 veces al año.

En cuanto a la variable independiente formulación administrada, se observó que más de la mitad de los ganaderos utiliza formulaciones de IVM-LA del 3.15 % al 4 %, debido a falta de eficacia de la formulación al 1 %. Las formulaciones de IVM-LA tienen un mayor riesgo de generar poblaciones resistentes cuando se aplican con alta frecuencia en comparación con las formulaciones de acción corta al 1%<sup>(1)</sup>. Esto se debe a diversos factores, como una concentración más alta del principio activo en las formulaciones de IVM-LA, una dosis aplicada que es tres veces mayor (630 µg/kg), un período de retiro prolongado, una disminución de la inmunidad natural y una selección de parásitos resistentes más rápida<sup>(41,44,45)</sup>. El análisis de regresión logística binomial demostró que para la variable formulación administrada, se obtuvo una  $P \leq 0.1101$  (OR= 6.59, IC 95 % = 0.5428 y S.E.= 1.27) mismo que resultó no ser significativo como posible factor de riesgo, pero con una asociación positiva. Con estos datos, se relacionó a la única población susceptible (VMA1), con los posibles factores de riesgo asociados, debido a que, en ésta, se encontró una frecuencia de tratamientos menor: de 1-3 al año y una formulación administrada menor: IVM al 1%.

## Conclusiones e implicaciones

Con base a los resultados obtenidos se demostró que, en los estados de Veracruz, San Luis Potosí y Tamaulipas, no hay poblaciones susceptibles a IVM y del 14 al 25 % de éstas, presentan resistencia incipiente. Por otra parte, en el estado de Nuevo León, solo se encontró una población susceptible. *R. microplus* es resistente a la IVM en el noreste de México (80 %). En la actualidad, la frecuencia de aplicaciones de 4 o más de 5 veces al año es el único factor de riesgo que pudiera estar asociado a la presencia de poblaciones resistentes. Por tanto, es necesario migrar a nuevos métodos de control, como incluir diversas familias de ixodíidas, llevar un control integrado, un manejo responsable y una cultura de diagnóstico para así disminuir la presión de selección a la que las poblaciones son expuestas.

## Agradecimientos y conflictos de interés

Al CONAHCYT- México por la manutención y el apoyo económico para la maestría de Samantha Abigail Moreno Linares, a la FMVZ de la UANL, y a los ganaderos quienes

generosamente prestaron su tiempo e instalaciones. Los autores no presentan conflictos de interés.

### **Literatura citada:**

1. Rodríguez-Vivas RI, Castillo-Chab CG, Rosado-Aguilar JA, Ojeda-Chi, MM. Evaluación de la eficacia y persistencia de la moxidectina (10%) e ivermectina (3.15%) contra infecciones naturales de nematodos gastrointestinales en bovinos del trópico mexicano. Arch Med Vet 2014;46(1).
2. Rodríguez-Vivas RI, Laerte G, Pérez de León A, Silva-Villela H, Torres-Acosta JFJ, Fragoso-Sánchez H, *et al.* Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. Review. Rev Mex Cien Pecu 2017;8(1):61-74.
3. Estrada-Peña A, Bouattour A, Camicas JL, Guglielmone A, Horak I, Jongejan F, *et al.* The known distribution and ecological preferences of the tick subgenus *Boophilus* (Acari: Ixodidae) in Africa and Latin America. Exp Appl Acarol 2006;38(2-3):219-235.
4. SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Situación actual Campaña Nacional para el control de la garrapata *Boophilus* spp. México. 2023.
5. Laing R, Gillan V, Devaney E. Ivermectin - Old Drug, New Tricks? Trends Parasitol 2017;33(6):463-472.
6. Ashour DS. Ivermectin: From theory to clinical application. Int J Antimicrob Agents 2019;54(2):134-142.
7. Chen IS, Kubo Y. Ivermectin and its target molecules: shared and unique modulation mechanisms of ion channels and receptors by ivermectin. J Physiol 2018;596(10):1833-1845.
8. Fernández-Salas A, Rodríguez-Vivas RI, Alonso-Díaz MA, Basurto-Camberos H. Ivermectin resistance status and factors associated in *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) populations from Veracruz, Mexico. Vet Parasitol 2012;190(1-2):210-215.
9. Pérez-Cogollo LC, Rodríguez-Vivas RI, Ramírez-Cruz GT, Miller RJ. First report of the cattle tick *Rhipicephalus microplus* resistant to ivermectin in Mexico. Vet Parasitol 2010;168(1-2):165-169.
10. SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura. Información sobre el número de animales que se crían en el país con fines de producción. México. 2021.

11. FAO. Food and Agriculture Organization of United Nation. Resistance management and integrated parasite control in ruminants. Guidelines, animal production and health division. 2004:25-77.
12. Dantas-Torres F, Fernandes-Martins T, Muñoz-Leal S, Castilho-Onofrio V, Barros-Battesti DM. Ticks (Ixodida: Argasidae, Ixodidae) of Brazil: Updated species checklist and taxonomic keys. *Ticks Borne Dis* 2019;10(6):101-126.
13. Klafke GM, Sabatini GA, de Albuquerque TA, Martins JR, Kemp DH, Miller RJ, *et al.* Larval immersion tests with ivermectin in populations of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) from State of Sao Paulo, Brazil. *Vet Parasitol* 2006;142(3-4):386-390.
14. Torres-Acosta F, Chan-Pérez J, López-Arellano M, Rosado-Aguilar J, Soberanes N, Orantes-Neri S, *et al.* Capítulo: 12 Diagnóstico de resistencia a los antiparasitarios en rumiantes. En: *Técnicas para el diagnóstico de parásitos con importancia en salud pública y veterinaria*. AMPAVE-CONASA. México. 2015:387-389.
15. Pérez-Cogollo LC, Rodríguez-Vivas RI, Ramírez-Cruz GT, Rosado-Aguilar JA. Survey of *Rhipicephalus microplus* resistance to ivermectin at cattle farms with history of macrocyclic lactones use in Yucatan, Mexico. *Vet Parasitol* 2010;172(1-2):109-113.
16. Lovis L, Reggi J, Berggoetz M, Betschart B, Sager H. Determination of acaricide resistance in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) populations of Argentina, South Africa, and Australia with the larval tarsal test. *J Med Entomol* 2013;50(2):326-335.
17. Vudriko P, Okwee-Acai J, Tayebwa DS, Byaruhanga J, Kakooza S, Wampande E, *et al.* Emergence of multi-acaricide resistant *Rhipicephalus* ticks and its implication on chemical tick control in Uganda. *Parasit Vectors* 2016;9(4).
18. Sagar SV, Saini K, Sharma AK, Kumar S, Kumar R, Fular A, *et al.* Acaricide resistance in *Rhipicephalus microplus* collected from selected districts of Madhya Pradesh, Uttar Pradesh and Punjab states of India. *Trop Anim Health Prod* 2020;52(2):611-618.
19. Laing R, Gillan V, Devaney, E. Ivermectin - Old Drug, New Tricks? *Trends Parasitol* 2017;33(6):463- 472.
20. Bisset JA, Rodríguez MM, Piedra L, Fuentes I, Martínez Y, Gutiérrez G, Hernández N, García-García I. Selection of a strain sensitive to insecticides of *Aedes albopictus* as a reference to resistance studies in this species. *Rev Cubana Med Trop* 2018;70(3):61-69.

21. Castro-Janer E, Rifran L, Gonzáles P, Niell C, Piaggio J, Gil A, Shumaker TTS. Determination of the susceptibility of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) to ivermectin and fipronil by Larval immersion Test (LIT) in Uruguay. *Vet Parasitol* 2011;178(1-2):148-155.
22. Gaxiola-Camacho S, García-Vázquez Z, Cruz-Vázquez C, Portillo-Loera J, Vázquez-Peláez C, Quintero-Martínez MT, Rosario-Cruz R. Comparison of efficiency and reproductive aptitude indexes between a reference and field strains of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, in Sinaloa, Mexico. *Rev Bras Parasitol Vet* 2009;18(4):9-13.
23. Walsh TK, Hecke DG, Wu Y, Downes S, Gordon KHJ, Oakeshott JG. Determinants of insecticide resistance evolution: Comparative analysis among Heliothines. *Annual Rev Entomol* 2022;67:387-406.
24. Aguilar G, Olvera AM, Carvajal BI, Mosqueda J. SNPs and other polymorphisms associated with acaricide resistance in *Rhipicephalus microplus*. *Front Biosci Landmrk Ed* 2018;23(1):65-82.
25. Alonso-Díaz MA, Rodríguez-Vivas RI, Fragoso-Sánchez H, Rosario-Cruz R. Resistencia de la garrapata *Boophilus microplus* a los ixodicidas. *Arch Med Vet* 2006;38(2):105-113.
26. Torrents J, Sarli M, Rossner MV, Toffaletti JR, Morel N, Martínez NC, *et al.* Resistance of the Cattle Tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* to ivermectin in Argentina. *Res Vet Sci* 2020;132: 332-337.
27. Valsoni LM, Green de Freitas M, Lino-Borges DG, de Almeida F. Status of *Rhipicephalus microplus* resistance to ivermectin, fipronil and fluazuron in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Rev Bras Parasitol Vet* 2021;30(1):e025220.
28. Villar D, Puerta J, López A, Chaparro JJ. Ivermectin resistance of three *Rhipicephalus microplus* populations. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2016;29(1):51-57.
29. Robertson JL, Savin NE, Savin NE, Preisler HK. *Bioassays with Arthropods*. CRC Press. 2da ed. 2007.
30. Domínguez-García DI, Rosario-Cruz R, Almazán-García C, Saltijeral-Oaxaca J, De la Fuente J. *Boophilus microplus*: aspectos biológicos y moleculares de la resistencia a los acaricidas y su impacto en la salud animal. *Trop Subtrop Agroec* 2010;12(2):181-192.
31. Esparza-Rentería JA, Esparza-Sevilla EL. Susceptibility of *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae) to seven ixodicidas in Nuevo Leon, Mexico. *Rev Iberoam Cien Biol Agrop* 2015;4(8).

32. Estrada-Peña A, Rodríguez-Mallón A, Bermúdez S, de la Fuente J, Domingos A, Estrada-García MP, *et al.* One health approach to identify research needs on *Rhipicephalus microplus* ticks in the Americas. *Pathogenes* 2022;11(10):1180.
33. CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Servicio Metrológico Nacional (SMN). Mapas de climatología 1981-2010. Evaporación promedio. México. 2023a.
34. CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Servicio Metrológico Nacional (SMN). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. México. 2023b.
35. Furlong J, de Souza J. Carrapato: problemas e soluções. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite 1a Ed. Brasil. 2005.
36. Fernández-Salas A, Rodríguez-Vivas RI, Alonso-Díaz MA. First report of a *Rhipicephalus microplus* tick population multi-resistant to acaricides and ivermectin in the Mexican tropics. *Vet Parasitol* 2012;183(3-4):338-342.
37. Rodríguez-Vivas RI, Arieta-Román RJ, Pérez-Cogollo LC, Rosado-Aguilar JA, Ramírez-Cruz GT, Basto-Estrella G. Uso de lactonas macrocíclicas para el control de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el ganado bovino. *Arch Med Vet* 2010;42(3):115-123.
38. Yazwinski TA, Williams JC, Smith LL, Tucker C, Loyacano AF, Derosa A, Peterson P, Bruer DJ, Delay RL. Dose determination of the persistent activity of moxidectin long-acting injectable formulations against various nematode species in cattle. *Vet Parasitol* 2006;137(3-4):273-285.
39. Burger TD, Shao R, Barker SC. Phylogenetic analysis of mitochondrial genome sequences indicates that the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, contains a cryptic species. *Rev Molecular Phylogenetics Evolution* 2014;76:241-253.
40. Andreotti R, Koller WW, García MV. Carrapatos: protocolos e técnicas para estudo. Embrapa gado de corte. 1a ed. Brasília, DF. 2016.
41. Davey RB, Pound JM, Miller JA, Klavons JA. Therapeutic and persistent efficacy of a long-acting (LA) formulation of ivermectin against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) and sera concentration through time in treated cattle. *Vet Parasitol* 2010;169(1-2):149-156.
42. Domínguez-Lara SA. El odds ratio y su interpretación como magnitud del efecto en investigación. *Ed Med* 2018;19(1):65-66.
43. Valenzuela, C. 2 solutions for estimating odds ratios with zeros. *Rev Med Chil* 1993; 121(12):1441-1444.

44. Lifschitz A, Virkel G, Ballent M, Sallovitz J, Imperiale F, Pis A, *et al.* Ivermectin (3.15%) long-acting formulations in cattle: Absorption pattern and pharmacokinetic considerations. *Vet Parasitol* 2007;147(3-4):303-310.
45. Yazwinski TA, Featherston H, Tucker C, Johnson Z. Residual nematocidal effectiveness of ivermectin in cattle. *Am J Vet Res* 1994;55(10):1416-1420.



## Efecto del pastoreo, corte y riego en la producción y valor nutritivo de zacate Buffel



Cristian Lizarazo-Ortega <sup>a\*</sup>

Guadalupe Rodríguez-Castillejos <sup>b</sup>

Hugo Bernal-Barragán <sup>c</sup>

Erasmus Gutiérrez-Ornelas <sup>c</sup>

Emilio Olivares-Sáenz <sup>c</sup>

José Luis Hernández-Mendoza <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto Politécnico Nacional. Centro de Biotecnología Genómica. Boulevard del Maestro SN, 88700, Col. Narciso Mendoza. Reynosa, Tamaulipas.

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán. Reynosa, Tamaulipas.

<sup>c</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Ciudad General Escobedo, Nuevo León.

\*Autor de correspondencia: [clizarazu@ipn.mx](mailto:clizarazu@ipn.mx)

### Resumen:

El objetivo del estudio fue determinar el efecto del tipo y la intensidad de utilización de pasto buffel cultivado en condiciones naturales de lluvia o riego en la producción y valor nutritivo de la materia seca. Dieciséis parcelas (cada una de 64 m<sup>2</sup>) fueron pastoreadas por ganado Charolais para obtener una intensidad de utilización del 50 % (G50%) o de 75 % (G75%). Ocho parcelas (40 m<sup>2</sup> cada una) se recortaron a mano hasta 50 % (H50%). La cosecha anual de forraje fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) para G50 que para H50 (1,491 vs 954 kg de MS/ha). No se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) en la producción de materia seca por hectárea entre G50 y G75 (1,707 vs 954 kg de MS/ha). El riego aumentó un 22 % ( $P \leq 0.05$ ) la producción de materia seca comparado con secano (1,524 vs 1,245 kg de MS/ha). No se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) debido al tipo y la intensidad de utilización en el contenido de PC, NDF y ADF, sin embargo, la ADF aumentó ( $P \leq 0.05$ ) en las parcelas

irrigadas. De la misma manera la digestibilidad *in vitro* de la MS fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) en H50 que en las parcelas de pastoreo G50 y G75 (55.7, 53.0 y 52.7%). Se concluye que la producción de zacate buffel se incrementó con el pastoreo, pero la DIVMS fue mejor en el forraje recortado manualmente.

**Palabras clave:** Pastoreo, Riego, Secano, Buffel.

Recibido: 15/09/2020

Aceptado: 06/06/2024

## Introducción

Para los ganaderos es de gran importancia el uso racional del recurso forrajero; una de las especies de gramíneas que prevalecen es el zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L); esta gramínea se cultiva ampliamente en zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo debido a su alta tolerancia a la sequía y la capacidad para soportar el pastoreo intensivo<sup>(1)</sup>. Su desarrollo en el semiárido Noreste de México se intensificó y alcanzó a partir de su introducción, en la década de los cincuenta del siglo XX; al menos 500,000 ha en el estado de Nuevo León<sup>(2)</sup>.

Durante el pastoreo, el forraje no se remueve uniformemente de todos los tallos, como ocurre con el cosechado por corte mecánico<sup>(3)</sup>. Además, los animales producen efectos indirectos como compactación del suelo y reciclaje de nutrientes provenientes de estiércol y orina<sup>(4)</sup>. Por otro lado, la intensidad de corte puede generar diferencias en la actividad fotosintética influyendo en la producción de biomasa<sup>(5)</sup>. La determinación de la cantidad óptima de forraje residual es de importancia fundamental para establecer los límites del pastoreo, cuidando que la planta conserve suficiente forraje para una adecuada producción y almacenamiento de reservas para el próximo rebrote; además, la producción de los forrajes depende en gran parte del agua que se almacena en el suelo y llega a éste a través de la lluvia o el riego. De la misma manera al intensificar el pastoreo, se promueve la repoblación de tallos y los mayores valores se pueden presentar con una intensidad media y alta de pastoreo<sup>(6)</sup>. El objetivo del presente trabajo, fue evaluar el efecto de diferentes condiciones de pastoreo, corte y riego sobre la producción y valor nutritivo de zacate buffel.

## Material y métodos

El trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUNL), ubicado a 25° 52' N y 100° 03' O, y con una altitud sobre el nivel del mar de 393 m. Los reportes de los últimos 10 años de la estación meteorológica de la FAUANL indican que la temperatura promedio para el mes

de septiembre (fecha de inicio del experimento), fue ligeramente superior a la del presente trabajo (26.3 °C). El promedio para el mes de enero, en el cual se registraron las temperaturas más bajas, fue de 14.1 °C y el promedio mensual máximo corresponde a junio con 29.4 °C.

La precipitación total en el período de duración del presente trabajo fue de 386 mm. Para los últimos 10 años, la estación registró una precipitación promedio de 355 mm, 8 % menor a los registrados en el presente trabajo. Los suelos son de tipo calcáreo y la textura de franco arenosa a franco arcillosa.

El experimento se realizó durante 10 meses distribuidos en dos años calendario (septiembre a julio); en virtud de lo anterior se tienen tres registros; el primero en el otoño del primer año (O1A) y el segundo y tercero en el verano (V2A) y otoño del segundo año (O2A). De un total de 24 parcelas, la mitad recibió riego (R) y la otra mitad se utilizó en condiciones de secano (S). De las 12 parcelas utilizadas en condiciones de secano, cuatro recibieron pastoreo moderado, al 50 % de utilización (PA 50), otras cuatro parcelas recibieron pastoreo intenso, al 75 % de utilización (PA 75), y las cuatro restantes recibieron corte moderado, al 50 % de utilización (CO 50); en todos los casos el pastoreo fue continuo. Las parcelas de pastoreo tuvieron dimensiones de 8 x 8 m (64 m<sup>2</sup>) mientras que las parcelas de corte midieron 8 x 5 m (40 m<sup>2</sup>). Las 12 parcelas de riego se asignaron a los tratamientos anteriores, pero con aplicación de 70 mm de agua de riego por cada m<sup>2</sup> en dos fechas: primero al inicio del otoño y segundo al inicio de la primavera.

La intensidad de pastoreo al 50 % de utilización del forraje disponible se consiguió utilizando dos animales de la raza Charolais; los animales fueron machos de dos años con un peso aproximado de 400 kg. Para el pastoreo al 75 % de utilización de la materia seca disponible se utilizaron tres animales con características similares. El corte al 50 % de utilización se realizó en forma manual a la par que el pastoreo de las parcelas. Se realizó un primer corte para uniformar las parcelas (PC) y dos meses después se aplicaron los tratamientos (corte de otoño del primer año; O1A) posteriormente (5 meses después) se realizó un corte en verano (V2A) y finalmente otro en otoño del segundo año (5 meses después, O2A)

Para determinar la materia seca por hectárea (MS/ha) de forraje disponible antes de cada utilización (Pre), en cada parcela se registró la cantidad de forraje en dos áreas de un metro cuadrado, tomadas al azar, cortando el zacate a nivel del suelo para pesarlo inmediatamente. Posterior al corte o pastoreo, se registraron los datos correspondientes a después de corte o pastoreo (Post).

Las muestras secas se molieron en un molino Willey con criba de 2 mm y se guardaron a temperatura ambiente para realizar los análisis químicos. La cantidad de materia seca de forraje en cada parcela experimental antes (Pre) y después (Post) de la utilización (corte o pastoreo) se determinó al pesar y secar en una estufa a 62 °C por 48 h una muestra representativa del forraje cortado. La producción de forraje se calculó como la diferencia

de la cantidad registrada después de cada utilización (post) y antes (pre) de la siguiente. La intensidad de utilización se calculó al dividir la cantidad de forraje registrada después (post) de cada utilización y antes (pre) de la misma.

Las muestras de zacate de las parcelas de corte y pastoreo se analizaron para determinar su contenido de materia seca, cenizas<sup>(7)</sup> y proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl<sup>(8)</sup>. El contenido de fibra neutro detergente (NDF) y de fibra ácido detergente (ADF) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), también fueron analizados<sup>(9,10)</sup>.

Durante los 10 meses que duró el experimento, se determinó quincenalmente el contenido de humedad del suelo. Para ello se seleccionó al azar un sitio de cada parcela y con la ayuda de una barrena se extrajo una muestra de suelo a 30 cm de profundidad. Las muestras obtenidas se colocaron en frascos de vidrio, se pesaron en una balanza y se llevaron a una estufa a 100 °C por 48 h, posteriormente se pesaron para calcular el contenido y la humedad gravimétrica<sup>(11)</sup>.

$$\text{Humedad gravimétrica}(\%) = \frac{\text{Masasuelohúmedo} - \text{masasueloseco}}{\text{masasueloseco}} \times 100$$

Los resultados obtenidos se analizaron bajo un diseño de bloques divididos; dicho arreglo se utiliza cuando se evalúan dos factores y los dos se pueden evaluar más fácilmente en parcelas grandes. Se utilizó el programa SPSS<sup>(12)</sup>. Se evaluó el efecto del tipo de utilización (corte y pastoreo), así como las intensidades de utilización (50 y 75 % de utilización) y niveles de humedad (riego y seco), sobre la producción de materia seca y valor nutritivo de pasto buffel. Para cada tratamiento se tuvieron cuatro repeticiones. El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + L_j + E_{ij}(a) + H_k + E_{ik}(b) + (LH)_{jk} + E_{ijk}(c)$$

**Y<sub>ijk</sub>** es la observación en el tipo o intensidad j en el nivel k de humedad en el bloque i;

**μ** es la media verdadera general;

**β<sub>i</sub>** es el efecto del bloque i. i = 1,2 r;

**L<sub>j</sub>** es el efecto del nivel j de tipo o intensidad, j = 1,2 a;

**E<sub>ij</sub>(a)** es el error experimental de la ij-ésima parcela para los tipos o intensidades;

**H<sub>k</sub>** es el efecto del nivel k de humedad. k= 1,2 b;

**E<sub>ik</sub>(b)** es el error experimental de la ik-ésima parcela para niveles de humedad;

**LH<sub>jk</sub>** es el efecto de la interacción del tipo o intensidad j y la humedad k;

**E<sub>ijk</sub>(c)** es el error experimental de la ijk-ésima subparcela.

## Resultados

En el Cuadro 1 se presentan los datos previos a la asignación de cada tratamiento, la cantidad de forraje que se utilizó en el primer tratamiento (PC) y su residuo. Lo que

inicialmente se planificó como PA 50, CO 50 y PA 75 resultó en la utilización de PC en tasas reales de utilización de 57 % para pastoreo moderado, 54 % para corte moderado y 71 % (69 % en seco y 73 % en riego) para pastoreo intenso ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 1:** Forraje disponible, residual y utilizado, así como intensidad de utilización, de las parcelas asignadas a cada tratamiento, previo al inicio del experimento (kg MS/ha)

Factor	Forraje disponible	Forraje residual	Forraje utilizado	% Utilización
PA 50	4,167 <sup>a</sup>	1,805 <sup>a</sup>	2,362 <sup>a</sup>	57 <sup>b</sup>
CO 50	3,892 <sup>a</sup>	1,792 <sup>a</sup>	2,100 <sup>a</sup>	54 <sup>b</sup>
PA 75	3,974 <sup>a</sup>	1,172 <sup>a</sup>	2,802 <sup>a</sup>	71 <sup>a</sup>

PA 50= pastoreo moderado al 50 % de utilización; CO 50= corte moderado al 50 % de utilización; PA 75= pastoreo intensivo al 75 % de utilización.

<sup>ab</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

En el Cuadro 2 se presentan los datos de forraje disponible, residual y utilizado entre los tres periodos en los que se dividió el experimento, otoño del primer año, verano del segundo año y el otoño del segundo año. El forraje disponible para la utilización de O1A, fue similar ( $P > 0.05$ ) para las parcelas asignadas a los diferentes tratamientos; la cantidad de forraje residual fue diferente ( $P \leq 0.05$ ) para PA 50, CO 50 y PA 75.

**Cuadro 2:** Forraje disponible, residual y utilizado, así como intensidad de utilización, según el tipo, intensidad de utilización (kg MS/ha)

Factor	Forraje disponible	Forraje residual	Forraje utilizado	% Utilización
Otoño del primer año=O1A				
PA 50	2365 <sup>a</sup>	822 <sup>a</sup>	1543 <sup>a</sup>	64 <sup>a</sup>
CO 50	1809 <sup>a</sup>	509 <sup>b</sup>	1300 <sup>a</sup>	72 <sup>a</sup>
PA 75	1842 <sup>a</sup>	557 <sup>b</sup>	1285 <sup>a</sup>	70 <sup>a</sup>
Segundo y tercer corte en el verano= V2A				
PA 50	3147 <sup>a</sup>	1397.5 <sup>a</sup>	1749.5 <sup>a</sup>	56 <sup>b</sup>
CO 50	2425 <sup>a</sup>	1077 <sup>a</sup>	1348 <sup>a</sup>	56 <sup>b</sup>
PA 75	2871 <sup>a</sup>	737.5 <sup>a</sup>	2134.5 <sup>a</sup>	74 <sup>a</sup>
Otoño del segundo año= O2A				
PA 50	3581 <sup>a</sup>	1663 <sup>a</sup>	1919 <sup>a</sup>	54 <sup>a</sup>
CO 50	2895 <sup>a</sup>	1476 <sup>a</sup>	1419 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>
PA 75	3636 <sup>a</sup>	1294 <sup>a</sup>	2343 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>

PA 50= pastoreo moderado al 50 % de utilización; CO 50= corte moderado al 50 % de utilización; PA 75= pastoreo intensivo al 75 % de utilización.

<sup>ab</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ).

En la utilización de V2A, lo que inicialmente se planificó como PA 50, CO 50 y PA 75 resultó en tasas reales de utilización de 56 % para pastoreo moderado, 56 % para corte moderado y 74 % para pastoreo intenso ( $P \leq 0.05$ ). Para la utilización de O2A las

cantidades de forraje disponible antes (Pre) de la utilización fueron similares ( $P>0.05$ ) para PA 50 y PA 75, y CO 50. En esa misma época, lo que inicialmente se planificó como PA 50, CO 50 y PA 75 resultó en tasas reales de utilización de 54 % para pastoreo moderado, 49 % para corte moderado y 65 % para pastoreo intenso ( $P\geq 0.05$ ).

En promedio para los 10 meses de duración del experimento lo que inicialmente se planificó como PA 50, CO50 y PA75, resultó en tasas reales utilización de 57 % para pastoreo moderado, 58 % para corte moderado y 70 % para pastoreo intenso.

La producción de forraje en el período entre el primer corte (PC) y otoño primer año (O1A), entre O1A y el verano del segundo año (V2A) y finalmente entre el V2A y el otoño del segundo año (O2A), para cada uno de los seis tratamientos establecidos se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3:** Producción de zacate buffel según tipo, intensidad de utilización (kg MS/ha)

Factor	PC-O1A	O1A-V2A	V2A-O2A	Total
PA 50	559 <sup>a</sup>	1,604 <sup>a</sup>	2,184 <sup>a</sup>	4347 <sup>a</sup>
CO 50	18 <sup>b</sup>	1,280 <sup>a</sup>	1,818 <sup>a</sup>	3,115 <sup>b</sup>
PA 75	670 <sup>a</sup>	1,587 <sup>a</sup>	2,899 <sup>a</sup>	5,155 <sup>a</sup>

PA 50= pastoreo moderado al 50 % de utilización; CO 50= corte moderado al 50 % de utilización; PA 75= pastoreo intensivo al 75 % de utilización.

<sup>ab</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $P\leq 0.05$ ).

La producción de forraje registrada de acuerdo con el tipo de utilización (corte o pastoreo moderados), entre PC y O1A (2 meses) fue mínima, al presentarse un descenso en la temperatura y en la humedad del suelo por una ausencia de precipitación. En el período O1A y V2A, así como entre V2A y O2A, la producción de forraje bajo las dos tipos e intensidades de pastoreo fue similar ( $P\geq 0.05$ ).

Para las tres épocas de utilización, las parcelas utilizadas en pastoreo moderado (PA 50) produjeron en promedio 26 % más forraje ( $P<0.05$ ) que CO 50. De la misma manera el total de forraje producido en pastoreo más intenso (75%) fue 16 % mayor ( $P>0.05$ ) que el producido en pastoreo moderado (50%).

En el Cuadro 4, se presentan los valores de producción de forraje bajo riego y seco. En el período de PC y O1A (2 meses), se registró una mayor producción de forraje ( $P\leq 0.05$ ) en parcelas de riego, con respecto a las parcelas de seco (890 vs -59 kg MS/ha). Lo anterior se puede explicar, ya que aún con un descenso en la temperatura en los meses de otoño (para el mes de noviembre se registraron valores promedios de 13 °C), la humedad en el suelo se incrementó de manera considerable en las parcelas irrigadas, (los valores para humedad del suelo fueron del 23 % en parcelas de riego, comparados con valores de 13 % en parcelas de seco).

**Cuadro 4:** Producción de zacate buffel según el nivel de humedad (kg MS/ha)

Factor	PC-O1A	O1A-V2A	V2A-O2A	Total
Riego	890 <sup>a</sup>	1514 <sup>a</sup>	2272 <sup>a</sup>	4676 <sup>a</sup>
Secano	-59 <sup>b</sup>	1466 <sup>a</sup>	2328 <sup>a</sup>	3735 <sup>b</sup>

<sup>ab</sup> Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ).

El efecto del riego se vio principalmente en el periodo desde el PC (primer corte para uniformizar las parcelas) hasta el O1A y en el total para todo el periodo (Cuadro 4). Para el O1A-V2A y para V2A-O2A la producción de materia seca, tanto en riego como en secano fueron similares. La precipitación total para los 10 meses fue de 386 mm; los niveles más altos se presentaron en la semana 4 del mes de octubre del O1A con 55 mm y entre mayo y junio del segundo año, justo antes del corte del V2A, con precipitaciones que variaron entre 16 y 116 mm. La presencia de lluvias en esa época del año igualó estos dos marcadores. En total para los tres periodos en los años de estudio, por efecto del riego se produjo 21 % más forraje ( $P < 0.05$ ) que en las parcelas de secano.

La interacción de los factores indicó que la mayor producción total de forraje (10 meses de duración en dos años calendario) correspondió al pastoreo más intenso que recibió riego con 5,585 kg MS/ha, el pastoreo al 50 % con riego produjo 4,896 kg y el pastoreo intenso en secano produjo 4,622 kg. Las menores producciones de forraje se presentaron en el corte moderado en secano y riego con 2,788 y 3,444 kg, respectivamente. No hubo diferencias estadísticas para la interacción de los factores.

En el Cuadro 5 se presentan los valores promedios nutricionales de zacate buffel antes y después del pastoreo en cada uno de los tratamientos establecidos. Se incluyen en el cuadro los tratamientos tanto en secano como en riego.

**Cuadro 5:** Valores promedio para todo el experimento, de proteína cruda PC, fibra detergente neutro NDF y ácido ADF y digestibilidad *in vitro* de la materia seca DIVMS, de zacate buffel según tipo, intensidad de utilización y el nivel de humedad

Factor	Nivel de humedad	PC		NDF		ADF		DIVMS	
		Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
PA 50	Secano	6.7	6.6	74.3	79.6	43.8	46.0	53.4	49.9
PA 50	Riego	6.7	6.4	77.7	78.5	46.2	47.7	52.6	48.5
CO 50	Secano	6.8	5.9	75.6	77.1	43.9	45.3	56.0	52.2
CO 50	Riego	6.7	6.5	76.9	76.0	45.3	47.5	54.9	49.1
PA 75	Secano	7.4	5.4	73.9	79.2	43.7	46.1	53.0	50.6
PA 75	Riego	6.8	6.5	73.7	78.5	45.3	47.1	52.5	46.6

PA 50= pastoreo moderado al 50 % de utilización; CO 50= corte moderado al 50 % de utilización; PA 75= pastoreo intensivo al 75 % de utilización ( $P > 0.05$ ).

No se registraron diferencias significativas para PC ni antes ni después del pastoreo en ninguna de las épocas el año. La diferencia de PrC en parcelas sometidas a riego en comparación con praderas de secano no fue significativa. El contenido de NDF de forraje producido en parcelas de secano e irrigadas, fue mayor después de la utilización que antes de la misma, para todas las épocas del experimento (Cuadro 5). De otro lado, el contenido de NDF, para forraje en PA 50, CO 50 y PA 75, fue mayor después de cada utilización (post), respecto a los valores encontrados antes (pre) de la misma, en todas las épocas de estudio. Posterior a la utilización el contenido de NDF de zacate en las parcelas cortadas fue menor al de las parcelas pastoreadas. El valor más alto para NDF se registró en PA 50 después de la utilización en praderas de secano en el V2A con 80.9 %. Los valores más bajos de NDF se registraron en PA 75 antes de la utilización en el O1A del primer año de estudio y en el O2A con 73.7 %.

Para las tres épocas del año y en promedio del período completo de estudio, el contenido de NDF antes de la utilización fue menor al registrado después de la misma, para tipo e intensidad de utilización. La proporción de tallos es mayor a las de las hojas después que las plantas son pastoreadas o cortadas.

Para NDF se resalta que, en el otoño del segundo año de estudio (datos no mostrados), el contenido de NDF en el zacate antes de su utilización fue similar ( $P>0.05$ ) para PA 50, CO 50 y PA 75 con 75.6, 75 y 74.9 % respectivamente. Después de la utilización, CO 50 registró valores inferiores de NDF ( $P<0.05$ ), a los de PA 50 y PA 75 (76.5, 79.1 y 78.8 % respectivamente).

El contenido de ADF de zacate en parcelas PA 50, CO 50 y PA 75, fue menor antes que después de la utilización, tanto para riego como para secano, en todas las épocas de los dos años de estudio, aunque no existieron diferencias estadísticas. De manera general antes de la utilización, el contenido promedio de ADF de las parcelas de secano fue de 43.8 % y el de parcelas irrigadas 45.6 % ( $P<0.05$ ). Después de la utilización el contenido promedio de ADF en secano fue de 45.8 y en riego fue de 47.4 ( $P<0.05$ ). El valor más alto para ADF se registró en parcelas de CO 50 sometidas a riego después de la utilización en el O1A del primer año con 49.5, de otro lado el valor mínimo se registró en PA 75 en parcelas de secano en el O2A con 42.2.

El contenido de cenizas de zacate buffel antes y después de cada utilización, en cada uno de los tres períodos del experimento y en promedio, fue similar ( $P\geq 0.05$ ) para tipo, intensidad de utilización y nivel de humedad.

La DIVMS registró de manera general valores menores antes que después de la utilización. Antes de la utilización del otoño se registraron valores superiores ( $P<0.05$ ) de DIVMS, para PA 50 (59.3 %) y CO 50 (60.3 %), comparados con PA 75 (56.4 %). Antes de la utilización del otoño de 2000, los valores de DIVMS de CO 50 fueron superiores ( $P<0.05$ ) a los registrados por PA 50 y PA 75 (53, 50.2 y 50.2 %, respectivamente). Después de la utilización, los valores fueron superiores ( $P<0.05$ ) para

PA 50 (48.8 %) y para PA 75 (47.4 %), con respecto CO 50 (45.9 %). Antes de la utilización, el promedio de DIVMS de zacate buffel fue mayor ( $P<0.05$ ) en CO 50 (55.7 %), a los valores de PA 50 (53 %) y PA 75 (52.7 %). Después de la utilización, el promedio de DIVMS fue 50.6 % para CO 50, 49.2 % para PA 50 y 48.6 % para PA 75 ( $P\geq 0.05$ ).

En el O1A, después del corte moderado en parcelas de secano se registró 56.7 % de DIVMS mientras que parcelas de riego registraron 52.0 % ( $P<0.05$ ). A la misma intensidad de utilización y después de la misma, en el V2A, parcelas de secano registraron 52.4 mientras que parcelas de riego registraron 42.4 ( $P<0.05$ ). Antes de la utilización, el promedio de DIVMS fue mayor ( $P<0.05$ ) en CO 50 (55.5 %) comparado con el PA 50 (53%). Después de la utilización no se presentó diferencia estadística en las parcelas de secano comparadas con las parcelas de riego. En el O1A se registró antes de la utilización en CO 50 y en parcelas de secano el valor más alto para DIVMS con 61.0 mientras que en el V2A después de la utilización en PA75 y en parcelas irrigadas se registró el valor más bajo con 42.4 %.

## Discusión

En el presente trabajo 35 % más de materia seca produjeron las parcelas sometidas a pastoreo moderado con respecto a parcelas sometidas a corte. El ganado al pastar tiende a ser más selectivo en la elección de las partes consumidas de la planta, mejorando la renovación de los zacates y su palatabilidad; de otro lado el forraje cosechado por corte mecánico es más uniforme<sup>(4)</sup>. Los animales pisotean, mueven semillas y minerales, seleccionan cuándo y cómo comen; así mismo, las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno pueden estar en mayor cantidad en praderas pastoreadas con respecto al corte<sup>(13)</sup>.

El consumo selectivo de ciertas plantas depende de factores externos e intrínsecos del animal que modulan el comportamiento de consumo. Los factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad son los propios del animal, factores sociales y factores ambientales<sup>(14)</sup>. Una mayor producción de las plantas pastoreadas, con respecto a plantas cortadas, se puede deber a una mayor actividad fotosintética, causada por una mayor incidencia de luz y cambios en el microclima, resultante de diferentes alturas de corte en plantas pastoreadas. En el corte, la uniformidad en el mismo, hace que partes bajas de la planta se quedan sin fotosintetizar, al no penetrar la luz<sup>(3)</sup>.

Los cortes o pastoreos realizados en forma intensiva afectan la producción de nuevos brotes ya sea por la eliminación de las reservas orgánicas o carbohidratos no estructurales localizados en los tallos y coronas, o por falta de área foliar para el reinicio de la fotosíntesis<sup>(15)</sup>. De la misma manera, una mayor producción de forraje en parcelas pastoreadas, se puede explicar también por un mayor intercambio de CO<sub>2</sub>, como consecuencia de una mayor penetración de la luz y a un microclima más cálido cerca de

la superficie del suelo<sup>(16)</sup>. Al incrementar la intensidad de pastoreo, se promueve la repoblación de tallos y los mayores valores se registraron a una intensidad media y alta de pastoreo<sup>(6)</sup>.

Los grandes herbívoros afectan a las plantas por la remoción de biomasa, pero también debido a efectos indirectos sobre las comunidades de microorganismos del suelo; el pastoreo provoca la disminución de la cubierta vegetal, reducción de materia orgánica y con ello cambios en el microbioma del suelo; esto produce una disminución de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno<sup>(17)</sup>. Una de las alternativas para aumentar la concentración de nitrógeno es la aplicación de estiércol; un estudio evaluó el efecto de estiércol porcino sobre el rendimiento de *Cenchrus americanus*, no reportaron diferencias en el crecimiento entre forraje fertilizado y no fertilizado, pero sí un aumento de proteína en el fertilizado, además de mayores concentraciones de nitrógeno en el suelo<sup>(18)</sup>.

En el caso del ganado bovino, la cantidad de estiércol excretada por unidad animal puede ser de 5 a 6 t de materia fresca por hectárea al utilizar pastoreo rotacional. Sin embargo, el pisoteo ejerce una influencia sobre el suelo, lo que pudiera tener un incremento de su densidad aparente (compactándolo), disminuyendo su aireación y por ende disminuyendo la retención de humedad del suelo<sup>(19)</sup>. En el presente estudio, el zacate buffel produjo 62 % más forraje al utilizarlo en pastoreo, comparado con el corte (2,750 vs 1,700 kg MS/ha). Un poco más al norte, en Pensilvania, la especie Trailblazer; produjo solamente 8 % más al pastorearla con respecto a dos cortes por año; sin embargo, las especies Cave-in-Rock y Shawnee produjeron más forraje al someterlas a cortes dos y tres veces por año con respecto al pastoreo<sup>(20)</sup>.

Por otro lado, al estudiar la influencia del pastoreo en las características del suelo, se encontró que un pastoreo rotacional influyó positivamente en características físicas al no incrementar los valores de densidad aparente, mantener bajos los valores de resistencia a la penetración, incrementar la porosidad y producir un menor tamaño medio de radio de poro, en comparación con pastoreo continuo. Dichas características se verían afectadas positivamente también en el corte mecánico<sup>(21)</sup>. En este trabajo, un pastoreo más intenso (PA 75) registró un aumento en el 16 % de materia seca comparado con el pastoreo menos intenso. Al cortar el zacate buffel en invernadero a 4, 8, 12 y 16 cm respectivamente se encontró que éste produce el mayor rendimiento de forraje al cortarlo dos veces por semana a 8 cm. Las plantas cosechadas a 12 y 16 cm causaron un mayor incremento en la acumulación de material muerto<sup>(22)</sup>.

En *Cenchrus ciliaris* y *Chloris gayana* el corte incrementó significativamente los contenidos de proteína cruda y la digestibilidad de la materia orgánica, mientras que se redujo el contenido de cenizas y el de la lignina al incrementar las frecuencias del corte<sup>(23)</sup>. En el presente estudio, por efecto del riego se produjo 31 % más forraje ( $P \leq 0.05$ ) que en las parcelas de secano (1,558 vs 1,245 kg MS/ha). Utilizando un sistema de irrigación sprinkler a diferentes porcentajes de evapotranspiración, se reportaron en 12 cortes al año un máximo de 28 t/ha de materia seca<sup>(24)</sup>. Los resultados sugieren que la calidad del

forraje depende de diversos factores tales como la especie, suelo, estación del año, temperatura, disponibilidad de agua, radiación solar, entre otros. En la producción de ganado, una baja calidad del forraje puede estar asociada con un bajo consumo de éste, y con un bajo comportamiento del ganado. El manejo ideal de la pastura se logra cuando su calidad y cantidad disponible para los animales se maximiza.

En cuanto a la calidad nutricional, un primer aspecto a determinar es el efecto de la intensidad del pastoreo. En el presente trabajo, no hubo diferencia estadística en PC, NDF, ADF y DIVMS, aunque un pastoreo más intenso se registró en praderas de secano 10 % más de PC (7.4 vs 6.7 %). En *Dactylis glomerata* L. bajo dos intensidades de pastoreo (severa: 3 a 5 cm y ligera: 6 a 8 cm de altura de forraje residual) se reportaron valores similares de proteína y digestibilidad. Sólo se observó efecto significativo durante el otoño ( $P \leq 0.05$ ), siendo el pastoreo severo el que registró la mayor DIVMS (64 vs 56 %)<sup>(25)</sup>.

Los minerales son elementos clave para el crecimiento de la planta, además de ser fundamental para la alimentación del animal; en *Cenchrus purpureus* se reportó que el contenido total de cenizas, magnesio y fósforo fue variable; contrario al nitrógeno que se vio disminuido con el rebrote; sin embargo, el contenido de magnesio y fósforo estuvo por debajo de lo requerido para el crecimiento de la planta<sup>(26)</sup>. Por otro lado, en *Trifolium repens* bajo pastoreo intenso, se reportó aumento de proteína en el forraje (17.4 %) comparado con el producido en parcelas sometidas a pastoreo moderado (14.9 %); en contraste, no se encontraron diferencias en el contenido de ADF, al someterlo a pastoreo moderado o intenso (26.2 y 25.6 %, respectivamente)<sup>(27)</sup>.

En el presente trabajo no se presentaron diferencias en calidad nutricional cuando se comparó el tipo de utilización (corte o pastoreo). Se observó un incremento en PC de parcelas ya pastoreadas con respecto a las ya cortadas, y cuando éstas no fueron regadas (6.6 vs 5.9 %). Se reportaron valores similares de PC y de digestibilidad de NDF de zacate trailblazer sometido a corte o pastoreo. Los autores solo reportaron diferencias tanto en corte como en pastoreo para la NDF. En este aspecto los mayores cambios tanto en rendimiento como en calidad nutricional los dan el clima y el manejo de la cosecha<sup>(20)</sup>.

Un aumento de la humedad en el suelo producto de la lluvia o el riego tiene incidencia directa en el contenido de fibra y por consiguiente en la digestibilidad de los forrajes. En *Stipa grandis* P. Smirn. y *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel., provenientes de Mongolia se reportó un incremento de 0.1 g kg<sup>-1</sup> de la digestibilidad de la celulosa de la materia orgánica por cada 50 mm de incremento en la precipitación y una disminución de 0.1 g kg<sup>-1</sup> de NDF<sup>(28)</sup>. En el presente trabajo el contenido de NDF fue superior ( $P > 0.05$ ) en parcelas de secano comparadas con riego.

Respecto a la intensidad de pastoreo, sólo observaron efecto significativo durante el otoño ( $P \leq 0.05$ ), siendo el pastoreo severo el que registró la mayor DIVMS (64 vs 56 %). Esto puede atribuirse a la mayor proporción de hoja verde y menor porcentaje de material

muerto presente en los pastoreos más severos<sup>(25)</sup>. En el presente trabajo los valores de digestibilidad fueron prácticamente los mismos en las dos intensidades de pastoreo. En un estudio realizado por Ordaz-Contreras *et al*<sup>(26)</sup> con pasto King grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) se reportó una disminución de proteína a medida que aumentó el intervalo de corte. Finalmente, la altura del corte no afectó los porcentajes de ceniza, NDF y ADF en pastos Guinea (*Megathyrsus maximus* (Jaqc.), Tanzania y Mombasa<sup>(29)</sup>.

## Conclusiones e implicaciones

Se puede concluir que una intensidad de pastoreo de 70 % ejercida durante dos años, no afectó la productividad de zacate buffel respecto a la registrada con una intensidad de 57 %. Los valores nutricionales de zacate buffel sometido a estas dos intensidades de pastoreo fueron similares. Se presentó mayor producción de forraje, al utilizar el zacate buffel por pastoreo moderado comparado con corte moderado. Parcelas sometidas a corte moderado registraron valores superiores para DIVMS, respecto a los obtenidos con pastoreo moderado. En el acumulado para los dos años de estudio, el riego produjo más forraje (22 %) que praderas no irrigadas. Cuando se comparó pastoreo en diferentes intensidades de utilización; el pastoreo más intenso produjo 14 % más forraje que el pastoreo moderado sin que existieran entre las dos diferencias significativas.

## Agradecimientos

Al proyecto CONAHCyT 28623-B y a Elías Martínez, José Juan Nava y Benjamín Pérez, por la colaboración en el trabajo de campo.

## Literatura citada:

1. Marshall VM, Lewis MM, Ostendorf B. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an invader and threat to biodiversity in arid environments: A review. *J Arid Environ* 2012;(78):1-12.
2. Gómez E, Díaz H, Saldívar A, Briones F, Vargas V, Grant WE. Patrón de crecimiento de pasto buffel (*Pennisetum ciliare* Sin. *Cenchrus ciliaris* L.) en Tamaulipas, México. *Téc Pecu Méx* 2007;45(1):1-17.
3. Wallace LL. Comparative photosynthetic responses of big bluestem to clipping versus grazing. *J Range Manage* 1990;(43):58-61.
4. Bilotta GS, Brazier RE, Haygarth PM. The impacts of grazing animals on the quality of soils, vegetation, and surface waters in intensively managed grasslands. *Adv Agron* 2007;(94):237-280.
5. Velásquez MK, Bartolomé FJ, López BK. Efecto de la intensidad de corte y actividad fotosintética en el crecimiento de grama (*Paspalum notatum* Flüggé) en el trópico seco centroamericano (Mesas de Moropotente, Nicaragua). *Rev Cient FAREM-Estelí* 2014;(11):39-46.

6. Garduño S, Pérez J, Hernández A, Herrera J, Martínez P, Torres J, Bertín M. Rendimiento y dinámica de crecimiento estacional de ballico perenne, pastoreado con ovinos a diferentes frecuencias e intensidades. *Téc Pecu Méx* 2009;47(2):189-202.
7. American Association of Cereal chemists- AACC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 930.22. 9th ed. St Paul: AACC 1995.
8. American Association of Cereal chemists- AACC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 950.63. 9th ed. St Paul: AACC 1995.
9. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Anim Sci* 1991; (74):3583-3597.
10. Tilley MA, Terry RA. A two stage for the *in vitro* digestion of forage crops. *J British Grassl Soc* 1963;(18):104-111.
11. Muñoz JA, Rodríguez HM, Rodríguez MP, Cano A, Rivera M. Efecto de la labranza de conservación sobre la humedad y la densidad aparente de un suelo. *AGROFAZ* 2014;14(2):39-44.
12. IBM Corp. Released IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp. 2017.
13. Delgadillo J, Ferrera R, Galvis A, Hernández A, Cobos MA. Fijación biológica de nitrógeno en una pradera de trébol hubba/ballico de corte o de pastoreo. *Terra Latinoam* 2005;(23):73-79.
14. Tarazona AM, Ceballos MC, Naranjo JF, Cuartas CA. Factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad de forrajes en rumiantes. *Rev Colombiana Cienc Pecu* 2012;25(3):473-487.
15. Rincón A, Ligarreto GA, Garay E. Producción de forraje en los pastos *Brachiaria decumbens* cv. Amargo y *Brachiaria brizantha* cv. Toledo, sometidos a tres frecuencias y a dos intensidades de defoliación en condiciones del Piedemonte llanero colombiano. *Rev Facul Nal Agr Medellín* 2008;61(1):4336-4346.
16. Owensby CE, Ham JM, Auen LM. Fluxes of CO<sub>2</sub> from grazed and ungrazed tallgrass prairie. *Rangeland Ecol Manag* 2006;59:111-127.
17. Silva-Bejarano C, Garcillán PP. Variabilidad temporal de la producción de praderas de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en regiones áridas. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 2016;3(9):357-366.

18. Ojo VOA, Adeshina FT, Adetokunbo GA, Jimoh SO, Adeyemi TA, Njie JL, Onifade OS. Effects of swine manure application and row spacing on growth of pearl millet (*Cenchrus americanus*) during the establishment period and quality of silage produced in Southwest Nigeria. *Tropical Grasslands* 2020;8(2):115-124.
19. Estupiñán LH, Gómez JE, Barrantes VJ, Limas LF. Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo "El Granizo" (Cundinamarca - Colombia). *Rev U.D.C.A* 2009;12(2):79-89.
20. Sanderson M. Upland switchgrass yield, nutritive value, and soil carbon changes under grazing and clipping. *Agron J* 2008;(100):510-516.
21. Chairez F, Iñiguez L, Salinas H, Flores MJ, Aw-Hassan A, Serna AI, Meza-Herrera C. Hacia un enfoque de investigación participativa para mejorar los sistemas de producción de caprinos en regiones semiáridas de México: una caracterización socioeconómica y ecológica. *Rev Chap, Serie Cienc Forest Amb* 2011;(17):131-146.
22. Beltrán LS, Hernández GA, García ME, Pérez PJ, Kohashi SJ, Herrera HJG. Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en un invernadero. *Agrociencia* 2005;39(2):137-147.
23. Tuffa S, Hoag D, Treydte AC. Clipping and irrigation enhance grass biomass and nutrients: Implications for rangeland management. *Acta Oecol* 2017;(81):32-39.
24. Mazahrih N, Al Wahaibi H, Al Farsi S. Ouled BA. Yield and water productivity of Buffel and Rhodes grasses under different irrigation water regimes using the sprinkler line source system. *Grassl Sci* 2016;(62):112-118.
25. Villareal JA, Hernández A, Martínez PA, Guerrero J D, Velasco ME. Rendimiento y calidad de forraje del pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) al variar la frecuencia e intensidad de pastoreo. *Rev Mex Cienc Pecu* 2014;5(2):231-245.
26. Ordaz-Contreras R, Sosa-Montes E, Mendoza-Pedroza SI, Améndola-Massiotti RD, Reyes-Castro S, Ortega-Jiménez E, Hernández-Garay A. Composición química del pasto king grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) a diferente intervalo de corte. *AGROProductividad* 2018;11(5):134-140.
27. Mosquera M, González A, Rigueiro A. Sward quality affected by different grazing pressures on dairy systems. *J Range Manage* 2000;(3):603-610.
28. Schönbach P, Wan H, Gierus M, Loges R, Müller K, Lin L, Susenbeth A, Taube F. Effects of grazing and precipitation on herbage production, herbage nutritive value and performance of sheep in continental steppe. *Grass Forage Sci* 2012;67(4):535-545.
29. Patiño RM, Gómez R, Navarro OA. Calidad nutricional de Mombasa y Tanzania (*Megathyrsus maximus*, Jacq.) manejados a diferentes frecuencias y alturas de corte en Sucre, Colombia. *Rev CES Med Zootec* 2018;13(1):17-30.



## Regiones genómicas, genes y polimorfismos de un solo nucleótido en la resistencia a nematodos gastrointestinales en ovinos. Revisión



Marcela Villegas-Castañeda <sup>a\*</sup>

Vielka Jeanethe Castañeda-Bustos <sup>b</sup>

Juan Manuel Bello-López <sup>c</sup>

Clemente Cruz-Cruz <sup>3</sup>

<sup>a</sup> Hospital Juárez de México. Escuela de enfermería del Hospital Juárez de México. Plaza San Pablo. No. 13. Col. Centro. Alc. Cuauhtémoc, 06090, CDMX, México.

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas. Mexicali, México.

<sup>c</sup> Hospital Juárez de México. División de investigación, CDMX, México.

\*Autor de correspondencia: [marcela.villegas.casta@gmail.com](mailto:marcela.villegas.casta@gmail.com)

### Resumen:

Existen diversos factores que pueden modificar la productividad en los hatos ovinos, uno de ellos es la parasitosis gastrointestinal (GI) por nematodos, la cual puede generar pérdida de peso, retrasos en el crecimiento y en situaciones extremas la muerte. Las infecciones de parásitos involucran al sistema inmune para la resistencia o susceptibilidad, por lo que actualmente se buscan estrategias que sean eficientes a largo plazo para disminuir esta afectación. Una de estas estrategias es la ganadería de precisión, la cual consiste en la identificación y selección de animales genéticamente más resistentes, empleando para ello marcadores moleculares. El objetivo de esta revisión es reunir información novedosa en rasgos cuantitativos (QTL) y estudios de asociación del genoma completo (GWAS), que confirman la relevancia de algunas regiones o genes en la resistencia a la parasitosis gastrointestinal ovina. Así mismo, se analizó la posible relevancia de nuevas regiones para

realizar mapeos más finos y encontrar conjuntos de polimorfismos que permitan una selección más eficiente, considerando al mismo tiempo, las condiciones particulares de los hatos ovinos.

**Palabras clave:** Polimorfismos, Resistencia, Parasitosis gastrointestinal, Ovinos.

Recibido: 06/04/2023

Aceptado: 04/03/2024

## Introducción

Uno de los factores que pueden modificar la productividad de los ovinos es la parasitosis gastrointestinal (GI); dentro de sus efectos adversos están: pérdida de peso<sup>(1)</sup> retraso en el crecimiento y, en situaciones extremas, la muerte<sup>(1,2)</sup>, aspectos que afectan directamente la economía de los productores. Continuamente se están desarrollando estrategias para disminuir los efectos de la infección, ya sea probando con nuevos fármacos o buscando animales que sean genéticamente más resistentes para reproducirlos. Algunos autores mencionan que estas estrategias tienden a ser más eficientes, en el largo plazo, cuando están basadas en múltiples enfoques<sup>(3,4)</sup>.

La variación genética entre o dentro de razas, permite detectar, y seleccionar genéticamente individuos con mayor capacidad de resistir las consecuencias de la infección por helmintos. La selección de ovejas o cabras para mejorar la resistencia a parásitos se considera una opción valiosa para complementar otras medidas de control<sup>(5)</sup>. El término resistencia a la enfermedad se usa comúnmente de forma genérica para hablar de resistencia a la infección, o como resistencia a las consecuencias de la enfermedad, es decir tolerancia a la enfermedad. Sin embargo, en términos estrictos, la resistencia a la enfermedad describe la capacidad del huésped para interactuar y controlar el ciclo de vida del parásito. En el contexto de las parasitosis GI, esto puede incluir la probabilidad del establecimiento de larvas ingeridas, tasa y grado de desarrollo del parásito dentro del huésped, mortalidad y la fecundidad de los parásitos, y por tanto el conteo de huevos en materia fecal. Por otro lado, la tolerancia a la enfermedad se utiliza para describir la capacidad del huésped para resistir los efectos patógenos de la infección<sup>(1)</sup>.

El mejoramiento genético para la resistencia es posible debido a la existencia de una amplia variación genética en los animales. Cuando se buscan asociaciones genéticas se estudian regularmente rasgos de resistencia o susceptibilidad (conteo de huevos en materia fecal (FEC), carga parasitaria, tamaño de gusano y fecundidad), de respuesta inmune (complejo

mayor de histocompatibilidad-MHC, concentración de anticuerpos como IgA, IgG e IgM), de impacto de la infección (anemia, presencia de pepsinógeno, o concentraciones de fructosamina), o de resiliencia (tasa de crecimiento y frecuencia de tratamiento requerida)<sup>(3,6)</sup>. Existe un importante número de aportaciones científicas que relacionan genes del complejo mayor de histocompatibilidad ovino (Ovar-MHC) con la capacidad de los ovinos para resistir a la infección por parásitos gastrointestinales<sup>(7-16)</sup>; aunque se ha señalado que el efecto del MHC es pequeño y que representa aproximadamente el 11 % de la variación fenotípica total<sup>(7)</sup>. Los genes de la clase I se encuentran entre los genes más polimórficos, esta diversidad, en conjunto con la poca claridad de la organización genómica, provoca que la identificación de nuevos alelos de interés en ovinos sea difícil, resultando en una evidente escasez de información al respecto<sup>(17)</sup>. Los productos de los genes de Clase I y II son glicoproteínas que presentan péptidos antigénicos al receptor de células T (TCR) de linfocitos CD8+ citotóxicos y linfocitos CD4+ cooperadores respectivamente<sup>(18,19)</sup>. Los genes de clase II DRB han sido más estudiados<sup>(18,20)</sup> y han mostrado asociaciones consistentes al fenotipo de resistencia a nematodos GI<sup>(7)</sup>. Los enfoques actuales quizá ponen de lado a esta importante molécula debido a que los análisis estadísticos para detectar asociación entre alelos del MHC y la enfermedad, depende en una parte de las frecuencias de haplotipos<sup>(21)</sup>, mientras que la capacidad de discriminar con mutaciones puntuales causales dependen del grado del desequilibrio de ligamiento (LD), ya que cuando el LD es alto, los alelos en diferentes loci frecuentemente se heredan juntos en la descendencia y los efectos de los diferentes loci no se pueden desentrañar fácilmente<sup>(22)</sup>. Debido a la alta variación polimórfica en el MHC, es necesaria la construcción de combinaciones de haplotipos para asociarlo a rasgos de resistencia/susceptibilidad<sup>(21,23)</sup>, ya que la mayoría de los genes del MHC se heredan en bloque como haplotipo con raros eventos de recombinación<sup>(24)</sup>. Para utilizar al MHC como marcador generalizado es necesario que el conocimiento se profundice hasta llegar a secuenciar haplotipos ya asociados y saber en qué raza y para qué parásito pueden ser utilizados con validez; la asociación de haplotipos podría llegar a ser entonces más fuerte que la asociación alélica con polimorfismos de un solo nucleótido (SNP).

Las nuevas estrategias como el uso de arreglos o chips con miles de polimorfismos para una genotipificación simultánea podrían predecir el mérito genético de un individuo a través de grupos de polimorfismos de un solo nucleótido<sup>(25)</sup>. Se han desarrollado arreglos o matrices de genotipado por casas comerciales como Illumina y Affymetrix en conjunto con el Sheep Genomics Consortium con distintas densidades y diferentes coberturas dentro del genoma; en la actualidad los más usados en estudios de asociación del genoma o determinación del mérito genético son los de alta y media densidad, que pueden detectar alrededor de 606,000 y 50,000 SNP (50 K) uniformemente espaciados. Se ha observado que el nivel estimado de LD para marcadores separados por menos de 1Mb en arreglos de hasta 12 K pueden ser una herramienta adecuada para identificar regiones genómicas asociadas con rasgos relacionados con la resistencia a parásitos GI<sup>(26)</sup>. Además de esto, existen regiones intergénicas, llamadas

“desiertos genéticos”<sup>(27)</sup>, que son regiones con secuencias no codificantes pero con elementos regulatorios no anotados con potencial prometedor para futuras investigaciones.

Si bien la resistencia o susceptibilidad a la parasitosis gastrointestinal puede estar controlada por múltiples loci con efectos pequeños, las relaciones de epistasis podrían ser evaluadas como parte de la arquitectura de la resistencia. Además, las relaciones epistáticas permiten la regulación de la expresión de genes vecinos, que a su vez permiten la expresión de otros genes. A la fecha no hay estudios que hayan identificado genes mayores como únicos genes en la resistencia en infecciones parasitarias gastrointestinales. Por lo que el objetivo de esta revisión es presentar información genómica que confirme la relevancia de algunas regiones o genes, y dar relevancia a otras *de novo* en parasitosis GI por nematodos en ovinos.

### **Hallazgos recientes de genes o regiones genómicas implicados en la resistencia/susceptibilidad a nematodos gastrointestinales**

Los nematodos se pueden localizar en distintas regiones del tracto gastrointestinal; por ejemplo, en el abomaso los más frecuentes son *Haemonchus contortus*, *Trichostrongylus axei*, *Mecistocirrus digitatus* y *Teladorsagia circumcincta*, mientras que en el intestino delgado predominan *Trichostrongylus colubriformis*, *Cooperia* spp., y *Nematodirus* spp. y en el intestino grueso se encuentran *Oesophagostomum* spp., *Chabertia ovina*, y *Trichuris ovis*<sup>(28-30)</sup>. Se puede generalizar que el nematodo usualmente encontrado alrededor del mundo especialmente en regiones o climas tropicales y subtropicales es *H. contortus*<sup>(31)</sup>, mientras que *Teladorsagia circumcincta* es uno de los más importantes en regiones frías<sup>(32)</sup>. Se ha hipotetizado que la inherente resistencia GI a parásitos está dada por varios genes (poligénica), y que está relacionada con el sistema inmune<sup>(33-35)</sup>.

Se pueden señalar cuatro mecanismos principales que determinan la respuesta del hospedero a la infección por parásitos GI: 1) el mecanismo de la respuesta inmune innata, 2) la protección de las mucosas gástricas, 3) las vías de hemostasis, y 4) la inmunidad adquirida<sup>(36)</sup>. Por otro lado, entre los mecanismos que permiten la expulsión de parásitos se encuentran: la hipermotilidad, hipersecreción gástrica e hiperplasia de células caliciformes con el subsecuente incremento en la producción de moco. En estudios *in vitro* e *in vivo* se ha observado que la expulsión inmediata de los parásitos está asociada a la presencia de histamina y leucotrienos en el moco del abomaso que inhiben la motilidad del parásito<sup>(37,38)</sup>. Altas concentraciones de histamina en la mucosa abomasal de ovejas resistentes a la hemoncosis podrían permitir la expulsión del parásito, promoviendo la hipersecreción abomasal que disminuye la fecundidad y motilidad de los gusanos<sup>(39,40)</sup>.

Con respecto a la respuesta inmune del hospedero, se ha observado que existe una clara diferencia en la respuesta inmune de corderos que han sido desafiados una o dos veces en su

vida, y ovejas adultas que han sido desafiadas varias veces a lo largo de su vida productiva con distintos estadios larvarios o de gusanos<sup>(31,37,40)</sup>. Los corderos demuestran una inmunidad competente de 2 a 3 meses de edad<sup>(41)</sup>, y si el desafío de exposición larvaria es constante, la inmunidad se desarrolla con una respuesta protectora significativa entre los 10 y 12 meses de edad<sup>(42,43)</sup>. En ovinos adultos esta inmunidad tiende a permanecer, lo que los hace relativamente resistentes a la infección y las exposiciones en un bajo nivel los hace conservar la inmunidad<sup>(44)</sup>. En algunos estudios la protección contra la parasitosis GI se ha asociado con la respuesta inmune Th2 cooperadora<sup>(45,46)</sup>, caracterizada por la producción de interleucina (IL) 4 que es una importante citocina en el control inmunológico de las enfermedades GI por parásitos<sup>(47,48)</sup>, fundamental en la maduración de células T CD4+ vírgenes a través de la vía STAT6<sup>(49,50)</sup>; también promueve la diferenciación de células B de alta tasa de síntesis (cambiando la cadena pesada de IgM a IgE e IgA)<sup>(51-53)</sup>, el reclutamiento de eosinófilos, basófilos y mastocitos para controlar la infección y participar en la expulsión de helmintos<sup>(54-56)</sup>. La IL-13 actúa en conjunto con IL-4 estimulando el cambio de clase de IgE, promoviendo la curación por fibrosis de tejidos y mejora la expulsión de larvas por aumento de la permeabilidad de la mucosa, producción de moco y la contracción muscular<sup>(57-59)</sup>; también IL-5 estimula la maduración de los eosinófilos, la regulación positiva de estas dos citocinas después de la infección por *T. columbriformis*<sup>(58,60)</sup>, coincide con el aumento en la producción de IgE e IgA<sup>(61)</sup>. El desarrollo de la respuesta celular Th1, previene la expresión de citocinas proinflamatorias como el interferón gamma (IFN- $\gamma$ ), y como consecuencia la respuesta Th2<sup>(55,62)</sup>. Existe un vínculo entre IFN- $\gamma$  y la susceptibilidad, ya que regula de manera negativa a IL-4 y consecuentemente la diferenciación hacia la respuesta Th2<sup>(63,64)</sup>.

Durante la infección por parásitos, la concentración de IgA es más importante en el abomaso que en el suero, y se ha observado una correlación negativa entre la cantidad de IgA específica en moco de abomaso y la carga parasitaria en infecciones por *H. contortus*<sup>(65)</sup>, situación que también ha sido evidente con el nemátodo *T. circumcincta* encontrado en abomaso de ovejas, en donde los altos niveles de IgA específicas en el moco abomasal han disminuido la fertilidad y longitud de dicho nematodo<sup>(66)</sup>. Una característica típica de las infecciones por helmintos es la producción de IgE específicas como resultado de una respuesta tipo Th2. La IgE es capaz de inducir citotoxicidad anticuerpo-dependiente de eosinófilos, células cebadas y macrófagos. Un incremento en los niveles locales de IgE se ha asociado con resistencia a parasitosis GI en ovejas y cabras<sup>(67-69)</sup>.

Existen reportes de resistencia/susceptibilidad en razas como Churra, Red Masai, Merino<sup>(70)</sup>, cruza de Dorper x Red Masai<sup>(71)</sup>, Cara Negra escocesa<sup>(72)</sup>, Santa Inés<sup>(26)</sup>, ovinos ferales Soay, Djallonké<sup>(73)</sup>, Border Leicester x Merino, cruza de Poll Dorset x Suffolk o Dorper blanco, Kathadin<sup>(74)</sup>, ovinos Tunecinos Autóctonos<sup>(75)</sup>, Corriedale, Pampinta<sup>(76)</sup>, Sardas<sup>(77)</sup> y ovejas Nativas de Florida entre algunos<sup>(78)</sup>. Además de esto, en otros estudios realizados en razas de pelo como la Red Massai<sup>(79)</sup>, Florida, Santa Cruz, Barbados Black Belly y Navajo<sup>(80)</sup> se ha

observado que son más resistentes a la infección por nematodos y sus consecuencias, que las razas europeas. Pero entre razas de pelo existe variación, lo que se muestra en un estudio que comparó corderos Pelibuey contra corderos Kathadin; los Pelibuey mostraron mayor resistencia a la infección natural por nematodos GI en comparación con los Kathadin, compartiendo las mismas condiciones climáticas y de pastoreo, asociado al fenotipo de conteo de huevos por gramo de heces y conteos de eosinófilos periféricos<sup>(81)</sup>.

Tradicionalmente la asociación se hace con rasgos como el conteo de huevos en heces, debido a que es una manifestación directa de la incapacidad del huésped de controlar la reproducción del parásito<sup>(37,82)</sup>. Otro es el índice FAMACHA que es una medida indirecta de la presencia de parásitos en abomaso y de la gravedad de la anemia que estos pueden causarle al hospedero, y que se relaciona con la reducción del volumen celular aglomerado (medido en porcentaje), secuela de la infección de parásitos como *H. contortus*, que pone en evidencia la incapacidad del huésped para reponer los niveles de glóbulos rojos, y que, en una situación extrema, podría conducir a la muerte; pero si el individuo tolera la infección aguda y no muere, manteniendo su actividad zootécnica puede ser un rasgo de resiliencia<sup>(76)</sup>. Los animales infectados con *H. contortus* muestran anemias más severas<sup>(82,83)</sup>. En estudios iniciales estos rasgos han sido asociados con regiones en el cromosoma 20 (OAR20; OARn = cromosoma de *Ovis aries* número “n”), que contienen alelos del MHC II, y OAR3 en el gen del interferón gama (IFN- $\gamma$ ) o genes cercanos a esta región<sup>(84-86)</sup>. Otra revisión sistemática, menciona que hay evidencia suficiente con respecto a la asociación del gen de IFN- $\gamma$  y la resistencia a *T. circumcincta* y se sugiere que esta región y sus genes vecinos son de interés en la resistencia del hospedero<sup>(36,84-88)</sup>.

Otros estudios en donde no han encontrado asociación con las regiones mencionadas, señalan esta diferencia como atribuible a las características de los sujetos de estudio, ya que cuando se ha encontrado asociación los sujetos son corderos, mientras que en ovinos adultos no existe asociación evidente<sup>(87,89)</sup>.

Otros datos aportados en ovinos Red Massai x Dorper sugieren que la variación en los marcadores SNP ubicados en genes de señalización de las células inmunitarias como el supresor de señalización de citocinas (SOCS2), enzima conjugadora de ubiquitina E2 (UBE2N) y sustrato 15 de proteína tirosina cinasa (EPS15), podrían favorecer la producción de citocinas Th2 para aumentar la función biológica de la eosinofilia, mastocitosis y respuesta humoral (niveles altos de IgE) en el sitio de infección; la producción de moco por la acción de genes como *MUC15* o *GALANT4* y las vías de hemostasia (*ATP2B1*) pueden ser mecanismos importantes que contribuyen al fenotipo o en las diferencias en la resistencia a parásitos en población Red Maasai x Dorper<sup>(72)</sup>, y describe dos regiones que hasta ese momento no habían sido asociadas, OAR2 (162-163Mpb) y OAR3 (44Mpb). También describen que el polimorfismo OAR6\_81718546 (cercano al receptor- $\alpha$  del factor de crecimiento derivado de plaquetas PDGFRA), está asociado con efectos en el volumen

celular aglomerado el cual ha sido previamente reportado en ovinos de raza Morada Nova Brasileña, raza Churra Española<sup>(34)</sup>, Soay Feral<sup>(78)</sup> y en la cruce Red Maasai x Dorper; los marcadores que afectan al conteo de huevos en heces (OAR5\_111342555, OAR15\_35337227, OAR5\_100699982.1, DU183841\_402.1, OAR15\_40719719.1, OAR15\_40926306.1, OAR7\_4206430 y OAR17\_42673146) no afectan al volumen celular aglomerado ni el peso vivo de acuerdo con este estudio<sup>(72)</sup>.

Por otra parte, en la raza Soay Feral analizaron doce SNP's enlistados en el Cuadro 1, de los cuales, RORC2 p.A404T (100,653,186 pb) está asociado a IgA, además concluyen que el polimorfismo IL23R p.V32M (42,512,431 pb) está relacionado con el receptor de IL-23, una citocina inflamatoria que mostró asociación con el peso corporal a los 20 días en corderos cara negra<sup>(78)</sup>.

En 2016 encontraron genes asociados en la raza Churra Española para el rasgo de conteo de huevos fecales en OAR6 (con pico en 88.1 cM) como *AFP*, *ALB*, *AMBN*, *AMTN*, *AREG*, *BTC*, *CXCL1*, *CXCL10*, *CXCL11*, *CXCL9*, *EREG*, *GC*, *IGJ*, *IL8*, *MUC7*, *PF4*, *PPBP*, *RASSF6*, *SCARB2*, *TMPRSS11D*, para OAR8 (pico a 2 cM) en el mismo rasgo *CD109*, *COL12A1*, *MYO6*; y para OAR 22 (pico en 3.4 cM) en el rasgo de IgA del gen *PCDH15*. Dentro de las especies de nematodos encontrados con mayor frecuencia en este estudio fueron *Trichostrongylus* spp. y *Teladorsagia* spp. Además, se encontraron otros genes que codifican para quimiocinas, tales como *IL8*, *CXCL1*, *CXCL10*, *CXCL11*, *CXCL9*, *PF4*, *PPBP*; moléculas que tienen gran importancia en el sistema inmune, pues participan desde el reclutamiento de leucocitos hasta la comunicación y activación celular durante la infección, particularmente *IL-8*, *CXCL8* y *CXCL1*, están implícitas en el reclutamiento y activación de neutrófilos. Es de notar que este autor no encontró una correspondencia clara con regiones clásicas previamente descritas en relación con IFN- $\gamma$  o aquellas que involucran MHC clase II<sup>(34)</sup>.

Por otra parte, al evaluar ovejas de raza Santa Inés mediante un chip SNP con 12,785 marcadores polimórficos de nucleótido sencillo encontraron una asociación entre regiones en OAR1, OAR2, OAR3, OAR5, OAR8 y OAR15<sup>(78)</sup> (Cuadro 1). Varias regiones cromosómicas candidatas descritas por los autores están en relación con el desarrollo del sistema inmune, su activación, la respuesta inflamatoria, regulación de linfocitos y proliferación de leucocitos (*B2M*, *SFXN1*, *IL25*, *BMP4*, *TSHR*, *CCL28*, *PIK3R1*, *FGF10*, *IL15*, *TP-1*, *BPMG*, *BCL10*, *HSPD1*, *MALT1*), destacando genes como *CD109* que es un antígeno de superficie expresado por células CD34 o IL-25, coincidentemente algunas reportados como genes potenciales en la resistencia a nematodos GI en ovinos en otro estudio<sup>(34)</sup>.

A partir del 2018, los estudios de GWAS con chips de alta o mediana densidad han elucidado más genes candidatos que podrían ser relevantes en la resistencia/susceptibilidad a

nematodos y otras parasitosis. Así lo señalan los hallazgos hechos por varios autores<sup>(75,77,90)</sup>, uno de ellos en corderos de raza Djallonké de África occidental en donde asocian a cinco genes (*TRIB3*, *CDK4*, *CSNK2A1*, *MARK1* y *SPATA5*) con rasgos de resistencia, relacionados con la inmunidad y la proliferación celular. Así mismo se sugiere al gen *MBL2* (como base de un QTL) en OAR22 está relacionado con niveles de IgA<sup>(27,82)</sup>; y se ha hipotetizado que genes involucrados en el crecimiento y el tamaño de los corderos (como el gen *ADAMTS17* en OAR18) pueden ser pleiotrópicos con algunos genes que determinan rasgos de resistencia a la infección por parásitos GI, pero la asociación entre estos genes aún no se determina claramente<sup>(34,73,91)</sup>.

El OAR2 también resalta en un estudio en ovinos australianos de razas como Merino o Border Leicester x Merino, cruza de Poll Dorset/Suffolk/Suffolk blanco/Dorper blanco/Border Leicester, en donde, en un primer análisis, los autores delimitan tres SNP's en OAR2 con una fuerte asociación al rasgo de conteo de huevos en heces (rs421630816, rs424521894, rs413835864). El SNP rs421630816 (posición en OAR2: 110.8 Mbp) en el gen *PALLD*, en tanto que el rs424521894 y rs413835864 (posición en OAR2:107.3 y 107.4 Mbp, respectivamente) en el gen *GALNTL6* relacionado con la síntesis de glicanos tipo mucina, que influyen en la interacción huésped-patógeno. Así mismo estos autores señalan una región en OAR6 que incluye seis SNP's, de donde resalta el rs416517011, por su nivel de significancia en la asociación; además encontraron otros genes asociados en OAR18 y OAR24 hipotetizando que dichos genes comparten ciertos mecanismos con el sistema inmune, sugiriendo posibles efectos de interacción entre genes<sup>(70)</sup>. Otra contribución encontró asociaciones significativas en OAR2, 3, 16, 23 y 24 en ovinos Kathadin<sup>(74)</sup>. Señalando como dato relevante a un locus localizado en OAR3, cercano al gen receptor 1 por la vía del complemento C3 (*C3AR1*). *C3AR1* ha sido reportado diferencialmente expresado en ovejas susceptibles contra resistentes<sup>(92)</sup> y ha sido asociado a la respuesta Th1<sup>(93)</sup> también localizado en OAR16, 87 kb hacia 5' del gen de *ITGA2* (integrina  $\alpha$ -2) que media la adhesión de plaquetas y otros tipos celulares a la matriz extracelular. Sobresale una región en OAR2 que se asoció significativamente y sugiere un papel potencial en la mediación de la resistencia, el gen *DIS3L2* (rs406850490 y rs422243920), una exoribonucleasa que participa en la regulación de la expresión relativa del receptor Toll tipo 4; el SNP asociado a *DIS3L2* tuvo un frecuencia de alelo menor (MAF) sobrerrepresentada en ovinos resistentes (0.479) en comparación con los susceptibles (0.094), esta exoribonucleasa puede afectar la expresión de IL-10 por la represión de let-7, un miRNA; otros hallazgos de importancia en el estudio son en OAR3 *ALK-Receptor* de tirosina cinasa (rs437558829 y rs407346502) y *C3AR1*, OAR19 (rs406978752) *GRM7*-(receptor 7 metabotrópico de glutamato), OAR23 (rs399876637) *SLC14A2* (Transportador de urea 2) y OAR24 glicoproteína *ZP3* (rs423186265); aunque sugieren la necesidad de validar estos hallazgos<sup>(74)</sup>.

Para remarcar los efectos del sistema inmune en la respuesta a parasitosis, otro grupo estudió ovejas Autóctonas Tunecinas con manejo de pastoreo tradicional, resaltaron a *RUFy4* y *VILI*,

dos receptores de IL-8 (*CXCR1* y *CXCR2*) como genes candidatos, y partícipes en la respuesta inmune del tracto GI, hipotetizando que pueden estar implicados en la reparación de tejido dañado en el intestino y potenciando el reclutamiento de neutrófilos e inflamación. También encontraron dos genes transportadores de cationes como *SLC22A4* (*OCTN1*) y *SLC22A5* (*OCTN2*) implicados en el transporte de oxourea, los autores resaltan que el manejo tradicional de estos ovinos les permite desarrollar múltiples estrategias adaptativas que los hace resistentes a las parasitosis, y la información recabada a partir de este tipo de ganado autóctono es muy valiosa en el entendimiento de la arquitectura de la resistencia<sup>(75)</sup>. En México existen rebaños con características criollas y de manejo extensivo, por lo que resultaría interesante determinar si las estrategias adaptativas del sistema inmune coinciden con la de otros rebaños, u otras razas, manejados en condiciones similares, y así poder determinar mecanismos coincidentes para su uso como marcadores en la resistencia/susceptibilidad a nematodos u otras parasitosis.

Es notable que en un mapeo fino realizado por investigadores argentinos en corderos raza Pampinta y Corriedale bajo desafío natural, encontraron regiones que ya antes se asociaron<sup>(36)</sup>, en OAR3 y OAR6, y OAR20 contienen genes implicados en el procesamiento de antígenos mediados por el MHC y vías de señalización de linfocitos, el SNP OLA-DRA1\_479 fue el único que mostró una asociación significativa para los rasgos en estudio en corderos Corriedale, también asoció polimorfismo de receptores de lectinas tipo C que median funciones como procesos transducción de señalización celular, reconocimiento de patógenos, inmunidad innata, aunque *CLEC12A* actúa inhibiendo la producción de IL-12, TLR4 dependiente<sup>(94)</sup>, además marcó tres SNP's significativos *de novo*, FOS\_109, IL20RA\_422 y TIMP3\_716, el primero localizado en *FBJ* gen homólogo de osteosarcoma viral murino, el siguiente en el gen del receptor de la IL-20 y el último localizado en *TIMP* un inhibidor de metaloproteinasas en OAR 3, 7 y 8, respectivamente; FOS\_109 pertenece a un grupo de proteínas reguladoras de la proliferación, diferenciación y transformación celular, la expresión duplicada de este gen en tejido abomasal se encontró asociada a resistencia en ovinos Merinos y se hipotetiza que es un gen relevante en las infecciones primarias por *H. contortus*. En algunos casos, la expresión del gen *FOS* también se ha asociado con la muerte celular por apoptosis. *TIMP3\_716* mostró una evidencia sugestiva de asociación cuando se usa conteo de huevos en heces como valor de cría estimado como fenotipo de asociación, y podría estar implicado en la remodelación de tejido dañado en respuesta a las infecciones parasitarias. Los resultados obtenidos confirman regiones genómicas previamente reportadas como asociadas a la resistencia de nematodos en otras razas ovinas, tanto para inmunidad innata (*MASP*, *CLR*, *NLR*, *TLR*, *IL20R*, *FOS*, *TIMP*) y la inmunidad adaptativa (*CLR*, *IL2*, *OLA-DRA*, *TIMP*) reforzando el papel de la respuesta inmune del hospedero contra los parásitos<sup>(76)</sup>.

En ovejas Sardas y cruces de esta línea con Lacune, mapearon 10 regiones con asociación significativa al rasgo de conteo de huevos en heces, señalando a 3,538 polimorfismos

causantes de efectos de alto impacto que pueden generar codones de terminación (mutaciones sin sentido) en genes codificantes de 530 proteínas. Los autores de este estudio hipotetizan los QTL localizados en OAR 1, 12, 19 y 20 están fuertemente implicados en un complejo mecanismo de resistencia en el ovino a las parasitosis GI; algunos de los polimorfismos que señalan se pueden observar en el Cuadro 1<sup>(77)</sup>. En OAR12 la mutación con cambio de sentido c.103G>A en el exon 2, posición 39, 567,687 bp, en el gen *TNFRSF1B* (miembro de la superfamilia del receptor de TNF1B), cercana también al gen *SELE* (gen de la selectina E, cuatro mutaciones sin sentido relevantes), *SELE* codifica una proteína en células endoteliales y es responsable de la acumulación de leucocitos en los sitios de inflamación mediada por células del recubrimiento vascular. Otros autores<sup>(95)</sup> al respecto de esta proteína, menciona que el gen *SELE* se expresa negativamente en ganglios linfáticos abomasales de corderos recién infectados con *T. circumcincta*, lo que lo sugiere como componente de la respuesta de resistencia a la infección en parasitosis GI. En OAR19 la asociación más significativa fue en el gen *GRM* (receptor metabotrópico de glutamato, asociado a mecanismos nerviosos en humanos), además de 13 variantes sin sentido en el gen *IL5RA* (subunidad  $\alpha$  del rIL-5). Esta proteína se ha encontrado expresada en animales resistentes (corderos cara negra escoces, ovejas churras y corderos merino) a *T. circumcincta*<sup>(95-97)</sup>. En la región OAR20 encontraron una región grande que abarca al MHC clase II, aunque señalan que estos se encuentran a una distancia de 4 a 6 Mb de la ubicación más significativa, resaltando que debido a la naturaleza polimórfica del gen es difícil identificar mutaciones causales o SNP's útiles en la selección a la resistencia<sup>(98)</sup>. También reportaron mutaciones en *IL17A*, *IL17F*, *TRIM26*, *TRIM38*, *TNFRSF21*, *LOC1011118999*, *VEGFA* y *TNF*. Reportan un SNP significativo (rs404860664) en el gen *LOC101111058* (proteína similar a la butirofilina) pero proteínas similares a la butirofilina sugieren su papel en la regulación de la inflamación local intestinal en otras especies<sup>(99)</sup>, nueve mutaciones en *TRIM 26*; estas proteínas desempeñan funciones de regulación de la patogénesis en enfermedades autoinmunes, la defensa de patógenos en particular contra virus<sup>(100)</sup>, también participarían en la regulación a la baja de varios genes de la respuesta inmune<sup>(77)</sup>.

En un primer estudio detectando variantes repetidas mediante GWAS, en ovejas nativas en Florida se identificaron 8124 variaciones en el número de copias (CNV, por sus siglas en inglés), aunque solo 14 de ellas fueron asociadas de manera significativa con los rasgos de estudio, como conteo de huevos en heces y volumen celular aglomerado. Los genes que resaltan en este estudio en relación con la respuesta inmune son *CCL1*, *CCL2*, *CCL8*, *CCL11*, *NOS2*, *TNF*, *CSF3* y *STAT34*; los cuales podrían tener importancia en la resistencia a *H. contortus*. Estos genes pudieran ser utilizados como marcadores potenciales de resistencia en esta raza; también es posible que genes cercanos a regiones de repetidos como *LOC101110424*, *DOCK9*, *ITGBL1*, *BIVM*, *TNFSF13B*, *ING1*, *F7*, *F10*, *PCID2* y *GAS6*, pueden tener efectos importantes en la respuesta inmune contra el parásito<sup>(90)</sup>. Por ejemplo, la expresión del gen *ITGBL1* está asociada con la infiltración de células inmunes<sup>(101)</sup>, o los genes *F7* y *F10* tienen un papel relevante en el inicio de la coagulación y defensa contra

patógenos<sup>(102)</sup>. El gen *CCLI* es parte de una quimiocina eotaxina y promueve la migración de eosinófilos activados<sup>(103)</sup>, la eosinofilia es un evento común en ovinos infectados con *H. contortus*<sup>(104)</sup>, y este gen es utilizado comúnmente como un marcador de resistencia<sup>(92,105)</sup>. Adicionalmente, tres genes de galectinas (*LOC101117947*, *LOC101118202* y *LOC101102156*) cercanos a una región repetida se asociaron al rasgo de conteo de huevos en el día 28. Las galectinas son proteínas involucradas en la respuesta inmune a infecciones parasitarias del tracto gastrointestinal en ovejas y son subreguladas durante la infección de *H. contortus*<sup>(106)</sup>. Algunas de estas galectinas como la 11 puede regular el crecimiento larvario y el desarrollo por unión a la larva 4 y adultos de *H. contortus*<sup>(107)</sup>. Los repetidos asociados para el paquete celular al día 0 y 28 (*LOC101108321*) están contenidos en genes con relación a proteínas de multirresistencia a drogas (*MRP*), expresadas en el mismo nivel en células T CD3+/CD4+ de acuerdo a un estudio realizado en sangre periférica de pacientes normales y remisos de linfoma<sup>(108)</sup>; además pueden regular la inflamación de epitelios mucosos intestinales<sup>(109)</sup>. Es posible que todas las secuencias repetidas encontradas en este estudio puedan ser segregadas entre la población, pero al igual que en otros estudios, requiere la validación en otras poblaciones; estos hallazgos pueden contribuir al desarrollo de nuevas estrategias para mejorar la resistencia a parásitos en ovinos y promover los cruces selectivos mediante una selección asistida por marcadores genéticos<sup>(90)</sup>.

## Conclusiones

Las parasitosis y resistencia parasitaria son un problema que repercute en los sistemas productivos ovinos, y mayormente, en los que pastorean. El conocimiento sobre la arquitectura de la resistencia/susceptibilidad en ovinos contribuye al mejoramiento genético a mayor velocidad, traducido en mayor productividad en los rebaños con aportes a la ganadería de precisión. Aunque paralelamente se pueden encontrar tratamientos farmacológicos eficaces para combatir las parasitosis, cuando se disponga de formulaciones nuevas, éstas podrían ser potencialmente más caras, también hay un creciente interés en reducir el uso de antihelmínticos para contribuir al medio ambiente reduciendo su excreción al medio. La información proveniente de QTLs se ha refinado gracias a los análisis de GWAS hechos con chips de alta densidad, esto crea la necesidad de nuevos mapeos finos en genes candidatos, así la información pudiera ser utilizada en pruebas de selección de ovinos para resistencia a parásitos GI o elucidar relaciones epistáticas entre genes de la respuesta inmune que generen áreas de investigación de estudios funcionales o de expresión, dando mayor claridad sobre la función del sistema inmune. Desentrañar la arquitectura de la resistencia y susceptibilidad a parasitosis gastrointestinales, así como la validación de loci asociados en distintos rebaños, crea el reto de generar una prueba de marcadores con la mejor combinación posible de SNP's, que puedan caracterizar a individuos resistentes a parasitosis GI para determinadas poblaciones, como una estrategia para abordar la resistencia parasitaria y realizar programas de selección más efectivos y directos.

**Cuadro 1:** Hallazgos de regiones genómicas, SNP's y genes vinculados a variables de asociación en la resistencia a parasitosis gastrointestinal en ovinos

Autor	Parásito	Variables de asociación o rasgos	QTL	SNP	Genes
Benavides, 2015	<i>Haemonchus contortus</i>	VMPC*, PV**	OAR2 (15 Mbp), OAR11 (58 Mbp), OAR15 (54 Mbp). Nuevas OAR2 (162-163Mpb) y OAR3 (44Mpb).	OAR6_81718546, OAR5_111342555, OAR15_35337227, OAR5_100699982.1 DU183841_402.1, OAR15_40719719.1 OAR15_40926306.1 OAR7_4206430 OAR17_42673146,	<i>SOCS2</i> , <i>UBE2N</i> y <i>EPS15</i> <i>ATP2B1</i> y <i>LRP8</i> <i>MUC15</i> y <i>GALNT4</i>
Atlija, 2016	<i>Trichostrongylus</i> spp y <i>Teladorsagia</i> spp		OAR6 (con pico en 88.1 cM), OAR8 (pico a 2cM) y OAR22 (con pico o 3.4 cM)		<i>AFP</i> , <i>ALB</i> , <i>AMBN</i> , <i>AMTN</i> , <i>AREG</i> , <i>BTC</i> , <i>CXCL1</i> , <i>CXCL10</i> , <i>CXCL11</i> , <i>CXCL9</i> , <i>EREG</i> , <i>GC</i> , <i>IGJ</i> , <i>IL8</i> , <i>MUC7</i> , <i>PF4</i> , <i>PPBP</i> , <i>RASSF6</i> , <i>SCARB2</i> , <i>TMPRSS11D</i> , <i>CD109</i> , <i>COL12A1</i> , <i>MYO6</i> , <i>PCDH15</i> , <i>IL8</i> , <i>CXCL1</i> , <i>CXCL10</i> , <i>CXCL11</i> , <i>CXCL9</i> , <i>PF4</i> , <i>PPBP</i> , <i>CxCL8</i> y <i>CXCL1</i>
Berton, 2017	<i>Haemonchus contortus</i>	CHH***, índice FAMCHA, VMPC	OAR 2:91681809-9470993 2:140765269-143337545 OAR 3:195904655-195904655		<i>LPAR1</i> ; <i>TXN</i> ; <i>ALDOB</i> ; <i>PLPPR1</i> ; <i>CTSV</i> ; <i>PTCH1</i> ; <i>AGTPBP1</i> ; <i>AQP3</i> ; <i>ADRA1A</i> ; <i>LOXL2</i> ; <i>SFTPC</i> ; <i>HR</i> ; <i>LPL</i> ; <i>LOC101123612</i> ; <i>TGFBR1</i> ; <i>GNA14</i> ; <i>PCSK5</i> ; <i>RORB</i> ; <i>ALDH1A1</i> ; <i>TYRP1</i> ; <i>FREM1</i> ; <i>PSIP1</i> ; <i>CCDC171</i> ; <i>BNC2</i> ; <i>CNTLN</i> ; <i>ADAMTSL1</i> ; <i>RPS6</i> ; <i>TP-1</i> <i>XIRP2</i> ; <i>LOC101109253</i> ; <i>SCN7A</i> ; <i>SCN9A</i> ; <i>SCN1A</i> ; <i>TTC21B</i> ; <i>GALNT3</i> ;

			<p>OAR 1:56799547- 56799547</p> <p>OAR 16 :41876371- 41876371</p> <p>OAR 18:68738392- 68738392</p>	<p><i>CSRNP3; LOC101110039; SCN2A; SCN3A, DHX57; GEMIN6; RSF7; GALM; HNRNPLL; LOC101119897; LOC101120157; ATL2; LOC101120655; LOC101120913; LOC101119706; RMDN2; CDC42EP3; TRNAC-GCA; TRNAS-GGA; QPCT; PRKD3; NDUFAF7; CEBPZ; SULT6B1; EIF2AK2; GPATCH11; HEATR5B; STRN; VIT; FEZ2; LOC101122183; LOC101122430; LOC101122685; LOC101123283 GALNT2; TRNAE-UUC; PGBD5; LOC101103868; LOC101104120; LOC101104369; LOC101104630; LOC101104883; LOC101105131; LOC101105384; LOC101105628; LOC101105878; LOC101106137; LOC101106392; LOC101106652; LOC101106903; LOC101107159; LOC101107409; LOC101107663; LOC101107927; LOC101108188; LOC101108450; LOC101108625; LOC101108717; LOC101108881; LOC101109143; LOC101108983; LOC101109240; LOC101109508; LOC101109767 PDZD2; LOC101119673; C16H5orf22; DROSHA; CDH6 INF2; ADSSL1; SIVA1; AKT1; TMEM179; PLD4; LOC101104938; C18H14orf79; LOC101105444;</i></p>
--	--	--	--	--

					<i>GPR132; LOC101105953; BTBD6; BRF1; LOC101106466; LOC101106718; C18H14orf80; TMEM121; LOC101107475; LOC101107738; LOC101107998; LOC101108260; LOC101108522; LOC101108781</i>
Wilkie, 2017	****NE	CHH, IgA, PV		RORC2 c*25T>C and RORC2 c.*109 <sup>a</sup> >g E294Q y A404T) IL23R p.V324M y RORC2 p. A404T	<i>TBX21, RORC2 e IL23R</i>
Álvarez, 2019	NE	VMPC, CHH <sub>log</sub> , VMPC, FAMACHA		OAR1_55820164.1 OAR2_117867801.1 OAR8_16568165.1 OAR15_88875909.1 OAR18_43101149.1 OAR2_140684314.1 S16493.1 (OAR16) S43307.1 (OAR7) OAR8_8982479.1 OAR15_2525103.1 OAR17_3451123_X.1 S43852.1 (OAR19) OAR2_64824262.1 OAR3_77774489.1 OAR3_161498140.1 OAR12_22189408.1 S32476.1 S09612.1 (OAR13) OAR18_5508052_X.1 OAR22_6293170.1	<i>TMOD1; TDRD7, MFSD6, INPPI, HIBCH, C2H2orf88, SV2C, IQGAP2, NUDT6 TRIB3, CDK4, CSNK2A1, MARK1 y SPATA5, MBL2, ATP6V1E2, TMEM247, EPAS1, ATP23, CTDSP2, AVIL, TSFM, METTL21B, METTL1, LOC101116039, MARCH9, CDK4, TSPAN31, MARK1</i>

				OARX_107840506.1	
Kaladeh, 2019	<i>H. contotus</i> , <i>T. colubriformis</i> , <i>T. circumcincta</i>	CHH		rs421630816, rs424521894, rs413835864, rs421630816, rs424521894 y rs413835864, rs413835864, rs424521894 y rs421630816, rs416517011	<i>PALLD</i> , <i>GALNTL6</i>
Becker, 2020	<i>Haemonchus contortus</i>	valores genéticos estimados y CHH e índice FAMACHA		rs406850490 y rs422243920, rs437558829 y rs407346502, (rs406978752, rs399876637, rs423186265	<i>C3AR1</i> , <i>DIS3L2</i>
Ahbara, 2021	NE		QTL FECGEN		<i>SLC22A4</i> , <i>SLC22A5</i> , <i>IL-4</i> , <i>IL-13</i> , <i>IL-4</i> , <i>VIL1</i> , <i>CXCR1</i> , <i>CXCR2</i> , <i>IL-4</i> , <i>IL-13</i> , <i>FECGEN</i> , <i>TFEC_1</i> , <i>HFEC</i> , <i>NFEC</i> , <i>LATRICH_2</i> , <i>IGA</i> , <i>OSAS</i> , <i>WORMCT</i> , <i>PEPSL</i> y <i>CEOSIN QTL</i> , <i>RUFy4</i> y <i>VIL1</i> , <i>ITLN</i>

\* VMPC= volumen medio del aglomerado celular; \*\* PV= peso vivo; \*\*\* CHH= conteo de huevos en heces; \*\*\*\*NE= no especificada.

### Agradecimientos y conflictos de interés

Los Autores agradecen a la directora de la División de Investigación y Enseñanza del Hospital Juárez de México, Dra. Mónica A. Cureño Díaz, a la jefa de la División de Investigación, Dra. Verónica Fernández y a la Mtra. Tolina Alcántara de la Escuela de enfermería del HJM, por las facilidades otorgadas para realizar la presente revisión.

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

#### Literatura citada:

1. Bishop SC, Stear MJ. Modeling of host genetics and resistance to infectious diseases: understanding and controlling nematode infections. *Vet Parasitol* 2003;115(2):147–166.
2. Jennings FW. The anaemias of parasitic infections. In: Soulsby EJJ ed. *Pathophysiology of parasitic infection*. 1st ed. Academic Press, 1976:41-67 <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780126553659500095>. Accessed Sep 15, 2022..
3. Bishop SC. Possibilities to breed for resistance to nematode parasite infections in small ruminants in tropical production systems. *Animal* 2012;6(5):741–747.
4. Jackson F, Bartley D, Bartley Y, Kenyon F. Worm control in sheep in the future. *Small Ruminant Res* 2009;86(1–3):40–45.
5. Bishop SC. Genetic resistance to infections in sheep. *Vet Microbiol* 2015;181(1–2):2–7.
6. Bishop SC, Morris CA. Genetics of disease resistance in sheep and goats. *Small Ruminant Res* 2007;70(1):48–59.
7. Buitkamp J, Filmether P, Stear MJ, Epplen JT. Class I and class II major histocompatibility complex alleles are associated with faecal egg counts following natural, predominantly *Ostertagia circumcincta* infection. *Parasitol Res* 1996;82(8):693–696.
8. Stear M. An ovine lymphocyte antigen is associated with reduced faecal egg counts in four-month-old lambs following natural, predominantly *Ostertagia circumcincta* infection. *Int J Parasitol* 1996;26(4):423–428.
9. Charon KM, Moskwa B, Kury J, Gruszczynska J, Rutkowski R. Relationship between polymorphism in locus OMHC1 (MHC class I) and resistance to nematodes in Polish Heatherhead Sheep. *Anim Sci Pap Rep* 2001;19(4):285–292.
10. Behnke JM, Iraqi F, Menge D, Baker RL, Gibson J, Wakelin D. Chasing the genes that control resistance to gastrointestinal nematodes. *J Helminthol* 2003;77(2):99–109.

11. Stear MJ, Bishop SC, Henderson NG, Scott I. A key mechanism of pathogenesis in sheep infected with the nematode *Teladorsagia circumcincta*. *Anim Health Res Rev* 2003;4(1):45–52.
12. Sayers G, Good B, Hanrahan JP, Ryan M, Angles JM, Sweeney T. *Major Histocompatibility Complex* DRB1 gene: its role in nematode resistance in Suffolk and Texel sheep breeds. *Parasitology* 2005;131(3):403–409.
13. Gao J, Liu K, Liu H, Blair HT, Li G, Chen C, *et al.* A complete DNA sequence map of the ovine Major Histocompatibility Complex. *BMC Genomics* 2010;11(1):466.
14. Hassan M, Good B, Hanrahan JP, Campion D, Sayers G, Mulcahy G, *et al.* The dynamic influence of the DRB1\*1101 allele on the resistance of sheep to experimental *Teladorsagia circumcincta* infection. *Vet Res* 2011;42(1):46.
15. Hickford JGH, Forrest RHJ, Zhou H, Fang Q, Frampton CM. Association between ariation in faecal egg count for a mixed field-challenge of nematode parasites and ovine MHC-DQA2 polymorphism. *Vet Immunol Immunopathol* 2011;144(3–4):312–320.
16. Lee CY, Munyard KA, Gregg K, Wetherall JD, Stear MJ, Groth DM. The influence of MHC and immunoglobulins A and E on host resistance to gastrointestinal nematodes in Sheep *J Parasitol Res* 2011;2011:1–11.
17. Buitkamp J. Uncovering novel MHC alleles from RNA-Seq data: expanding the spectrum of MHC class I alleles in sheep. *BMC Genomic Data* 2023;24(1):1.
18. Dukkipati V, Blair H, Garrick D, Murray A. *Ovar-Mhc*-Ovine major histocompatibility complex: Role in genetic resistance to diseases. *N Z Vet J* 2006;54(4):153–160.
19. Rammensee HG, Friede T, Stevanović S. MHC ligands and peptide motifs: first listing. *Immunogenetics* 1995;41(4):178–228.
20. Stear MJ, Belch A, Donskow-Schmelter K, Fitton LA, Innocent GT, Ishikane C, *et al.* Detection of genes with moderate effects on disease resistance using ovine mhc and resistance to nematodes as an example. *Vet Immunol Immunopathol* 2007;120(1–2):3–9.
21. Stear MJ, Fitton L, Innocent GT, Murphy L, Rennie K, Matthews L. The dynamic influence of genetic variation on the susceptibility of sheep to gastrointestinal nematode infection. *J R Soc Interface* 2007;4(16):767–776.
22. Ali AOA, Stear A, Fairlie-Clarke K, Brujeni GN, Isa NMM, Salisi MSB, *et al.* The genetic architecture of the MHC class II region in British Texel sheep. *Immunogenetics* 2017;69(3):157–163.

23. Ali AOA, Stear A, Fairlie-Clarke K, Brujeni GN, Isa NMM, Salisi MSB, *et al.* The genetic architecture of the MHC class II region in British Texel sheep. *Immunogenetics* 2017;69(3):157–163.
24. Begovich AB, McClure GR, Suraj VC, Helmuth RC, Fildes N, Bugawan TL, *et al.* Polymorphism, recombination, and linkage disequilibrium within the HLA class II region. *J Immunol Baltim Md 1950*. 1992;148(1):249–258.
25. Meuwissen THE, Hayes BJ, Goddard ME. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* 2001;157(4):1819–1829.
26. Berton MP, de Oliveira Silva RM, Peripolli E, Stafuzza NB, Martin JF, Álvarez MS, *et al.* Genomic regions and pathways associated with gastrointestinal parasites resistance in Santa Inês breed adapted to tropical climate. *J Anim Sci Biotechnol* 2017;8(1):73.
27. Bahbahani H, Salim B, Almathen F, Al Enezi F, Mwacharo JM, Hanotte O. Signatures of positive selection in African Butana and Kenana dairy zebu cattle. Tesfaye D, editor. *PLOS One* 2018;13(1):e0190446.
28. Meana MA, Rojo VFA. Tricostrogiliosis y otras nematodosis. *Parasitología veterinaria*. Cordero CM, Rojo VFA *et al.* editores México: Mc Graw Hill Interamericana; 1999.
29. Quiroz-Romero H. *Parasitología y enfermedades parasitarias de animales domésticos*. 1<sup>a</sup> ed. México, DF: Limusa; 2003.
30. Soulsby EJJ. *Parasitología y enfermedades parasitarias en los animales domésticos*. 7<sup>a</sup> México: Editorial Interamericana; 1988.
31. Miller JE, Horohov DW. Immunological aspects of nematode parasite control in sheep. *J Anim Sci* 2006;84(suppl 13): E124–132.
32. Venturina VM, Gossner AG, Hopkins J. The immunology and genetics of resistance of sheep to *Teladorsagia circumcincta*. *Vet Res Commun* 2013;37(2):171–181.
33. Aguerre S, Jacquiet P, Brodier H, Bournazel JP, Grisez C, Prévot F, *et al.* Resistance to gastrointestinal nematodes in dairy sheep: Genetic variability and relevance of artificial infection of nucleus rams to select for resistant ewes on farms. *Vet Parasitol* 2018;256:16–23.
34. Atlíja M, Arranz JJ, Martínez-Valladares M, Gutiérrez-Gil B. Detection and replication of QTL underlying resistance to gastrointestinal nematodes in adult sheep using the ovine 50K SNP array. *Genet Sel Evol* 2016;48(1):4.

35. Saddiqi HA, Jabbar A, Sarwar M, Iqbal Z, Muhammad G, Nisa M, *et al.* Small ruminant resistance against gastrointestinal nematodes: a case of *Haemonchus contortus*. *Parasitol Res* 2011;109(6):1483–1500.
36. Benavides MV, Sonstegard TS, Van Tassell C. Genomic regions associated with sheep resistance to gastrointestinal nematodes. *Trends Parasitol* 2016;32(6):470–480.
37. Alba-Hurtado F, Muñoz-Guzmán MA. Immune responses associated with resistance to Haemonchosis in sheep. *BioMed Res Int* 2013;2013:1–11.
38. Karrow NA, Goliboski K, Stonos N, Schenkel F, Peregrine A. Review: Genetics of helminth resistance in sheep. *Can J Anim Sci* 2014;94(1):1–9.
39. Balic A, Bowles VM, Meeusen ENT. Mechanisms of immunity to *Haemonchus contortus* infection in sheep. *Parasite Immunol* 2002;24(1):39–46.
40. Miller HRP. Prospects for the immunological control of ruminant gastrointestinal nematodes: Natural immunity, can it be harnessed? *Int J Parasitol* 1996;26(8–9):801–811.
41. Bishop SC, Bairden K, McKellar QA, Park M, Stear MJ. Genetic parameters for faecal egg count following mixed, natural, predominantly *Ostertagia circumcincta* infection and relationships with live weight in young lambs. *Anim Sci* 1996;63(3):423–428.
42. Brunsdon RV. Seasonal changes in the level and composition of nematode worm burdens in young sheep. *N Z J Agric Res* 1970;13(1):126–148.
43. Seaton DS, Jackson F, Smith WD, Angus KW. Development of immunity to incoming radiolabelled larvae in lambs continuously infected with *Ostertagia circumcincta*. *Res Vet Sci* 1989;46(2):241–246.
44. McKenna PB. The diagnostic value and interpretation of faecal egg counts in sheep. *N Z Vet J* 1981;29(8):129–132.
45. Chen F, Liu Z, Wu W, Rozo C, Bowdridge S, Millman A, *et al.* An essential role for TH2-type responses in limiting acute tissue damage during experimental helminth infection. *Nat Med* 2012;18(2):260–266.
46. Moncada DM, Kammanadiminti SJ, Chadee K. Mucin and Toll-like receptors in host defense against intestinal parasites. *Trends Parasitol* 2003;19(7):305–311.
47. Finkelman FD, Shea-Donohue T, Morris SC, Gildea L, Strait R, Madden KB, *et al.* Interleukin-4- and interleukin-13-mediated host protection against intestinal nematode parasites. *Immunol Rev* 2004;201(1):139–155.

48. Reynolds LA, Filbey KJ, Maizels RM. Immunity to the model intestinal helminth parasite *Heligmosomoides polygyrus*. *Semin Immunopathol* 2012;34(6):829–846.
49. Zheng WP, Flavell RA. Pillars Article: the transcription factor gata-3 is necessary and sufficient for Th2 cytokine gene expression in CD4 T cells. *J Immunol Baltim Md* 1950. 2016;196(11):4426–4435.
50. Zhu J, Yamane H, Paul WE. Differentiation of effector CD4 T cell populations. *Annu Rev Immunol* 2011;28(1):445–489.
51. Ansel KM, Djuretic I, Tanasa B, Rao A. Regulation of TH2 differentiation and *Il4* locus accessibility. *Annu Rev Immunol* 2006;24(1):607–756.
52. Finkelman FD, Holmes J, Katona IM, Urban JF, Beckmann MP, Park LS, *et al.* Lymphokine control of *in vivo* immunoglobulin isotype selection. *Annu Rev Immunol* 1990;8(1):303–333.
53. Nelms K, Keegan AD, Zamorano J, Ryan JJ, Paul WE. The IL-4 Receptor: Signaling mechanisms and biologic functions. *Annu Rev Immunol* 1999;17(1):701–738.
54. McRae KM, Stear MJ, Good B, Keane OM. The host immune response to gastrointestinal nematode infection in sheep. *Parasite Immunol* 2015;37(12):605–613.
55. Begley CG, Nicola NA. Resolving conflicting signals: cross inhibition of cytokine signaling pathways. *Blood* 1999;93(5):1443–1447.
56. Hussaarts L, Yazdanbakhsh M, Guigas B. Priming dendritic cells for th2 polarization: lessons learned from helminths and implications for metabolic disorders. *Front Immunol* <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fimmu.2014.00499/abstract>. Accessed Aug 11, 2022.
57. Madden KB, Whitman L, Sullivan C, Gause WC, Urban JF, Katona IM, *et al.* Role of STAT6 and Mast Cells in IL-4- and IL-13-induced alterations in Murine intestinal epithelial cell function. *J Immunol* 2002;169(8):4417–4422.
58. Meeusen ENT, Balic A, Bowles V. Cells, cytokines and other molecules associated with rejection of gastrointestinal nematode parasites. *Vet Immunol Immunopathol* 2005;108(1–2):121–125.
59. Wynn TA. IL-13 Effector functions. *Annu Rev Immunol* 2003;21(1):425–456.
60. Lacroux C, Nguyen THC, Andreoletti O, Prevot F, Grisez C, Bergeaud JP, *et al.* *Haemonchus contortus* (Nematoda: Trichostrongylidae) infection in lambs elicits an unequivocal Th2 immune response. *Vet Res* 2006;37(4):607–622.

61. Kooyman, Schallig, Van Leeuwen, Mackellar, Huntley, Cornelissen, *et al.* Protection in lambs vaccinated with *Haemonchus contortus* antigens is age related, and correlates with IgE rather than IgG1 antibody: Serum IgE in vaccinated sheep. *Parasite Immunol* 2000;22(1):13–20.
62. Couper KN, Blount DG, Riley EM. IL-10: The master regulator of immunity to infection. *J Immunol* 2008;180(9):5771–5777.
63. Bancroft AJ, Grecis RK. Th1 and Th2 cells and immunity to intestinal helminths. In: MacDonald TT, editor. *Chemical immunology and allergy*. Basel: KARGER; 1998.: <https://www.karger.com/Article/FullText/58711>. Accessed Aug 23, 2023
64. Pulendran B. Modulating Th1/Th2 Responses with microbes, dendritic cells, and pathogen recognition receptors. *Immunol Res* 2004;29(1–3):187–196.
65. Amarante AFT, Bricarello PA, Huntley JF, Mazzolin LP, Gomes JC. Relationship of abomasal histology and parasite-specific immunoglobulin A with the resistance to *Haemonchus contortus* infection in three breeds of sheep. *Vet Parasitol* 2005;128(1–2):99–107.
66. Martínez-Valladares M, Vara-Del Rio MP, Cruz-Rojo MA, Rojo-Vazquez FA. Genetic resistance to *Teladorsagia circumcincta*: IgA and parameters at slaughter in Churra sheep. *Parasite Immunol* 2005;27(6):213–218.
67. De la Chevrotière C, Bambou JC, Arquet R, Jacquet P, Mandonnet N. Genetic analysis of the potential role of IgA and IgE responses against *Haemonchus contortus* in parasite resistance of Creole goats. *Vet Parasitol* 2012;186(3–4):337–343.
68. Pernthaner A, Shaw RJ, McNeill MM, Morrison L, Hein WR. Total and nematode-specific IgE responses in intestinal lymph of genetically resistant and susceptible sheep during infection with *Trichostrongylus colubriformis*. *Vet Immunol Immunopathol* 2005;104(1–2):69–80.
69. Pernthaner A, Cole SA, Morrison L, Green R, Shaw RJ, Hein WR. Cytokine and antibody subclass responses in the intestinal lymph of sheep during repeated experimental infections with the nematode parasite *Trichostrongylus colubriformis*. *Vet Immunol Immunopathol* 2006;114(1–2):135–148.
70. Al Kalaldehy M, Gibson J, Lee SH, Gondro C, van der Werf JHJ. Detection of genomic regions underlying resistance to gastrointestinal parasites in Australian sheep. *Genet Sel Evol* 2019;51(1):37.

71. Marshall K, Mugambi JM, Nagda S, Sonstegard TS, Van Tassell CP, Baker RL, *et al.* Quantitative trait loci for resistance to *Haemonchus contortus* artificial challenge in Red Maasai and Dorper sheep of East Africa. *Anim Genet* 2013;44(3):285–295.
72. Benavides MV, Sonstegard TS, Kemp S, Mugambi JM, Gibson JP, Baker RL, *et al.* Identification of novel loci associated with gastrointestinal parasite resistance in a Red Maasai x Dorper Backcross population. *PLoS ONE* 2015;10(4):e0122797.
73. Álvarez I, Fernández I, Soudré A, Traoré A, Pérez-Pardal L, Sanou M, *et al.* Identification of genomic regions and candidate genes of functional importance for gastrointestinal parasite resistance traits in Djallonké sheep of Burkina Faso. *Arch Anim Breed* 2019;62(1):313–323.
74. Becker GM, Davenport KM, Burke JM, Lewis RM, Miller JE, Morgan JLM, *et al.* Genome-wide association study to identify genetic loci associated with gastrointestinal nematode resistance in Katahdin sheep. *Anim Genet* 2020;51(2):330–335.
75. Ahbara AM, Rouatbi M, Gharbi M, Rekik M, Haile A, Rischkowsky B, *et al.* Genome-wide insights on gastrointestinal nematode resistance in autochthonous Tunisian sheep. *Sci Rep* 2021;11(1):9250.
76. Raschia MA, Donzelli MV, Medus PD, Cetrá BM, Maizon DO, Suarez VH, *et al.* Single nucleotide polymorphisms from candidate genes associated with nematode resistance and resilience in Corriedale and Pampinta sheep in Argentina. *Gene* 2021;770:145345.
77. Casu S, Usai MG, Sechi T, Salaris SL, Miari S, Mulas G, *et al.* Association analysis and functional annotation of imputed sequence data within genomic regions influencing resistance to gastro-intestinal parasites detected by an LDLA approach in a nucleus flock of Sarda dairy sheep. *Genet Sel Evol* 2022;54(1):2.
78. Wilkie H, Riggio V, Matika O, Nicol L, Watt KA, Sinclair R, *et al.* A candidate gene approach to study nematode resistance traits in naturally infected sheep. *Vet Parasitol* 2017;243:71–74.
79. Preston JM, Allonby EW. The influence of breed on the susceptibility of sheep of *Haemonchus contortus* infection in Kenya. *Res Vet Sci* 1979;26(2):134–139.
80. Courtney CH, Parker CF, McClure KE, Herd RP. Resistance of exotic and domestic lambs to experimental infection with *Haemonchus contortus*. *Int J Parasitol* 1985;15(1):101–109.

81. Palomo-Couoh JG, Aguilar-Caballero AJ, Torres-Acosta JFJ, González-Garduño R. Comparing the phenotypic susceptibility of Pelibuey and Katahdin female lambs against natural gastrointestinal nematode infections under hot humid tropical conditions. *Parasitol Res* 2017;116(6):1627–1636.
82. Besier RB, Kahn LP, Sargison ND, Van Wyk JA. Diagnosis, treatment and management of *Haemonchus contortus* in small ruminants. In: Grassr RB, Samson GB editors: *Advances in parasitology*. Elsevier. 2016:181-238. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0065308X16300240>. Accessed Oct 17, 2022
83. Van Wyk JA, Bath GF. The FAMACHA system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment. *Vet Res* 2002;33(5):509–529.
84. Coltman DW, Wilson K, Pilkington JG, Stear MJ, Pemberton JM. A microsatellite polymorphism in the gamma interferon gene is associated with resistance to gastrointestinal nematodes in a naturally-parasitized population of Soay sheep. *Parasitology* 2001;122(5):571–582.
85. Davies G, Stear MJ, Benothman M, Abuagob O, Kerr A, Mitchell S, *et al*. Quantitative trait loci associated with parasitic infection in Scottish blackface sheep. *Heredity* 2006;96(3):252–258.
86. Paterson KA, Mcewan JC, Dodds KG, Morris CA, Crawford AM. Fine mapping a locus affecting host resistance to internal parasites in sheep. <http://rgdoi.net/10.13140/2.1.3789.2486>. Accessed Oct 6, 2022
87. Beraldi D, McRae AF, Gratten J, Pilkington JG, Slate J, Visscher PM, *et al*. Quantitative trait loci (QTL) mapping of resistance to strongyles and coccidia in the free-living Soay sheep (*Ovis aries*). *Int J Parasitol* 2007;37(1):121–129.
88. Sayers G, Good B, Hanrahan JP, Ryan M, Sweeney T. Intron 1 of the interferon  $\gamma$  gene: Its role in nematode resistance in Suffolk and Texel sheep breeds. *Res Vet Sci* 2005;79(3):191–196.
89. Gutiérrez-Gil B, Pérez J, Álvarez L, Martínez-Valladares M, De La Fuente LF, Bayón Y, *et al*. Quantitative trait loci for resistance to trichostrongylid infection in Spanish Churra sheep. *Genet Sel Evol* 2009;41(1):46.
90. Estrada-Reyes ZM, Ogunade IM, Pech-Cervantes AA, Terrill TH. Copy number variant-based genome wide association study reveals immune-related genes associated with parasite resistance in a heritage sheep breed from the United States. *Parasite Immunol*; <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pim.12943>. Accessed Sep 12, 2022.

91. Silva MVB, Sonstegard TS, Hanotte O, Mugambi JM, Garcia JF, Nagda S, *et al.* Identification of quantitative trait loci affecting resistance to gastrointestinal parasites in a double backcross population of Red Maasai and Dorper sheep: Parasite indicator QTL of Red Maasai sheep. *Anim Genet* 2012;43(1):63–71.
92. Ahmed AM, Sebastiano SR, Sweeney T, Hanrahan JP, Glynn A, Keane OM, *et al.* Breed differences in humoral and cellular responses of lambs to experimental infection with the gastrointestinal nematode *Teladorsagia circumcincta*. *Vet Res* 2015;46(1):8.
93. Ghannam A, Fauquert JL, Thomas C, Kemper C, Drouet C. Human complement C3 deficiency: Th1 induction requires T cell-derived complement C3a and CD46 activation. *Mol Immunol* 2014;58(1):98–107.
94. Geijtenbeek TBH, Gringhuis SI. Signalling through C-type lectin receptors: shaping immune responses. *Nat Rev Immunol* 2009;9(7):465–479.
95. Gossner A, Wilkie H, Joshi A, Hopkins J. Exploring the abomasal lymph node transcriptome for genes associated with resistance to the sheep nematode *Teladorsagia circumcincta*. *Vet Res* 2013;44(1):68.
96. Chitneedi PK, Suárez-Vega A, Martínez-Valladares M, Arranz JJ, Gutiérrez-Gil B. Exploring the mechanisms of resistance to *Teladorsagia circumcincta* infection in sheep through transcriptome analysis of abomasal mucosa and abomasal lymph nodes. *Vet Res* 2018;49(1):39.
97. Zhang R, Liu F, Hunt P, Li C, Zhang L, Ingham A, *et al.* Transcriptome analysis unraveled potential mechanisms of resistance to *Haemonchus contortus* infection in Merino sheep populations bred for parasite resistance. *Vet Res* 2019;50(1):7.
98. Sweeney T, Hanrahan JP, Ryan MT, Good B. Immunogenomics of gastrointestinal nematode infection in ruminants - breeding for resistance to produce food sustainably and safely. *Parasite Immunol* 2016;38(9):569–586.
99. Yamazaki T, Goya I, Graf D, Craig S, Martin-Orozco N, Dong C. A butyrophilin family member critically inhibits T cell activation. *J Immunol* 2010;185(10):5907–5914.
100. Yang W, Gu Z, Zhang H, Hu H. To TRIM the immunity: From innate to adaptive immunity. *Front Immunol* 2020;11:02157.
101. Han TS, Hur K, Xu G, Choi B, Okugawa Y, Toiyama Y, *et al.* MicroRNA-29c mediates initiation of gastric carcinogenesis by directly targeting ITGB1. *Gut*. 2015;64(2):203–214.
102. Iwanaga S, Lee BL. Recent advances in the innate immunity of invertebrate animals. *BMB Rep* 2005;38(2):128–150.

103. Rosenberg HF, Dyer KD, Foster PS. Eosinophils: changing perspectives in health and disease. *Nat Rev Immunol* 2013;13(1):9–22.
104. Balic A, Cunningham CP, Meeusen ENT. Eosinophil interactions with *Haemonchus contortus* larvae in the ovine gastrointestinal tract. *Parasite Immunol* 2006;28(3):107–115.
105. Bisset SA, Morris CA, Squire DR, Hickey SM. Genetics of resilience to nematode parasites in young Romney sheep)-use of weight gain under challenge to assess individual anthelmintic treatment requirements. *N Z J Agric Res* 1996;39(3):313–323.
106. Robinson N, Pleasance J, Piedrafita D, Meeusen EN. The kinetics of local cytokine and galectin expression after challenge infection with the gastrointestinal nematode, *Haemonchus contortus*. *Int J Parasitol* 2011;41(5):487–493.
107. Preston SJM, Beddoe T, Walkden-Brown S, Meeusen E, Piedrafita D. Galectin-11: A novel host mediator targeting specific stages of the gastrointestinal nematode parasite, *Haemonchus contortus*. *Int J Parasitol* 2015;45(12):791–796.
108. Legrand O, Perrot J, Tang R, Simonin G, Gurbuxani S, Zittoun R, *et al.* Expression of the multidrug resistance-associated protein (MRP) mRNA and protein in normal peripheral blood and bone marrow haemopoietic cells. *Br J Haematol* 1996;94(1):23–33.
109. Pazos M, Siccardi D, Mummy KL, Bien JD, Louie S, Shi HN, *et al.* Multidrug resistance-associated transporter 2 regulates mucosal inflammation by facilitating the synthesis of hepxilin A<sub>3</sub>. *J Immunol* 2008;181(11):8044–8052.



## Uso y evolución del sexado espermático en bovinos. Revisión



Horacio Álvarez Gallardo <sup>a</sup>

David Urbán Duarte <sup>a</sup>

Adriana Velázquez Roque <sup>b</sup>

José Fernando De La Torre Sánchez <sup>c\*</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro Nacional de Recursos Genéticos. Blvd. De la Biodiversidad N° 400, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. México.

<sup>b</sup> H&A Biotecnologías en Reproducción Animal. Salerno 1836 Frecc. Lomas de San Ángel, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

<sup>c</sup> Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Universidad de Guadalajara, Las Agujas, Zapopan, Jalisco.

\* Autor de correspondencia: [jose.delatorre@academicos.udg.mx](mailto:jose.delatorre@academicos.udg.mx)

### Resumen:

Desde el inicio comercial del sexado espermático en la inseminación artificial, la adopción de esta tecnología por la industria ganadera (productores, médicos veterinarios y compañías de genética) ha sido una realidad en la producción bovina, principalmente en ganado lechero. La presente revisión, es una descripción de los inicios del sexado espermático, su desarrollo, aplicación a nivel comercial, y evolución hasta la actualidad. Los eventos más significativos fueron sin lugar a dudas la determinación de la diferencia en el contenido de DNA entre los espermatozoides portadores del cromosoma “Y” o “X”, el flujo de estos en el citómetro, y su separación en los así llamados espermatozoides “Y” y “X”. Los siguientes logros que favorecieron la aplicación de esta tecnología de forma comercial fueron la determinación de la concentración óptima y la criopreservación exitosa del semen sexado; desde entonces, las

investigaciones para tratar de disminuir los efectos deletéreos del proceso de sexado no se detuvieron, llegando hasta el surgimiento de nuevas tecnologías de sexado espermático donde este efecto es mínimo. La técnica más ampliamente difundida de forma comercial es el ultrasexado de 4 millones de espermatozoides (SexedULTRA-4M™), en la cual se modificaron completamente el método, los medios y los citómetros, con lo que esta tecnología tiene resultados muy similares a los obtenidos con semen no sexado (semen convencional). Existe otra tecnología de sexado espermático llamada Sexcell™ que se oferta de forma comercial, en la cual han obtenido resultados similares a los obtenidos con semen convencional, pero solo en vaquillas. Con estos avances, el sexado espermático se muestra como una tecnología en constante desarrollo y de alto impacto en la ganadería bovina.

**Palabras clave:** DNA, Sexado espermático, Cromosomas sexuales, Citometría de flujo.

Recibido: 28/12/2022

Aceptado: 30/05/2024

## Introducción

En lo que se refiere a biotecnologías reproductivas en ganado bovino, la pre-selección del sexo tiene una larga historia, en la cual se ha tratado de separar los espermatozoides con cromosomas “X” y “Y” mediante varias técnicas, basándose en principios de diferencia de masa y motilidad, cinética espermática, cambios en la superficie del espermatozoide y diferencias de volumen; sin embargo, ninguno de estos métodos fue capaz (sedimentación, centrifugación y antisuero Y) de producir una separación eficaz de poblaciones de espermatozoides fértiles<sup>(1)</sup>.

La predeterminación del sexo se pudo lograr gracias a los avances en la computación, biofísica, biología celular, fisiología reproductiva aplicada, entre otros. A partir del año de 1980 comenzó a aplicarse una técnica denominada citometría de flujo, la cual permitió separar los espermatozoides de acuerdo con sus cromosomas sexuales. Transcurrieron 20 años para que esta tecnología fuera comercializada para su uso en inseminación artificial (IA) en ganado bovino. Esta técnica se basa en diferenciar los espermatozoides “X” y “Y” en cuanto a su contenido de DNA. En el caso de los bovinos, los espermatozoides “X” que producen hembras contienen un promedio de 3.8 % más DNA que los espermatozoides “Y” que producen machos<sup>(2)</sup>. El sexado de espermatozoides por medio de citometría de flujo es una herramienta valiosa que indudablemente tuvo un impacto benéfico en el mejoramiento

genético de la industria ganadera. Esta tecnología, tenía una eficacia en cuanto al nacimiento de crías con el sexo pre-seleccionado, del 85 al 95 %; sin embargo, no estaba completamente perfeccionada<sup>(3)</sup>.

La primera producción comercial de semen sexado la realizó la compañía Cogent en el Reino Unido<sup>(4)</sup>. Aunque tuvo un inicio relativamente lento, aumentó exponencialmente la producción de semen sexado bovino con un estimado de 4 millones de dosis en el 2008<sup>(4)</sup>. El semen sexado se comercializaba en pajillas de 0.25 ml a una concentración de 2.1 millones de espermatozoides<sup>(5)</sup>. Se utilizaba una concentración mínima eficiente, debido a que, al momento de sexar el semen, se perdía aproximadamente un 80 % del eyaculado entre los espermatozoides del sexo no deseado y los espermatozoides que no se lograban diferenciar<sup>(6)</sup>. Este semen era menos fértil y más delicado que el semen convencional, ya que los espermatozoides eran sometidos a varios procesos para la separación de los espermatozoides con cromosoma “X” y los de cromosoma “Y”, además del proceso de congelado y descongelado<sup>(7)</sup>. A pesar de las limitantes del semen sexado, claramente hubo una buena aceptación<sup>(4)</sup>. Se consiguieron porcentajes de gestación aceptables con la dosis reducida ( $2.1 \times 10^6$  espermatozoides) de semen sexado en vaquillas, pero se realizaron pocos trabajos con vacas lactantes<sup>(2)</sup>. En la actualidad la tecnología del sexado espermático ha evolucionado, modificando las técnicas, incrementando la velocidad del sexado, disminuyendo el estrés, incrementando la concentración espermática y por ende mejorando los parámetros de viabilidad espermática. Al momento existen tres técnicas de sexado que se aplican de forma comercial, todas a través de citometría de flujo; SxedULTRA™<sup>(8)</sup> Sexcel™<sup>(9)</sup> y Lumisort™<sup>(10)</sup>; sin embargo, existen otras técnicas prometedoras diferentes a la citometría de flujo: sexado espermático por medio de nanopartículas de oro<sup>(10)</sup> y sexado espermático mediante nanopartículas magnéticas<sup>(11)</sup> pero que aún no se utilizan de forma comercial.

## **Reseña histórica del sexado espermático**

### **Cuantificación del DNA espermático**

Sin lugar a dudas, la determinación del contenido de DNA en el espermatozoide abrió las puertas de la tecnología del sexado espermático. En 1976<sup>(12)</sup> se evaluó el contenido de DNA espermático en diferentes especies animales (hámster, ratón, conejo, toro, cerdo, caballo, ostras, abulón y pulpo) mediante citometría de flujo. En este trabajo encontraron que la distribución de las poblaciones dependía de la forma de la cabeza de los espermatozoides y de cómo se orientaban. En el caso de los espermatozoides de abulón (cabezas cilíndricas) presentaron un patrón de fluorescencia simétrico, sin embargo, en el caso de los

espermatozoides de euterios (cabezas alargadas), el patrón de fluorescencia fue asimétrico, lo cual presentaba un problema para aplicaciones de biología reproductiva; sin embargo, los autores llegaron a la conclusión de que este problema se podría solucionar por medio de un flujo plano dada la forma de la cabeza de los espermatozoides (Figura 1).

**Figura 1:** Morfología y morfometría de la cabeza del espermatozoide en diferentes especies<sup>(13)</sup>

Dimensiones y perfiles de cabezas de espermatozoides e índices de clasificación citométrica de flujo para algunos mamíferos domésticos y el hombre								
Dimensión	Toro	Borrego	Camero	Conejo	Gato	Perro	Caballo	Hombre
Longitud (µm)	9.1	9.0	8.1	7.7	7.7	7.0	6.5	4.6
Corte sagital de la cabeza								
Ancho (µm)	4.7	5.0	4.0	4.5	3.2	3.5	3.4	3.2
Perfil de la cabeza								
Área (µm <sup>2</sup> )	34.5	37.5	26.6	28.0	19.0	20.9	15.2	10.8
Diferencia entre X-Y (%)	3.8	3.6	4.2	3.0	4.2	3.9	3.9	2.8
Índice de clasificación*	131	115	112	84	80	82	59	31

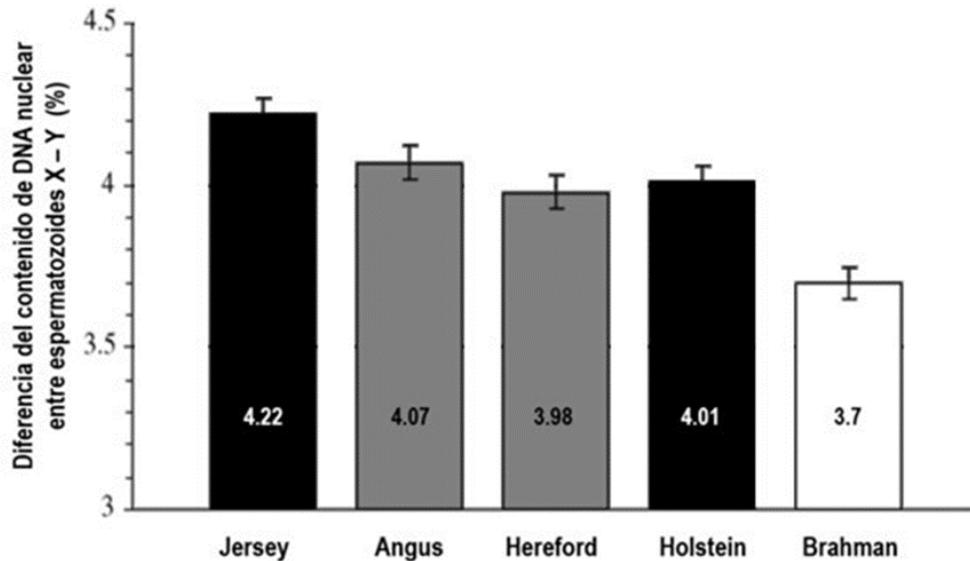
\* Una aproximación de la habilidad para la clasificación espermática por citometría de flujo en base al área del perfil de la cabeza (µm<sup>2</sup>) y la diferencia de DNA entre los espermatozoides X-Y

### Cromosomas “X” y “Y” en especies productivas

Dado que a través de la citometría de flujo se abrió la posibilidad de separar los espermatozoides con base a su contenido de DNA, el siguiente paso en el desarrollo de la tecnología de sexado espermático fue la cuantificación del DNA de los espermatozoides “X” y “Y” de especies domésticas. En 1983<sup>(14)</sup> se evaluó la diferencia en cuanto al contenido de DNA entre los espermatozoides con cromosoma “X” y “Y” de animales domésticos, donde se encontró una diferencia del 3.9 % en el caso de los toros, 3.7 % en los cerdos, 4.1 % en borregos y 3.9 % en conejos. En el caso de los toros, utilizaron 25 toros representando cinco razas (Jersey, Holstein, Hereford, Angus y Brahman) y observaron que el promedio entre la población de espermatozoides con cromosoma “Y” estuvo en un rango del 49.5 al 50.5 % para todas las razas. Las diferencias entre los espermatozoides con cromosoma “X” y “Y” no varió dentro de cada raza, pero fueron significativamente diferentes cuando se compararon

entre razas. La raza Jersey tuvo la mayor diferencia entre cromosoma “X” y “Y” y la raza Brahman tuvo la menor diferencia (Figura 2); esto indica que la raza Jersey es más fácil de sexar que la raza Brahman.

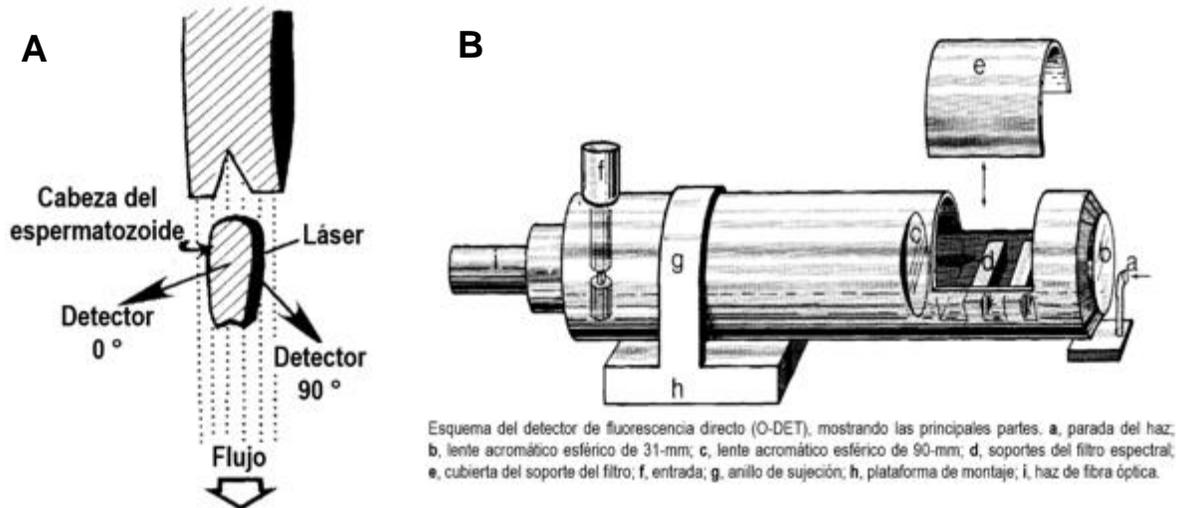
**Figura 2:** Diferencia entre el contenido de DNA de espermatozoides “X” y “Y” entre diferentes razas bovinas<sup>(13)</sup>



### Primeras modificaciones a los citómetros de flujo para sexado espermático

Una vez que se logró diferenciar a los espermatozoides “X” y “Y” con base en su contenido de DNA, se comenzó a trabajar en el citómetro de flujo para poder hacer lecturas más eficientes. En 1986<sup>(15)</sup> se realizaron las primeras modificaciones al citómetro de flujo para lograr separar las poblaciones espermáticas. En este trabajo, utilizaron un citómetro EPICS V (Coulter Corporation, FL, USA), al cual le hicieron adaptaciones para mejorar la orientación. Estas adecuaciones consistieron en la modificación del bisel del tubo de inyección de la muestra, además de la adición de un segundo detector de fluorescencia a 90° (Figura 3A), a lo largo del eje del rayo láser, dirigiendo la fluorescencia recogida por un haz de fibras ópticas hacia los tubos fotomultiplicadores (Figura 3B).

**Figura 3:** Bisel y tubo de inyección utilizado en el citómetro EPICS V. **A.** Punta biselada y detectores de fluorescencia. **B.** Tubos fotomultiplicadores<sup>(15)</sup>



Posteriormente se continuó con las modificaciones del tubo de inyección de la muestra, haciendo una punta biselada. Esta punta biselada ( $25^\circ$ ) provocó un flujo de muestra de una forma plana, así la fuerza hidrodinámica en los núcleos de los espermatozoides hizo que se orientaran preferentemente en el plano del flujo. Los núcleos teñidos con fluorocromos eran excitados por un rayo láser perpendicular al plano del flujo de la muestra. El láser incidía el lado plano de los núcleos de los espermatozoides orientados y la fluorescencia era detectada simultáneamente desde el lado plano por un detector de fluorescencia a  $0^\circ$ , además se agregó un detector estándar a  $90^\circ$ . Para generar la fluorescencia se utilizó un láser Coherent Innova 90-5 Argón-ion (Coherent Inc, CA, USA), operando en luz ultravioleta (351, 364 nm) a 150-200 mW de poder. La fluorescencia emitida individualmente por cada núcleo espermático era colectada por ambos detectores ( $0^\circ$  y  $90^\circ$ ) y almacenada como distribuciones de frecuencia (histogramas) en un sistema de pantalla de adquisición de datos multiparamétricos. El proceso de separación se llevó a cabo mediante la formación de gotas mediante un flujo de caída mediante vibración ultrasónica. Cada gota contenía un núcleo espermático el cual emitía fluorescencia, la cual era detectada y cargada electrostáticamente en uno de los dos contenedores para cada población “X” o “Y”. Con estas modificaciones y trabajando con espermatozoides de chinchilla, se logró que los núcleos de los espermatozoides fueran separados en “X” y “Y” a una velocidad de 55 núcleos/seg para cada población, con una pureza del 95 %<sup>(16)</sup>.

## Progenie obtenida a partir de espermatozoides con cromosoma “X” y “Y”

Hasta este momento solo se había trabajado con técnicas invasivas tanto para la tinción como para la selección de los espermatozoides con cromosoma “X” y “Y”, por lo cual el siguiente paso sería la selección de espermatozoides viables con los cuales se pudiera hacer IA.

En 1989<sup>(17)</sup> se llevó a cabo la primera prueba de IA utilizando espermatozoides sexados en conejas. Para esta prueba se empleó semen fresco de dos conejos, el cual fue sexado en un citómetro de flujo EPICS V con las modificaciones previas<sup>(15,16)</sup>. En esta prueba se obtuvieron poblaciones espermáticas con cromosoma “X” con una pureza del 86 % y 81 % para los espermatozoides con cromosoma “Y”. Con el semen obtenido se realizaron inseminaciones quirúrgicas en hembras previamente sincronizadas, con semen no sexado, con semen con cromosoma “X” y con semen con cromosoma “Y”. De las hembras inseminadas con semen con cromosoma “X”, 94 % de las crías fueron hembras; para el caso de las hembras inseminadas con semen con cromosoma “Y”, 81 % de las crías fueron machos. Este trabajo demostró la precisión de la técnica de sexado espermático por medio de citometría de flujo.

Posteriormente se reportaron las primeras crías bovinas nacidas a partir de embriones producidos *in vitro* con semen sexado, el cual tuvo una pureza del 79 % para los espermatozoides con cromosoma “X” y 70 % para cromosoma “Y”. Los embriones producidos *in vitro*, fueron sexados mediante PCR; el análisis indicó que el 73 % fueron hembras y el 69 % fueron machos, sin que hubiera diferencia estadísticamente significativa con respecto a lo obtenido en el análisis por citometría de flujo. En esta investigación se observó que el semen sexado continuaba teniendo su capacidad fertilizante y que tenía una pureza aceptable, sin embargo, la cantidad de espermatozoides seleccionados era muy baja para ser utilizada en IA, pero sí era factible de ser utilizada para la producción *in vitro* de embriones (PIV)<sup>(18)</sup>.

En 1996<sup>(19)</sup>, se realizó una prueba de campo en la que se inseminaron (inseminación profunda, ipsilateral al ovario con folículo de mayor tamaño) vaquillas Holstein con semen sexado (pureza de 90 %,  $1 \times 10^5$  espermatozoides) refrigerado a 5°C. En este trabajo pasaron aproximadamente 18 h desde que se recolectó el semen hasta que se inseminó a las vaquillas. Se realizaron 22 inseminaciones, de las cuales 11 hembras se diagnosticaron gestantes a los 60 días, de dichas gestaciones, se determinó el sexo por medio de ultrasonografía (entre los 60 y 70 días gestación), uno de los 11 fetos no fue del sexo predicho.

## Creación de la compañía XY Inc.

Los resultados obtenidos en la prueba de IA en bovinos<sup>(19)</sup>, alentaron a que el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América) concediera la licencia a la Fundación de Investigación de la Universidad Estatal de Colorado (CSURF), Fort Collins, CO, USA para proceder con la comercialización de la tecnología Beltsville de sexado espermático para la selección del sexo en espermatozoides mamíferos no humanos. Con la emisión de esta licencia en 1996, se formó la compañía XY Inc., la cual fue una colaboración entre la CSURF, Cytomation Inc. (CO, USA) e inversionistas privados. Esta compañía adquirió los derechos de la citometría de flujo de alta velocidad y la comercializó como el citómetro MoFlow™ (CO, USA). Este citómetro incluía las modificaciones realizadas en la aguja de inyección<sup>(15,16)</sup> y fue mejorado con la adición de una boquilla de selección que orientaba el 70 % de los espermatozoides mediante la presión del sistema de fluido hidrostático. Con esta mejora se podían analizar alrededor de 20,000 espermatozoides/seg y clasificar hasta 6,000 o más espermatozoides/seg de cada una de las poblaciones “X” o “Y” con un 90 % de precisión. En 2003 Cytomation Inc., fue comprada por la compañía danesa de biotecnología Dako, convirtiéndose en Dako A/S, la compañía siguió produciendo el citómetro para sexado espermático al que renombraron como MoFlow SX™ (CO, USA). Posteriormente la división de instrumentación de citometría de flujo fue adquirida por Beckman Coulter ubicada en Fullerton, CA, USA<sup>(5)</sup>.

## Inseminación artificial con dosis baja de semen sexado

En 1997 se realizó una investigación con dos objetivos: 1) evaluar los porcentajes de gestación de vaquillas sincronizadas e inseminadas (en el cuerno uterino, ipsilateral al ovario con folículo de mayor tamaño) con dosis muy reducidas de semen ( $1 \times 10^5$ ;  $2.5 \times 10^5$ ;  $2.5 \times 10^6$  espermatozoides/0.21 ml) refrigerado a 5 °C bajo condiciones ideales a nivel de campo; 2) evaluar los porcentajes de gestación de vaquillas sincronizadas e inseminadas (en el cuerno uterino, ipsilateral al ovario con folículo de mayor tamaño) con dosis bajas de semen sexado ( $1-2 \times 10^5$  espermatozoides/0.1 ml) refrigerado a 5 °C. En el primer experimento los porcentajes de gestación a los 40 días fueron del 41 %, 50 % y 61 % para  $1 \times 10^5$ ;  $2.5 \times 10^5$ ;  $2.5 \times 10^6$  espermatozoides/inseminación, respectivamente. En el segundo experimento, de 67 vaquillas inseminadas el 22 % resultaron gestantes y el 82 % de las crías fueron del sexo seleccionado<sup>(20)</sup>.

## **Criopreservación exitosa del semen sexado**

Posteriormente en 1999, se llevó a cabo otra investigación con el objetivo de poder evaluar el proceso de congelación del semen sexado; esto se pudo realizar debido a que el semen fue procesado en un citómetro de flujo MoFlow SX™, con lo cual se pudo tener suficiente cantidad de espermatozoides a diferencia de cuando se trabajó con el citómetro de flujo EPICS V. En este trabajo se determinó que el uso del láser a una potencia de 100 mW tenía un menor impacto sobre la motilidad progresiva del semen post-descongelado que cuando se utilizó a 150 mW. También se observó que la motilidad progresiva post-descongelado fue superior cuando se utilizó un diluyente en base a TRIS que cuando se utilizó citrato-yema de huevo o TEST. En cuanto al tiempo de equilibrio a 5 °C previo a la congelación, se concluyó que fue mejor la motilidad progresiva post-descongelado de 3 a 6 h que cuando duró 18 h. Por otra parte, se determinó que fue mejor mantener el semen crudo (semen recién colectado, sin diluir) a 22 °C que diluirlo con el medio TALP adicionado con el fluorocromo Hoechst 33342 (ICN Biomedicals Inc., OH USA). Con estos nuevos procedimientos para el sexado espermático se consiguieron resultados ligeramente menores que con semen convencional en cuanto a motilidad e integridad acrosomal, y se consideró que el uso de semen sexado para inseminación artificial de forma comercial estaría disponible en aproximadamente 2 años<sup>(21)</sup>.

## **Inicios de la comercialización del semen sexado**

La compañía Monsanto ubicada en St, Louis, Mo, USA, desarrolló un sistema de selección espermática único en su clase, el cual utilizaba 16 boquillas de selección en vez de una sola como en el caso de los citómetros MoFlow SX™. Este equipo se pretendía comercializar, pero al parecer debido a problemas con bajos porcentajes de concepción que se detectaron en sus primeras pruebas, la compañía desistió<sup>(5)</sup>. En 2003, Genetic Resources International / Sexing Technologies en Navazota TX, USA compró la propiedad intelectual y el equipo de sexado espermático desarrollado por Monsanto y toda la infraestructura de XY Inc<sup>(5)</sup>. Actualmente la compañía cambió su nombre a STgenetics®<sup>(22)</sup>.

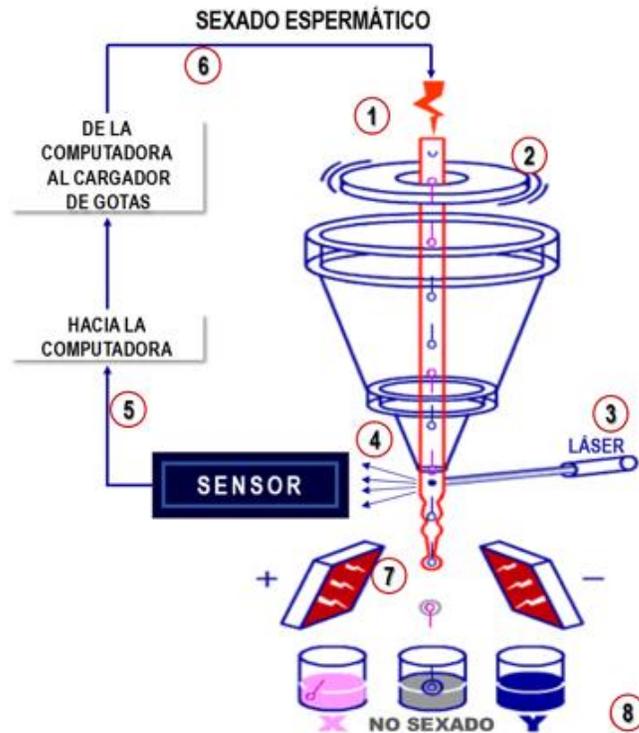
## **Sexado espermático con la técnica convencional (Legacy o XY)**

### **Aspectos generales del sexado espermático Legacy**

El sistema de sexado espermático Legacy usaba un citómetro de flujo MoFlow SX™, el cual consistía en un circuito cerrado de alta velocidad de flujo de líquidos, que permitía alinear y leer los espermatozoides individualmente en microgotas. La fluorescencia que producía cada

espermatozoide teñido era procesada por un software que permitía al operador seleccionar la población espermática con mínima y máxima luminosidad según el sexo que se quería separar. Los espermatozoides elegidos eran cargados eléctricamente, desviados del flujo original en un campo magnético y finalmente recolectados<sup>(6)</sup> (Figura 4). Después se concentraban mediante centrifugación y posteriormente eran congelados, quedando vivos solo la mitad del total<sup>(4)</sup>.

**Figura 4:** Sistema de clasificación de espermatozoides por citometría de flujo



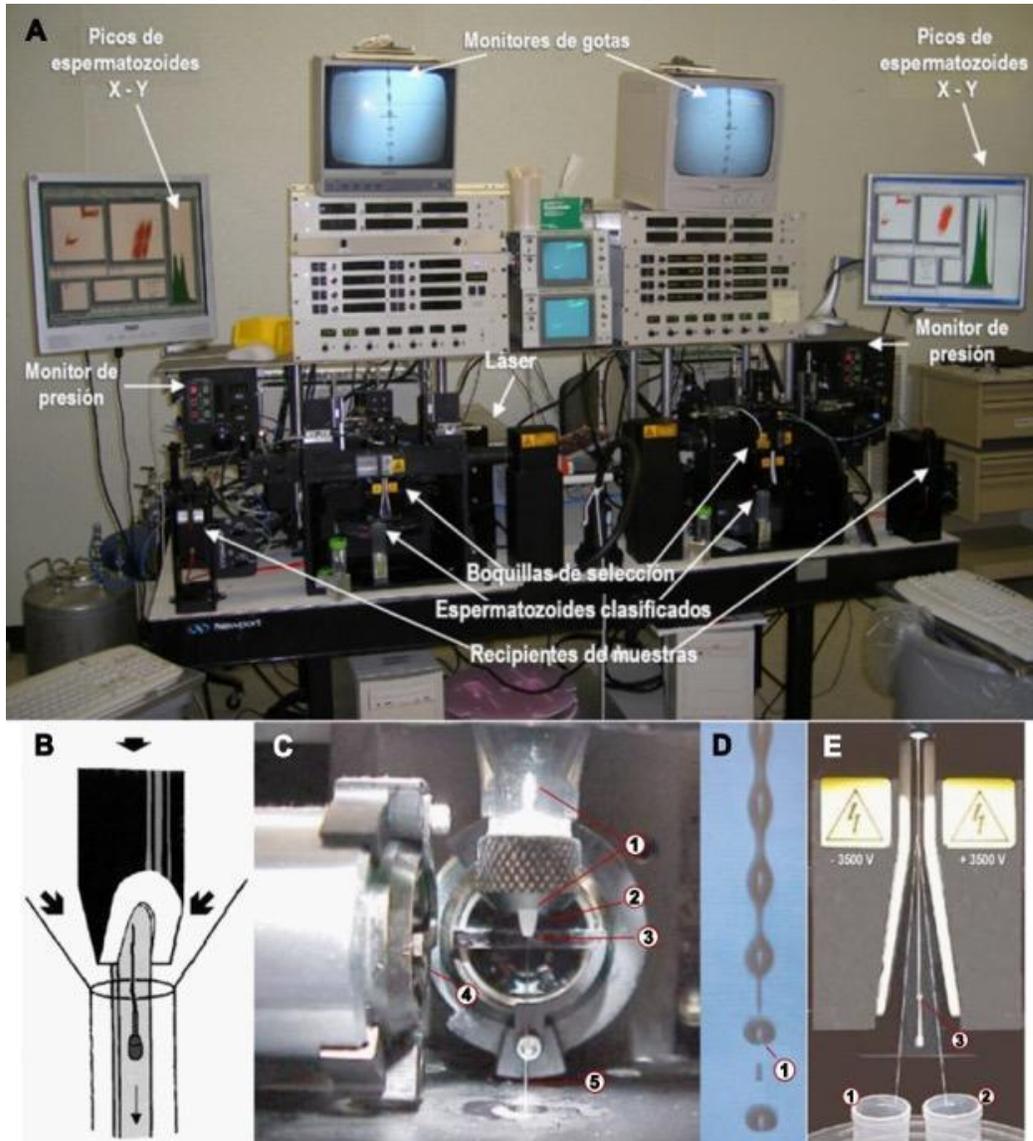
1) Los espermatozoides se inyectan a través del sistema después de haber sido teñidos con un fluorocromo de unión al DNA, 2) Un anillo vibratorio de cristal piezoeléctrico hace que se formen 90,000 gotas por segundo a medida que la corriente sale del sistema, 3) Un láser UV ilumina los espermatozoides mientras fluyen por el rayo, 4) Los espermatozoides X fluorescen con 4 % más intensidad que los espermatozoides Y, 5) La señal detectada con un tubo fotomultiplicador, es enviada a una computadora que procesa la fluorescencia detectada y categoriza si el espermatozoide es X, Y o no orientado, 6) Negativo, positivo o sin carga, se aplica a las gotas que emergen del flujo, 7) A medida que las gotas cargadas pasan entre placas cargadas continuamente, éstas se desvían, 8) Los espermatozoides son colectados en tres contenedores: X, Y, no orientado o sin espermatozoide<sup>(2)</sup>.

La calidad y concentración espermática de los eyaculados eran quizás los factores más importantes para obtener una buena separación de las dos poblaciones, ya que se demostró una alta correlación entre la motilidad, la concentración y la separación de las poblaciones con citómetros de flujo de alta velocidad. Por lo tanto, la separación de espermatozoides “X”

y “Y” se llevaba a cabo normalmente en eyaculados con más del 50 % de motilidad progresiva y 75 % de espermatozoides normales<sup>(6)</sup>.

Con los citómetros de alta velocidad, los MoFlo SX™ (Figura 5), los espermatozoides pasaban por el citómetro a una velocidad de 80 km/h, aproximadamente 20,000 espermatozoides totales/segundo<sup>(3)</sup> y se requería de 9 min para sexar una pajilla de  $2 \times 10^6$  espermatozoides, aproximadamente siete pajillas por hora<sup>(5)</sup>.

**Figura 5:** Citómetro MoFlow SX™ para sexado espermático XY



**A.** Clasificador de espermatozoides y computadora. **B.** Punta biselada. **C.** Óptica de hidrodinámica, 1) Boquilla con punta orientadora X Y, 2) Objetivo de fluorescencia lateral: orientación celular, 3) Barra de bloqueo, 4) Objetivo de fluorescencia frontal: cuantificador de DNA celular, 5) Salida de flujo. **D.** Formación de microgotas, 1) Última gota unida. **E.** Placas de deflexión, 1) Espermatozoides con cromosoma Y, 2) Espermatozoides con cromosoma X, 3) Corriente residual<sup>(1,2,5)</sup>.

En el proceso de sexado, aproximadamente del 100 % de los espermatozoides, un 20 % terminaba colectado en la fracción “X” y un 20 % en la fracción “Y”; el 60 % restante lo constituían espermatozoides que no pudieron ser detectados por el citómetro, espermatozoides muertos y gotas sin espermatozoides<sup>(3,6)</sup>.

Las características espermáticas y supervivencia del espermatozoide sexado eran pobres comparadas con el espermatozoide no sexado (el incremento de espermatozoides muertos alcanzaba el 18.6 %); esto se atribuía al proceso de sexado<sup>(7)</sup> que iniciaba con muchas horas de mantenimiento desde la recolección del semen hasta que el semen era sexado<sup>(1)</sup>.

## **Factores que afectan los resultados del semen sexado Legacy en la IA**

### **Viabilidad**

El daño debido al proceso de sexado con la técnica Legacy repercutía directamente en los porcentajes de gestación. La menor fertilidad del semen sexado se debía principalmente a la exposición a fuerzas mecánicas durante el proceso de sexado, y en menor grado a la tinción y exposición al láser<sup>(3)</sup>. Después del proceso de sexado, los espermatozoides eran parcialmente capacitados, disminuyendo la vida útil y por consiguiente la fertilidad se reducía<sup>(23)</sup>. Por todo lo mencionado, las pajillas tenían un mínimo de 35 % de espermatozoides con motilidad progresiva y mínimo 85 % de certeza del sexo para alcanzar los estándares de aprobación<sup>(6)</sup>.

### **Concentración**

Además del daño causado por el proceso de sexado, otra de las causas de la disminución en la fertilidad del semen sexado Legacy se debía al bajo número de espermatozoides que contiene la dosis<sup>(6,24)</sup>. Una dosis de 2.1 millones de espermatozoides es una dosis baja para IA<sup>(25)</sup>; sin embargo, se observó que para la mayoría de los toros la concentración de espermatozoides para obtener un porcentaje del 80 % de concepción normal es aproximadamente de 2 millones de espermatozoides por dosis<sup>(23)</sup>. En vacas inseminadas (12 h después del celo natural) con dosis de 2 millones de espermatozoides de semen sexado y convencional los porcentajes de gestación fueron menores al 30 % y no difirieron entre el semen sexado y el convencional, indicando que el número total de espermatozoides inseminados parece tener un mayor impacto sobre la concepción que el uso de semen sexado

o convencional<sup>(23)</sup>. Por otra parte, no se encontró diferencia ( $P=0.64$ ) al inseminar (12 h después del celo natural) vacas Holstein con 2.1 y 3.5 millones de espermatozoides sexados obteniendo porcentajes de 23 % y 25 % respectivamente<sup>(26)</sup>. Sin embargo, bajo condiciones ideales de inseminación, y con dosis de 3 millones de espermatozoides sexados en vacas de carne en lactación, los porcentajes de gestación fueron similares a los de vaquillas<sup>(27)</sup>. En otro estudio se encontró que los porcentajes de gestación fueron virtualmente idénticos con 1, 1.5 y 3 millones de espermatozoides por dosis (54 %, 56 % y 51 %, respectivamente)<sup>(28)</sup>. Con base en los trabajos realizados, se puede ver que la baja concentración espermática de las dosis de semen sexado era suficiente para obtener porcentajes adecuados de gestación.

### **Diferencias entre toros**

Se han reportado diferencias entre toros respecto a la tolerancia de los espermatozoides al proceso de sexado<sup>(3,27)</sup>. Además, se encontró una diferencia de hasta el 18 % de gestación de acuerdo al toro utilizado<sup>(23,27)</sup>, lo que indica que la fertilidad del semen sexado parece diferir entre toros. Esto implica que la fertilidad del semen sexado no puede ser predicha de forma precisa por medio de pruebas de campo como con semen convencional<sup>(24)</sup>. Por lo tanto, se debe tener cuidado al interpretar los resultados obtenidos con el semen sexado, ya que existe una fuerte influencia del toro utilizado con los porcentajes de gestación<sup>(23)</sup>. De esta manera, el monitoreo de resultados de semen sexado y mantenimiento de los toros (Holstein) con la más alta fertilidad para el sexado es la mejor manera para incrementar la fertilidad del mismo<sup>(24)</sup>.

## **Otras aplicaciones del semen sexado Legacy**

### **Semen sexado reverso**

El sexado espermático reverso (RSS), o también conocido como semen revertido, es una técnica que permite obtener espermatozoides con cromosoma “X” y “Y” a partir de semen congelado de manera convencional. Una ventaja de esta tecnología es el poder obtener semen sexado de toros de alto mérito genético que hayan muerto<sup>(29)</sup>. El RSS se ha asociado a otras biotecnologías como la IA<sup>(30)</sup> y la PIV<sup>(31)</sup>. En pruebas realizadas con IA, los porcentajes de gestación fueron bajos, del 4 a 10%<sup>(30)</sup>, con 14.2 % de crías nacidas<sup>(32)</sup>. Por lo mencionado, el principal uso de esta tecnología es con la PIV<sup>(29)</sup>.

### **Producción *in vivo* de embriones con semen sexado Legacy**

El uso del semen sexado Legacy para la ovulación múltiple de donadoras ha tenido resultados muy variables, generalmente malos o muy bajos con respecto al semen convencional, donde se reportan entre 1.4<sup>(33)</sup> y 2.3s embriones transferibles<sup>(34)</sup> por recolecta. Algunos resultados prometedores utilizando vaquillas reportan que no hay diferencia significativa entre semen sexado y convencional<sup>(35)</sup>. Por todo lo anterior, el uso de semen sexado Legacy en programas de ovulación múltiple se ha visto limitado.

### **Producción *in vitro* de embriones con semen sexado Legacy**

Históricamente siempre se ha considerado que el método más económico de usar el semen sexado en programas de reproducción en ganado bovino es a través de la PIV, ya que con esta biotecnología reproductiva se requiere una cantidad muy pequeña de espermatozoides. Combinada con la aspiración folicular guiada por ultrasonido, se obtienen grandes cantidades de embriones generados tanto de espermatozoides “X” como “Y”. Muchos estudios se han realizado utilizando semen sexado Legacy para producir embriones *in vitro*, y se han descrito muchos aspectos relacionados con la producción *in vitro* de embriones bovinos con este semen, entre estos se encuentran las bajas tasas de fertilización, de divisiones, de producción de blastocistos, de gestación y la variación entre toros<sup>(36)</sup>. Al evaluar el semen sexado fresco comparado con semen convencional fresco y semen sexado congelado comparado con semen convencional congelado para PIV, se encontró que en el caso del semen fresco los resultados parecían ser similares en cuanto a parámetros de motilidad, sin embargo, en el porcentaje de divisiones fueron menores ( $P < 0.001$ ) para el semen sexado fresco con respecto al semen convencional fresco (66 vs 76 %, respectivamente). Al utilizar semen sexado congelado y semen convencional congelado, no tuvieron diferencias en el porcentaje de divisiones. Otro aspecto observado con el semen sexado fue que hubo un retraso de medio a un día en el desarrollo al estadio de blastocisto. Estos autores encontraron que la producción de blastocistos con semen sexado fue ~30 % menor comparado con semen convencional<sup>(37)</sup>. En otro estudio se reportó que el porcentaje de producción de blastocistos obtenidos a partir de ovocitos colectados por aspiración folicular guiada por ultrasonido fue menor ( $P < 0.05$ ) cuando se utilizó semen sexado comparado con semen convencional<sup>(38)</sup>. En general la producción de blastocistos con semen convencional es de alrededor del 30 al 40 % y del 10 al 20 % con semen sexado<sup>(36)</sup>.

Por otra parte, en el caso de la PIV con RSS no se encontró diferencia estadísticamente significativa ( $P > 0.1$ ) entre el porcentaje de blastocistos obtenidos utilizando semen sexado y RSS<sup>(31,39)</sup>. De forma comercial en razas *Bos taurus* y *Bos indicus*, el uso de RSS para la PIV

tuvo un porcentaje promedio del 30 % de producción de blastocistos<sup>(29)</sup>. Un aspecto relevante es que se ha encontrado que las crías producidas a partir de PIV con RSS presentan significativamente mayores pesos al nacimiento ( $P=0.028$ ), mayor crecimiento postnatal ( $P=0.001$ ), mayores porcentajes de mortalidad (en los primeros 6 meses de edad;  $P=0.008$ ) y reducción en la producción de leche ( $P=0.001$ ), grasa ( $P=0.007$ ) y proteína ( $P=0.031$ ), con respecto a las crías nacidas a partir de IA<sup>(40)</sup>.

## **Semen sexado SexedULTRA™**

### **Aspectos generales de la técnica**

Las causas de una menor fertilidad del semen sexado se han atribuido a los diversos cambios bioquímicos a los que son sometidos los espermatozoides durante el proceso de sexado. Existen alrededor de 20 diferentes subprocesos involucrados en el sexado espermático, entre los más críticos e importantes se encuentran el tiempo de mantenimiento antes de realizar la tinción, exposición al láser para generar fluorescencia y lograr la separación entre espermatozoides (con cromosomas “X” y “Y”) y por último la exposición a un campo eléctrico para la separación de poblaciones relativamente puras en un contenedor<sup>(1,3,13)</sup>. De acuerdo con lo mencionado, el desafío era buscar nuevas formas de controlar estos eventos utilizando nuevos hardware, software, además de nuevas técnicas de procesamiento durante, antes y después de las etapas de separación espermática<sup>(13)</sup>.

La tecnología Legacy o XY descrita en previas publicaciones<sup>(41,21)</sup> ha sido modificada y ahora cambió a un totalmente nuevo sistema de sexado llamado ultralsexado o por su marca, SexedULTRA™ (Navazota, TX, USA). La tecnología de ultralsexado se ha diseñado para ser menos agresiva para el espermatozoide durante los puntos más críticos del proceso, mejorando particularmente los cambios de pH (sistema buffer) y estrés oxidativo<sup>(42)</sup>.

### **Modificaciones a la técnica**

Aunque en la actualidad existen muy pocos datos acerca de esta nueva tecnología (debido a cuestiones de propiedad intelectual), se ha reportado que, en esta nueva técnica, se alteró la fisiología espermática para facilitar el ingreso del fluorocromo Hoechst 33342 y para retenerlo dentro de la célula, lo que permite que haya mayor fluorescencia y con esto se logre una mejor discriminación entre las poblaciones “X” y “Y”. Por otra parte, el proceso de

criopreservación es otro paso muy estresante para la célula espermática, por lo cual, la tecnología SexedULTRA™ se ideó para simplificar y optimizar los medios y controlar estos agentes estresores para el espermatozoide. Se modificó el protocolo, con un tratamiento previo al proceso de tinción, además del uso de un nuevo medio de tinción que mantiene el pH estable durante un periodo de tiempo más prolongado. El medio de congelamiento también fue modificado, tomando en cuenta la dosis de semen sexado<sup>(42)</sup>.

En el éxito del proceso de ultralsexado influyeron principalmente dos factores: las modificaciones en los medios y los equipos para realizar el sexado. Los citómetros MoFlo SX™ (Cytomation Inc, Fort Collins, CO, USA) eran equipos muy costosos, voluminosos, tenían bajo rendimiento y requerían de personal altamente capacitado para operarlos (Figura 4). Los modernos citómetros Genesis desarrollados por Cytonome ST™ (Boston, MA, USA) tienen características electrónicas avanzadas y automatizadas con múltiples cabezas en una máquina para una separación paralela. El citómetro Genesis III™ (Figura 6), utiliza un láser de estado sólido, dos detectores ortogonales (0° y 90° con respecto al laser), una boquilla de orientación y una separación de subpoblaciones de ~8000 espermatozoides/segundo con ~90% de pureza, alcanzando un máximo de separación de 500 millones de espermatozoides/hora<sup>(42)</sup>.

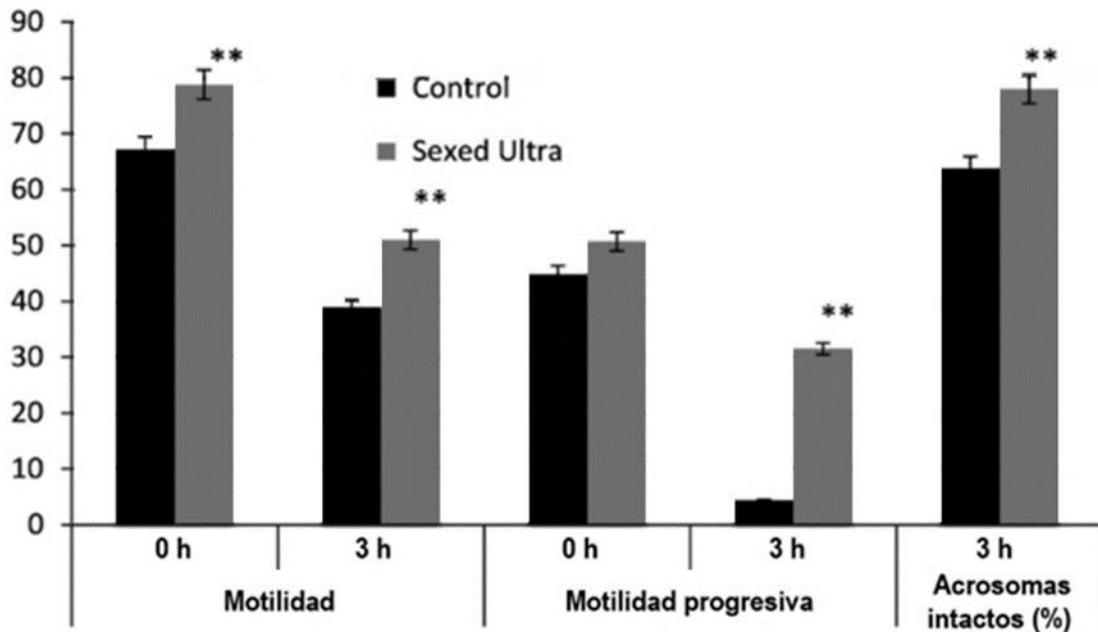
**Figura 6:** Citómetro Genesis III™ para sexado espermático<sup>(42)</sup>



## Pruebas de laboratorio de la tecnología SexedULTRA™

Con estos cambios, en las pruebas de laboratorio, se incrementó la motilidad espermática, así como la integridad del acrosoma con respecto a la tecnología XY Legacy (sexado convencional) considerando las mismas concentraciones espermáticas (Figura 7)<sup>(8)</sup>.

**Figura 7:** Comparación de los métodos de sexado SexedULTRA™ y XY Legacy (Testigo) sobre la evaluación de calidad *in vitro* de semen



La motilidad espermática y la motilidad progresiva fueron evaluadas usando evaluación de semen asistida por computadora y el porcentaje de acrosomas intactos fue determinado mediante microscopía de contraste de interferencia diferencial (n=12 toros). Barras con dos asteriscos difieren significativamente ( $P<0.001$ )<sup>(8)</sup>.

Además, en pruebas de fertilización *in vitro*, el semen ultrasegado tuvo mayor número de embriones congelables comparado con el semen sexado Legacy con un 13.2 % y 9 %, respectivamente<sup>(8)</sup>.

Por otra parte, en 2018<sup>(43)</sup>, se evaluó la calidad espermática considerando, integridad de la membrana plasmática, porcentaje de acrosomas intactos e índice de fragmentación del DNA (DFI) del semen SexedULTRA™ comparado con el semen convencional. En el semen SexedULTRA™ a las 3 h post-descongelado, el porcentaje de acrosomas intactos fue significativamente mayor con respecto al semen convencional (Cuadro 1). En cuanto al DFI, el semen SexedULTRA™ tuvo un DFI significativamente menor en todos los puntos de evaluación con respecto al semen convencional. Los autores concluyen que la tecnología SexedULTRA™ mantiene la calidad del semen y en muchos casos tiene mayor longevidad *in vitro* comparado con el semen convencional.

**Cuadro 1:** Comparación de características de semen SexedULTRA™ y semen convencional congelado-descongelado

Valor	Tiempo	Medias mínimo cuadráticas		Tukey		
		Convencional	SexedULTRA™	Diferencia de medias	EE	<i>P</i>
Motilidad visual	0 h	61.0	63.8	2.8	2.4	0.250
	3 h	50.1	51.0	0.9	2.4	0.709
Motilidad total	0 h	60.6	63.8	3.2	2.2	0.157
	3 h	49.6	50.0	0.4	2.2	0.862
Motilidad progresiva	0 h	49.8	53.0	3.3	2.5	0.198
	3 h	28.5	29.4	1.0	2.5	0.698
Membrana plasmática intacta	0 h	55.6	56.7	1.1	1.6	0.502
	3 h	40.7	43.4	2.6	1.6	0.121
Acrosomas intactos	0 h	72.6	76.0	3.3	2.1	0.126
	3 h	55.6	62.3	6.7	2.1	<b>0.004</b>

EE= error estándar. Las diferencias fueron consideradas significativas con un valor  $P < 0.05$  (Valores subrayados y en negritas),  $n=10^{(43)}$ .

### Evaluación y estandarización de la tecnología SexedULTRA™ en campo

En la primera evaluación a nivel de campo utilizando la tecnología SexedULTRA™ para IA (Cuadro 2)<sup>(44,45)</sup>, hubo un incremento del 7.4 % en las tasas de concepción de vaquillas con respecto a la tecnología XY Legacy. La segunda prueba se realizó en colaboración con la compañía comercial Select Sires (OH, USA); en esta prueba se utilizaron ocho toros Holstein de los cuales se recolectó semen y se procesó utilizando tanto la tecnología SexedULTRA™ como la tecnología XY Legacy, con lo que se inseminaron 6,930 vaquillas. Los resultados mostraron que el semen SexedULTRA™ incrementó 4.5 % ( $P < 0.001$ ) la tasa de concepción con respecto al semen XY Legacy (46.1 y 41.6 %, respectivamente)<sup>(44,45)</sup>.

**Cuadro 2:** Resultados de pruebas de fertilidad en campo de vaquillas inseminadas con semen SexedULTRA™<sup>(44,45)</sup>

	Número de inseminaciones	Porcentaje de concepción
Prueba Sexing Technologies		
XY Legacy	1,166	47.3 <sup>a</sup>
SexedULTRA™	957	54.7 <sup>b</sup>
Diferencia de medias		7.4
Prueba Select Sires		
XY Legacy	3,384	41.6 <sup>a</sup>
SexedULTRA™	3,546	46.1 <sup>b</sup>
Diferencia de medias		4.5

<sup>ab</sup> Dentro de la prueba, filas con diferentes superíndices difieren ( $P < 0.01$ ).

Con estas pruebas se observó que los efectos deletéreos de la tecnología XY Legacy fueron parcialmente aminorados con la nueva tecnología SexedULTRA™, por lo que el siguiente paso lógico fue incrementar la concentración espermática por dosis, aunque en el pasado el aumento en la concentración espermática no mejoró la fertilidad. La siguiente prueba se realizó en colaboración con la compañía German Genetics International, para lo cual utilizaron cinco toros Holstein a los cuales se les recolectó semen, y cada eyaculado se dividió en cuatro partes para ser procesado con la tecnología XY Legacy de 2.1 millones de espermatozoides, SexedULTRA™ de 2.1, 3 y 4 millones de espermatozoides por dosis; además se utilizó semen de estos mismos toros de eyaculados contemporáneos congelados de forma convencional, con una concentración de 15 millones de espermatozoides por dosis. Se calcularon las tasas de no retorno al estro a 65 días a partir de 7,855 inseminaciones con semen sexado y 62,398 inseminaciones con semen convencional. En general el semen XY Legacy de 2.1 millones de espermatozoides por dosis resultó en menores tasas de no retorno al estro comparado con todos los tratamientos de SexedULTRA™ y semen convencional. Los tratamientos de SexedULTRA™ de 2.1 y 3 millones de espermatozoides por dosis fueron similares, pero menores que el semen convencional, sin embargo, el tratamiento de SexedULTRA™ de 4 millones de espermatozoides por dosis tuvo tasas de no retorno al estro similares al semen convencional de 15 millones de espermatozoides por dosis (Cuadro 3)<sup>(45)</sup>. Con los datos obtenidos se demostró por primera vez el efecto de la dosis respuesta utilizando semen sexado y surgió la tecnología SexedULTRA-4M™ ( $4 \times 10^6$  espermatozoides/pajilla).

**Cuadro 3:** Efecto del incremento de la dosis espermática con semen SexedULTRA™ sobre las tasas de no retorno al estro a 56 días<sup>(45)</sup>

Tratamiento	Número de inseminaciones	Tasa de no retorno al estro a 56 días (%)
Legacy 2.1 millones	1,953	55.9 <sup>a</sup>
SexedULTRA™ 2.1 millones	1,999	59.9 <sup>b</sup>
SexedULTRA™ 3.0 millones	2,013	60.0 <sup>b</sup>
SexedULTRA™ 4.0 millones	1,890	66.7 <sup>c</sup>
Convencional 15.0 millones	62,298	66.5 <sup>c</sup>

<sup>abc</sup> Literales distintas en la misma columna difieren ( $P < 0.001$ ).

En el caso de ovulación múltiple, se evaluó el uso de semen SexedULTRA™ en donadoras de embriones Holstein lactantes. En este trabajo utilizaron tres dosis de FSH para la ovulación múltiple e inseminaron con semen SexedULTRA™. Con las dosis más altas de FSH se obtuvieron 4.5 embriones, sin encontrar diferencia entre las calidades (Cuadro 4)<sup>(46)</sup>.

**Cuadro 4:** Porcentajes de todas las estructuras recuperadas, embriones transferibles y no transferibles de vacas lecheras lactantes superovuladas con tres protocolos<sup>(46)</sup>

	F700	F1000	F700 P300
Estructuras totales	4.7 ± 3.0 <sup>a</sup>	8.1 ± 3.8 <sup>b</sup>	8.5 ± 6.4 <sup>b</sup>
Embriones transferibles (%)	1.9 ± 1.7 <sup>a</sup> (41.2)	4.4 ± 2.6 <sup>b</sup> (54.7)	4.5 ± 3.3 <sup>b</sup> (52.9)
Embriones no transferibles (%)	2.8 ± 3.2 (58.8)	3.6 ± 2.9 (45.3)	4.0 ± 5.4 (47.1)
Grado 1* (%)	19/33 (57.6)	96/150 (64.0)	66/117 (56.4)
Grado 2* (%)	13/33 (39.4)	46/150 (30.7)	43/117 (36.8)
Grado 3* (%)	1/33 (3.0)	8/150 (5.3)	8/117 (6.8)
Media de Grado*	1.45 ± 0.5	1.41 ± 0.6	1.50 ± 0.6

F700= Folltropin 700 UI, F1000= Folltropin 1000 UI, F700P300= Folltropin 700 UI+Pluset 300UI.

\* Grados de calidad (IETS 1-3) de embriones bovinos transferibles recuperados de vacas lecheras lactantes superovuladas con tres protocolos.

<sup>ab</sup> Literales distintas en la misma columna difieren ( $P < 0.05$ ).

## **Tecnología SexedULTRA-4M™ y su aplicación en campo respecto al semen convencional**

En el caso de la tecnología SexedULTRA-4M™ ( $4 \times 10^6$  espermatozoides/pajilla)<sup>(47)</sup>, se evaluó el uso del semen SexedULTRA-4M™ en inseminación artificial a tiempo fijo utilizando vacas y vaquillas de carne. Sus resultados muestran que no hubo diferencia significativa ( $P=0.61$ ) en cuanto al porcentaje de preñeces entre el semen convencional (61.9 %) y el semen SexedULTRA-4M™ (63.8 %), cuando las hembras presentaron celo antes de la inseminación artificial a tiempo fijo.

En otro experimento<sup>(48)</sup> se comparó el uso de semen convencional y semen SexedULTRA-4M™ en IA utilizando tres toros (Angus) diferentes y vacas de carne. En este estudio, se encontró que la fertilidad está influenciada por el toro, ya que solo uno de tres toros no tuvo diferencias en cuanto al porcentaje de gestaciones al comparar el semen convencional y el SexedULTRA-4M™, lo cual muestra que existe diferencia entre toros, así como ocurre con el semen sexado Legacy.

En el caso de ganado lechero, mediante IA de vacas Holstein en pastoreo evaluaron el semen convencional y el semen SexedULTRA-4M™ de 10 toros y se concluyó que el semen SexedULTRA-4M™ tiene menor tasa de concepción comparado con el semen convencional; sin embargo, eso depende del toro, de la fertilidad de la vaca y del hato<sup>(49)</sup>.

### **Producción *in vitro* de embriones con semen SexedULTRA-4M™**

A la fecha, existe muy poca información acerca del uso de semen sexado SexedULTRA-4M™ en la PIV. En un trabajo, se evaluó este semen en PIV y se encontró que el semen SexedULTRA-4M™ generó mayor número de embriones congelables comparado con el semen sexado Legacy (13.2 y 9.2 % respectivamente;  $P>0.05$ )<sup>(8)</sup>. En otros dos trabajos, se evaluó la PIV utilizando semen convencional y SexedULTRA-4M™ del mismo toro, utilizando ovocitos de animales adultos<sup>(50)</sup> y utilizando ovocitos de hembras prepúberes de 6 meses de edad<sup>(51)</sup> y no se encontraron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre los blastocistos producidos con semen convencional y los producidos con SexedULTRA-4M™ en ambos trabajos; sin embargo, en el caso de los animales adultos hubo mayor número de blastocistos con el semen SexedULTRA-4M™ (43.6 y 37.8 % respectivamente;  $P>0.05$ ), sin ser estadísticamente significativo. En otro trabajo se evaluó la PIV utilizando semen convencional y SexedULTRA-4M™ de cuatro toros de la raza Angus; en este estudio se encontró que hubo dos toros que fueron significativamente superiores para la producción de

blastocistos con el semen SexedULTRA-4M comparado con el semen convencional (24.2 y 20.4 %; 14.2 y 10.4 % respectivamente ( $P<0.05$ ). En este trabajo también se concluyó que los resultados de la PIV con semen SexedULTRA-4M fueron similares a los obtenidos con semen convencional<sup>(52)</sup>.

## Otras técnicas de sexado espermático

### Lumisort™

Lumisort™ (Microbix Biosystems Inc., ON, Canadá) es una tecnología de sexado espermático de nueva generación para la industria ganadera. El método Lumisort combina un sistema óptico para la detección del sexo de los espermatozoides, con un láser rápido y eficaz que destruye a los espermatozoides que no son del sexo deseado. Los espermatozoides no sufren daños debidos a la presión hidrostática, no utiliza gotas por lo que no requiere de vibraciones para alinear los espermatozoides, no requiere de cargas eléctricas y los espermatozoides seleccionados son separados gentilmente. Se inició por primera vez en el año 2005 y posteriormente se introdujo en la industria lechera en 2013<sup>(10)</sup>, sin embargo, no hay trabajos publicados en revistas científicas donde se evalúe esta tecnología.

### SexCell™ (Ablación de género)

Esta tecnología es muy reciente, al igual que la tecnología de Lumisort, el sexado se realiza por medio de citometría de flujo y los espermatozoides del sexo no deseado son destruidos<sup>(9)</sup>, sin embargo, no se describe a detalle como es el proceso de sexado. Esta tecnología ha sido generada por la compañía Genus-IntelliGen Technology<sup>(53)</sup> y es comercializada por la compañía ABS (WI, USA)<sup>(54)</sup>. Solo existe una publicación en la que evaluaron la tasa de concepción en vacas y vaquillas de carne inseminadas con semen convencional y semen sexado por ablación de género. El semen convencional tuvo resultados estadísticamente superiores comparado con el semen sexado en vacas, sin embargo, en vaquillas no hubo diferencia significativa entre el semen convencional y el semen sexado<sup>(9)</sup>.

## Técnicas en desarrollo

### Sexado espermático mediante nanopartículas de oro

Esta técnica emplea nanopartículas de oro funcionalizadas (AuNPs) para detectar secuencias específicas del cromosoma “Y”, en espermatozoides morfológica y funcionalmente intactos.

El primer paso consiste en el ingreso de las AuNPs a través de la membrana del espermatozoide. Posteriormente, se da un acoplamiento no invasivo de una secuencia de DNA específica con la doble cadena de DNA espermático. Una vez acopladas, se da el reconocimiento del patrón de señal específico del cromosoma “Y” para identificar la población de espermatozoides<sup>(10)</sup>.

### **Sexado espermático mediante nanopartículas magnéticas**

Esta técnica solo se ha reportado en burros, sin embargo, posteriormente se podría emplear en otras especies. Las nanopartículas magnéticas (MNPs) tienen un diámetro de 50 nm y están compuestas por un núcleo de magnetita de hierro cubierto de sílice, y se cargan negativamente. Las MNPs se mezclan con el semen y se exponen a un imán durante 20 min. La interacción entre la carga negativa de las MNPs y el potencial eléctrico de los espermatozoides es diferente para aquellos espermatozoides con cromosoma “X” (20 mV) y aquellos con cromosoma “Y” (16 mV). De esta forma los espermatozoides con cromosoma “Y” se van a mantener más cerca a las MNPs y van a formar un acúmulo de espermatozoides, y de esta manera se pueden separar las poblaciones<sup>(11)</sup>.

## **Perspectivas a futuro**

Es notable el avance de las diferentes tecnologías involucradas en el sexado espermático. Esto muestra que el sexado espermático está en continua evolución y cada vez con mejores resultados, tanto para la inseminación artificial como para otras biotecnologías como la producción *in vivo* e *in vitro* de embriones en bovinos, lo cual podría ser aplicado a otras especies como los ovinos, caprinos, equinos y cerdos. Por tal motivo, se vislumbra que en un futuro no muy lejano, esta tecnología desplace al semen convencional o incluso que no se requiera de equipos costosos y sofisticados para poder llevarla a cabo.

### **Literatura citada:**

1. Seidel Jr GE, Garner DL. Current status of sexing mammalian spermatozoa. *Reproduction* 2002;124:733-743.
2. Garner DL. Sex-sorting mammalian sperm: Concept to application in animals. *J Androl* 2001;22(4):519-26.
3. Garner DL, Seidel Jr GE. Past, present and future perspectives on sexing sperm. *Canadian J Anim Sci* 2003;83:375-384.

4. Seidel Jr GE. Sperm sexing technology. The transition to commercial application. An introduction to the symposium "Update on sexing mammalian sperm". *Theriogenology* 2009;71:1-3.
5. Garner DL, Seidel Jr GE. History of commercializing sexed semen for cattle. *Theriogenology* 2008;69:886-895.
6. Oses MV, Teruel MT, Cabodevila JA. Utilización de semen bovino sexado en inseminación artificial, transferencia embrionaria y fertilización *in vitro*. *RedVet* 2009;20:138-145.
7. Espinosa CR, Córdova AI. Sexing sperm of domestic animals. *Trop Anim Health Prod* 2012;45(1):1-8.
8. González-Marin C, Lenz RW, Gilligan TB, Evans KM, Gongora CE, Moreno JF, *et al.* SexedULTRA™, a new method of processing sex sorted bovine sperm improves post-thaw sperm quality and *in vitro* fertility. *Reprod Fertil Dev* 2017;29(1):204.
9. Perry GA, Walker JA, Rich JJJ, Northrop EJ, Perkins SD, Beck EE, *et al.* Influence of Sexcel™ (gender ablation technology) gender-ablated semen in fixed-time artificial insemination of beef cows and heifers. *Theriogenology* 2020;146:140-144.
10. Yadav HP, Sahu SK, Lone SA, Shah N, Singh A, Verma UK, *et al.* Advances in sperm sexing. *J Exp Zool India* 2018;21(1):1-9.
11. Domínguez E, Moreno-Irusta A, Castex HR, Bragulat AF, Ugaz C, Clemente H, *et al.* Sperm sexing mediated by magnetic nanoparticles in donkeys, a preliminary *in vitro* study. *J Equ Vet Sci* 2018;65:123-127.
12. Gledhill BL, Lake S, Steinmetz LL, Gray JW, Crawford JR, Dean PN, *et al.* Flow microfluorometric analysis of sperm DNA content: effect of cell shape on the fluorescence distribution. *J Cell Physiol* 1976;87(3):367-375.
13. Garner DL. Flow cytometric sexing of mammalian sperm. *Theriogenology* 2006;65(5):943-957.
14. Garner DL, Gledhill BL, Pinkel D, Lake S, Stephenson D, Van Dilla MA, *et al.* Quantification of the X- and Y-chromosome-bearing spermatozoa of domestic animals by flow cytometry. *Biol Reprod* 1983;28(2):312-321.
15. Johnson LA, Pinkel D. Modification of a laser-based flow cytometer for high-resolution DNA analysis of mammalian spermatozoa. *Cytometry* 1986;7(3):268-273.
16. Johnson LA, Flook JP, Look MV, Pinkel D. Flow sorting of X and Y chromosome-bearing spermatozoa into two populations. *Gamete Res* 1987;16(1):1-9.

17. Johnson LA, Flook JP, Hawk HW. Sex preselection in rabbits: live births from X and Y sperm separated by DNA and cell sorting. *Biol Reprod* 1989;41(2):199-203.
18. Cran DG, Johnson LA, Miller NG, Cochrane D, Polge C. Production of bovine calves following separation of X- and Y-chromosome bearing sperm and *in vitro* fertilization. *Vet Rec* 1993;132(2):40-41.
19. Seidel Jr GE, Johnson LA, Allen CA, Welch GR, Holland MD, Brink Z, *et al.* Artificial insemination with X- and Y-bearing bovine sperm. *Theriogenology* 1996;45:309.
20. Seidel Jr GE, Allen CH, Johnson LA, Holland MD, Brink Z, Welch GR. Uterine horn insemination of heifers with very low numbers of nonfrozen and sexed sperm. *Theriogenology* 1997;48:1255–1264.
21. Schenk JL, Suh TK, Cran DG, Seidel GE Jr. Cryopreservation of flow-sorted bovine spermatozoa. *Theriogenology* 1999;52(8):1375-1391.
22. <https://www.stgen.com> Consultada 15 Sep, 2020.
23. Bodmer MF, Janett M, Hässing N, den Dass P, Reichert R, Thun R. Fertility in heifers and cows after low dose insemination with sex-sorted and non-sorted sperm under field conditions. *Theriogenology* 2005;64:1647-1655.
24. Frijters ACJ, Mullaart E, Roelofs RMG, van Hoorne RP, Moreno JF, Moreno O, *et al.* What affects fertility of sexed bull semen more, low sperm dosage or the sorting process? *Theriogenology* 2009;71:64-67.
25. Gosálvez J, Ramirez MA, López-Fernández C, Crespo F, Evans KM, Kjelland ME, *et al.* Sex-sorted bovine spermatozoa and DNA damage: I. Static features. *Theriogenology* 2011;75:197-205.
26. DeJarnette MJ, McCleary CR, Leach MA, Moreno JF, Nebel RL, Marshall CE. Effects of  $2.1$  and  $3.5 \times 10^6$  sex sorted sperm dosages on conception rates of Holstein cows and heifers. *J Dairy Sci* 2010;93:4079-4085.
27. Seidel Jr GE, Schenk JL. Pregnancy rates in cattle with cryopreserved sexed sperm: Effects of sperm numbers per inseminate and site of sperm deposition. *Anim Reprod Sci* 2008;105:129-138.
28. Seidel Jr GE, Schenk JL, Herickhoff LA, Doyle SP, Brink Z, Green RD, *et al.* Insemination of heifers with sexed sperm *Theriogenology* 1999;52:1407-1420.

29. Morotti F, Sanches BV, Pontes JH, Basso AC, Siqueira ER, Lisboa LA, *et al.* Pregnancy rate and birth rate of calves from a large-scale IVF program using reverse-sorted semen in *Bos indicus*, *Bos indicus-taurus*, and *Bos taurus* cattle. *Theriogenology* 2014;81(5):696-701.
30. Underwood SL, Bathgate R, Ebsworth M, Maxwell WM, Evans G. Pregnancy loss in heifers after artificial insemination with frozen-thawed, sex-sorted, re-frozen-thawed dairy bull sperm. *Anim Reprod Sci* 2010;118(1):7-12.
31. Underwood SL, Bathgate R, Pereira DC, Castro A, Thomson PC, Maxwell WM, *et al.* Embryo production after *in vitro* fertilization with frozen-thawed, sex-sorted, re-frozen-thawed bull sperm. *Theriogenology* 2010;73(1):97-102.
32. Underwood SL, Bathgate R, Maxwell WM, Evans G. Birth of offspring after artificial insemination of heifers with frozen-thawed, sex-sorted, re-frozen-thawed bull sperm. *Anim Reprod Sci* 2010;118(2-4):171-175.
33. Mikkola M, Taponen J. Quality and developmental rate of embryos produced with sex-sorted and conventional semen from superovulated dairy cattle. *Theriogenology* 2017;87:135-140.
34. Larson JE, Lamb GC, Funnell BJ, Bird S, Martins A, Rodgers JC. Embryo production in superovulated Angus cows inseminated four times with sexed-sorted or conventional, frozen-thawed semen. *Theriogenology* 2010;73(5):698-703.
35. Hayakawa H, Hirai T, Takimoto A, Ideta A, Aoyagi Y. Superovulation and embryo transfer in Holstein cattle using sexed sperm. *Theriogenology* 2009;71(1):68-73.
36. Wheeler MB, Rutledge JJ, Fischer-Brown A, VanEtten T, Malusky S, Beebe DJ. Application of sexed semen technology to *in vitro* embryo production in cattle. *Theriogenology* 2006;65:219-227.
37. Lu KH, Cran DG, Seidel Jr GE. *In vitro* fertilization with flow-cytometrically sorted bovine sperm. *Theriogenology* 1999;52(8):1393-1405.
38. Wilson RD, Weigel KA, Fricke PM, Rutledge JJ, Leibfried-Rutledge ML, Matthews DL. *In vitro* production of Holstein embryos using sex-sorted sperm and oocytes from selected cull cows. *J Dairy Sci* 2005;88:776-782.
39. Malcom V, Marfil M, Calvi M, Rigali F, Pugliese M, Gutierrez j. Comparison of *in vitro* fertilizing capacity of frozen-thawed sex-sorted and sex-sorted frozen-thawed bull spermatozoa. *Reprod Fertil Dev* 2006;19:298.

40. Siqueira LGB, Dikmen S, Ortega MS, Hansen PJ. Postnatal phenotype of dairy cows is altered by *in vitro* embryo production using reverse X-sorted semen. *J Dairy Sci* 2017;100(7):5899-5908.
41. Johnson LA, Welch GR. Sex preselection: high speed flow cytometric sorting of X and Y sperm for maximum efficiency. *Theriogenology* 1999;52:1323-1341.
42. Vishwanath R, Moreno JF. Review: Semen sexing – current state of the art with emphasis on bovine species. *Animal* 2018;12(Suppl 1):1-12.
43. Gonzalez-Marin C, Gongora CE, Guilligan TB, Evans KM, Moreno JF, Vishwanath R. *In vitro* sperm quality and DNA integrity of SexedULTRA™ sex sorted sperm compared to non sorted bovine sperm. *Theriogenology* 2018;114:40-45.
44. Vishwanath R. SexedULTRA – raising the fertility bar of sexed sorted semen. In Proc 25<sup>th</sup> technical conference on artificial insemination and reproduction. National Association of Artificial Breeders, September 2014, Wisconsin, USA, 57-61.
45. Lenz RW, Gonzalez-Marin C, Gilligan TB, DeJarnette JM, Utt MD, Helser LA, *et al.* SexedULTRA™, a new method of processing sex sorted bovine sperm improves conception rates. *Reprod Fertil Dev* 2017;29(1):203-204.
46. Dell'Eva G, Bolognini D, Lacono E, Merlo B. Superovulation protocols for dairy cows bred with SexedULTRA™ sex sorted semen. *Reprod Domest Anim* 2019;54:756-761.
47. Crites BR, Vishwanath R, Arnett AM, Bridges PJ, Burris WR, McLeod KR, *et al.* Conception risk of beef cattle after fixed-time artificial insemination using either SexedUltra™ 4M sex-sorted semen or conventional semen. *Theriogenology* 2018;118:126-129.
48. Thomas JM, Locke JWC, Bonacker RC, Knickmeyer ER, Wilson DJ, Vishwanath R, *et al.* Evaluation of SexedULTRA 4M™ sex sorted semen in timed artificial insemination programs for mature beef cows. *Theriogenology* 2019;123:100-107.
49. Maicas C, Holden SA, Drake E, Cromie AR, Lonergan P, Butler ST. Fertility of frozen sex sorted sperm at  $4 \times 10^6$  sperm per dose in lactating dairy cows in seasonal-calving pasture based herds. *J Dairy Sci* 2020;103:(1):929-939.
50. Álvarez H, Kjelland M, Villaseñor F, Pérez M, Romo S. Comparison of sexed semen ULTRA-4M with conventional semen for the *in vitro* production of bovine embryos. *Reprod Fertil Dev* 2020;32(1):161-162.

51. Velázquez A, Álvarez H, Kjelland M, Villaseñor F, Ariza G, Romo S. *In vitro* embryo production using prepubertal calf oocytes with conventional semen and sexed semen ULTRA-4M. *Reprod Fertil Dev* 2020;32(1)162.
52. Álvarez-Gallardo H, Kjelland ME, Pérez-Martínez M, Villaseñor-González F, Romo-García S. Evaluation of novel SexedULTRA-4M technology for *in vitro* bovine embryo production. *Anim Reprod* 2022;19(1)e20220018.
53. <https://www.genusintelligen.com> Consultada 15 Sep, 2020.
54. <https://www.absglobal.com/mx/services/sexcel/> Consultada 15 Sep, 2020.

## Subproductos de la vinificación y extractos de polifenoles de la uva como aditivos fitogénicos para raciones en la producción porcina.

### Revisión

María Alejandra Ospina-Romero <sup>a</sup>

Humberto González-Ríos <sup>a\*</sup>

Miguel Ángel Barrera-Silva <sup>b</sup>

Martin Valenzuela-Melendres <sup>a</sup>

Miguel Ángel Martínez-Téllez <sup>a</sup>

Araceli Pinelli-Saavedra <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Col. La Victoria, 83304, Hermosillo, Sonora, México.

<sup>b</sup> Universidad de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería, Sonora, México.

\*Autor de correspondencia: [hugory@ciad.mx](mailto:hugory@ciad.mx)

### Resumen:

Los subproductos de vinificación, como el orujo, la semilla y la piel de la uva, representan una fuente rica en compuestos fenólicos (CF), fibra, ácidos grasos y nutrientes esenciales, la cual ha recibido gran interés en los sistemas de producción porcina. Con respecto a su perfil y contenido de CF, en estudios previos se ha demostrado que estos subproductos pueden ejercer múltiples propiedades bioactivas sobre la salud, nutrición y producción animal, incluso se han observado efectos beneficiosos en el ganado porcino. Asimismo, estos subproductos y los extractos de polifenoles del vino se han considerado ingredientes valiosos, y una alternativa prometedora para sustituir los recursos convencionales de las dietas de monogástricos y así reducir el costo de alimentación. Sin embargo, estos subproductos se desechan y eliminan de forma inadecuada. De hecho, sólo el 3 % de los subproductos recuperados se utilizan en nutrición animal sin tratamiento previo. Por ende, se ha hecho énfasis en generar valor agregado a los subproductos de la vinificación para obtener beneficios económicos y tecnológicos más significativos y una mayor eficiencia

en la producción animal. Esta revisión discute los estudios más relevantes y recientes sobre la inclusión de subproductos de vinificación y sus CF durante cada etapa del sistema de producción porcina (gestación-lactancia, destete, crecimiento y finalización) y sus efectos sobre la calidad final de la carne y sus derivados. Además, se describen estrategias y tratamientos aplicados para el uso del orujo en dietas porcinas.

**Palabras clave:** Bioactividad, Compuestos fenólicos, Orujo de uva, Monogástricos Fitoquímicos.

Recibido: 03/06/2023

Aceptado: 27/11/2023

## Introducción

En vista de la continua intensificación de los sistemas de producción porcina para satisfacer la demanda mundial de productos de origen animal, el cultivo de granos (maíz, soya, sorgo) ha sido utilizado con frecuencia como fuentes de energía y proteínas para la alimentación de monogástricos<sup>(1)</sup>. En este contexto, se estima que el 60 % de la biomasa generada para la producción de dietas es utilizada por el sector ganadero y este rubro representa hasta el 70 % de los costos totales de una explotación porcina<sup>(2)</sup>. Esta dependencia de los cultivos agrícolas ha promovido la competencia alimento-pienso entre el consumo humano, el sector ganadero y la producción de biodiesel<sup>(1-3)</sup>. Por lo tanto, para enfrentar esta problemática, se han buscado diversas alternativas económicas, viables y prometedoras, a través de las cuales se puede minimizar el uso de ingredientes dietéticos convencionales sin afectar su contribución nutricional, y al mismo tiempo mejorar la productividad, la salud animal y la calidad final de los alimentos de origen animal<sup>(1,3)</sup>. En este sentido, una opción atractiva podría ser la inclusión de subproductos agroindustriales y sus extractos como aditivo fitogénico para piensos en la nutrición de monogástricos<sup>(3-5)</sup>. Estos residuos se generan en grandes cantidades cada año (1,300 millones de toneladas) y representan una rica fuente de compuestos bioactivos (CB). No obstante, su uso ha sido ineficiente debido a su bajo valor económico que carece de usos alternativos, por lo que la mayoría de estos residuos tienden a ser desechados y eliminados de manera inadecuada, generando un impacto ambiental negativo<sup>(6)</sup>. Una cantidad importante de estos subproductos proviene del proceso de vinificación para el que se utiliza el 75 % de las uvas cosechadas<sup>(7,8)</sup>, mientras que el resto (25 %) representa los subproductos (residuos de piel, pulpa, raspones y semillas) obtenidos durante el proceso de prensado (denominados orujo) y son desechados por la industria vitivinícola (13.1 millones de toneladas)<sup>(7-11)</sup>. Inclusive, se estima que aproximadamente el 70 % del contenido fenólico se retiene en el orujo después del procesamiento. En este contexto, el orujo y las semillas se consideran una rica fuente de CF (taninos, antocianinas, ácidos fenólicos y resveratrol); y posee múltiples propiedades bioactivas que contribuyen a la

salud y a la producción animal<sup>(12,13)</sup>. A pesar de que aproximadamente entre el 30 % y el 40 % de los SPV han sido evaluados en todo el mundo (5.24 millones de toneladas) para su uso en el sector agrícola<sup>(13)</sup>, se estima que solo el 3 % del orujo producido se reutiliza para piensos de animales (0.39 millones de toneladas) sin tratamiento previo<sup>(8,14)</sup>. Por ello, en los últimos años, se ha hecho énfasis en generar valor agregado a los SPV para obtener beneficios económicos y tecnológicos más significativos y una mayor eficiencia en la producción animal. Asimismo, el uso de subproductos agroindustriales podría representar una alternativa de alimentación no convencional para animales monogástricos y una estrategia de economía circular que promueva la sostenibilidad de los sistemas de producción porcina<sup>(15)</sup>. De esta manera, los SPV representan una excelente oportunidad para recuperar múltiples sustancias fitoquímicas como CF<sup>(8,14,16)</sup>, los cuales presentan un gran potencial como aditivos fitogénicos en la producción porcina considerando la importancia de esta clase de aditivos para piensos para los productores porcinos<sup>(5,17,18)</sup>. El interés por estos aditivos naturales ha aumentado en las últimas décadas en respuesta a la prohibición del uso de antibióticos y compuestos beta-adrenérgicos<sup>(19)</sup>.

Reportes científicos muestran algunos efectos beneficiosos en cerdos con una dieta que incluye diferentes dosis de subproductos de la uva y se ha descrito un límite de inclusión del 9 %<sup>(3,20)</sup>. No obstante, existe variabilidad e inconsistencia en los resultados obtenidos. Los estudios sobre SPV y extractos de polifenoles de la uva en el ciclo de producción de cerdos son limitados, y es necesario destacar qué avances se han logrado en cada etapa del ciclo productivo porcino, para determinar futuras áreas de oportunidad en la investigación en nutrición animal, debido a la importancia de cada una de estas fases para el éxito de la producción porcina. Por lo tanto, el propósito de esta revisión es discutir los estudios más relevantes y recientes sobre la inclusión de SPV y sus CF durante diferentes etapas del sistema de producción porcina (gestación-lactancia, destete, crecimiento y finalización) y sus efectos en la calidad final de los productos porcinos. Se ha hecho énfasis en las estrategias y tratamientos aplicados al OU para su inclusión en la dieta de monogástricos. Además, es fundamental evaluar los efectos beneficiosos de la inclusión de fitoquímicos de orujo o de la matriz cruda sobre la eficiencia productiva.

### **Importancia de los subproductos de la vinificación como recursos alternativos y aditivos para raciones en la alimentación animal**

La uva es uno de los cultivos frutales más importantes a nivel mundial (7.3 millones de hectáreas), y alrededor del 36 % de la producción total (72.9 millones de toneladas) se concentra en China, Estados Unidos e Italia<sup>(7,8,21)</sup>. Se estima que el 52 % de este volumen de uva se prensa y se destina a la producción de vino (34.1 millones de toneladas)<sup>(22)</sup>. Durante el proceso de fermentación final, se obtienen valiosos subproductos con múltiples beneficios tecnológicos y de salud, los cuales representan aproximadamente el 25 % del volumen total de uvas requerido por la industria vitivinícola<sup>(10)</sup>. Los residuos de la vinificación se clasifican en dos categorías: sólidos (raspones, orujo y semillas) y líquidos; el primero se genera durante la cosecha y el prensado de la uva, mientras que el

segundo se obtiene durante la vinificación<sup>(23)</sup>. Los residuos sólidos consisten en un 45 % de orujo, un 7.5 % de raspones, un 6 % de semillas y otros residuos<sup>(24)</sup>. El orujo representa el principal residuo orgánico o subproducto generado durante el proceso de separación de los residuos sólidos (pieles, semillas y raspones) del producto líquido o jugo y constituye entre el 20 y el 30 % de la uva transformada<sup>(10)</sup>. Estos residuos son una rica fuente de diversos nutrientes (proteínas, ácidos grasos, fibra) y CF. Sin embargo, estos subproductos se desechan y su adecuada eliminación representa uno de los desafíos más críticos que enfrenta la industria vitivinícola.

### **Composición fisicoquímica del orujo de uva**

La composición del OU está determinada por factores intrínsecos como la madurez de la uva, la variedad y las condiciones sanitarias. Además, factores como las prácticas vitivinícolas, las condiciones edafoclimáticas, las prácticas de cosecha y los procesos de vinificación son determinantes de la composición. El OU fresco representa una rica fuente de fibra dietética (FD), que se compone de polisacáridos almidonados, taninos y lignina<sup>(25,26)</sup>. La proporción de fibra en el orujo oscila entre el 43 y el 7.5 %. Existen diferencias significativas en las fracciones solubles; la fracción insoluble representa entre el 61.3 y el 73.5 %, mientras que la fracción soluble comprende el 10 y 3.7 % respectivamente. Se concentra en las semillas (Cuadro 1) y es mayor en las variedades rojas (51 %) que en las variedades blancas (28 %)<sup>(13)</sup>. Debido a su alto contenido en fibra, el orujo se ha utilizado como aditivo para piensos en las dietas de las cerdas y en la etapa de finalización; no obstante, se han reportado bajas tasas de inclusión en monogástricos (3 %), aunque otros autores han obtenido resultados satisfactorios con tasas de 9 %<sup>(3,20,27)</sup>.

Se han obtenido resultados satisfactorios en cuanto a la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) y bacterias beneficiosas<sup>(27)</sup>. Por lo tanto, se han reportado bajas tasas de inclusión en monogástricos (3 %), aunque otros autores han obtenido resultados satisfactorios con tasas de 9 %<sup>(3,20,27)</sup>. Esta matriz alimentaria también contiene fracciones fenólicas que le confieren propiedades antioxidantes y mayor complejidad<sup>(21)</sup>. Se estima que el contenido de CF oscila alrededor del 0.9 %, y la proporción de taninos condensados es de 17.43 % y 7.29 % para los OU rojos y blancos, respectivamente. Sin embargo, el contenido de fibra y taninos condensados en los orujos podría limitar la biodisponibilidad de los nutrientes dietéticos, provocando una reducción en la calidad de la dieta y, por lo tanto, en el desempeño productivo de los animales<sup>(21,28,29)</sup>. La biodisponibilidad está determinada por la inclusión de este subproducto en la dieta y por el tratamiento previo<sup>(9)</sup>. El contenido de humedad de este subproducto puede oscilar entre el 55 y el 75 %, dependiendo de las condiciones de procesamiento y se considera un indicador de la degradación microbiana y enzimática del OU fresco<sup>(30)</sup>, siendo ésta una de las limitaciones de su aplicación. A pesar de que se han descrito recuentos bajos de mesófilos aeróbicos (de 3 a 6 Log UFC/g) y de mohos y levaduras (de 3 a 6 log UFC/g), se han realizado pocos estudios sobre la calidad microbiológica de este subproducto<sup>(31,32)</sup>. El contenido de proteína varía del 6 al 15 % de la materia seca y es ligeramente superior en la piel que en las semillas<sup>(33)</sup>. El OU es rico en ácido aspártico y glutámico, pero es

deficiente en aminoácidos azufrados y triptófano. Además, se ha reportado que, a diferencia de las semillas, la piel es una rica fuente de lisina y alanina. El contenido lipídico del orujo procede de las semillas y oscila entre el 14 y el 17 %. La fracción lipídica es rica en ácidos grasos insaturados y pobre en ácidos grasos saturados. Los ácidos grasos que predominan en las semillas de uva son el linoleico (70 %), el oleico (15 %) y el palmítico (7 %). Asimismo, es necesario destacar que su valor nutricional es cercano al de otros alimentos como el maíz y se ha reportado que su contenido de proteína cruda puede ser similar al de las harinas convencionales, lo que enfatiza su potencial como ingrediente funcional en la alimentación animal<sup>(3)</sup>.

**Cuadro 1:** Composición química (g/100 g MS) y contenido de compuestos fenólicos del orujo, piel y semillas de uva (g/kg como MS)

Componente	Orujo de uva	Piel	Semillas
Materia seca	90-93	81-93	91-93
Proteína	11.2-13.8	11.0-13.8	9.3-14.6
Grasa	5.6-11.7	3.2-6.3	9.5-11.1
Cenizas	2.4-5.8	6.2-7.5	2.9
Fibra	32.5-56.3	30.6	41.4
Fibra detergente ácido	48-70.4	19.3-49	45.4-57.0
Fibra detergente neutro	54.2-70.8	24.3-70.4	50.3-67.0
Lignina detergente ácido	30.7-47.5	28.3-43.7	21.4-43.7
Taninos condensados	Libres	1.6-3.8	-----
	Ligados a fibra	1.9-3.4	-----
	Ligados a proteínas	5.6-13.1	-----
	Total	9.1-20.3	-----
<i>Compuestos fenólicos (g/kg MS)</i>			
Contenido de fenoles totales	19-40.5	20.2-52.3	36.6-88.7
Taninos totales	39.1-105.8	44.9-73.0	62.3-167.8
Ácidos fenólicos	0.03-8.31	0.17-8.23	0.10-0.11
Catequinas	0.03	0-0.3	2.14-2.42
Epicatequina	0-0.2	0-0.13	0.88-1.60
Epigalocatequina	0-0.05	ND	0.05
Epigalocatequina galato	0-0.007	ND	0.06-0.07
Epicatequina galato	0.003	0.04	0.25-0.31
Procianidina B1	0.11-0.60	0.18-0.6	0.14-0.17
Procianidina B2	0.01-0.84	0.01-0.84	0.04-0.18
Antocianinas	11.47-	11.47-	ND
	29.82	29.82	
Flavanoles totales	0.03-0.63	ND	0.02-0.05

## Composición fenólica del orujo de uva

Los SPV como el OU se consideran una fuente rica en CF, y se ha demostrado que poseen múltiples propiedades bioactivas sobre la salud y la producción animal: antioxidantes, antimicrobianas, inmunomoduladoras, antiinflamatorias<sup>(34)</sup>. Estos fitoquímicos son metabolitos secundarios de las plantas que actúan como mecanismo de defensa contra plagas, patógenos, herbívoros, factores ambientales y situaciones estresantes<sup>(35,36)</sup>. Su estructura química determina sus propiedades biológicas y, por tanto, sus efectos beneficiosos para la salud animal. Un CF tiene uno o dos anillos aromáticos con uno o más sustituyentes del grupo hidroxilo; esta conformación determina su capacidad para capturar radicales libres<sup>(9)</sup>. Estos compuestos se clasifican en cuatro categorías según su estructura química y peso molecular: ácidos hidroxicinámicos (AH), estilbenos, lignanos y flavonoides<sup>(33)</sup>. Este último es el grupo más amplio y diverso de polifenoles y ha sido estudiado con mayor frecuencia en nutrición animal<sup>(37,38)</sup>.

Los principales compuestos que se encuentran en el OU son los flavanoles (catequina, epicatequina y epigallocatequina), las antocianinas (cianidina, pelargonidina y delphinidina) y los taninos condensados (Cuadro 1). Los primeros predominan en las uvas blancas, mientras que los segundos solo están presentes en las uvas rojas<sup>(39)</sup>. La piel y las semillas de la uva son ricas en epigallocatequina y galocatequina, mientras que las antocianinas y los estilbenos como el resveratrol se encuentran en la piel. Los ácidos hidroxicinámicos predominan en forma de ésteres tartáricos (caftáricos y coutáricos) tanto en la piel como en la pulpa de la uva, mientras que las semillas son ricas en ácido gálico y ácido protocatecuico. Sin embargo, la composición fenólica varía dependiendo de las condiciones climáticas, el crecimiento y el tiempo de fermentación<sup>(9)</sup>.

Los efectos benéficos atribuidos a estos CF incluyen propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, inmunomoduladoras, cardioprotectoras, antidiabéticas, antihelmínticas y de modulación de la microbiota intestinal<sup>(36)</sup>. Se ha enfatizado la actividad antioxidante ejercida por los CF, principalmente el resveratrol (RES), en animales de producción. En este contexto, se ha sugerido que la capacidad antioxidante del RES es más significativa que la proporcionada por las vitaminas C y E; es decir, es más eficaz en la captura y prevención de radicales libres<sup>(40,41)</sup>. A su vez, los CF presentes en el OU son fácilmente aceptados por los consumidores y productores, ya que el orujo ha sido considerado una alternativa a la medicina tradicional durante décadas<sup>(41)</sup>.

### **Uso potencial de los subproductos de la vinificación (orujo, semillas, piel de uva) y sus extractos como aditivo fitogénico para dietas en la nutrición porcina**

En la última década, los subproductos agroindustriales como el OU han recibido una atención significativa como fuentes alternativas de alimento no convencional para

animales<sup>(18)</sup>. Este subproducto tiene un perfil polifenólico único<sup>(42)</sup>. El contenido y diversidad de CF han fomentado esta matriz alimentaria como complemento o aditivo a dietas de monogástricos. Recientemente, estos fitoquímicos se han utilizado como aditivos en piensos para cerdos y aves de corral a través de diversas estrategias de inclusión (porciones enteras del recurso vegetal, subproductos, extractos, CB aislados y mezclas complejas de compuestos). Se estima que aproximadamente entre el 70 y el 80 % de la industria que elabora dietas para monogástricos utiliza fitoquímicos como aditivos<sup>(36)</sup>. Se ha enfatizado el uso de mezclas heterogéneas de estos metabolitos secundarios con diferentes orígenes vegetales (fitogénicos), mientras que los estudios sobre las formas aisladas de los compuestos han sido limitados.

Los aditivos fitogénicos se refieren a compuestos de origen vegetal que se han utilizado en la alimentación de monogástricos para mejorar la productividad, la salud y la calidad de los piensos para animales. Estos aditivos alimentarios se han clasificado en cuatro categorías según su funcionalidad en piensos y animales: 1) Sensoriales (modificando la palatabilidad y las propiedades organolépticas del pienso); 2) Tecnológicos (actuando como secuestrantes de micotoxinas y antioxidantes); 3) Zootécnicos (actuando como inmunomoduladores, promotores del crecimiento de origen no microbiano, moduladores de la función intestinal, estimulantes digestivos o potenciadores de la calidad en productos animales, o del rendimiento productivo y reproductivo); y 4) Nutricionales (actuando como vitaminas, minerales o enzimas). Dentro de estas categorías, han sido utilizados como aditivos tecnológicos y zootécnicos en la producción porcina, particularmente durante las etapas de gestación-lactancia y destete, respectivamente<sup>(40,41)</sup>.

La inclusión dietética de fitoquímicos y fitogénicos en monogástricos ha demostrado que estos compuestos ejercen múltiples efectos beneficiosos sobre el animal debido a sus propiedades bioactivas<sup>(43)</sup>. Los beneficios incluyen mejoras en la palatabilidad, el rendimiento productivo (ingesta de alimento, ganancia media diaria y conversión alimenticia), la calidad de la canal, el perfil sanguíneo, el bienestar animal, la salud (inmunidad, antioxidante, antimicrobiano), la función intestinal (morfología gastrointestinal y digestibilidad de nutrientes) y como promotor del crecimiento<sup>(36,40)</sup>. No obstante, la variabilidad entre los reportes con respecto a la eficacia de algunos CB sometidos a tratamientos especializados y la comprensión parcial de sus posibles mecanismos de acción han limitado su uso como aditivos para piensos. Por lo tanto, las aplicaciones futuras estarán determinadas por las características del recurso vegetal (compuestos primarios y secundarios), el conocimiento completo del mecanismo de acción y la seguridad tanto de los animales como de los productos generados<sup>(17)</sup>.

## Uso potencial de los subproductos de la vinificación en la alimentación de los cerdos en diferentes etapas de producción

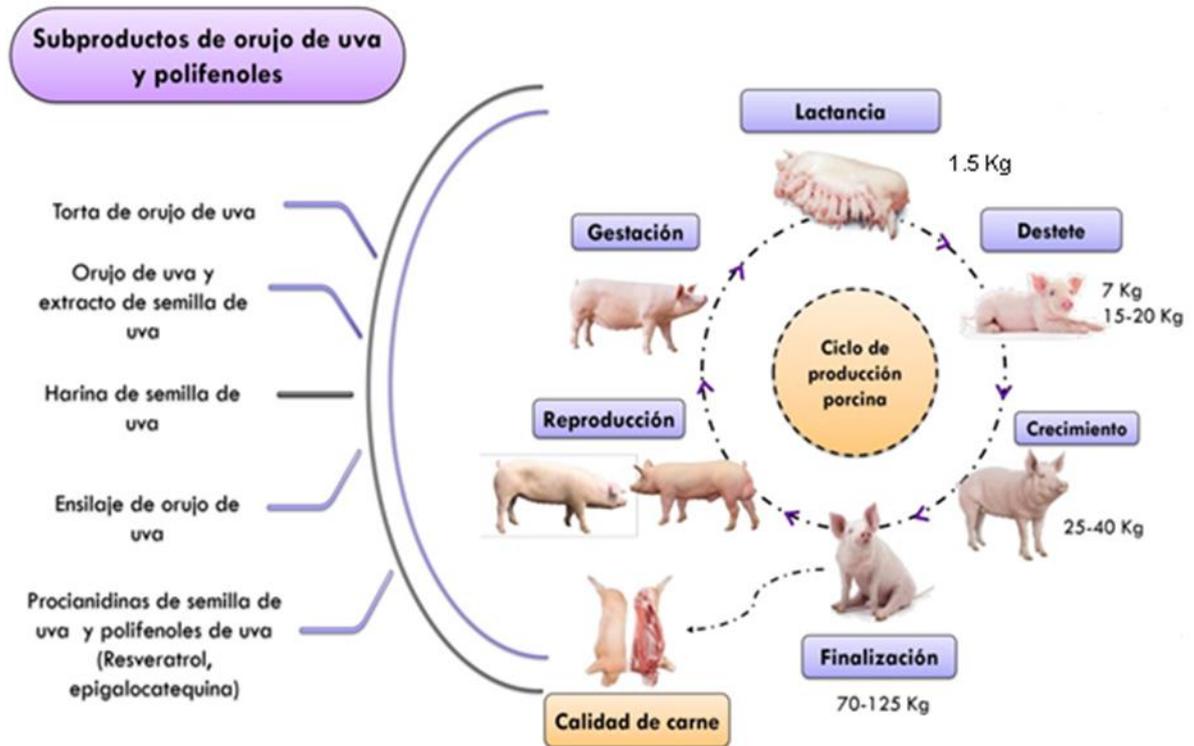
### Impacto en la función y los órganos reproductores de verracos y cerdas

La reproducción representa un componente fundamental e integral de los sistemas sostenibles de producción porcina<sup>(42,44)</sup>. También es un proceso complejo que influye en gran medida en los factores nutricionales y de alimentación. Se ha evaluado la inclusión intensiva de polifenoles en las dietas de animales reproductores<sup>(42)</sup>. Típicamente, estos compuestos se obtienen de fuentes alternativas de alimentos, como subproductos agroindustriales y sistemas de alimentación naturales, y se han utilizado como aditivos para enriquecer las dietas de los animales<sup>(45)</sup>. Investigaciones previas han evaluado la biodisponibilidad de los CF en los órganos reproductivos (ovario, útero, placenta, feto y testículos), la glándula pituitaria y el hipotálamo, y han demostrado que estos CF pueden atravesar diversas barreras sanguíneas y ejercer sus efectos fisiológicos en el animal<sup>(46)</sup>. Sin embargo, el tipo de polifenoles, la selectividad de los tejidos y el estado fisiológico del animal determinan la biodisponibilidad de los CF en los órganos reproductivos y, por lo tanto, su efecto sobre diferentes eventos reproductivos.

En este contexto, la inclusión de estos compuestos en la dieta puede generar cambios positivos o negativos en eventos como la programación fetal, la gestación, la gametogénesis, el comportamiento sexual, la función reproductiva y la secreción hormonal en verracos y cerdas. Estos efectos se atribuyen a las similitudes en la estructura química de los CF y los estrógenos, por lo que pueden activar los receptores de estrógenos (RE) para ejercer un efecto similar al de las hormonas que puede modificar el equilibrio hormonal y los eventos reproductivos mencionados<sup>(42)</sup>. Además, estos compuestos pueden controlar la expresión de genes y la actividad de las enzimas sexuales involucradas en la regulación de ciertas fases reproductivas<sup>(47)</sup>. Recientemente, se han evaluado los efectos de CF como el resveratrol y la epigallocatequina en diversas técnicas de reproducción asistida (TRA) en machos y hembras (Figura 1). Hasta ahora, se han obtenido resultados prometedores durante la descongelación y criopreservación del semen de verraco. Se ha reportado que la inclusión de epigallocatequina 3-galato (EGCG) (25 y 50  $\mu$ M) aumenta la tasa de fertilización de los óvulos, mientras que la inclusión de resveratrol (0, 0.5, 1 y 2 mM/mL) y OU (2 y 4 %) mantiene la integridad del acrosoma, la viabilidad de los espermatozoides y reduce la peroxidación lipídica del semen fresco y refrigerado<sup>(47,48)</sup>. Estos resultados se han atribuido a la actividad antioxidante de los CF. Por el contrario, otros estudios realizados sobre la fecundación *in vitro* han demostrado que compuestos como la EGCG (0, 5 y 50 g/ml) pueden inhibir la esteroidogénesis y la proliferación de las células de la granulosa en las cerdas. Del mismo modo, se observó una disminución en la síntesis de progesterona y en el porcentaje de ovocitos fecundados cuando se incluyó una dosis de 25  $\mu$ g/ml de EGCG<sup>(49)</sup>. El efecto de estos fitoquímicos en

el ciclo reproductivo de los animales de granja sigue siendo controvertido e inconsistente<sup>(42)</sup>.

**Figura 1:** Subproductos de la uva como aditivos fitogénicos en el ciclo de producción porcina



### Fase de gestación: efectos en cerdas gestantes, desarrollo de lechones fetales y partos

El estrés oxidativo representa uno de los principales puntos críticos que deben enfrentar los sistemas de producción porcina durante las fases de gestación (temprana, media y tardía) y lactancia, en las que se produce daño sistémico en respuesta al alto nivel de especies reactivas del oxígeno (ERO)<sup>(41,50)</sup>. La gestación refleja un estado de alto estrés oxidativo en el que diversos tejidos y órganos que metabolizan activamente el oxígeno ( $O_2$ ), como la placenta, pueden presentar cambios dinámicos que modifican el estado metabólico tanto de la cerda como del feto. Este estado responde a un aumento en el consumo de  $O_2$  y en los niveles de energía necesarios para soportar la carga metabólica involucrada en el desarrollo placentario, embrionario y crecimiento fetal, lo que implica la movilización de tejidos. Sin embargo, un exceso de ERO perjudica la función fisiológica de la placenta, desencadenando restricciones uterinas, que aumentan las tasas de mortalidad embrionaria y perjudican el desarrollo de la progenie<sup>(50)</sup>.

Por ello, para mitigar el impacto del estrés oxidativo, se han incluido diferentes fuentes de antioxidantes en las dietas de las cerdas gestantes. En este contexto, estudios previos<sup>(50)</sup> han determinado que la inclusión de 200 mg/kg y 300 mg/kg de polifenoles de semilla de uva (PSU) en cerdas multíparas durante la gestación tardía (día 80) redujo la muerte fetal (0.63) y aumentó la supervivencia al parto (89.32 %). Estos resultados reflejaron mayores

niveles circulantes de progesterona y estrógeno en suero de cerdas gestantes (día 110), que se asocian con el mantenimiento de la gestación y el reconocimiento materno<sup>(50)</sup>. Asimismo, esta suplementación mostró una mejora significativa en el estado antioxidante de las cerdas gestantes al aumentar la actividad enzimática de la superóxido dismutasa (SOD) y la glutatión peroxidasa (GSHpx)<sup>(41,50)</sup>. Del mismo modo, la suplementación de resveratrol (300 mg/kg) y catequinas (200 y 300 mg/kg) desde el inicio (día 20) y media gestación (día 40) hasta el parto mejoró el estado antioxidante (SOD, GSHpx y catalasa [CAT]) de las cerdas y su progenie durante la fase de lactación<sup>(51,52)</sup>. Estos resultados se atribuyeron a las vías Keap1-Nrf2 y Sirt 1 que regulan los genes antioxidantes placentarios<sup>(41)</sup>. Este mismo comportamiento también ha sido reportado con la inclusión de otros extractos vegetales, lo que reafirma la importancia de una adecuada suplementación materna a partir de cualquier tercio de gestación para asegurar un adecuado desempeño en el parto y durante la lactancia<sup>(53)</sup>.

### **Fase de lactación: cerdas y lechones lactantes**

Al igual que el final de la gestación y el parto, la lactancia también conduce a una sobreproducción de ERO, lo que desencadena la peroxidación lipídica. En este caso, el estrés oxidativo se atribuye a la mayor demanda de energía metabólica necesaria para el desarrollo de la glándula mamaria y la producción de leche. Además, la gravedad del daño oxidativo afecta al desempeño reproductivo de la cerda y dificulta el desarrollo adecuado de la descendencia durante las primeras etapas de la vida. Por lo tanto, la suplementación materna con compuestos fenólicos desde la gestación hasta la lactancia ha sido evaluada como una estrategia para mejorar el estado antioxidante en cerdas lactantes, lo que a su vez puede conducir a un mejor desarrollo, desempeño pre-destete y salud general de su progenie (lechones lactantes)<sup>(53)</sup>.

En este contexto, se ha determinado que la inclusión de PSU (200 y 300 mg/kg), resveratrol (200 y 300 mg/kg) y mezcla estandarizada de polifenoles-Proviox (catequina, procianidinas y antocianinas) aumenta el contenido de inmunoglobulinas (IgG e IgM) en el calostro de las cerdas suplementadas<sup>(50)</sup>, mejorando así el estado antioxidante de los lechones lactantes al potenciar la actividad enzimática de la CAT, SOD y GPx<sup>(41,54,55)</sup>. Además, la tasa de supervivencia pre-destete mejoró (96.9 %) con la suplementación con PSU (200 y 300 mg/kg), mientras que la inclusión de resveratrol en las dietas de las cerdas aumentó el peso de la camada (57.26 kg frente a 48.98 kg), al igual que el peso de los lechones al destete (5.84 kg frente a 5.24 kg), en comparación con las hembras no suplementadas<sup>(41,50)</sup>. De igual forma, con la inclusión de Proviox, se observó un efecto significativo en el peso de la camada de lechones lactantes y el calostro<sup>(54)</sup>. Por lo tanto, las estrategias nutricionales que se han evaluado en esta etapa están enfocadas a mejorar el estado antioxidante de las cerdas gestantes, y así atenuar los impactos del estrés oxidativo, lo cual puede estar asociado a una mejora en el estado inmunológico y esta información sugiere que es posible obtener un mayor número de lechones para las fases de crecimiento y finalización.

## Fases de destete y posdestete

La etapa de destete representa un cambio en la dieta de los lechones (de líquida a sólida) y la separación de la madre. Además, el establecimiento de jerarquías sociales desencadena una serie de respuestas fisiológicas que comprometen la función inmune, el metabolismo intestinal y la capacidad antioxidante, favoreciendo la aparición de estrés oxidativo y un aumento en las tasas de morbilidad y mortalidad<sup>(56)</sup>. Al mismo tiempo, la ingesta de alimento disminuye, lo que provoca un retraso en el crecimiento. La adición de SPV se ha evaluado como un factor atenuante para esta situación y como una alternativa para reemplazar el uso de antibióticos como promotores de crecimiento en esta fase<sup>(19)</sup>. En este contexto, se ha demostrado que la adición de CF como el ácido tánico (500 mg/kg y 1000 mg/kg) en las dietas de lechones destetados (3 semanas de edad durante 14 días) tiene efectos beneficiosos sobre el transporte de nutrientes a nivel intestinal junto con la microbiota y morfología intestinal<sup>(19,57)</sup>. Esto refleja el potencial de OU como fuente de varios CF. Un estudio previo determinó que la inclusión de un 5 % de OU seco mejoró el estado antioxidante del hígado, el riñón y el bazo en lechones destetados. Se observó reducción de la peroxidación lipídica (MDA) y de triglicéridos en el día 36, mientras que las actividades de CAT, GSHpx y SOD aumentaron<sup>(58)</sup>. Otros autores han reportado efectos similares sobre la actividad enzimática y la capacidad antioxidante total (CAO-T), como se presenta en el Cuadro 2.

Un estudio reciente<sup>(59)</sup> reportó que la inclusión de harina de semilla de uva (8 %) en las dietas de inicio atenúa el estrés oxidativo inducido por la aflatoxina B1 (AFB1) y disminuye los marcadores de inflamación (Cuadro 2). En este contexto, se ha demostrado un efecto protector contra la aflatoxicosis y el estado antioxidante de las aves mejoró con la suplementación con resveratrol (0.5 y 1 %)<sup>(58)</sup>. Otros estudios han reportado que los subproductos agroindustriales como el OU blanco (Malvasía) y el OU rojo (Primitivo) tienen una excelente capacidad para adsorber ocratoxina (OTA), zearalenona (ZEN), fumonisina (FB1) y AFB1 de soluciones acuosas a pH 3 y 7<sup>(60)</sup>. Estos resultados muestran que estos compuestos tienen un potencial considerable para secuestrar micotoxinas en dietas de lechones destetados. El estudio demostró que la inclusión de orujo blanco (Malvasía 2.8 %) en la dieta de cerdos destetados reduce la absorción gastrointestinal de las micotoxinas ZEN y OTA en un 67 y 69 %, respectivamente. Aunque aún no se ha dilucidado el mecanismo de acción como secuestrante de micotoxinas, se sugiere que el contenido de celulosa en el orujo tiene un potencial considerable para absorber AFB1 a través de atracciones electrostáticas; los polifenoles también pueden formar complejos con micotoxinas<sup>(61)</sup>.

Otras actividades biológicas, como la inmunomoduladora, la antiinflamatoria y la modulación intestinal, se han evaluado con mayor frecuencia en lechones destetados, dados sus órganos digestivos y sistemas inmunes inmaduros. Se ha enfatizado la evaluación en las primeras 3 semanas después del destete, ya que el sistema inmune solo puede generar una respuesta efectiva a las 5 o 6 semanas de edad<sup>(62,63)</sup>. En este contexto, se ha demostrado que la suplementación con 50, 100 y 150 mg/kg de procianidinas de

semilla de uva<sup>(46)</sup>; 1 % de extracto de semilla de uva y orujo de uva (ESUOU) con un contenido de fenoles del 8.5 % (lechones de 7 kg de peso corporal durante 4 semanas)<sup>(49,64)</sup>; y 5 % de OU seco (20.41 mg/g de materia seca, 5 semanas de edad durante 28 días) disminuye la incidencia de diarrea<sup>(58,62)</sup>, aumenta la relación altura de las vellosidades intestinales: profundidad de la cripta en el duodeno (RVC)<sup>(62)</sup> y yeyuno<sup>(65)</sup>; aumenta la proporción de *Olsenella umbonata*, *Lactobacillus delbrueckii* y *Selenomonas bovis* en el ciego<sup>(65)</sup>; disminuye las poblaciones de *Streptococcus* y *Clostridium*; y disminuye los niveles de AGV en la microbiota fecal de lechones destetados (5 semanas de edad durante 25 días)<sup>(58)</sup>.

Estos resultados se atribuyeron al potencial de los CF para mejorar el estado antioxidante, reducir la permeabilidad intestinal, aumentar el área superficial, mejorar la absorción de nutrientes y modular las poblaciones intestinales mediante el aumento de especies productoras de butirato que mejoran la salud del colon. Estos efectos benéficos podrían estar relacionados con metabolitos microbianos como el ácido 4-hidroxifenilvalérico, 3-hidroxibenzoico, cafeico, siríngico y protocatecuico<sup>(66)</sup>. Del mismo modo, otros estudios han verificado que los CF de SPV reducen la expresión de genes proinflamatorios en el intestino (ciego, íleon y colon)<sup>(67)</sup>. La suplementación con HSU (harina de semilla de uva) en lechones destetados en un modelo de colitis inducida (sulfato de hierro dextrano) atenuó el efecto de este inductor, moduló la microbiota del colon y redujo el impacto de la disbiosis intestinal<sup>(25,27)</sup>. Por lo tanto, los CF de los SPV representan una estrategia para inhibir la inflamación y modular la salud intestinal durante la etapa posdestete. Entre los parámetros productivos, se observó una mejora significativa de 4 a 7 % en la relación ganancia de peso:alimento (G:A)<sup>(67)</sup>, y se ha sugerido que esto se debe a una mejora en la digestibilidad de los nutrientes<sup>(25)</sup>. Sin embargo, otros autores no obtuvieron una mejoría significativa en este indicador y afirmaron que no hubo un efecto consistente sobre la morfología intestinal<sup>(68)</sup>. Por lo tanto, la mejora en G:A se ha asociado con una reducción de la expresión de genes proinflamatorios y cambios en la composición microbiana.

### **Etapas de crecimiento y finalización**

Estudios previos han demostrado que las tortas de orujo de semilla de uva (TSU 5 % de la dieta basal), como fuente rica en proantocianidinas, estilbenos y flavanoles (catequinas, epicatequinas, galocatequinas, epigalocatequinas y procianidinas), aumentaron los niveles de IgA (49.9 %) en el plasma animal<sup>(41)</sup>. Además, el orujo disminuyó la respuesta inflamatoria en el hígado y el bazo, junto con la producción de citoquinas hepáticas (IFN- $\gamma$ , IL-1, IL-8 e IL-6), y la expresión génica y la concentración de marcadores proinflamatorios (IL-1 $\beta$  e IFN- $\gamma$ ) en el bazo<sup>(63)</sup>. De manera similar, con la misma dosis, se reportó que los niveles de colesterol se redujeron, lo que se atribuye a la capacidad del resveratrol y la epigalocatequina para unirse a reguladores clave del metabolismo lipídico hepático<sup>(69)</sup>. Aunque los niveles de malondialdehído (MDA) disminuyeron en el hígado (13 %), los resultados fueron inconsistentes en términos de expresión de genes enzimáticos; actividades CAT, SOD y GPx, CAO-T; lo que indica que el estado antioxidante de los cerdos no mejoró durante la suplementación y puede atribuirse al bajo

contenido de CF en la matriz. En contraste, otros autores<sup>(63,68)</sup> reportaron un aumento significativo en la expresión de genes enzimáticos (CAT, GPx); una tendencia similar en la actividad de CAT, SOD, GPx y CAO-T (49 %); y disminución de los niveles de MDA en el bazo (20 %). Del mismo modo, con la adición de 9 % de ensilado de OU durante la etapa de crecimiento, la descomposición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aumentó<sup>(20)</sup>.

Se ha indicado que la inclusión de 1 % de ESUOU con un contenido de polifenoles de 8.5 % y la adición de 3 % de OU fermentado es eficaz para mejorar el rendimiento productivo (peso corporal, ganancia media diaria [GMD], ingesta de alimento y conversión alimenticia) en cerdos en crecimiento<sup>(70)</sup>. Sin embargo, también se ha demostrado que la inclusión de TSU (5 %) en cerdos en finalización no influye en el desempeño productivo<sup>(64)</sup>. Resultados similares fueron obtenidos por otros autores en todas las etapas de finalización<sup>(62)</sup>. A pesar de que se ha reportado que el OU mejora las capacidades sensoriales y el metabolismo en cerdos<sup>(58)</sup>, pocos estudios específicos para la etapa de finalización (> 70 kg) han evaluado algún subproducto de la vinificación, a diferencia de las dos primeras fases de producción<sup>(71)</sup>. En general, las investigaciones integran la fase de iniciación con el crecimiento<sup>(27)</sup>. Incluso los resultados de la suplementación con OU sobre el desempeño productivo (GMD, conversión alimenticia y consumo de alimento) son inconsistentes<sup>(17)</sup> y se ha sugerido que esta matriz nutricional puede suprimir el rendimiento del crecimiento. La concentración y el perfil de los CF determinarán este impacto, junto con la unión a las enzimas digestivas y a las proteínas<sup>(72)</sup>.

Un estudio en cerdos reportó que la inclusión de 300 y 600 mg/kg de resveratrol en las dietas de finalización durante 49 d indujo una transición en el tipo de fibras musculares y un cambio en el metabolismo energético<sup>(73)</sup> que favoreció la expresión de fibras oxidativas (IIA) sobre fibras glucolíticas (IIB). Estos resultados son consistentes con los reportados por otros autores, quienes observaron una menor proporción de fibras IIB cuando los animales fueron suplementados con 400 ppm y 600 ppm de resveratrol durante 42 d, lo que podría indicar un efecto promotor del crecimiento<sup>(74)</sup>. No obstante, los autores no observaron un efecto significativo en la eficiencia de la producción. Asimismo, se ha demostrado que con la inclusión de orujo seco (5 %) en cerdos en finalización, se modifica el perfil de polifenoles en plasma (273 nm y 279 nm) y estos cambios podrían reflejarse en el músculo<sup>(75)</sup>.

### **Efectos de los subproductos de la vinificación y los extractos de polifenoles del vino en la calidad de la carne de cerdo, el valor nutricional y los productos cárnicos**

La suplementación con orujo de uva en dietas o su inclusión directa en carnes o productos cárnicos ejerce un efecto antioxidante y antimicrobiano que determina la calidad final del producto. Asimismo, se ha reportado que la estabilidad oxidativa de los productos cárnicos está determinada por la composición de ácidos grasos insaturados<sup>(76,77)</sup>. A pesar de que un mayor contenido de AGPI en la carne se ha asociado con una mayor

susceptibilidad a la oxidación lipídica, también se ha demostrado que la inclusión de fuentes ricas en CF le confiere mayor estabilidad, lo que se atribuye a un aumento de la actividad enzimática antioxidante y a una disminución de MDA y TBARS en el músculo de monogástricos<sup>(1,3)</sup>. Los efectos antioxidantes de los subproductos del orujo, como las semillas y las pieles de uva, que se han visto en la producción animal, se han asociado con productos finales de la degradación de CF de bajo peso molecular, que pueden ser transferidos a los tejidos y se han detectado compuestos responsables como la epicatequina, entre otros<sup>(51,76)</sup>.

Por lo tanto, ha recibido una atención significativa como conservante natural durante el almacenamiento de la carne para prolongar la vida de anaquel. De hecho, se ha demostrado que la suplementación oral de flavonoides (quercetina, epicatequina y catequina) en la dieta aumenta las concentraciones *in vivo* de vitamina E<sup>(78)</sup>, lo que podría explicar el efecto antioxidante de los CF en los tejidos animales. Además, la dinámica de almacenamiento y deposición de vitamina E difiere en los animales monogástricos. En cerdos, la acumulación de esta vitamina en respuesta a la suplementación con orujo de uva es significativa en grasa, hígado y músculo, mientras que en aves hay más deposición en el hígado y menor deposición en la grasa<sup>(79)</sup>. Además, se ha reportado que la inclusión de 30 g de orujo fermentado/kg en las dietas de cerdos mejoró el porcentaje de marmoleado (3.5 %), aumentó los valores de a\* (25 %) y b\* (45 %) de la carne, y redujo los niveles de MDA en un 53 %<sup>(27)</sup>. Del mismo modo, el orujo modifica el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y la relación AGS/AGPI, lo que se ha atribuido al efecto moderador del orujo de uva sobre la vitamina E en el intestino<sup>(78)</sup>. Asimismo, también se ha demostrado que el suministro de 5 % de orujo de uva de la alimentación de cerdos en finalización aumenta los niveles de ácidos grasos omega 3 (1.27 veces), alfa-linoleico (1.35 veces) y ácido eicosapentaenoico (1.30 veces), mientras que tiende a disminuir la relación n-6:n-3 con respecto al testigo<sup>(75)</sup>.

Además, se ha demostrado que el valor de b\* se ve afectado principalmente por el tipo de mioglobina en el músculo<sup>(27)</sup>. Sin embargo, la suplementación de 3 %, 5 %, 6 % y 10 % de orujo de uva con una mezcla de aceites desde la etapa de finalización no afectó la producción de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, por sus siglas en inglés) en las muestras de lomo de cerdo<sup>(79)</sup>, pero aumentó el valor de a\* junto con el índice de saturación de color, lo que sugiere un posible efecto antioxidante.

En cuanto a la textura de la carne, se han obtenido resultados satisfactorios en la fuerza de cizallamiento, que se han asociado a un aumento de los valores de pH en respuesta a la suplementación con extractos de orujo de uva. Además, se ha propuesto que la proantocianidina de uva puede disminuir la deposición de colágeno al suprimir la expresión de promotores proteicos involucrados en la síntesis de colágeno (TGF- $\beta$ )<sup>(80)</sup>.

Por otro lado, en la maduración de los productos cárnicos, se ha determinado que por cada 100 g de carne cruda se debe utilizar una mezcla de orujo de uva en polvo (1L) a 4 °C durante 72 h. Marinando el lomo de cerdo con esta mezcla, la proteína cruda, la grasa

cruda, las cenizas, el pH, el valor de a\* y el valor de b\* en la carne disminuyeron, y su fuerza de cizallamiento y contenido de humedad aumentaron. Durante el almacenamiento de la carne, la concentración de TBARS, nitrógeno básico volátil y el recuento microbiano total disminuyeron<sup>(80,81)</sup>. Estos resultados podrían ser atribuidos a los ácidos orgánicos y CF presentes en los SPV, que podrían inhibir el crecimiento de microorganismos al reducir la actividad de algunas enzimas e inhibir la producción de sustancias básicas<sup>(82)</sup>. Por lo tanto, marinar con orujo de uva en polvo mejora algunas características de calidad de la carne y estabiliza el lomo de cerdo durante el almacenamiento. Resultados similares se observaron al agregar dos diferentes extractos de orujo de uva a hamburguesas de cerdo<sup>(83)</sup>, lo que resultó en una inhibición en la oxidación lipídica, una mayor estabilidad del color y una mejor aceptabilidad con el método de extracción HLIP (Cuadro 3).

**Cuadro 3:** Adición de subproductos de vinificación en la carne de cerdo y productos porcinos

Subproducto de uva	Músculo o producto cárnico	Dosis	Almacenamiento	Resultados	Referencia
ESU		0.005%, 0.01%, 0.02% (49 d)		↑ en pH24h (3%) ↑ Rojez (15%) ↑AGPI (20%), contenido de AGPI n-3 (13%) ↑ Relación AGPI/AGS (26%) ↓ Fuerza de cizallamiento ↓ Pérdida por goteo (39%)	[94]
ESU	<i>L. thoracis</i> <i>Semimembra</i> <i>nosus</i>	3-5 % (21 d) 6-10% (17 d)	-----	↑ Valor y saturación de color ↑ Contenido de omega 3 y de AGPI en la grasa dorsal	[79]
OU en polvo	Lomo marinado	20%; 40%; 0.5%; 1%; 2%	4°C durante 10 d	↓ pH y color; ↑ Fuerza de cizallamiento Inhibe la peroxidación lipídica, nitrógeno	[82]

				volátil y crecimiento de microorganismos	
ESU	Hamburguesas de cerdo	0.06 g/100 g	4°C durante 6 d	Estabilidad del color Inhibición de la peroxidación lipídica Mejora la aceptabilidad general después de 6 d de almacenamiento	[83]
ESU	Hamburguesas de cerdo	1 g/kg	2 °C durante 1, 6, 13 y 20 d	Reduce la oxidación lipídica ↓ Bacterias totales (BAL, pseudomonas y bacterias psicotróficas)	[81]
ESU	Hamburguesas de cerdo	0.2 g/kg	18°C durante 6 meses	↓ Valores de TBARS ↑ Actividad antioxidante que oleorresina de romero, extracto de orégano, BHA y BHT	[80]
OU fermentado	<i>Longissimus</i>	3% (105 d)*	-----	↑ Valor de a* (20%) y b (31%) ↑ Marmoleado y modificación del patrón de ácidos grasos (AGPI y relación AGS / AGPI; ↓ TBARS (47%)	[27]
Ensilado	de <i>L. thoracis</i>	3.5%*		↑AGPI/AGS	[92]

OU		7.0%* (86 d)	-----	(38%) ↑AGPI y AGPI n-3 ↓AGS (8%) y relación n-6/n- 3 (13%) ↑TBARS (85%) Sin efectos en marmoleado, color, pérdida por goteo
RES	<i>L. thoracis</i>	300 mg/kg *		↓ Pérdidas por [55] goteo; ↑ pH 24h ↑ Grasa intramuscular

\* Suplementación de piensos para animales.

### Consideraciones tecnológicas para la inclusión de subproductos de la vinificación en dietas de monogástricos

Los SPV como el orujo de uva han sido sometidos a diversos pretratamientos (enzimas endógenas, enzimas celulolíticas, polietilenglicol y fermentación) para aumentar la biodisponibilidad de sus CB, especialmente de los CF, y mejorar su valor nutricional para favorecer su inclusión en la alimentación animal. En este contexto, se ha demostrado que la inclusión de complejos enzimáticos (tanasa) y polietilenglicol en dietas de monogástricos puede inactivar parcialmente los taninos condensados del orujo de uva, minimizar el contenido de factores antinutricionales y aumentar la actividad antioxidante y antimicrobiana<sup>(28,84)</sup>. Entre estos tratamientos, se han destacado los procesos de fermentación con levaduras, bacterias y hongos<sup>(27)</sup>. En este contexto, se desarrolló un enfoque biotecnológico sistemático, a través del cual se evaluaron las capacidades metabólicas de varias especies de hongos (*Aspergillus*, *Rhizopus* y *Trichoderma* ssp.) sobre la bioconversión de orujo de uva y lías a alimento para animales<sup>(85)</sup>. En este estudio, los autores obtuvieron una mejora en el contenido de proteínas (5 a 26 %) y en la digestibilidad del alimento (25 a 50 %).

Del mismo modo, la suplementación de 3 % de orujo de uva fermentado con *Saccharomyces boulardii* en cerdos durante su etapa de crecimiento-finalización aumentó la digestibilidad aparente de la materia seca (79 %) y el nitrógeno (82.5 %) después de 11 semanas<sup>(27)</sup>. Estos resultados sugieren que los CF de esta matriz pueden estimular la fermentación intestinal e influir en la producción de metabolitos microbianos específicos, lo que explica la mejora en el crecimiento. Esta estrategia posibilita el suministro de fuentes ricas en proteínas y un estado nutricional óptimo a los animales<sup>(66)</sup>. No obstante, también se ha reportado que con la inclusión de 20 % de orujo de uva fermentado en

cerdos en finalización, se redujo la digestibilidad de la materia seca, proteína cruda, energía y aminoácidos esenciales y no esenciales con respecto al testigo<sup>(25)</sup>. Estos resultados se atribuyeron a la formación de complejos entre algunas CF y la proteína del alimento, lo que limitó la acción de las enzimas digestivas; por lo tanto, es necesario considerar los niveles de inclusión para cada etapa de producción.

Otros procesos tecnológicos como la elaboración de harinas, polvos y tortas a partir de SPV (semillas, orujo, pieles) son indispensables en la formulación de dietas para animales monogástricos. Por ello, se han evaluado y estandarizado las condiciones óptimas de temperatura, tiempo y tamaño de partícula para obtener mejores resultados en la alimentación animal con respecto al subproducto crudo. El OU ha sido sometido a un proceso de secado con flujo de aire caliente a 65 °C durante 4 días, 60 °C durante 20 h<sup>(16,86)</sup>, 50 °C durante 12 h<sup>(87)</sup> y 60 °C hasta alcanzar un peso constante. Además, después de la molienda, se han definido tamaños de partícula de 1 mm a 6 mm para aves y cerdos respectivamente<sup>(67,70,86)</sup>. Asimismo, también es importante definir y especificar las condiciones de temperatura/tiempo para el OU destinado a la alimentación de cerdos y estandarizar los tamaños de partícula dependiendo de la etapa de producción, lo que ha permitido obtener mejores resultados en la alimentación animal con respecto a los subproductos crudos<sup>(8,20,70)</sup>.

## **Conclusiones e implicaciones**

Un gran número de estudios realizados han evaluado las propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas e inmunomoduladoras de los subproductos de la industria vitivinícola, con énfasis en lechones destetados y primeras etapas de crecimiento. Sin embargo, no se ha determinado el efecto sobre las fibras musculares con la matriz cruda. En la etapa final de la producción, aún es necesario continuar evaluando diferentes presentaciones de esta matriz y nuevos niveles de inclusión y considerar las tasas de mortalidad como otra medida indirecta del desempeño productivo. La inclusión de orujo de uva en forma de extracto o harina y sus CB en las dietas de los cerdos en cada fase productiva se considera una fuente antioxidante y antimicrobiana de bajo costo que ejerce múltiples beneficios sobre el desempeño productivo de los cerdos, así como sobre la calidad de la carne. Por lo tanto, representa una alternativa prometedora para el sector de nutrición animal que podría minimizar el uso de compuestos antioxidantes sintéticos, promotores de crecimiento como antibióticos y agentes beta-adrenérgicos en el sistema de producción porcina.

## **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

**Literatura citada:**

1. Alfaia CM, Costa MM, Lopes PA, Pestana JM, Prates JAM. Use of grape by-products to enhance meat quality and nutritional value in monogastric. *Foods* 2022;11(274):1–13.
2. Makkar HPS. Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal* 2018;12(8):1744–1754.
3. Costa MM, Alfaia CM, Lopes PA, Pestana JM, Prates JAM. Grape by-products as feedstuff for pig and poultry production. *Animals* 2022;12(2239):1–18.
4. Achilonu M, Shale K, Arthur G, Naidoo K, Mbatha M. Phytochemical benefits of agroresidues as alternative nutritive dietary resource for pig and poultry farming. *J Chem* 2018;2018:1–15.
5. Pandey AK, Kumar P, Saxena MJ. Feed additives in animal health. In: Gupta RC, Sevastrava A, Rajiv L editors. *Nutraceuticals in veterinary medicine*. 1st ed. USA: Springer International Publishing; 2019:345–362.
6. Kumar D, Kalita P. Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods* 2017;6(8):1–22.
7. Fierascu RC, Sieniawska E, Ortan A, Fierascu I, Xiao J. Fruits by-products – a source of valuable active principles. A Short Review. *Front Bioeng Biotechnol* 2020;8(319):1–8.
8. Beres C, Costa GNS, Cabezudo I, Silva-James NK, Teles ASC, Cruz APG, *et al.* Towards integral utilization of grape pomace from winemaking process: A review. *Waste Management* 2017;68:581–594.
9. García-Lomillo J, González-Sanjosed ML. Applications of wine pomace in the food industry: Approaches and functions. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2016;00:1–20.
10. Kalli E, Lappa I, Bouchagier P, Tarantilis PA, Skotti E. Novel application and industrial exploitation of winery by-products. *Bioresour Bioprocess* 2018;5(46):1–21.
11. Gómez-Brandón M, Lores M, Insam H, Domínguez J. Strategies for recycling and valorization of grape marc. *Crit Rev Biotechnol* 2019;39:437–450.
12. Antonić B, Jančíková S, Dordević D, Tremlová B. Grape pomace valorization: a systematic review and meta-analysis. *Foods* 2020;9(11):1627.
13. Mironeasa S. Potential of grape by-products as functional ingredients in baked goods and pasta. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2020;19:2473–2505.
14. Dwyer K, Hosseinian F, Rod M. The market potential of grape waste alternatives. *J Food Res* 2014;3(2):91–106.

15. Secco C, Luz LM da, Pinheiro E, Francisco AC de, Puglieri FN, Piekarski CM, *et al.* Circular economy in the pig farming chain: Proposing a model for measurement. *J Clean Prod* 2020;260(121003):1–10.
16. Beres C, Pereira S, Luiz R, Godoy DO, Cristine D, Oliveira R de, *et al.* Antioxidant dietary fiber from grape pomace flour or extract: ¿Does it make any difference on the nutritional and functional value? *J Funct Foods* 2019;56:276–285.
17. Upadhaya SD, Kim IH. Efficacy of phytogetic feed additive on performance, production, and health status of monogastric animals - A review. *Ann Anim Sci* 2017;17(4):929–948.
18. Windisch W, Schedle K, Plitzner C, Kroismayr A. Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry. *J Anim Sci* 2008;86(14):140–148.
19. Li L, Sun X, Zhao D, Dai H. Pharmacological applications, and action mechanisms of phytochemicals as alternatives to antibiotics in pig production. *Front Immunol* 2021;12(7985553):1–18.
20. Kafantaris I, Stagos D, Kotsampasi B, Hatzis A, Kypriotakis A, Gerasopoulos K, *et al.* Grape pomace improves performance, antioxidant status, fecal microbiota and meat quality of piglets. *Animal* 2018;12(2):246–255.
21. Zhu F, Du B, Zheng L, Li J. Advance on the bioactivity and potential applications of dietary fiber from grape pomace. *Food Chem* 2015;186:207–212.
22. OIV (International Organisation of Vine and Wine) Annual Assessment of the World Vine and Wine Sector in 2021:1-30.
23. Zacharof M. Grape winery waste as feedstock for bioconversions: Applying the biorefinery concept. *Waste Biomass Valorization* 2017;8(4):1011–1025.
24. Broome JC, Warner KD. Agro-environmental partnerships facilitate sustainable wine-grape production and assessment. *Calif Agric* 2008;64(4):133–141.
25. Cho SB, Cho JH, Hwang OH, Yang S, Park KH, Choi DY, *et al.* Effects of fermented diets including grape and apple pomace on amino acid digestibility, nitrogen balance and volatile fatty acid (VFA) emission in finishing pigs. *J Anim Vet Adv* 2012;11(18):3444–3451.
26. Priester M, Visscher C, Fels M, Rohn K, Dusel G. Fiber supply for breeding sows and its effects on social behaviour in group- housed sows and performance during lactation. *Porcine Health Management* 2020;3:1–16.
27. Yan L, Kim IH. effect of dietary grape pomace fermented by *Saccharomyces boulardii* on the growth performance, nutrient digestibility and meat quality in finishing pigs. *Asian-Australas J Anim Sci* 2011;24:1763–1770.

28. Kumanda C, Mlambo V, Mnisi CM. Valorization of red grape pomace waste using polyethylene glycol and fibrolytic enzymes: Physiological and meat quality responses in broilers. *Animals* 2019;9(10).
29. Erinle TJ, Adewole DI. Fruit pomaces—their nutrient and bioactive components, effects on growth and health of poultry species, and possible optimization techniques. *Anim Nutrition* 2022;9:357–377.
30. Hogervorst JC, Miljić U, Puškaš V. Extraction of bioactive compounds from grape processing by-products. In: Galanakis CM editor. *Handbook of grape processing by-products*. 1st ed. London UK Academic Press, 2017:105–135.
31. Jovanovic S, Steenken S, Simic MG, Hara Y. Antioxidant properties of flavonoids: reduction potentials and electron transfer reactions of flavonoid radicals. *Flavonoides in health and disease*. Marcel Dekker; 1998;137–161.
32. Augustine S, Kudachikar VB, Vanajakshi V, Ravi R. Effect of combined preservation techniques on the stability and microbial quality and retention of anthocyanins in grape pomace stored at low temperature. *J Food Sci Technol* 2013;50(2):332–338.
33. Shehzad A, Islam SU, Al-Suhaimi EA, Lee YS. Pleiotropic effects of bioactive phytochemicals (polyphenols and terpenes). In: Vatten PD, Maitin V editors. *Functional foods, nutraceuticals and natural products. Concepts and applications*. 1st ed. Lancaster, Pennsylvania, USA: DEStech Publications Inc; 2016:47-88.
34. Caponio GR, Noviello M, Calabrese FM, Gambacorta G, Giannelli G, Angelis M de. Effects of grape pomace polyphenols and *in vitro* gastrointestinal digestion on antimicrobial activity: Recovery of bioactive compounds. *Antioxidants* 2022;11(3):1-14.
35. Brenes A, Chamorro S, Arija I. Use of polyphenol-rich grape by-products in monogastric nutrition. A review. *Anim Feed Sci Technol* 2016;211:1–17.
36. Singh J, Dhananjay SG. Phytogetic feed additives in animal nutrition. In: Singh J, Yadav AN, editors. *Natural bioactive products in sustainable agriculture*. Singapore: Springer, 2020;273–289.
37. Lillehoj H, Liu Y, Calsamiglia S, Fernandez-Miyakawa ME, Chi F, Cravens RL, *et al*. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Vet Res* 2018;49(1):1–18.
38. Zhang L, Zhang J, Yan E, He J, Zhong X, Zhang L, *et al*. Dietary supplemented curcumin improves meat quality and antioxidant status of intrauterine growth retardation growing pigs via Nrf2 signal pathway. *Animals* 2020;10(3):1–15.
39. Ianni A, Martino G. Dietary grape pomace supplementation in dairy cows: Effect on nutritional quality of milk and its derived dairy products. *Foods* 2020;9(2).

40. Karásková K, Suchý P, Straková E. Current use of phytogetic feed additives in animal nutrition: A review 2015;2015(12):521–530.
41. Meng Q, Guo T, Li G, Sun S, He S, Cheng B, *et al.* Dietary resveratrol improves antioxidant status of sows and piglets and regulates antioxidant gene expression in placenta by Keap1-Nrf2 pathway and Sirt1. *J Anim Sci Biotechnol* 2018;9(1):1–13.
42. Hashem NM, Gonzalez-Bulnes A, Simal-Gandara J. Polyphenols in farm animals: Source of reproductive gain or waste? *Antioxidants* 2020;9(10):1–30.
43. Li S, Huang K, Zhong M, Guo J, Wang WZ, Zhu R. Comparative studies on the interaction of caffeic acid, chlorogenic acid and ferulic acid with bovine serum albumin. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc* 2010;77(3):680–686.
44. Hufana-Duran D, Duran PG. Animal reproduction strategies for sustainable livestock production in the tropics. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2020;492(012065).
45. Correddu F, Lunesu MF, Buffa G, Atzori AS, Nudda A, Battacone G, *et al.* Can agro-industrial by-products rich in polyphenols be advantageously used in the feeding and nutrition of dairy small ruminants? *Animals* 2020;10(1):1–25.
46. Ly C, Yockell-Lelièvre J, Ferraro ZM, Arnason JT, Ferrier J, Gruslin A. The effects of dietary polyphenols on reproductive health and early development. *Hum Reprod Update* 2015;21(2):228–248.
47. Gadani B, Bucci D, Spinaci M, Tamanini C, Galeati G. Resveratrol and Epigallocatechin-3-gallate addition to thawed boar sperm improves *in vitro* fertilization. *Theriogenology* 2017;90:88–93.
48. Gloria A, Contri A, Grotta L, Carluccio A, Robbe D, Ianni A, *et al.* Effect of dietary grape marc on fresh and refrigerated boar semen. *Anim Reprod Sci* 2019;205:18–26.
49. Spinaci M, Volpe S, Ambrogi M De, Tamanini C, Galeati G. Effects of epigallocatechin-3-gallate (EGCG) on *in vitro* maturation and fertilization of porcine oocytes. *Theriogenology* 2008;69(7):877–885.
50. Wang X, Jiang G, Kebreab E. Effects of dietary grape seed polyphenols supplementation during late gestation and lactation on antioxidant status in serum and immunoglobulin content in colostrum of multiparous sows. *J Anim Sci* 2019;97(6):2515–2523.
51. Lipiński K, Mazur M, Antoszkiewicz Z, Purwin C. Polyphenols in monogastric nutrition - A review. *Ann Anim Sci* 2017;17(1):41–58.

52. Fan Z, Xiao Y, Chen Y, Wu X, Zhang G, Wang Q, Xie C. Effects of catechins on litter size, reproductive performance and antioxidative status in gestating sows. *Animal Nutrition* 2015;1:271–275.
53. Chen J, Huang Z, Cao X, Zou T, You J, Guan W. Plant-derived polyphenols in sow nutrition: An update. *Anim Nutrition* 2023;12:96–107.
54. Lipiński K, Antoszkiewicz Z, Mazur-Kuśnirek M, Korniewicz D, Kotlarczyk S. The effect of polyphenols on the performance and antioxidant status of sows and piglets. *Ital J Anim Sci* 2019;18(1):174–181.
55. Meng Q, Sun S, Bai Y, Luo Z, Li Z, Shi B, *et al.* Effects of dietary resveratrol supplementation in sows on antioxidative status, myofiber characteristic and meat quality of offspring. *Meat Sci* 2020;167(108176):1-8.
56. Sridhar M, Suganthi RU, Thammiah V. Effect of dietary resveratrol in ameliorating aflatoxin B1-induced changes in broiler birds. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2015;99(6):1094–1104.
57. Wang M, Huang H, Hu Y, Huang J, Yang H, Wang L, *et al.* Effects of dietary microencapsulated tannic acid supplementation on the growth performance, intestinal morphology, and intestinal microbiota in weaning piglets. *J Anim Sci* 2020;98(5):1-12.
58. Fiesel A, Gessner DK, Most E, Eder K. Effects of dietary polyphenol-rich plant products from grape or hop on pro-inflammatory gene expression in the intestine, nutrient digestibility, and faecal microbiota of weaned pigs. *BMC Vet Res* 2014;10(1):1–11.
59. Gessner DK, Ringseis R, Eder K. Potential of plant polyphenols to combat oxidative stress and inflammatory processes in farm animals. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2017;101(4):605–628.
60. Gambacorta L, Pinton P, Avantiaggiato G, Oswald IP, Solfrizzo M. Grape pomace, an agricultural byproduct reducing mycotoxin absorption: *In vivo* assessment in pig using urinary biomarkers. *J Agric Food Chem* 2016;64(35):6762–6771.
61. Taranu I, Hermenean A, Bulgaru C, Pistol GC, Ciceu A, Grosu IA, *et al.* Diet containing grape seed meal by-product counteracts AFB1 toxicity in liver of pig after weaning. *Ecotoxicol Environ Saf* 2020;203(110899):1-14.
62. Gessner DK, Fiesel A, Most E, Dinges J, Wen G, Ringseis R, *et al.* Supplementation of a grape seed and grape marc meal extract decreases activities of the oxidative stress-responsive transcription factors NF- $\kappa$ B and Nrf2 in the duodenal mucosa of pigs. *Acta Vet Scand* 2013;55(1):18.

63. Marin DE, Bulgaru CV, Anghel CA, Pistol GC, Dore MI, Palade ML, *et al.* Grape seed waste counteracts aflatoxin B1 toxicity in piglet mesenteric lymph nodes. *Toxins* 2020;12(800):1–14.
64. Hao R, Li Q, Zhao J, Li H, Wang W, Gao J. Effects of grape seed procyanidins on growth performance, immune function, and antioxidant capacity in weaned piglets. *Livest Sci* 2015;1–6.
65. Wang R, Yu H, Fang H, Jin Y, Zhao Y, Shen J, *et al.* Effects of dietary grape pomace on the intestinal microbiota and growth performance of weaned piglets. *Arch Anim Nutr* 2020;74(4):296–308.
66. Zacharof M. Grape winery waste as feedstock for bioconversions: applying the biorefinery concept. *Waste biomass valorization*. 2017;8(4):1011–1025.
67. Taranu I, Habeanu M, Gras MA, Pistol GC, Lefter N, Palade M, *et al.* Assessment of the effect of grape seed cake inclusion in the diet of healthy fattening-finishing pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 2017;102(1):1–12.
68. Guo X, Wu Y, Wang Y, Jia J, Li M, Hei W, *et al.* MyHCs developmental expression patterns and its effect on muscle fiber characteristics in pig. *J Appl Anim Res* 2020;48(1):176–183.
69. Grosu IA, Pistol GC, Marin DE, Ci A, Palade M. Effects of dietary grape seed meal bioactive compounds on the colonic microbiota of weaned piglets with dextran sodium sulfate-induced colitis used as an inflammatory model. *Front Vet Sci* 2020;7(31):1–14.
70. Chedea VS, Palade LM, Pelmus RS, Dragomir C, Taranu I. Red grape pomace rich in polyphenols diet increases the antioxidant status in key organs— kidneys, liver, and spleen of piglets. *Animals* 2019;9(4):1–18.
71. Sehm J, Treutter D, Lindermayer H, Meyer HHD, Pfaffl MW. The influence of apple- or red-grape pomace enriched piglet diet on blood parameters, bacterial colonization, and marker gene expression in piglet white blood cells. *Food Nutr Sci* 2011;2(4):366–376.
72. Wang D, Williams BA, Ferruzzi MG, Arcy BRD. Different concentrations of grape seed extract affect *in vitro* starch fermentation by porcine small and large intestinal inoculant. *J Sci Food Agric* 2012;93(2):276–283.
73. Zhang C, Luo J, Yu B, Zheng P, Huang H, Mao X, *et al.* Dietary resveratrol supplementation improves meat quality of finishing pigs through changing muscle fiber characteristics and antioxidative status. *Meat Sci* 2015;102:15–21.
74. Huang Y, Xia Q, Cui Y, Qu Q, Wei Y, Jiang Q. Resveratrol increase the proportion of oxidative muscle fiber through the AdipoR1-AMPK-PGC-1 $\alpha$  pathway in pigs. *J Funct Foods Elsevier* 2020;73(104090):1-8.

75. Habeanu M, Chedea VS, Anca G. Dried grape pomace influenced fatty acids composition of *Longissimus dorsi* muscle and plasma polyphenols spectrum in finishing pigs. The Research and Development Station for Viticulture and Enology, Blaj Romania. *Indian J Anim Sci* 2015;85(87):786-789.
76. Arend FA, Murdoch GK, Doumit ME, Chibisa GE. Inclusion of grape pomace in finishing cattle diets: carcass traits, meat quality and fatty acid composition. *Animals* 2022;12(2597):2-20.
77. Ianni A, Luca A di, Martino C, Bennato F, Marone E, Grotta L, *et al.* Dietary supplementation of dried grape pomace increases the amount of linoleic acid in beef, reduces the lipid oxidation and modifies the volatile profile. *Animals* 2019;9(8):2-20
78. Frank J. Beyond vitamin E supplementation: An alternative strategy to improve vitamin E status. *J Plant Physiol* 2005;162(7):834-843.
79. Bertol TM, Ludke JV, Campos RML de, Kawski VL, Cunha Junior A, Figueiredo EAP de. Inclusion of grape pomace in the diet of pigs on pork quality and oxidative stability of omega-3 enriched fat. *Ciência Rural* 2017;47(4):1-7.
80. Sasse A, Colindres P, Brewer MS. Effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of cooked, frozen pork patties. *J Food Sci* 2009;74(1):31-35.
81. Lorenzo JM, Sineiro J, Amado IR, Franco D. Influence of natural extracts on the shelf life of modified atmosphere-packaged pork patties 2014;96:526-534.
82. Lee HJ, Lee JJ, Jung MO, Choi JS, Jung JT, Choi Y Il, *et al.* Meat quality and storage characteristics of pork loin marinated in grape pomace. *Korean J Food Sci Anim Resour* 2017;37(5):726-734.
83. Garrido MD, Auqui M, Martí N, Linares MB. Effect of two different red grape pomace extracts obtained under different extraction systems on meat quality of pork burgers. *LWT - Food Sci Technol* 2011;44(10):2238-2243.
84. Niekerk RF van, Mnisi CM, Mlambo V. Polyethylene glycol inactivates red grape pomace condensed tannins for broiler chickens. *Br Poult Sci* 2020;61(5):566-573.
85. Jin B, Zepf F, Bai Z, Gao B, Zhu N. A biotech-systematic approach to select fungi for bioconversion of winery biomass wastes to nutrient-rich feed. Process safety and environmental protection. *Institution of Chemical Engineers* 2016;103:60-68.
86. Aditya S, Ohh SJ, Ahammed M, Lohakare J. Supplementation of grape pomace (*Vitis vinifera*) in broiler diets and its effect on growth performance, apparent total tract digestibility of nutrients, blood profile, and meat quality. *Anim Nutrition* 2018;4(2):210-214.

87. Iora SRF, Maciel GM, Zielinski AF, Silva MV, Pontes PVDA, Haminiuk CWI, *et al.* Evaluation of the bioactive compounds and the antioxidant capacity of grape pomace. *Food Sci Technol* 2015;50:62–69.
88. Choy YY, Quifer-Rada P, Holstege DM, Frese SA, Calvert CC, Mills DA, *et al.* Phenolic metabolites and substantial microbiome changes in pig feces by ingesting grape seed proanthocyanidins. *Food Funct* 2014;5(9):2298–2308.
89. Tripura S, Shyama K, Ally K, Ajith KS, Tarang M, *et al.* Incorporation of cooked barley residue and spent grapes in the ration of pregnant Large White Yorkshire sows and their piglets. *Trop Anim Health Prod* 2021;53(77):1-12.
90. Fang L, Li M, Zhao L, Han S, Li Y, Xiong B, *et al.* Dietary grape seed procyanidins suppressed weaning stress by improving antioxidant enzyme activity and mRNA expression in weanling piglets. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2020;104(4):1178–1185.
91. Rajković E, Schwarz C, Tischler D, Schedle K, Reisinger N, Emsenhuber C, *et al.* Potential of grape extract in comparison with therapeutic dosage of antibiotics in weaning piglets: Effects on performance, digestibility and microbial metabolites of the ileum and colon. *Animals* 2021;11(10).
92. Trombetta F, Fruet APB, Stefanello FS, Fonseca PAF, Souza ANM, Tonetto CJ, *et al.* Effects of the dietary inclusion of linseed oil and grape pomace on weight gain, carcass characteristics, and meat quality of swine. *Int Food Res J* 2019;26(6):1741–1749.
93. Taranu I, Gras MA, Habeanu M, Pistol C, Lefter N, Palade ML, *et al.* Active ingredients from oil by-products modulate spleen inflammatory and antioxidant response in pigs. *Archiva Zootech* 2020;81–97.
94. Xu M, Chen X, Huang Z, Chen D, Li M, He J, *et al.* Effects of dietary grape seed proanthocyanidin extract supplementation on meat quality, muscle fiber characteristics and antioxidant capacity of finishing pigs. *Food Chem* 2022;367(130781):1–8.

**Cuadro 2:** Efectos de los compuestos fenólicos de los subproductos de la vinificación en los sistemas de producción porcina

Etapa productiva	Peso del animal (kg)	Subproducto de uva	Duración (días)	Dosis	Tipo de aditivo <sup>b</sup>		Resultados <sup>c</sup>	Referencia
Cerdas	130-150	ESU (extracto de semilla de uva)	6	1% p/p	Z	MFI	↑ <i>Lachnospiraceae</i> , ↑ <i>Clostridiales</i> , ↑ <i>Lactobacillus</i> ↑ <i>Ruminococcaceae</i>	[88]
Lactancia Amamantamiento	NR	PSU (polifenoles de semilla de uva)	35 21	200 y 300 mg/kg	T Z	Antioxidante DP; DR y composición nutricional y contenido de Ig en calostro	↓ Muerte fetal (0.63) ↑ Supervivencia al parto (89.33%) ↑ Supervivencia al predestete (95.23) ↑ P4 y E2; ↑ SOD y GSH-Px	[50]
Gestación Lactancia Destete Finalización	NR	RES (resveratrol)	94 21 68 108	300 mg/kg	T Z	Antioxidante DP Promotor del crecimiento	↓ Expresión de MyHC Iib ↓ MDA; ↑ SOD	[41,55]
Gestación Destete	NR	RES	94 21	300 mg/kg	T Z	Antioxidante DP	↑ Peso al destete por camada y lechón ↑ EAO en leche, placenta y plasma de hembras y lechones; ↑ expresión génica (CAT, GPx, SOD). ↑ Expresión de SIRT1 en placenta	[41]

								↓ Expresión de IL-8 en placenta
Lactancia	180.53	Uvas agotadas	63	Reemplazo de 25% de maíz	Z	DP		Tendencia a disminuir [89] TCA; Sin efectos en CDA de ELN, GMD, IDPA, peso corporal final
Destete	8.4	PSU	28	40, 70, 100 mg/kg	T Z	Antioxidante MFI DP		40 mg/ Kg ↑ GMD y ↓ [90] FRC ↓ Incidencia de diarrea (40-70 mg/Kg), ↓MDA ↑Actividad amilasa y lipasa ↑Enzimas antioxidantes (GSH-Px, SOD y CAO-T)
Destete	6.9	ESU	56	0.015%	Z	DP Digestibilidad		Mejora del CDA en el [91] tracto, Sin efectos en los metabolitos microbianos
Destete (día 28)	NR	HSU (harina de semilla de uva)	30	8% p/p	T Z	Aglutinante de micotoxinas Antioxidante Inmunomodulador		↑ SOD (119.3%) ↑ GPx [63] (105.9%) ↑ CAO-T (112%) ↓ Peroxidación lipídica (12.3%) ↓ Marcadores inflamatorios AFB1 (IL6 IL1-β)
Destete	9.13	HSU	30	8%p/p	Z	Modulación de la		↑ Butirato, isobutirato [69]

						microbiota del colon	↑ <i>Prevotella</i> y <i>Megasphaera</i> ; <i>Roseburia</i> ↓
Destete (día 20) Crecimiento	4.8	Ensilado de OU	30	9%	T Z	Antioxidante MFI DP	↑ CAO-T y actividad de [20] descomposición de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ↑ GDP (23.5%); ↓ MDA ↑ Crecimiento de bacterias probióticas facultativas y BAL Inhibe el crecimiento de bacterias patógenas
Destete	10.70	OU seco	36	5%	T Z	Antioxidante DP	↑ CAT, SOD, GPx; [20] peroxidación lipídica ↑ Ingesta de alimento
Destete- Crecimiento (día 21)	6.99	PSU	28	50, 100, 150 mg/kg	T Z	Antioxidante Inmunomodulador DP; MFI	100 y 150 mg / Kg ↑ Ig [64] GEe Ig M y IL-2 ↓ Incidencia de diarrea ↓ MDA sérico; ↑ CAO-T, GSH-Px; SOD
Destete- Crecimiento (día 42)	NR	OU y ESU	28	1%	T Z	Antioxidante Inmunomodulador DP; MFI	↓ Estrés oxidativo; ↓ [62] NFKb y Nrf2 ↓ Inflamación; ↑ Relación ganancia: alimento ↑ Relación de la altura / profundidad de las criptas (2.11 ± 0.11)

Destete- Crecimiento (día 35)	10	Polifenoles uva	de 28	1%	Z	Inmunomodulador DP; MFI	↓ Expresión de genes proinflamatorios en el duodeno, íleon, y colon; ↓ <i>Streptococcus</i> y <i>Clostridium</i> ↑ Relación de la altura de las vellosidades; ↓ AGV en heces	[58]
Posdestete días)	(31 7.5	OU rojo	19	3.5%	Z	Inmunomodulador MFI; parámetros sanguíneos	↑ Número total de bacterias del colon ( <i>Streptococcus</i> / <i>Enterococos</i> ), Lactobacilos	[71]
Crecimiento	48.6	Ensilado de OU	90	3.5%;7.0%	Z	DP	No afectó la ganancia media diaria	[92]
Iniciación Crecimiento Finalización	23 36 64	OU fermentado por <i>S. boulardii</i>	105	30 g/kg	Z S	DP; Calidad de la carne Digestibilidad	Mejora del DP (↑ GDP); ↑ digestibilidad aparente de la MS (79%) y (82.5%)	[27]
<i>In vitro</i>	----	ESU	----	250 µg/ ml	Z	MFI	Modifica los patrones de fermentación ileal y fecal	[72]
Finalización	75.53	TSU	24	5%	Z	Antioxidante Inmunomodulador DP	↑ CAO-T (bazo); ↓ MDA ↑ Expresión génica antioxidante (CAT, SOD, GPx) ↓ Expresión génica de	[67,93]

								marcadores proinflamatorios ↓ IL-1β (52.66%); IFN-γ (42.13%) ↓ IL-6 (13.25%); TNFα (9.6%); IL-8 (11.08%) ↓ Colesterol; ↑ IgA (49.9%) en plasma ↓ Respuesta proinflamatoria
Finalización	63.42	OU fermentado	7	10 %; 20%	Z	MFI; Digestibilidad de aminoácidos	20%: ↑ Excreción de heces	[25]
							↑ Levaduras; ↓ digestibilidad de aminoácidos y AGV	

a) Tipo de aditivo: Z= zootécnico; T= tecnológico; S= sensorial; DP= desempeño productivo; DR= desempeño reproductivo; CAO-T (capacidad antioxidante total).

b) Resultados: MDA (malondialdehído); EAO (estado antioxidante); NR= no reportado, MFI= modulación de la función intestinal; CDA= coeficiente de digestibilidad aparente.



## ¿Resembrar o no resembrar? Factores que afectan el establecimiento de pastos de gramíneas en agostadero. Revisión



Aldo Torres Sales <sup>a</sup>

José Carlos Villalobos González <sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco – Brasil.

<sup>b</sup> Texas Tech University. Davis College of Agricultural Sciences & Natural Resources, Goddard Building, Box 42125. Lubbock, TX 79409, United States.

\* Autor de correspondencia: C.Villalobos@ttu.edu

### Resumen:

Las plántulas tienen un papel importante en el mantenimiento de la diversidad, la productividad y los ciclos biogeoquímicos de los pastizales de cualquier zona geográfica. Sin embargo, poco se sabe sobre la influencia de los factores ambientales en el establecimiento de plántulas, así como sobre las diferencias en el desarrollo morfológico entre las especies. Comprender el establecimiento de plántulas se vuelve de crucial importancia para mejorar el éxito de la resiembra en pastizales. Esta revisión de literatura investigó los factores que causan fallas en el establecimiento de gramíneas en condiciones de pastizales. Germinar una semilla de pasto no es un gran problema si existen condiciones ambientales óptimas. La clave es garantizar la supervivencia y crecimiento de estas plántulas hasta la madurez fisiológica. Los principales factores ambientales asociados con fallas en el establecimiento de plántulas son la humedad, temperatura ambiental, preparación de la cama de siembra, calidad de semillas, entre los principales son. Los estudios revisados mostraron que los pastos anuales tienen mayores tasas de crecimiento, sin embargo, presentan una menor asignación a las estructuras reproductivas en comparación con pastos perenes. Estas diferencias también promueven diferentes tasas de supervivencia de plántulas, con los pastos anuales presentando tasas más altas en comparación a pastos bianuales o perenes. Aparentemente, la causa principal de las fallas

de las plántulas en el establecimiento está relacionada con la exploración de suelo de las raíces adventicias. Donde los informes describen que las plántulas emergen rápida y abundantemente en la mayoría de los pastos, pero las plántulas mueren entre las seis y diez semanas de edad. Por lo que se deduce que la planta puede germinar y germinar las raíces primarias, sin embargo, por una razón desconocida, el pasto no brota la raíz adventicia.

**Palabras clave:** Pastizales, Raíz adventicia, Recuperación de pastizales, Resiembra de pastizales.

Recibido: 31/08/2023

Aceptado: 19/04/2024

## Introducción

Los agostaderos son muy diversos, incluyen pastizales, sabanas, matorrales, desiertos, tundras, marismas y praderas. Los agostaderos cubren alrededor del 50 % de la superficie terrestre del mundo. Solo en América del Norte las estadísticas indican que 1,300 millones de hectáreas pueden clasificarse como agostadero<sup>(1)</sup>. Durante el último siglo, el hombre ha incrementado las formas de utilizar los agostaderos debido a la expansión de las tierras de cultivo, la urbanización y, principalmente, la expansión de la producción ganadera. El uso excesivo de estos ecosistemas promueve un fenómeno no natural denominado “Degradación de los agostaderos”. Existen dos factores que pueden causar la degradación de los agostaderos: ciclos naturales liderados por sequías, y el segundo, relacionado con factores humanos que abordan el uso excesivo de recursos naturales.

Los efectos de las catástrofes climáticas y el uso de la tierra por el ser humano promueven el agotamiento de los nutrientes del suelo y la disminución de la retención de agua, lo que provoca una ruptura en la estructura del suelo y, por lo tanto, cambios en la composición de la vegetación, aumentando el porcentaje de plantas menos deseables para el ganado, como las plantas espinosas y de baja palatabilidad. Además, la intensificación del uso de la tierra sin una gestión adecuada de los agostaderos reduce la productividad de la biomasa, lo que puede conducir a una mayor expansión agrícola en zonas aún más marginales.

D’Odorico *et al*<sup>(2)</sup> mencionaron que, entre las actividades humanas que degradan los agostaderos, el sobrepastoreo es el principal factor de pérdida de diversidad de especies forrajeras en los agostaderos. El rápido aumento de la población ganadera mundial ha estado causando un uso excesivo de los agostaderos. El sobrepastoreo de los agostaderos reduce inicialmente la productividad de la biomasa, rompiendo todos los biociclos en los

ecosistemas. En general, el sobrepastoreo convierte a los agostaderos en un lugar desértico (desertificación). Actualmente en todo el mundo, más de 680 millones de hectáreas de agostaderos se encuentran en alguna etapa de degradación, que es cinco veces más que el área de tierras de cultivo de Estados Unidos, o 100 veces el área de tierras agrícolas de México<sup>(3)</sup>; Gaitán *et al*<sup>(4)</sup> afirman que el pastoreo continuo con cargas animales excesivas ha estado ocurriendo durante muchas décadas en todos los agostaderos de América.

La situación anterior ha alentado varios proyectos destinados a mitigar los efectos de la degradación de los agostaderos, incluida la resiembra de los agostaderos con especies de plantas nativas y exóticas. Es importante mencionar que actualmente, la mayoría de los proyectos recomiendan la resiembra de especies exóticas, creyendo en un aumento de la carga animal. No obstante, en algunas iniciativas, por ejemplo, en México y Argentina, la resiembra intenta restaurar el ecosistema a una condición cercana a la original, para así recuperar las condiciones del paisaje natural, el Plan Maestro de la Alianza Regional para la Conservación de los Pastizales del Desierto Chihuahuense en México y las Buenas Prácticas Ganaderas en Pastizales del gobierno argentino, se han vuelto obligatorios en los programas de resiembra el uso de solo especies nativas.

Johnson *et al*<sup>(5)</sup> afirman que la resiembra de gramíneas forrajeras nativas aumenta el porcentaje de especies de pastos deseables en el agostadero, aumentando el forraje disponible para el ganado y la vida silvestre y, en consecuencia, una mayor tasa de carga animal. Sin embargo, algunos proyectos de resiembra en varias partes del mundo (como México, Estados Unidos, Canadá y Argentina) están tratando de compensar la pérdida de diversidad vegetal utilizando especies de pastos nativos. No obstante, el alto costo y riesgo que implica el proceso de resiembra y la falta de conocimiento de los mecanismos fisiológicos en las plántulas parecen ser un gran obstáculo para el éxito de esta práctica. Además, Rector<sup>(6)</sup> mencionó que el alto riesgo de resembrar agostaderos está asociado con la imprevisibilidad temporal y espacial del patrón de lluvias en muchos agostaderos durante el periodo de establecimiento de las plántulas.

La probabilidad de éxito disminuye drásticamente en las zonas semiáridas debido a la corta temporada de lluvias. Rector<sup>(6)</sup> también afirma que la tasa de éxito en los programas de resiembra es más efectiva en zonas con precipitación anual superior a 800 mm/año. Por el contrario, en zonas con precipitación inferior a 350 mm anuales, la probabilidad de riesgo de fracaso en el establecimiento de las plántulas es superior al 80 %. De acuerdo con el Plan Maestro de la Alianza Regional<sup>(7)</sup>, la resiembra de agostaderos promueve múltiples beneficios, tales como: 1) Aumento de la diversidad vegetal; mejorando la cantidad y calidad del forraje para el ganado; 2) Producción de semillas grandes o abundantes para la vida silvestre; 3) Promoción de una hermosa vista primaveral, y 4) Facilitación de la estabilización del suelo en áreas perturbadas. Si todas las condiciones ambientales (temperatura y humedad del suelo) se cumplen, se completará la germinación de una

semilla de gramínea. El problema es asegurar la supervivencia y el crecimiento de estas plántulas hasta su establecimiento completo como plantas; en México la ocurrencia de sequías intraestacionales y heladas tempranas en los agostaderos afecta el establecimiento de las plántulas. Después de revisar un número considerable de trabajos, se consideró el fracaso del establecimiento de plántulas y el abordaje de las condiciones no ideales para germinar plántulas de gramíneas.

Orloff *et al*<sup>(8)</sup> señalan los tres principales factores asociados con fallas de las plántulas en los pastos de agostadero durante el establecimiento: condiciones ambientales inapropiadas, el tamaño de la semilla y factores genéticos. Sobre el factor genético, Esaú<sup>(9)</sup> y Tischler *et al*<sup>(10)</sup> reportan que el establecimiento de las plántulas se correlaciona con la capacidad de iniciar el crecimiento de las raíces adventicias y la posterior elongación de estas raíces en la etapa de plántula. En cuanto a los factores ambientales asociados con el establecimiento de las plántulas en gramíneas perennes, la mayoría de la literatura publicada mencionó cuatro factores como los más importantes para el establecimiento de las plántulas: 1) humedad inadecuada del suelo, especialmente en la superficie<sup>(11,12)</sup>, 2) temperatura ambiental inadecuada, especialmente la temperatura del suelo<sup>(13)</sup>, 3) competencia por la luz solar y los nutrientes entre las especies<sup>(14)</sup> y 4) profundidad de siembra<sup>(15)</sup>. Respecto a los factores ambientales, Briske y Wilson<sup>(13)</sup> estudiaron la temperatura y humedad óptimas en plántulas de pasto blue grama y concluyeron que incluso con condiciones ambientales óptimas, algunos otros factores desconocidos también afectan el establecimiento de plántulas.

Aunque esta revisión tiene como objetivo discernir los desafíos de las plántulas durante el desarrollo estable, es esencial mencionar que también se deben superar algunas limitaciones de la semilla/germinación. El tamaño y peso de las semillas también se reportan como un factor que afecta el desarrollo de las plántulas<sup>(15)</sup>. Maron *et al*<sup>(16)</sup> concluyeron que no solo el tamaño sino también el peso de las semillas influye en la supervivencia de las plántulas en las plantas de agostadero. Hyder *et al*<sup>(17)</sup> afirman que factores genéticos desconocidos también podrían promover fallas en el establecimiento de las plántulas. Además, otros trabajos<sup>(18)</sup> sugieren que los factores fotomorfogénicos asociados con la semilla y la corona podrían causar fallas. Varios enfoques han demostrado qué mecanismos afectan el establecimiento de las plántulas; sin embargo, todos concluyen que el desarrollo y extensión de las raíces adventicias es el proceso más importante asociado con el establecimiento de las plántulas. Por lo tanto, en esta revisión se discutieron los principales factores que causan fallas en el establecimiento de plántulas de pastos nativos en condiciones de agostadero.

## Factores ambientales que afectan el establecimiento y la supervivencia de las plántulas

No existe un solo atributo ambiental que pueda explicar por completo el vigor de las plántulas en las gramíneas. Por lo tanto, las influencias ambientales en el establecimiento de plántulas en las gramíneas deben analizarse conjuntamente. La mayoría de la literatura indica que la interacción entre la humedad, la temperatura y la luz son los principales factores ambientales que afectan el éxito de la germinación de las semillas y la supervivencia de las plántulas.

Sluijs y Hyder<sup>(19)</sup> afirman que, en el pasto blue grama, la raíz adventicia crece fuera de las coronas de ahijamiento y se establece con éxito cuando el clima húmedo y nublado persiste durante 2 o 3 días después de la germinación. Pero si las raíces están expuestas a condiciones ambientales duras, las posibilidades de supervivencia son escasas<sup>(20)</sup>. Es importante mencionar que cada sitio tiene una condición ambiental óptima para el establecimiento de las plántulas. El efecto de los factores ambientales en la germinación de las semillas de gramíneas de agostaderos ha sido ampliamente estudiado<sup>(21,22)</sup>. No obstante, pocos estudios intentaron comprender el impacto del ambiente después de la germinación hasta el establecimiento completo (fase juvenil). En este segmento de esta revisión, se estará discutiendo el efecto de los factores ambientales en el establecimiento de las plántulas.

### Temperatura

La temperatura parece tener más influencia en la germinación de semillas que en el establecimiento de plántulas. En general, la temperatura ambiental determina la tasa de desarrollo de todos los organismos. Snyman<sup>(23)</sup> afirma que la temperatura del suelo es el principal factor asociado con la emergencia de las plántulas porque controla la tasa de evaporación y transpiración en los ecosistemas. Se afirma que la temperatura ideal de crecimiento de las plántulas para las gramíneas de estación cálida está entre 25 y 30 °C<sup>(24)</sup>. En contraste, para las gramíneas de estación fría, McGinnies<sup>(25)</sup> afirmó que una temperatura de alrededor de 20 °C promueve el mejor desarrollo radicular en estos grupos de especies. Mediante el estudio del efecto de la humedad y la temperatura en dos gramíneas y cuatro forbias nativas de pastizales de América del Norte, se concluyó que una temperatura inferior a 15 °C dio lugar a retrasos en el establecimiento de plántulas causados por una distribución ineficiente de las raíces en el suelo<sup>(26)</sup>.

La temperatura del suelo parece ser más importante que la temperatura del aire. Hsu *et al*<sup>(24)</sup> sugirieron que la alta temperatura del suelo en los primeros 30 cm del suelo es un factor importante asociado con fracasos en la emergencia de las raíces. Por lo tanto, cuanto más

rápido llegue la raíz a las capas más profundas del suelo, mayores serán las posibilidades de que la planta sobreviva y se establezca en el agostadero.

Hsu *et al*<sup>(24)</sup> afirman que la temperatura óptima del suelo para el crecimiento de las raíces para gramíneas de estación cálida oscila entre 9.4 y 11.4 °C. Sin embargo, esta temperatura suele ser más alta durante el verano en todos los agostaderos situados entre los paralelos 30° N y 30° S<sup>(27)</sup>, lo que probablemente es uno de los muchos factores asociados con los fracasos en la resiembra en tierras secas. Briske y Wilson<sup>(13)</sup> mencionaron que, para un exitoso establecimiento de plántulas en tierras secas, las raíces de las plántulas de gramíneas deben desarrollarse rápidamente con el fin de evitar la exposición excesiva a altas temperaturas. La temperatura óptima para el brote y la raíz muestra ser diferente. La temperatura óptima para el crecimiento de los brotes para gramíneas de tierras secas es de alrededor de 5 °C inferior a la temperatura para un crecimiento óptimo de las raíces, lo que provoca un desequilibrio en cuanto a las condiciones ambientales<sup>(28)</sup>.

## Humedad

No hay duda de que la humedad tiene un papel esencial para las plantas en la etapa de plántula. La humedad parece no estar limitada en las tierras de pastoreo, que pueden recibir agua adicional mediante el riego. En cambio, en los agostaderos, la precipitación es la única fuente de agua. La humedad en el suelo no es un factor limitante para el crecimiento de las gramíneas en las tierras tropicales, ya que la humedad en el suelo de estas regiones está abundantemente disponible durante gran parte del año<sup>(29)</sup>. No obstante, este es un factor limitante para el establecimiento de plántulas en ambientes semiáridos y áridos.

En cuanto al régimen de lluvias en Estados Unidos, Rajagopan y Lall<sup>(30)</sup> afirman que los agostaderos de los Estados Unidos al oeste de los 100° de longitud meridiana exhiben una considerable complejidad de distribución temporal y espacial, en comparación con los patrones de precipitación en la parte oriental del país. Por lo tanto, un análisis basado en la precipitación anual o mensual para las tierras secas no permite resultados concluyentes sobre la disponibilidad de agua para las plantas nativas.

Se mencionó que es necesario apreciar que la precipitación pluvial no implica que el agua de lluvia estará disponible al 100 % para las plantas<sup>(31)</sup>. Por lo tanto, es esencial comprender los patrones hidrológicos y su implicación en el ecosistema. Así, este podría ser el paso inicial para comprender la influencia de los factores ambientales en el establecimiento de las plántulas. Algunos investigadores<sup>(32)</sup> abordaron la respuesta de las plantas con pulsos de precipitación. La teoría de los pulsos de precipitación sugiere que la frecuencia de las precipitaciones tiene la misma importancia que el volumen precipitado en alguna zona.

En un trabajo<sup>(33)</sup> se indica que es necesario tener dos días húmedos para que una semilla de pasto germine y cinco días húmedos para que la plántula se establezca en condiciones de agostadero. Pasado este tiempo, la plántula puede resistir hasta siete días secos consecutivamente. En tierras áridas, el crecimiento de las plantas se controla principalmente por la disponibilidad de agua en el suelo que por cualquier otro factor. El agua tiene una relación intrínseca con todos los aspectos del crecimiento de las gramíneas en las especies de agostadero, incluida la anatomía, la morfología, la fisiología y la bioquímica<sup>(34-36)</sup>.

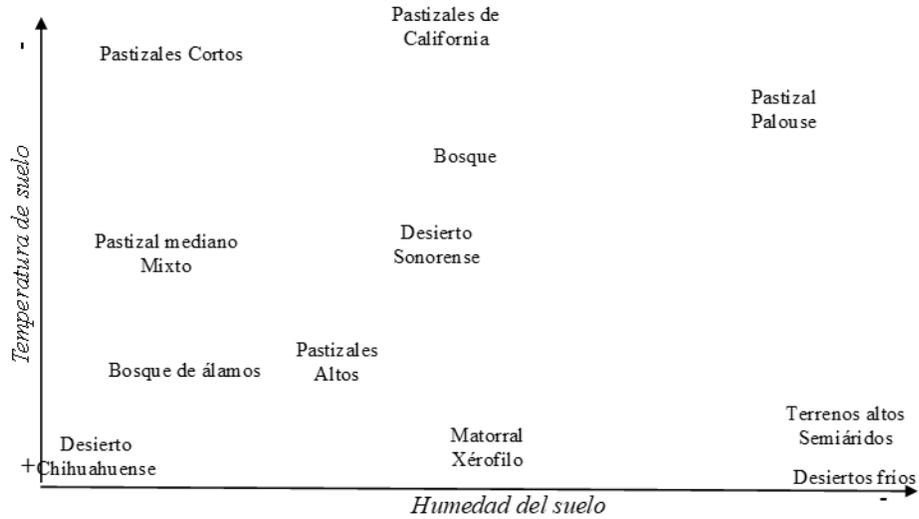
La clave para el establecimiento de plántulas en los agostaderos parece ser un equilibrio positivo en el agua disponible en el suelo. En otras palabras, debería haber más precipitaciones que evaporaciones en esa zona. Frasier *et al*<sup>(33)</sup> estudiaron el efecto de la sequía en las plántulas de sideoats grama y concluyeron que cinco días secos consecutivos promovieron la mortalidad de más del 50 % de las plántulas. La sequía y la desecación del suelo son los principales factores para los límites del establecimiento de plántulas en muchos ambientes<sup>(37)</sup>. Se sugirió que existen diferencias en la supervivencia de plántulas entre especies de gramíneas durante la sequía. El desarrollo y la extensión de las raíces adventicias juegan un papel importante en el establecimiento de plantas y la exploración del suelo<sup>(38)</sup>.

Al estudiar el pasto blue grama, se concluyó que la humedad óptima para el máximo desarrollo de la raíz adventicia es el 90 % de la saturación del suelo<sup>(13)</sup>. Sin embargo, la raíz adventicia podría crecer lentamente en condiciones de bajo potencial hídrico del suelo. Harrington<sup>(39)</sup> estudió el efecto de la humedad del suelo sobre la supervivencia de las plántulas de arbustos en un pastizal semiárido en Australia y concluyó que para obtener éxito en el establecimiento de las plántulas fue necesario aplicar al menos 100 mm de riego suplementario durante el verano, tres veces después del riego previo a la siembra a principios de primavera y dos veces después del riego a finales de primavera. Es importante destacar que el autor alcanzó una supervivencia de plántula superior al 80 % en las parcelas de regadío en comparación con la supervivencia nula en las parcelas sin riego. Davis<sup>(40)</sup> afirma que la mayoría de las especies nativas del chaparral de California tienen plántulas adaptadas a la sequía que muestran raíces poco profundas y alta eficiencia de agua disponible. Se concluyó que las fallas en el establecimiento y desarrollo de las raíces de 12 especies de gramíneas de ocurrencia predominante en el chaparral de California ocurren durante las sequías en el verano<sup>(41)</sup>.

De acuerdo con algunos datos<sup>(1)</sup>, la humedad y la temperatura en el suelo son los factores más importantes asociados con fracasos en el establecimiento de plántulas de gramíneas en agostaderos de América del Norte. Así, a partir de esta afirmación, se revisaron varios artículos que estudiaban la influencia de estos dos factores ambientales en los siete principales ecosistemas de agostadero de los Estados Unidos. La Figura 1 representa

gráficamente el nivel de importancia de la humedad y la temperatura en el suelo reportado en la literatura científica asociada con fallas en el establecimiento de las plántulas de gramíneas en los agostaderos de América del Norte.

**Figura 1:** Importancia de la temperatura y la humedad del suelo asociadas con el riesgo de fallas en el establecimiento de plántulas de gramíneas en los pastizales de América del Norte \*<sup>†</sup>



<sup>†</sup> La figura se basa en los resultados de 18 estudios en los 12 ecosistemas de pastizales de América del Norte.

\*El nivel de importancia se ha determinado con base en una serie de informes científicos que asocian las fallas en el establecimiento de plántulas con la temperatura y humedad del suelo. Así, la cercanía de los ecosistemas (nombre) con la señal (+ y -) representa gráficamente el nivel de importancia de estas variables en el ecosistema.

En el desierto de Chihuahua, la combinación entre la humedad del suelo y la temperatura del suelo tiene un nivel similar de importancia en el establecimiento de plántulas de gramíneas de agostadero. Por otro lado, en los desiertos fríos y las tierras altas semiáridas se encontraron más reportes que demuestran una fuerte asociación entre los fracasos en el establecimiento de plántulas y la temperatura del suelo.

En los matorrales xéricos (p. ej., Matorral xerófilo y Mezquitales de México), la temperatura del suelo se reportó más que la humedad como causa de fracasos de plántulas en el establecimiento. Patrón similar al de las praderas de pasto alto y los parques de Aspen de Canadá. Para el resto del grupo, también se puede notar que, en las praderas de pasto alto y pasto medio, parece existir una combinación entre estos dos factores que aseguran un desarrollo exitoso de las plántulas de pastos de agostaderos.

## Otros (luz, suelo y profundidad de siembra)

La luz también puede controlar el establecimiento de las plántulas porque una baja intensidad de luz reduce el tamaño de la hoja y la raíz. Pang *et al*<sup>(42)</sup> afirman que la sombra podía reducir la temperatura del suelo, pero no aumentó la supervivencia de las plántulas de pasto. Mediante el estudio del efecto de la sombra en la respuesta de crecimiento de cuatro gramíneas perennes del suroeste, se concluyó que las respuestas morfológicas, fisiológicas y de rendimiento fueron mayores en las plantas en condiciones de plena luz solar que en las plantas bajo diferentes niveles de sombra<sup>(43)</sup>. Aunque la luz afectó el tamaño de las hojas y las raíces, esta variable no afectó el establecimiento de plántulas directamente.

En cuanto a las propiedades del suelo que afectan el establecimiento de las plántulas, la conductividad hidráulica parece ser la más importante, es decir, la capacidad de retención de humedad y la disponibilidad de agua para las plantas. Okami<sup>(44)</sup> declaró que la conductividad hidráulica es la variable del suelo más importante relacionada con el desarrollo de las plántulas de gramíneas, una vez que el 75 % del tiempo durante el establecimiento de la plántula, la plántula no depende del contenido de nutrientes en el suelo. Las características físicas del suelo, como la textura, la estructura, la densidad y la capilaridad, determinan la retención de agua en el suelo y la superficie de contacto entre la humedad del suelo y la semilla. Berti y Johnson<sup>(45)</sup> estudiaron el establecimiento de plántulas de pasto switchgrass en diferentes tipos de suelo, y concluyeron que la emergencia de las plántulas es un 25 % más rápida en suelos arenosos que en suelos arcillosos. Resultados similares indicaron que la textura del suelo afectó la emergencia de plántulas en alguna gramínea tropical<sup>(46)</sup>.

La profundidad de siembra también se ha reportado como un factor que influye en el desarrollo de plántulas en gramíneas. Un informe<sup>(11)</sup> afirma que la profundidad de siembra afecta el establecimiento de plántulas de gramíneas de agostadero, especialmente durante la etapa de emergencia. Al analizar la influencia de la profundidad de siembra en la emergencia de plántulas de gramíneas nativas, se declaró que el pasto Bromegrass (*Bromus inermis*) sembrado a más de 1.3 cm de profundidad en un suelo franco arcilloso limoso disminuyó la emergencia y, en consecuencia, la supervivencia de las plántulas<sup>(47)</sup>. Mientras que otros autores<sup>(11)</sup> estudiaron la influencia de la profundidad de siembra en la emergencia, la morfología y el establecimiento de los pastos big bluestem (*Andropogon gerardii*), Indiangrass (*Sorghastrum nutans*) y switchgrass (*Panicum virgatum*). Ellos concluyeron que los resultados obtenidos de estos experimentos no eran convincentes para afirmar que la profundidad de siembra afecta la supervivencia de las plántulas. En condiciones áridas, el pasto switchgrass tuvo la mayor emergencia cuando se sembró bajo riego previo a la siembra y siembra poco profunda<sup>(48)</sup>. Anderson<sup>(49)</sup> afirma que las profundidades óptimas de

siembra de pastos nativos del norte de Estados Unidos y sur de México están entre 6 a 12 mm, la diferencia dentro de este rango está en función de la especie de pasto y tipo de suelo.

Las diferencias en la tasa de utilización de las reservas de semillas pueden explicar por qué ciertas especies emergen a mayores profundidades de siembra que otras. Otros autores sugirieron que la profundidad óptima de siembra se correlaciona con la cantidad de hidratos de carbono que contiene la semilla<sup>(50-52)</sup>.

## **Factores no ambientales que afectan el establecimiento de las plántulas**

Las plantas tienen varias adaptaciones anatomorfológicas para competir más efectivamente entre sí por los recursos (luz, agua, nutrientes, suelo y aire). Harris<sup>(53)</sup> declaró que, en un concepto general, las gramíneas perennes tienen una ventaja competitiva natural sobre las gramíneas anuales, por lo que no es necesario que se siembren después de cada período de inactividad. Sin embargo, las plantas anuales tienen un establecimiento de plántulas rápidas.

Por lo tanto, al estudiar la influencia de la forma de crecimiento y la morfología de la planta en el establecimiento de las plántulas de gramíneas de tierras secas, los investigadores concluyeron que ninguna de las variables afectó la emergencia, la supervivencia y las tasas relativas de crecimiento en todas las formas de crecimiento estudiadas<sup>(54)</sup>. Corroborando con los autores mencionados anteriormente, Larson *et al*<sup>(12)</sup> afirman que la variación en anatomía, morfología y fisiología entre semillas y plántulas explicó más del 90 % de la variación en la supervivencia acumulada de las gramíneas de agostadero, independientemente de las probabilidades de supervivencia de las plántulas o del patrón de precipitación.

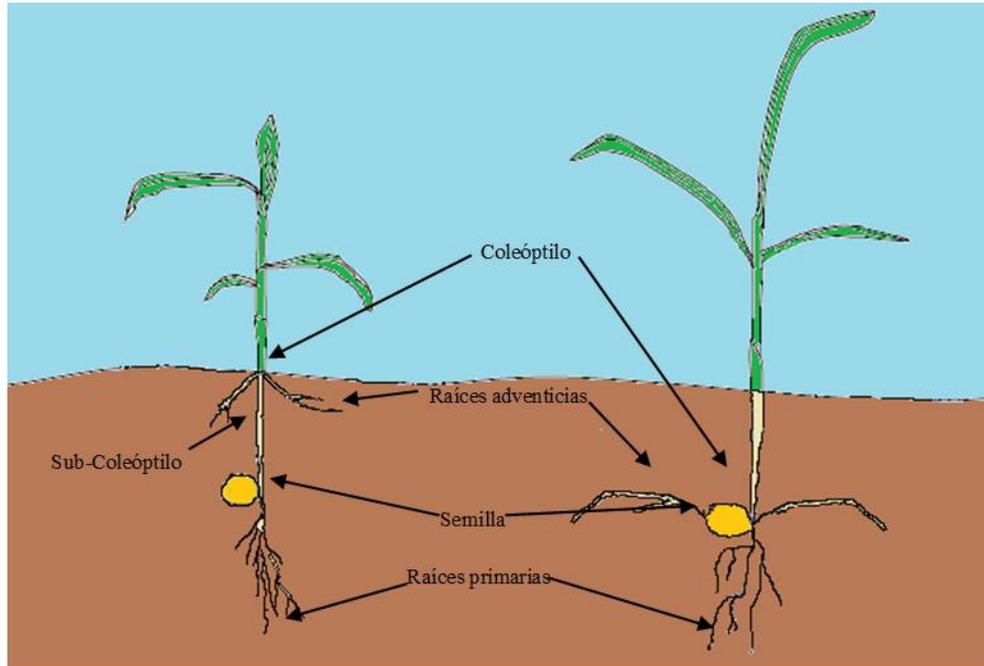
Existen tres grandes factores no ambientales relacionados con el establecimiento de las plántulas: morfología, características fisiológicas y genéticas intrínsecas para cada especie (etapa serial) y competencia entre especies<sup>(21)</sup>. A continuación, se presenta una breve revisión de cómo estos factores afectan el establecimiento de las plántulas en especies de gramíneas de agostadero.

### **Morfología**

Las plántulas de gramíneas son hipogeas, lo que significa que el cotiledón en la mayoría de los casos permanece bajo tierra durante la germinación. La elongación del coleóptilo es diferente entre las gramíneas de estación fría y cálida. En las gramíneas de estación fría, el

coleóptilo es largo con subcoleóptilo corto; por el contrario, las gramíneas de estación cálida tienen un coleóptilo corto y un subcoleóptilo corto (Figura 2).

**Figura 2:** Morfología de la plántula (Planta festudicoide derecha); izquierda (planta panicoid)



(Adaptado de Tischler *et al* 1989).

La extensión de los coleóptilos y subcoleóptilos tiene una importante papel en la emergencia de la plántulas porque cerca de la parte superior de estas estructuras se encuentran los puntos meristemáticos donde crecerá la primera hoja<sup>(55)</sup>. Las raíces también son importantes en el establecimiento de las plántulas; se informó<sup>(56)</sup> que el sistema radicular de las plántulas de gramíneas consiste en raíces seminales y adventicias. Las raíces seminales comienzan a crecer inmediatamente después de la germinación; surgen directamente de una estructura en la semilla llamada nota escutelar. Las raíces seminales se dividen en raíces primarias y raíces laterales. Las raíces seminales son totalmente dependientes de niveles adecuados de contenido de agua en la planta joven, así como de la humedad en el suelo<sup>(57)</sup>.

Después del desarrollo completo de las raíces seminales, la plántula comienza a liberar la raíz adventicia del nodo coleoptilar. Tischler y Voight<sup>(9)</sup> afirman que las raíces adventicias son consideradas el sistema radicular maduro. Algunos autores sugieren que el establecimiento de plántulas se asocia con el desarrollo de raíces adventicias<sup>(56)</sup>.

Las raíces seminales comienzan a crecer después de 1 o 2 días húmedos consecutivos; una vez que las raíces seminales se desarrollan, las plantas comienzan a emitir la raíz adventicia. Esta fase se denomina etapa de transición. En otras palabras, la etapa de transición consiste en el desarrollo y la extensión de la raíz adventicia, y un debilitamiento y muerte de la raíz seminal<sup>(58)</sup>. Hyder *et al*<sup>(17)</sup> afirman que en condiciones de campo en las que las plántulas de pasto blue grama fallan en la extensión de las raíces adventicias, las plántulas mueren entre las 6 a 10 semanas de edad. Se indicó que, para un establecimiento exitoso de plántulas, la tasa de elongación de las raíces adventicias debe ser lo suficientemente rápida como para mantener una parte de la raíz en el suelo húmedo antes de que se seque el suelo<sup>(13)</sup>.

Newman y Moser<sup>(11)</sup> definen que el desarrollo de las raíces adventicias indudablemente controla el establecimiento de plántulas. Sin embargo, poco se sabe sobre cuántas raíces adventicias y la extensión de estas serán suficientes para afirmar cuando una planta se ha establecido. A pesar de que algunos autores asocian el establecimiento de plántulas con la etapa de transición, se mencionó el desarrollo y las actividades de las raíces de gramíneas cultivadas y se concluyó que las raíces seminales permanecen vivas y activas hasta el momento de la cosecha en especies de plantas de cultivo<sup>(57)</sup>.

Después de examinar los informes sobre los sistemas radiculares de 14 gramíneas perennes, se concluye que en estas especies la raíz seminal creció profundamente y se extendió ampliamente, y permanecieron vivas y activas como órganos absorbentes durante cuatro meses de análisis experimental<sup>(13)</sup>. La mayoría de los artículos revisados afirman que el desarrollo de las raíces adventicias en la etapa de transición determina el establecimiento de las plántulas, y la muerte de las raíces seminales es necesaria para el desarrollo de las raíces adventicias. No obstante, no existe un consenso sobre esta hipótesis, ya que algunos investigadores indican que las raíces seminales permanecen vivas durante mucho tiempo después de que la planta alcanza la fase madura.

### **Competencia entre especies**

La competencia entre plantas se produce cuando las demandas de las plantas vecinas superan la oferta de recursos, induciendo el estrés y entonces la muerte de las plantas. La finalización de la planta podría ocurrir en dos niveles, entre individuos de la misma especie (interespecie) o entre individuos de diferentes especies (intraespecie). Sea cual sea el nivel, la competencia afecta la disponibilidad de recursos ambientales para las plantas. Se reportó<sup>(59)</sup> que las densidades iniciales y el momento del establecimiento promueven cambios en la dinámica de la competencia de las plantas, ya que conducen a asimetrías en el tamaño de las plantas y captura de recursos. Las plantas de agostadero tienen muchas adaptaciones (morfológicas, anatómicas, fisiológicas y fenológicas) que las adaptan a un lugar en el ecosistema. Por lo tanto, la comprensión del efecto de la competencia entre las

especies es un requisito básico para aumentar las posibilidades de éxito de la resiembra de agostaderos.

Los rodales de gramíneas perennes tienen una ventaja competitiva natural sobre las gramíneas anuales. Ya que no es necesario que comiencen desde la semilla después de cada período de inactividad<sup>(24)</sup>. Ries y Svejcar<sup>(60)</sup> informaron que las plántulas de plantas anuales invaden fácilmente y se establecen en sitios perturbados. La fenología radicular favorable es una de las estrategias adaptativas que permite esta capacidad competitiva superior.

Algunos autores<sup>(61)</sup> definen cinco características fenológicas más importantes de las plántulas con respecto a relaciones competitivas en plantas jóvenes. Las características son: (1) fácil germinación, (2) crecimiento inicial precoz de las raíces, (3) extensión rápida de la raíz-contacto con el suelo, (4) fácil interrupción de la latencia, y (5) la supervivencia de la sequía.

La competencia de las plantas también podría dividirse de acuerdo con la zona donde se produce. En esta clasificación, podemos dividir la competencia en dos niveles: por encima y bajo tierra. Varios estudios han proporcionado evidencia de que en ambientes áridos la competencia en el subsuelo es más importante que en la superficie<sup>(62)</sup>.

Harris y Wilson<sup>(61)</sup> sugirieron que en áreas donde la estación de humedad favorable coincide con la estación de bajas temperaturas, la capacidad de las plántulas para continuar el crecimiento radicular a bajas temperaturas puede ser un factor decisivo en el resultado de la competencia entre especies. También estudiaron el efecto de la humedad del suelo durante el establecimiento de plántulas de gramíneas forrajeras de estación fría a bajas temperaturas, concluyendo la existencia de diferencias en el crecimiento de las raíces adventicias, donde el *Bromus tectorum* y *Taeniatherum asperwerum* tuvieron más éxito que las plántulas de *Agropyron spicatum*.

Las especies invasoras han mostrado ser más eficientes en el establecimiento de plántulas que las especies nativas. Se reportó<sup>(63)</sup> que las especies invasoras germinan más rápido que las especies nativas, obteniendo una ventaja en la competencia por la luz, espacio y la humedad. Como se mencionó, se necesitan más estudios para saber cómo se produce la interacción entre plantas en la etapa de plántula en gramíneas nativas. Es importante mencionar que el primer paso en la recuperación de tierras es eliminar el banco de semillas.

### **Etapas serial**

Varios estudios han demostrado innegablemente que las plantas anuales tienen una mayor tasa de crecimiento de plántulas<sup>(55,64)</sup> y una mayor asignación a las estructuras

reproductivas<sup>(65,66)</sup> en comparación con las plantas seriales medias y de sucesión tardía. Newman y Moser<sup>(11)</sup> compararon el desarrollo de plántulas entre 12 especies de gramíneas. Ellos concluyen que las plantas anuales emitieron la primera hoja más rápido que las especies seriales tardías. Las especies seriales tempranas parecen asignar más energía al desarrollo de los brotes que al sistema radicular. Por el contrario, las especies seriales medias y tardías parecen asignar más energía al desarrollo de las raíces. Ellos concluyen que, si la proporción de brotes es mayor que la de raíces en la plántula, mayores son los riesgos de fracaso en el establecimiento causado por la acidificación de las plántulas o un control ineficiente en la absorción de agua<sup>(56)</sup>.

### **Importancia del patrón de raíces seminales y adventicias en el establecimiento de la planta (implicaciones en la supervivencia de las plántulas)**

Como se mencionó, el establecimiento y la supervivencia de una planta están intrínsecamente correlacionados con la aparición y extensión de las raíces seminales y adventicias<sup>(56)</sup>. Otro trabajo<sup>(67)</sup> apoya la idea de que una planta no puede considerarse como establecida hasta mostrar un desarrollo plausible de raíces adventicias, lo que permitirá extenderse hacia abajo, atrapando la humedad en los niveles profundos del suelo. Para facilitar la comprensión de la secuencia cronológica de los eventos morfológicos que ocurren en una planta hasta que el desarrollo de la raíz adventicia, se utilizó la descripción mencionada por Whalley *et al*<sup>(68)</sup>. El autor divide el crecimiento de las plántulas en tres etapas: la etapa heterótrofa, una etapa transitoria, y la etapa autótrofa.

La etapa heterótrofa comienza cuando la semilla entra en contacto con el agua estando en esta etapa independientemente de otros factores ambientales, lo que significa que la planta utiliza en su metabolismo las reservas energéticas (almidones) almacenadas en la semilla. Después de esta fase, la planta todavía no tiene un tejido fotosintético. Hyder *et al*<sup>(17)</sup> afirman que las plantas superan fácilmente esta etapa en condiciones de campo. La mayoría de los investigadores consideran erróneamente el porcentaje de semillas germinadas como un indicador del establecimiento de plántulas. Hyder *et al*<sup>(17)</sup> afirman que menos de ocho por ciento de las semillas germinadas alcanzarán la fase adulta. La siguiente etapa transitoria, como el nombre sugiere, es una evolución de transición a una fase fotosintética. En esta etapa, las plantas comienzan la fotosíntesis, pero aún utilizan las reservas de energía de las semillas para la expansión de los sistemas radiculares y la formación de nuevas hojas. Esta fase se puede dividir en tres subetapas con base en el desarrollo del sistema radicular.

En la primera fase, la plántula solo muestra raíces seminales. El sistema de raíces seminales consta de una a cinco raíces que se desarrollaron a partir de la radícula y dos pares de raíces laterales. Algunos investigadores<sup>(21)</sup> afirman que las raíces seminales solo son capaces de

absorber agua; mientras que todos los nutrientes necesarios para la plántula provienen de las reservas de las semillas. El grueso de las raíces seminales tiene una capacidad limitada para absorber y translocar agua en la planta. En la segunda fase de esta etapa, las plantas comienzan a emitir las raíces adventicias de los nodos de la corona. Algunos autores reportan este tipo de raíces como raíces verdaderas porque pueden absorber la humedad y los nutrientes para la planta. En esta fase, las plántulas muestran estos dos tipos de raíces. Poco se sabe sobre la interacción entre estos tipos de raíces. La tercera etapa a menudo se marca por el debilitamiento y la muerte de las raíces seminales y el fortalecimiento, extensión y consolidación de las raíces adventicias como raíces verdaderas. Haling *et al*<sup>(69)</sup> afirman que las raíces seminales persisten solo un corto tiempo después de la germinación, y su lugar es ocupado por las raíces adventicias. Algunos autores afirman que la tercera etapa de la plántula es el momento más importante en el establecimiento de plántulas<sup>(40,70)</sup>. Si la planta comienza a perder sus raíces seminales antes de que las raíces adventicias alcancen una penetración profunda razonable en el perfil del suelo, hay una alta probabilidad de fracaso en el establecimiento.

Debido a una mala comprensión de las bases fisiológicas de las plántulas, la mayoría de los administradores de agostaderos asocian el establecimiento de plántulas con el desarrollo de brotes. En gramíneas nativas americanas se concluyó que la etapa de desarrollo radicular no coincidió con la etapa de desarrollo de brotes entre especies, lo que significa que solo un simple análisis visual no puede ser considerado un buen indicador de éxito en la emergencia de plántulas de gramíneas americanas<sup>(11)</sup>. Así, se afirmó<sup>(9)</sup> que, para evaluar el éxito del establecimiento de plántulas, también son importantes variables como el tamaño y la edad en la plántula de pasto Klein y deben medirse adicionalmente al análisis visual.

En cultivares seleccionados del pasto big bluestem, con base en el peso de los brotes y número de macollos, concluyen que el número y el peso de los macollos de las plántulas no son buenos indicadores del éxito del establecimiento de las plántulas<sup>(71)</sup>. El desarrollo y la extensión de las raíces adventicias también parecen estar asociados con factores genéticos. Se reportó<sup>(72)</sup> que la variabilidad genética pareció correlacionarse con la elongación de raíces adventicias en el pasto blue grama, y que, en plantas bajo las mismas condiciones edafoclimáticas, mostraron una amplia diversidad de desarrollo que puede explicarse por factores ambientales.

Por el contrario, Chen *et al*<sup>(57)</sup> después de investigar los sistemas radiculares de varios cultivos, concluyeron que la raíz seminal permanece viva y activa hasta el momento de la cosecha, ésta puede ser la razón del éxito en el establecimiento de la mayoría de los cultivos cosmopolitas. Sin embargo, algunas especies de gramíneas parecen moverse en la misma dirección. Sánchez-Valdés *et al*<sup>(73)</sup> afirman que la raíz seminal de una planta de ryegrass permanece funcional durante toda la vida de la planta. Mismos resultados se informaron para otras especies<sup>(74)</sup>.

**Literatura citada:**

1. Jurado-Guerra P, Velázquez-Martínez, M, Sánchez-Gutiérrez RA, Álvarez-Holguín A, Domínguez-Martínez PA, Gutiérrez-Luna R, Chávez-Ruiz MG. The grasslands and scrublands of arid and semi-arid zones of Mexico: Current status, challenges and perspectives. *Rev Mex Cienc Pecu* 2021;12(Supl 3):261-285.
2. D'Odorico P, Bhattachan A, Davis KF, Ravi S, Runyan CW. Global desertification: drivers and feedback. *Adv Wat Resour* 2013;(51)326- 344.
3. Brown L. World's rangelands deteriorating under mounting pressure EPI. In: Brown L, editor. *Eco-Economy: Building an economy for the earth*. W.W. Norton & Company; 2003:115.
4. Gaitán JJ, Bran DE, Oliva GE, Aguiar MR, Buono GG, Ferrante D *et al*. Aridity and overgrazing have convergent effects on ecosystem structure and functioning in Patagonian rangelands. *Land Deg Develop* 2018;29(2):210-218.
5. Johnson J, Cash SD, Yeager T, Roberts F, Sowell B. Restoring native plant species in crested wheatgrass rangelands using glyphosate and no-till reseeded. *Environ Manag Sustainable Develop* 2016;5(2):76.
6. Rector BS. *Rangeland risk management for Texans: Seeding Rangeland*; Texas AgriLife Extension Service. Austin; 2000.
7. Guzman-Aranda JC, Hoth J, Berlanga H: Plan maestro de la alianza regional para la conservación de los pastizales del desierto Chihuahuense. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal. Book review: *Rangeland Ecology, Management and Conservation Benefits. Pastoralism*. Springer Berlin Heidelberg; 2017.
8. Orloff LN, Mangold JM, Menalled FD. Role of size and nitrogen in competition between annual and perennial grasses. *Invasive Plant Sci Management* 2013;(6):87-98.
9. Esau K. *Anatomy of seed plants*. 1<sup>st</sup>. ed. Italy: Wiley; 1977.
10. Tischler CR, Voigt PW, Holt EC. Adventitious root initiation in kleingrass in relation to seedling size and age. *Crop Sci Soc Am* 1989;(29):180-189.
11. Newman PR, Moser LE. Seedling root development and morphology of cool-season and warm-season forage grasses. *Crop Sci* 1988;(28):148-151.
12. Larson JE, Funk JL. Seedling root responses to soil moisture and the identification of a belowground trait spectrum across three growth forms. *New Phytology* 2016;210:827-838.

13. Briske DD, Wilson AM. Moisture and temperature requirements for adventitious root development in blue grama seedlings. *J Range Management* 1978;31(3):174.
14. Leffler AJ, Monaco TA, James JJ. Nitrogen acquisition by annual and perennial grass seedlings: testing the roles of performance and plasticity to explain plant invasion. *Plant Ecology* 2011;212(10):1601–1611.
15. Chivers IH, Jones TA, Broadhurst LM, Mott IW, Larson SR. The merits of artificial selection for the development of restoration-ready plant materials of native perennial grasses. *Restoration Ecol* 2016;24(2):174–183.
16. Maron JL, Pearson DE, Potter T, Ortega YK. Seed size and provenance mediate the joint effects of disturbance and seed predation on community assembly. *J Ecology* 2012;100(6):1492–1500.
17. Hyder DN, Everson AC, Bement RE. Survival and growth of blue grama seedlings in competition with western wheatgrass. *J Range Management* 1971;24(5):287–292.
18. Gommers CMM, Monte E. Seedling establishment: a dimmer switch-regulated process between dark and light signaling. *Plant Physiol* 2018;176(2):1061–1074.
19. Sluijs DH Van Der, Hyder DN. Growth and longevity of blue grama seedlings restricted to seminal roots. *J Range Management* 1974;27(2):117-119.
20. Atwater DZ, James JJ, Leger EA. Seedling root traits strongly influence field survival and performance of a common bunchgrass. *Basic Appl Ecol* 2015;16(2):128–140.
21. Guzmán FJH, Leodan TRO, Mauricio VL. Influencia del tamaño de cariósipide y embrión en el desarrollo de plántulas de pastos. *Interciencia* 2021;309-316.
22. Rosas-Ramos, Xuxan Alyn. Seed yield variables of five wild Poaceae species in La Siberia, Chapingo, México. *Agro Productividad*. 2022.
23. Snyman H. Soil seed bank evaluation and seedling establishment along a degradation gradient in a semi-arid rangeland. *African J Range Forage Sci* 2004;21(1):37–47.
24. Hsu FH, Nelson CJ, Matches AG. Temperature effects on seedling development of perennial warm-season forage grasses. *Crop Sci* 1985;25(2):249-255.
25. McGinnies WJ. Effects of moisture stress and temperature on germination of six range grasses. *Agronomy J* 1960;52(3):159-162.
26. Fay PA, Schultz MJ. Germination, survival, and growth of grass and forb seedlings: Effects of soil moisture variability. *Acta Oecologica* 2009;35(5):679–684.

27. Xu L, Myneni RB, Chapin III FS, Callaghan TV, Pinzon JE, Tucker CJ. Temperature and vegetation seasonality diminishment over northern lands. *Nat Climate Changing* 2013;3(6):581–596.
28. Calleja-Cabrera J, Boter M, Oñate-Sánchez L, Pernas M. Root growth adaptation to climate change in crops. *Frontiers Plant Sci* 2020;(11).
29. Gurevitch J, Scheiner S, Fox GA. *The ecology of plants*. Massachusetts; Sinauer Associate; 2002.
30. Rajagopalan B, Lall U. Interannual variability in western US precipitation. *J Hydrology* 1998;210(1):51-67.
31. Loik ME, Breshears DD, Lauenroth WK, Belnap J. A multi-scale perspective of water pulses in dryland ecosystems: climatology and ecohydrology of the western USA. *Oecologia* 2004;141(2):269–281.
32. Noy-Meir I. Desert ecosystems: Environment and producers. *Annu Rev Ecol Syst.* 1973;4(1):25–51.
33. Frasier GW, Woolhiser DA, Cox JR. Emergence and seedling survival of two warm-season grasses as influenced by the timing of precipitation: A Greenhouse Study. *J Range Management* 1984;37(1):7-11.
34. Kambatuku JR, Cramer MD, Ward D. Overlap in soil water sources of savanna woody seedlings and grasses. *Ecohydrology* 2013;6(3):464–473.
35. Nippert JB, Wieme RA, Ocheltree TW, Craine JM. Root characteristics of C4 grasses limit reliance on deep soil water in tallgrass prairie. *Plant Soil* 2012;355(1–2):385–394.
36. Herbel C, Sosebee R. Moisture and temperature effects on emergence and initial growth of two range grasses. *Agronomy J* 1969;61(4):628-631.
37. Moles WM. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *J Ecology* 2004;92(3):372–383.
38. Ackerly D. Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. *Ecological Monographs* 2004;74(1):25–44.
39. Harrington GN. Effects of soil moisture on shrub seedling survival in semi-arid grassland. *Ecology* 1991;72(3):1138–1149.
40. Davis T, Haissig B. Biology of adventitious root formation. In: 1<sup>st</sup> International Symposium. 1993:375-331.

41. Plummer AP. Germination and early seedling development of twelve range grasses. *J Am Soc Agron Am Soc Agron* 1943;35:19–34.
42. Pang K, Van Sambeek JW, Navarrete-Tindall NE, Lin C-H, Jose S, Garrett HE. Responses of legumes and grasses to non-, moderate, and dense shade in Missouri, USA. I. Forage yield and its species-level plasticity. *Agroforestry Syst* 2017;1–14.
43. Tiedemann AR, Klemmedson JO, Ogden PR. Response of four perennial southwestern grasses to shade. *J Range Management* 1971;24(6):442-447.
44. Kato Y, Okami M. Root morphology, hydraulic conductivity and plant water relations of high-yielding rice grown under aerobic conditions. *Ann Botany* 2011;108(3):575–583.
45. Berti MT, Johnson BL. Switchgrass establishment as affected by seeding depth and soil type. *Ind Crops Products* 2013;41:289–293.
46. Nasso NN, Lasorella MV, Roncucci N, Bonari E. Soil texture and crop management affect switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in the Mediterranean. *Industrial Crops* 2015;(65):21–26.
47. Lueck AG, Sprague V, Garber RJ, Garber RJ. The effects of a companion crop and depth of planting on the establishment of smooth brome grass, *Bromus inermis* Leyss. *Agronomy J* 1949;41:137–140.
48. Fan J-W, Du Y-L, Turner NC, Li F-M, He J. Germination characteristics and seedling emergence of switchgrass with different agricultural practices under arid conditions in China *Crop Sci* 2012;52(5):2341-2350.
49. Anderson JE. Some effects of date of planting, depth of planting, and fertilization on the performance of five important native grasses of Texas. *J Range Management* 1956;(9):46–52.
50. Zhu Y, Yang X, Baskin CC, Baskin JM, Dong M, Huang Z. Effects of amount and frequency of precipitation and sand burial on seed germination, seedling emergence and survival of the dune grass *Leymus secalinus* in semiarid China. *Plant Soil* 2014;(374):399–409.
51. Boyd NS, Van Acker RC. The effects of depth and fluctuating soil moisture on the emergence of eight annual and six perennial plant species. *Weed Sci* 2003;(51):725–730.
52. Bewley JD, Bradford KJ, Kent J, Hilhorst HWM, Nonogaki H. Seeds: physiology of development germination, and dormancy. New York, USA: Springer; 2013.

53. Harris GA. Root phenology as a factor of competition among grass seedlings. *J Range Management* 1977;30(3):172-177.
54. Alhamad MN, Noor M. Impact of grazing and life forms interactions on plant communities in arid areas. *EGU Gen Assem. Vienna*. 2015:12-17.
55. Larson JE, Sheley RL, Hardegree SP, Doescher PS, James JJ. Seed and seedling traits affecting critical life stage transitions and recruitment outcomes in dryland grasses. *J Appl Ecology* 2015;(52):199–209.
56. Gutiérrez-Gutierrez OG, Rivero-Hernández O, Vega-Mares JH, Melgoza-Castillo A. Germination patterns on grasses present at the Chihuahuan desert. *Botanical Sciences* 2022;(100)4:989-999.
57. Chen Y, Palta J, Prasad PV, Siddique KH. Phenotypic variability in bread wheat root systems at the early vegetative stage. *BMC Plant Biol* 2020;(20):1-16.
58. Tessema ZK, de Boer WF, Prins HHT. Changes in grass plant populations and temporal soil seed bank dynamics in a semi-arid African savanna: Implications for restoration. *J Environ Management* 2016;(182):166–175.
59. Manea A, Leishman MR. Competitive interactions between established grasses and woody plant seedlings under elevated CO<sub>2</sub> levels are mediated by soil water availability. *Oecologia* 2015;(177):499–506.
60. Ries RE, Svejcar TJ. The Grass Seedling: When Is It Established? *J Range Management* 1991;(44):574-576.
61. Harris GA, Wilson AM. Competition for moisture among seedlings of annual and perennial grasses as influenced by root elongation at low temperature. *Ecology* 1970;(51):530–534.
62. Coll L, Balandier P, Picon-Cochard C. Morphological and physiological responses of beech (*Fagus sylvatica*) seedlings to grass-induced belowground competition. *Tree Physiol* 2004;(24):45–54.
63. Florentine SK, Weller S, Graz PF, Westbrooke M, Florentine A, Javaid M. Influence of selected environmental factors on seed germination and seedling survival of the arid zone invasive species tobacco bush (*Nicotiana glauca* R. Graham). *Rangeland J* 2016;(38):417- 427.
64. Sheley RL, James JJ. Simultaneous intraspecific facilitation and interspecific competition between native and annual grasses. *J Arid Environ* 2014;(104):80–87.

65. Bernard-Verdier M, Navas ML, Vellend M, Violle C, Fayolle A, Garnier E. Community assembly along a soil depth gradient: contrasting patterns of plant trait convergence and divergence in a Mediterranean rangeland. *J Ecol* 2012;100(6):1422–1433.
66. Crews TE, DeHaan LR. The strong perennial vision: A response. *Agroecol Sustain Food Syst* 2015;(39):500–515.
67. Sanderson MA, Schmer M, Owens V, Keyser P, Elbersen W. Crop management of switchgrass. London: Springer; 2012:87–112.
68. Whalley RDB, McKell CM, Green LR. Seedling vigor and the early nonphotosynthetic stage of seedling growth in grasses. *Crop Sci* 1966;(6):147-150.
69. Haling RE, Richardson AE, Culvenor RA, Lambers H, Simpson RJ. Root morphology, root-hair development and rhizosheath formation on perennial grass seedlings is influenced by soil acidity. *Plant Soil*. Springer Netherlands 2010;(335):457–468.
70. Leck MA, Parker VT, Simpson R. Seedling ecology and evolution. 1<sup>st</sup> ed. UK: Cambridge University Press; 2008.
71. Smart AJ, Vogel KP, Moser LE, Stroup WW. Divergent selection for seedling tiller number in big bluestem and switchgrass. *Crop Sci* 2003;(43):1427-1433.
72. Detling JK. Processes controlling blue grama production on the shortgrass prairie. In: French N, editor. *Perspectives in grassland ecology*. Springer. New York: Springer, New York, NY; 1979:25–42.
73. Sánchez-Valdés JJ, Vega-García JI, González FL, Colín-Navarro V, Marín-Santana MN, Ávila-González R, Gómez-Miranda, A. Festulolium and annual ryegrass pastures associated with white clover for small-scale dairy systems in high valleys of Mexico. *Agro Productividad* 2023;16(4):32–42.
74. Krassovsky I. Physiological activity of the seminal and nodal roots of crop plants. *Soil Sci* 1926;24(4):307-311.



## Estimación de parámetros genéticos para características de flujo y conductividad de la leche en un sistema de ordeño robotizado



Norma Leticia Cornejo-García <sup>a,b</sup>

Marina Durán-Aguilar <sup>b</sup>

Felipe de Jesús Ruiz-López <sup>c</sup>

Germinal Jorge Cantó-Alarcón <sup>b</sup>

José Luis Romano-Muñoz <sup>c\*</sup>

<sup>a</sup> Primate Products LLC, Collier Co, Florida, E.E.U.U.

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales, Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable. Av. de las Ciencias S/N 76230, Querétaro, México.

<sup>c</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Carretera a Colón, Ajuchitlán, Colón, Querétaro, México

\*Autor de correspondencia: [jlromano2@yahoo.com](mailto:jlromano2@yahoo.com)

### Resumen:

El objetivo de este trabajo fue estimar los componentes de varianza y correlaciones genéticas para la producción de leche (PLe), el flujo medio (FMd), el flujo máximo (FMx) y la conductividad eléctrica (CE) de la leche, en un sistema de ordeño robotizado. Se analizaron 137 lactaciones de 110 vacas Holstein primíparas y multíparas, con 42,009 observaciones, desde el año 2018 hasta el 2020 en un hato lechero en el estado de Querétaro. Se realizó la evaluación genética utilizando un modelo animal de regresión mixta. Para estimar la heredabilidad ( $h^2$ ) se utilizó el algoritmo de máxima verosimilitud restringida para calcular los componentes de varianza, el estimador BLUE y el predictor BLUP, para cada una de las variables sujetas en la investigación. La  $h^2$  estimada para PLe (0.62) fue la más alta de las

calculadas, de igual modo se estimó la  $h^2$  para FMd (0.44), FMx (0.33) y CE (0.28); se considera que uno de los aspectos que influyó en los valores obtenidos se debió a la variabilidad de cada observación diaria. Las correlaciones genéticas para la PLe fueron negativas para el FMd (-0.6117) y FMx (-0.7666); en contraste, para la característica de CE (-0.1669) la correlación fue baja. Las correlaciones genéticas estimadas para FMx fueron positivas para FMd (0.7422) y CE (0.5351), finalmente se estimó una correlación genética positiva para FMd y CE (0.3546). Los resultados presentados permiten entender las relaciones existentes entre flujo, conductividad y producción e indican la importancia de estas características para un programa de selección genética.

**Palabras clave:** Heredabilidad, Producción de leche, Conductividad eléctrica, Flujo de leche.

Recibido: 13/12/2022

Aceptado: 06/03/2024

Con el fin de mejorar los índices productivos del ganado lechero y modificar la frecuencia deseable de genes en una población, se emplean programas de evaluación y selección genética. Estos programas, basados en el conocimiento de parámetros genéticos, se han empleado frecuentemente para la selección de rasgos como la producción y composición de la leche, conformación de la ubre y longevidad del animal. Gracias a los avances tecnológicos en los equipos de ordeño, se facilita la medición de producción, el flujo de leche y la conductividad eléctrica, características que pueden incluirse en un esquema de selección<sup>(1,2)</sup>.

Para incrementar la producción de los animales, es importante conocer los factores genéticos y medioambientales, y trabajar sobre los que son susceptibles de mejora<sup>(3)</sup>. La morfología de los animales suele ser el primer indicador directo de la producción de leche y de la facilidad para un correcto y rápido ordeño. No obstante, se debe tener en cuenta que para lograr expresar el potencial genético los factores medioambientales deben ser considerados<sup>(4)</sup>.

El rasgo de flujo de leche puede considerarse de gran importancia, debido a que se asocia con la eficiencia de ordeño y la salud de la ubre. A mayor flujo de leche menor tiempo de ocupación de mano de obra de ordeño y de maquinaria, influyendo significativamente en la economía del establecimiento<sup>(5,6)</sup>; sin embargo, un mayor flujo de leche disminuye la tensión del esfínter del pezón, lo que aumenta el riesgo de mastitis y se asocia a mayor número de células somáticas (CCS). Por otro lado, el flujo lento está asociado a una extracción incompleta de leche, lo que provoca aumento de tensión intramamaria. Aunque incrementar la velocidad de ordeño por vaca supone una disminución en costos, cuando se planea hacer selección con base en el flujo de la leche, lo recomendable es mantener el flujo en un nivel

medio<sup>(7,8)</sup>. La velocidad de eyección de la leche depende de la presión acumulada dentro de la glándula mamaria. Así, mayor cantidad de leche almacenada en la ubre aumenta la presión intramamaria, con el consiguiente aumento de la velocidad de bajada de la leche. La liberación de oxitocina al torrente sanguíneo es indispensable para desencadenar la bajada y eyección de la leche<sup>(9)</sup>.

La rutina de ordeño, la máquina y el propio animal, son factores relacionados directamente con el flujo de leche. Existe gran influencia de la técnica de ordeño y el nivel de vacío de la máquina; por ejemplo, un vacío superior al especificado supone un aumento en el flujo de la leche, pero irrita el recubrimiento del pezón. Paralelamente, la medición del flujo permite identificar animales con mayores tiempos de eyección de leche, mismos que se asocian negativamente con la producción por ordeño<sup>(10,11)</sup>. Uno de los principales problemas es cómo medir el flujo; Tancin *et al*<sup>(12)</sup> concluyeron que el flujo máximo es una medida biológicamente significativa, ya que a medida que aumenta el flujo máximo de la leche, disminuye el tiempo total de ordeño y la duración de la fase de meseta. Adicionalmente, la medición del flujo se ha utilizado para monitorear la eficiencia del equipo de ordeña y estimar la producción por ordeño<sup>(13)</sup>; así como para establecer el flujo más adecuado que determine el final de la ordeña y que no afecte el confort de la vaca<sup>(14)</sup>.

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica; está relacionada con la concentración y movilidad de los iones de la leche, dependiendo en un 60 % de su contenido de sales disueltas<sup>(15)</sup>. La CE se ha considerado como un rasgo indicador de la salud de la ubre, utilizándose para la predicción de mastitis en cabras y vacas<sup>(15,16,17)</sup>; la información es fácil de registrar en los sistemas automatizados. Por lo tanto, la CE podría ser útil no sólo para el manejo de las vacas sino también como un rasgo de selección. Se ha mencionado que la alta correlación entre los valores de CCS y CE es prometedora para mejorar la resistencia a la mastitis y la capacidad funcional de las vacas lecheras. En los sistemas automatizados los registros de la CE están disponibles en pocos segundos después del ordeño, lo que hace que la información sobre la CE sea útil para la detección temprana de la mastitis.

La CE puede presentar fluctuaciones; ésta puede variar entre cuartos, entre las fases de ordeño y por la presencia de mastitis. Los componentes de la leche también pueden influir, ya que cualquier cambio en la concentración de iones se reflejará en la CE<sup>(16)</sup>. En otros trabajos<sup>(18)</sup> se ha reportado que la producción de leche y la CE cambian significativamente al menos un día antes de la presentación de la mastitis clínica.

Los sistemas de ordeño robotizado (SOR) registran en cada evento los parámetros de ordeño relacionados con la producción, la CE y el flujo por cuarto y total<sup>(19,20)</sup>.

Los programas de mejoramiento genético son los pilares del aumento de la eficiencia de las unidades de producción ganadera y se basan en el incremento de la frecuencia de genes deseables en una población de vacas lecheras<sup>(21,22)</sup>. La efectividad de un programa de mejoramiento va a depender de la variabilidad genética de la población y, por ende, de la heredabilidad de las características a mejorar. El llevar a cabo evaluaciones genéticas permite la identificación de aquellos animales con mayor potencial genético para las características de interés productivo. En los programas genéticos se estiman los parámetros de heredabilidad, repetibilidad y correlaciones genéticas.

Por medio de la heredabilidad se estima en qué medida la varianza fenotípica corresponde a la varianza debida a los genes. Estos componentes determinan la respuesta a la selección, establecen la estrategia a utilizar en el mejoramiento de caracteres de interés, y resultan esenciales para la construcción exitosa de decisiones en la selección y programas de mejoramiento genético<sup>(23)</sup>.

Aunque la conductividad eléctrica y la velocidad de flujo son de importancia para incrementar la producción de la leche y están estrechamente relacionadas con una disminución en los costos de producción, no se cuenta con suficiente información sobre sus componentes genéticos o de la influencia que esta información tendría en la producción de leche.

El trabajo se realizó en un establo que cuenta con sistema de ordeño robotizado DeLaval VMS™, localizado en el Municipio de El Marqués, Querétaro. Este sistema registra de manera permanente la información individualizada de cada vaca cada vez que entra al módulo de ordeña. En cada evento de ordeña el sistema registra la cantidad de leche producida por cada cuarto y la producción total (kg), el tiempo de ordeño (min), el flujo de leche (kg/min) y la conductividad (mS/cm).

Las vacas se fueron integrando al ensayo al inicio de su periodo de lactación, la información individual se recopiló durante todo el periodo. Se descartó la información de vacas que no concluyeron la lactación por causas ajenas al proyecto.

El manejo de los animales estuvo basado en un tráfico unidireccional; esto es, los animales podían estar en la zona de comedero, en la zona de echaderos, o bien en la zona del módulo de ordeña, y circular en ese orden, pero no podrían regresar a zonas anteriores. Las vacas acudían al módulo de ordeña de manera voluntaria y atraídas por el ofrecimiento de alimento concentrado en el comedero localizado en dicho módulo. La alimentación consistió en el ofrecimiento permanente de una ración parcialmente mezclada y en el suministro limitado de concentrado en el módulo de ordeña; la dieta estuvo formulada para llenar los requerimientos nutricionales de los animales. Las vacas fueron monitoreadas permanentemente para realizar las actividades conducentes relacionadas con aspectos

reproductivos y de mantenimiento de la salud; todo de acuerdo a las prácticas establecidas por el Médico Veterinario responsable del establecimiento.

Se recopiló diariamente la información de producción de leche en kg/día (PLe), de la conductividad eléctrica en mS/cm (CE), del flujo de medio de leche (FMd) en kg/min y del flujo máximo de leche en kg/min (FMx) de 110 vacas, de las cuales 47 eran de primera (PL), 45 de segunda (SL), 28 de tercera (TL) y 17 de cuarta o más lactaciones (CL), dando un total de 137 lactaciones. En el Cuadro 1 se presentan los valores registrados por año de parto y en el Cuadro 2 por época de parto de las características mencionadas. Las épocas se definieron como sigue: Época 1, los 3 primeros meses del año; Época 2, meses 4 a 6; Época 3, meses 7 a 9; Época 4, meses 10 a 12. Las producciones reportadas por el establo se encuentran dentro de los parámetros usuales para un hato alto productor en México.

**Cuadro 1:** Valores promedio, mínimos y máximos de las características de producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx) por año de parto

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Error Std
Año de parto 2018					
PLe, kg/día	9313	0.41	114.54	38.61	0.140
CE, mS/cm	9313	1.97	6.65	4.57	0.004
FMd, kg/min	9313	0.25	2.70	1.21	0.004
FMx, kg/min	9313	0.52	3.62	1.68	0.005
Año de parto 2019					
PLe, kg/día	21205	0.95	134.70	39.86	0.087
CE, mS/cm	21205	0.99	7.84	4.59	0.003
FMd, kg/min	21205	0.24	5.15	1.23	0.002
FMx, kg/min	21205	0.37	13.49	1.72	0.003
Año de parto 2020					
PLe, kg/día	4965	5.83	85.18	41.92	0.180
CE, mS/cm	4965	1.57	6.85	4.77	0.008
FMd, kg/min	4965	0.35	2.21	1.18	0.004
FMx, kg/min	4965	0.54	3.00	1.66	0.005

**Cuadro 2:** Valores promedio, mínimos y máximos de las características de producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx) por época de parto

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Error Std
Época de parto 1					
PLe, kg/día	8576	2.66	91.21	39.97	0.130
CE, mS/cm	8576	1.57	6.85	4.64	0.005
FMd, kg/min	8576	0.30	2.24	1.13	0.003
FMx, kg/min	8576	0.55	3.00	1.59	0.003
Época de parto 2					
PLe, kg/día	5408	6.44	84.85	39.20	0.153
CE, mS/cm	5408	0.99	6.38	4.54	0.006
FMd, kg/min	5408	0.24	2.19	1.24	0.004
FMx, kg/min	5408	0.37	2.96	1.72	0.004
Época de parto 3					
PLe, kg/día	6697	4.76	88.01	40.67	0.137
CE, mS/cm	6697	1.75	7.84	4.58	0.006
FMd, kg/min	6697	0.30	2.35	1.29	0.004
FMx, kg/min	6697	0.52	3.14	1.72	0.004
Época de parto 4					
PLe, kg/día	14802	0.41	134.70	39.58	0.120
CE, mS/cm	14802	1.34	7.50	4.64	0.004
FMd, kg/min	14802	0.25	5.14	1.24	0.003
FMx, kg/min	14802	0.52	13.49	1.75	0.004

La información se registró diariamente, obteniendo de 1 a 4 registros por día. Para la PLe, se sumó el total de producción de cada ordeño por día, mientras que, para CE, FMd y FMx, los valores se promediaron por día (total y por cuarto). Para realizar la curva de lactación se sumó la PLe diaria, y posteriormente por semana. Para realizar el cálculo de los parámetros genéticos se obtuvo un total de 137 observaciones para PLe, CE, FMd y FMx (Cuadro 3).

**Cuadro 3:** Valores generales promedio, mínimos y máximos de las características de producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx)

	PLe, kg/día	CE, mS/cm	FMd kg/min	FMx kg/min
Promedio	39.82	4.61	1.22	1.70
Mínimo	0.41	0.99	0.23	0.37
Máximo	134.7	7.84	5.14	13.49
Error estándar	0.069	0.002	0.001	0.002

Para poder identificar los efectos genéticos, fue necesario considerar y corregir por los efectos ambientales que pudieran tener efecto sobre las variables estudiadas. Por lo anterior se representaron en el modelo los efectos ambientales incluyendo el año y la época de parto y la edad del animal al parto; además de considerar la posibilidad de tener efectos ambientales permanentes (comunes a un mismo animal, pero no genéticos) al tener más de un registro por animal.

Se estimaron los componentes de varianza para PLe, FMd, FMx y CE por lactación con un modelo animal de repetibilidad, eliminándose los datos atípicos y extremos. Se utilizó un modelo lineal mixto donde se incluyeron como efectos fijos; el número de parto/año/época de parto (cuatro épocas según el mes de parto: enero-marzo, abril-junio, julio-septiembre y octubre-diciembre). Como efectos aleatorios se incluyeron al animal y al ambiente permanente.

Los estimadores de los componentes de varianza y covarianza se realizaron por medio de máxima verosimilitud restringida y las heredabilidades, repetibilidades y correlaciones genéticas, se calcularon a partir de los componentes de varianza, utilizando el conjunto de programas BLUPF90<sup>(24)</sup>.

Para la estimación de componentes de varianza el modelo utilizado fue:

$$y_{ijklmn} = \mu + \text{año}_i + \text{epoca}_j + \text{nump}_k + \text{animal}_l + \text{ambper}_m + e_{n(ijklm)}$$

En donde:

**y<sub>ijklmn</sub>**= vector de observaciones de interés (PLe, CE, FMd y FMx) correspondiente a la observación n en el año de parto i, época de parto j, número de parto k, animal l, ambiente permanente m;

**año<sub>i</sub>**= efecto del año de parto i;

**época<sub>j</sub>**= efecto de la época de parto j (de 1 a 4);

**nump<sub>k</sub>**= efecto del número de parto k (de 1 a 4);

**animal<sub>l</sub>**=efecto aleatorio genético del animal l,

**ambper<sub>m</sub>**= efecto aleatorio del ambiente permanente m;

**en(ijklm)**= vector de los efectos del error o residuales de la observación n dentro del animal l, año de parto i época de parto j y número de parto k.

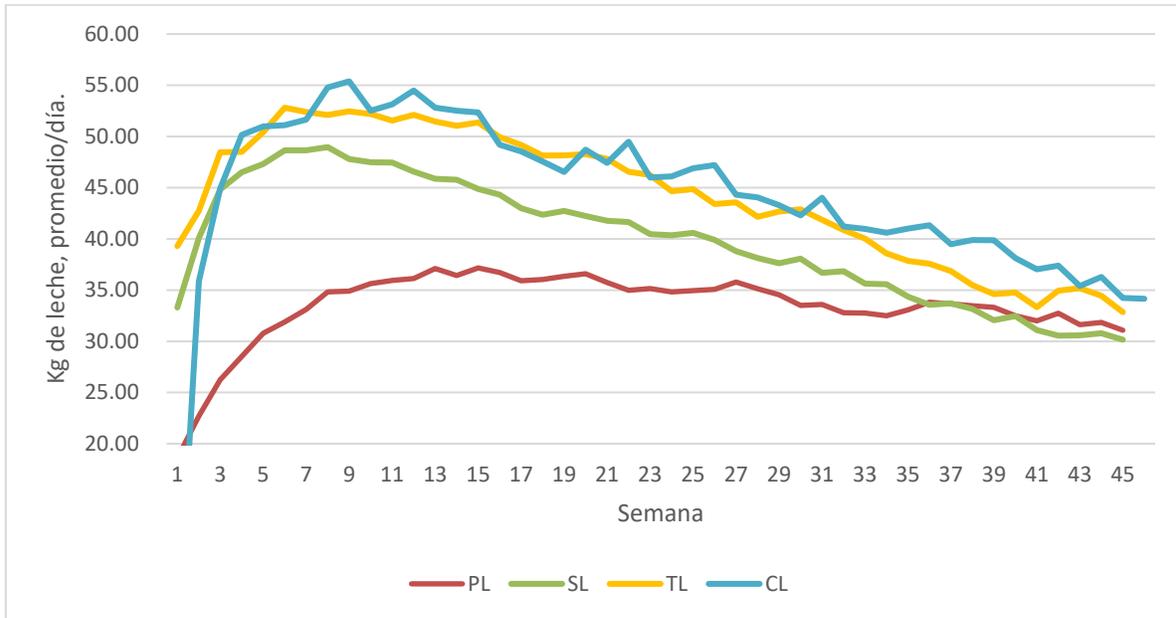
Para estimar los componentes de covarianza, se realizaron análisis bivariados utilizando el siguiente modelo matricial:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

donde los subíndices 1 y 2 identifican el par de características a ser evaluadas y (PLe, CE, FMd y FMx ) b= vector de efectos fijos (número de parto/año/estación de parto), u= vector de efectos aleatorios (animal y ambiente permanente), X y Z: son matrices de incidencia para los vectores b y u respectivamente; e= vector de los efectos del error o residuales.

En la Figura 1 se presenta la producción de leche de vacas por número de lactación. Las vacas de primer parto presentaron producción y un pico de producción inferior y mayor persistencia que las vacas con más lactaciones.

**Figura 1:** Producción diaria de leche a lo largo de 45 semanas en vacas de primera lactación (PL), segunda lactación (SL), tercera lactación (TL) y cuarta o más lactaciones (CL)



Los componentes de varianza calculados para producción de leche, conductividad eléctrica, flujo medio y flujo máximo, así como la heredabilidad y repetibilidad se presentan en el Cuadro 4.

**Cuadro 4:** Componentes de varianza para producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx)

	PLe	CE	FMd	FMx
$\sigma^2_A$	183.60	0.110	0.055	0.065
$\sigma^2_{PE}$	23.74	0.099	0.082	0.109
$\sigma^2_e$	87.78	0.129	0.025	0.052
$h^2$	0.62	0.44	0.33	0.28
$r^2$	0.70	0.48	0.84	0.77

$\sigma^2_A$ = varianza genética aditiva;  $\sigma^2_{PE}$ = varianza del ambiente permanente;  $\sigma^2_e$ = varianza residual;  $h^2$ = heredabilidad;  $r^2$ = repetibilidad.

La heredabilidad de la producción de leche (0.62) fue superior a los valores estimados en ganado Holstein en México; ésta ha sido reportada entre 0.17 y 0.49 para la primera lactación y entre 0.16 y 0.41 para las primeras cinco lactaciones<sup>(23)</sup>. De la CE se estimó un valor de

heredabilidad medio-alto (0.44), similar a lo estimado por otros autores<sup>(25,26)</sup>; en condiciones de ordeña automatizada, como en este trabajo, se reportó una heredabilidad que fluctuó entre 0.38 y 0.49<sup>(27)</sup>. Se ha expuesto que la heredabilidad de CE es importante, debido a que se ha estimado que las correlaciones genéticas entre la CE y la mastitis están en el rango de 0.65 a 0.8; por lo tanto, la obtención de la respuesta genética para la mastitis debería ser posible mediante el uso de la información de la CE en la evaluación genética<sup>(17)</sup>.

Las heredabilidades estimadas para FMd y FMx fueron medias (0.33 y 0.28); en vacas manejadas en sistemas de ordeño automatizado se reportaron valores de 0.47 a 0.58 para FMd<sup>(27)</sup>; en forma similar, en vacas Holstein, Holstein-Friesian italianas<sup>(28)</sup> bajo ordeña tradicional, se obtuvo una heredabilidad alta (0.50) para el flujo inicial de la leche y alta (0.54) para el FMx.

En el Cuadro 5 se presentan las correlaciones genéticas para las características estudiadas. Se estimó una correlación negativa para la PLe y CE (-0.167); otros autores<sup>(29)</sup>, también reportaron una correlación negativa (-0.12), lo que sugiere que la selección realizada para incrementar la producción de leche decrece la CE.

Para PLe y FMd, se estimaron correlaciones negativas (-0.612), al igual que para PLe y FMx (-0.767); en contraste, otros autores<sup>(30)</sup> trabajando con vacas Jersey en clima tropical estimaron correlaciones genéticas positivas para estas características (0.46 a 0.89). Lo anterior debe revisarse, ya que si las correlaciones genéticas fueran negativas como aquí se reporta, el incremento en tiempo de ordeña no será proporcional al incremento en producción al disminuir el flujo de leche con mermas importantes en la eficiencia de ordeño.

**Cuadro 5:** Correlaciones genéticas entre la producción de leche (PLe), conductividad eléctrica (CE), flujo medio de leche (FMd) y flujo máximo de leche (FMx)

	<b>PLe</b>	<b>CE</b>	<b>FMd</b>	<b>FMx</b>
PLe	1	-0.167	-0.612	-0.767
CE		1	0.3546	0.5351
FMd			1	0.7422
FMx				1

Las relaciones CE, con FMd y FMx, fueron 0.35 y 0.53, respectivamente, valores contrastantes a los reportados por algunos autores, quienes trabajaron con cabras lecheras y mostraron una relación negativa para el FMx y CE (-0.003)<sup>(31)</sup>.

Las correlaciones positivas encontradas entre las características de flujo y de conductividad permiten inferir que los programas de selección podrán ser basados en una de las tres características y mostrar avances. Sin embargo, las correlaciones negativas entre producción

de leche y estas características, sobre todo con las de flujo, son resultados contrarios a lo reportado por otros autores<sup>(30)</sup> y presentan un reto para los productores, ya que producción de leche es la característica económicamente más importante en nuestro sistema de producción y su mejora implica deterioro en las otras características.

Las correlaciones entre las características de flujo de la leche fueron positivas altas (0.74), por lo que no es necesario seleccionar para ambas variables cuando se desee incrementar el flujo de la leche.

Los presentes resultados permiten entender mejor las relaciones entre los flujos (medio y máximo), la conductividad y la producción de leche, e indican que la selección realizada para incrementar la producción de leche ha disminuido la CE, lo que implica que los niveles promedio de CE deberán ser recalculados periódicamente para poder interpretar este parámetro correctamente. Sin embargo, este mejoramiento de PLe está asociado a disminuciones en los flujos de leche, por lo que existe el potencial de mejorar la eficiencia de la producción de leche acortando la duración de las ordeñas a través del incremento del flujo, con los ahorros consecuentes en los costos de ordeña. La correlación genética negativa hará que la selección de estas características de manera individual sea difícil, y su mejoramiento requerirá del desarrollo de índices de selección que permitan mejorar ambas características a la vez.

### **Agradecimientos y conflicto de interés**

El presente trabajo se desarrolló como parte de las actividades del proyecto “Estimación de la producción de metano y su relación con la población de microorganismos metanogénicos en el rumen, la producción y composición de leche y la eficiencia de producción de vacas Holstein manejadas bajo un sistema de ordeño robotizado”, con número de SIGI 20545434558, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP.

Los autores expresan que no existe conflicto de interés alguno.

### **Literatura citada:**

1. Magofke J, García X, González U, Gargiullo A. Parámetros genéticos en bovinos de leche. I. Antecedentes bibliográficos. *Avances Prod Anim* 2001;26:31-48.
2. Cerón M, Tonhati H, Costa C, Solarte C, Benavides O. Factores de ajuste para producción de leche en bovinos Holstein colombiano. *Rev Col Cienc Pecu* 2003;16(1):26-32.

3. Salvador A, Martínez G. Factors that affect yield and composition of goat milk: A bibliographic review. *Rev Fac Cienc Vet* 2007;48(2):61-76.
4. Oldenbroek K, van der Waaij L. Textbook of animal breeding: Animal breeding and genetics for BSc students. Wageningen: Centre for Genetic Resources and Animal Breeding and Genomics Group. Wageningen University and Research Centre. 2014; 311.
5. Zwald NR, Weigel KA, Chang YM, Welper RD, Clay JS. Genetic evaluation of dairy sires for milking duration using electronically recorded milking times of their daughters. *J Dairy Sci* 2005;88(3):1192-1198.
6. Laureano MM, Bignardi AB, El Faro L, Cardoso VL, Albuquerque LG. Genetic parameters for first lactation test-day milk flow in Holstein cows. *Animal* 2011;6(1): 31-35.
7. Wiggans GR, Thornton LLM, Neitzel RR, Gengler N. Short Communication: Genetic evaluation of milking speed for Brown Swiss dairy cattle in the United States. *J Dairy Sci* 2007; 90:1021-1023.
8. Santos L, Brügemann K, Simianer H, König S. Alternative strategies for genetic analyses of milk flow in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2015;98:8209–8222.
9. Tancin V, Bruckmaier RM. Factors affecting milk ejection and removal during milking and suckling of dairy cows. *Vet Med-Czech* 2001;46(4):108-118.
10. Moore-Foster R, Norby B, Schewe RL, Thomson R, Bartlett PC, Erskine RJ. Herd level variables associated with delayed milk ejection in Michigan dairy herds. *J Dairy Sci* 2019;102:696–705.
11. Erskine RJ, Norby B, Neuder LM, Thomson RS. Decreased milk yield is associated with delayed milk ejection. *J Dairy Sci* 2019;102:6477–6484.
12. Tancin V, Ipema B, Hogewerf P, Macuhova J. Sources of variation in milk flow characteristics at udder and quarter levels. *J Dairy Sci* 2006;89:978-988.
13. Wieland M, Sipka A. Comparison of 2 types of milk flow meters for detecting bimodality in dairy cows. *J Dairy Sci* 2023;106:1078–1088.
14. Upton J, Browne M, Silva PB. Effect of milk flow rate switch-point settings on cow comfort and milking duration. *J Dairy Sci* 2023;106:2438–2448.
15. Roca A. Estudio de la conductividad eléctrica de la leche de oveja Manchega como método de detección de mamitis [Tesis doctoral]. Orihuela, España: Universidad Miguel Hernández; 2017.

16. Norberg E, Hogeveen H, Kordgaard IR, Friggens NC, Sloth KH, Lovendahl P. Electrical conductivity of milk: Ability to predict mastitis infection status. *J Dairy Sci* 2004;82(4):1555-1564.
17. Norberg E. Electrical conductivity of milk as a phenotypic and genetic indicator of bovine mastitis: A review. *Livest Prod Sci* 2005;96(2-3):129-139.
18. Zeconni A, Piccinini R, Giovannini G, Casirani G, Panzeri R. Clinical mastitis detection by on-line measurements of milk yield, electrical conductivity and milking duration in commercial dairy farms. *Milchwissenschaft* 2004;59(5):240-244.
19. De Koning C. Automatic milking—common practice on dairy farms. The First North American Conference on Precision Dairy Management. 2010.
20. Lyons N, Gargiulo J, Clark C, Garcia S. Technology and robotic milking in dairy production. *Encyclopedia of Dairy Science*. 3ra ed. USA: Academic Press; 2022.
21. Ossa GA, Suarez MA, Perez JE. Valores genéticos de caracteres productivos y reproductivos en bovinos Romosinuano. *Rev Corpoica* 2008;9(1):93-101.
22. Galeano, AP, Manrique C. Estimación de parámetros genéticos para características productivas y reproductivas en los sistemas doble propósito del trópico bajo Colombiano. *Rev Med Vet Zoot* 2010;57(2):119-131.
23. Toledo H, Ruiz F, Vásquez C, Berruecos J, Elzo M. Parámetros genéticos para producción de leche de ganado Holstein en dos modalidades de control de producción. *Rev Mex Cienc Pecu* 2014;5(4):443-457.
24. Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee D. BLUPF90 and related programs (BGF90). 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. 2002;19-23.
25. Jouzaitienė V, Juozaitis A, Brazauskas A, Zymantiene J, Zilaitis V, Antanaitis R, Stankevicius R, Bobiniene R. Investigation of electrical conductivity of milk in robotic milking system and its relationship with milk somatic cell count and other quality traits. *JVE* 2015;3(3):63-70.
26. Povinelli M, Gallo L, Carnier P, Marcomin D, Dal Zotto R, Cassandro M. Genetic aspects of milk electrical conductivity in Italian Brown cattle. *Italian J Anim Sci* 2016; 4:169-171.
27. Pedrosa VB, Boerman JP, Gloria LS, Chen S, Montes ME, Doucette JS, Brito LF. Genomic-based genetic parameters for milk ability traits derived from automatic milking systems in North American Holstein cattle. *J Dairy Sci* 2023;106:2613–2629.

28. Samore A, Roman-Ponce S, Vacirca F, Frigo E, Canavesi F, Bagnato A, Maltecca C. Bimodality and the genetics of milk flow traits in the Italian Holstein-Friesian breed. *J Dairy Sci* 2011;94:4081-4089.
29. Brazauskas A, Juozaitis A, Stankevicius R, Jouzaitiene V, Zilaitis V. The influence of pasturable and stall period diets of dairy cows on the electrical conductivity of milk. *Zemdirbyste-Agriculture* 2013;100(4):363-368.
30. Samaraweera AM, Boerner V, Disnaka S, Van der Werf JHJ, Hermesh S. Genetic parameters for milk yield, milk electrical conductivity and milk flow rate in first-lactation Jersey cows in Sri Lanka. *Proc Assoc Advmt Anim Breed Genet* 2019;23:135-138.
31. Slyziene B, Anskienė L, Slyzius E, Juozaitienė V. Relationship of milking traits and somatic cell count and electrical conductivity of goat milk during different milking phases. *Mljekarstvo* 2020;70(4):292-299.



## Ácidos grasos y terpenos del extracto metanólico de *Artemisia cina* como posibles responsables del efecto ovicida sobre *Haemonchus contortus*



Luis David Arango-De la Pava <sup>a</sup>

Héctor Alejandro De la Cruz-Cruz <sup>a</sup>

Jorge Alfredo Cuéllar-Ordaz <sup>a</sup>

Alejandro Zamilpa <sup>b</sup>

Manasés González-Cortazar <sup>b</sup>

María Eugenia López-Arellano <sup>c</sup>

Rosa Isabel Higuera-Piedrahita <sup>a\*</sup>

Raquel López-Arellano <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Estado de México, México.

<sup>b</sup> Instituto Mexicano del Seguro Social. Centro de Investigación Biomédica del Sur. Xochitepec, Morelos, México.

<sup>c</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad. Laboratorio de Helmintología. Morelos, México.

\*Autor de correspondencia: [lopezar@unam.mx](mailto:lopezar@unam.mx); [rhuera05@comunidad.unam.mx](mailto:rhuera05@comunidad.unam.mx)

### Resumen:

*Haemonchus contortus* es un nematodo hematófago con alta tasa de reproducción, considerado como el principal problema en pequeños rumiantes en pastoreo. Por tanto, se buscan alternativas de tratamiento con base en el uso de los extractos vegetales. El objetivo

de este estudio fue evaluar la actividad ovicida de *Artemisia cina* contra el parásito *Haemonchus contortus* y caracterizar químicamente el extracto con mayor actividad biológica a través de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (CG-MS). La obtención de los extractos a evaluar, se realizó con la técnica de maceración utilizando metanol, acetato de etilo y n-hexano. Los extractos se llevaron a sequedad total y se desafiaron frente a los huevos de *H. contortus* utilizando la técnica de inhibición de la eclosión de huevos descrita por la Asociación Mundial para el Avance de la Parasitología Veterinaria (WAAVP, por sus siglas en inglés). El extracto metanólico (EM) mostró el 100 % de actividad ovicida a una concentración de 4.25 mg/ml, siendo el más activo a una baja concentración, por tanto se caracterizó con CG-MS. EL EM posee principalmente ácidos grasos y terpenos; de ellos, el ácido hexadecanoico y el 2-[4-metil-6-(2,6,6-trimetilciclohex-1-enil) exa-1,3,5-trienil][ciclohex]-1-en-carboxialdehído. Los compuestos caracterizados han mostrado actividad antihelmíntica previamente reportada, por lo que la actividad ovicida puede estar asociada a estos. En conclusión, el extracto metanólico de *A. cina* tuvo una mayor actividad ovicida a bajas concentraciones, esto se debe probablemente a la presencia de ácidos grasos y terpenos.

**Palabras clave:** *Artemisia cina*, *Haemonchus contortus*, Eclosión huevos, Antihelmíntico.

Recibido: 18/05/2023

Aceptado: 02/10/2023

La infección por *Haemonchus contortus* es uno de los mayores desafíos que enfrenta la producción de ovinos y caprinos en todo el mundo. Este parásito nematodo es altamente virulento y tiene un gran impacto económico debido a la pérdida de producción y la necesidad de controlar la infección<sup>(1)</sup>.

La resistencia a los antihelmínticos utilizados comúnmente ha sido un problema creciente en la lucha contra *H. contortus*<sup>(2)</sup>. Aunque las opciones para el manejo sostenible como las que contempla el control integrado de parásitos son una fuerte alternativa, aún se requieren más estudios que validen los métodos y coadyuven a la reducción de resistencia o la protección de las moléculas presentes en el mercado<sup>(3)</sup>.

La respuesta inmune del hospedador ante la presencia de *H. contortus* es un factor clave para contrarrestar la infección, de tal forma que permite clasificar a los individuos del rebaño en animales resistentes, resilientes o susceptibles. La resistencia se asocia a una nula carga parasitaria y bajo impacto sobre los parámetros productivos del rebaño<sup>(4)</sup>. Sin embargo, los individuos susceptibles, que en ocasiones son menor número, pero que se ven severamente

afectados por el daño de las nematodosis requieren tratamientos frecuentes, induciendo a problemas por resistencia antihelmíntica. Por ello, es necesario la identificación de nuevas moléculas con potencial antiparasitario<sup>(4)</sup>.

La identificación de nuevas moléculas y compuestos que tienen actividad contra parásitos es un área en constante evolución. Se ha demostrado que algunas plantas tienen propiedades antihelmínticas, incluyendo efectos contra *H. contortus*<sup>(5)</sup>. Actualmente el control antiparasitario debe centrarse en estrategias sostenibles y sustentables que tengan el menor impacto posible para el ambiente, además de disminuir la presión a las cepas de nematodos en constante mutación y selección a genes asociados a la resistencia. Los esfuerzos deben orientarse a buscar compuestos que puedan causar daño al parásito, reduciendo sus poblaciones o incluso revirtiendo la sobreexpresión de genes responsables de la resistencia antihelmíntica<sup>(6)</sup>.

El género *Artemisia* contiene diferentes especies con actividad antihelmíntica comprobada, entre ellas *A. cina* que se ha utilizado en la medicina tradicional como antiparasitario junto con plantas de su misma especie, tienen grandes efectos sobre parásitos intracelulares, nematodos o incluso cestodo<sup>(7)</sup>.

El género *Artemisia* biosintetiza diferentes metabolitos secundarios como: sesquiterpenos, diterpenos, esteroides, fenoxicromenos, fenilpropanos, flavonoides, cumarinas, isofenilcumarina, ácido cafeoilquínico, acetilenos y lignanos que son los responsables de la actividad antihelmíntica<sup>(8)</sup>. Dentro de las moléculas con actividad antiparasitaria reportada se encuentran artemisinina, santonina, norisoguaicina y 3'-demetoxi-6-O-dimetilisoguaiacina<sup>(9-11)</sup>; otros autores como Sakipova *et al*<sup>(10)</sup> han reportado la presencia de artemisinina y santonina<sup>(10)</sup>. *Artemisia cina* demuestra ser una planta con un alto potencial antihelmíntico sobre nematodos y cestodos de importancia veterinaria<sup>(8,12)</sup>. El objetivo de este estudio fue evaluar la actividad ovicida de *Artemisia cina* contra el parásito *Haemonchus contortus* y proponer las estructuras de las moléculas volátiles mayoritarias del extracto con mayor actividad antihelmíntica a través de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas.

**Material vegetal:** Las partes aéreas previamente secas y molidas de *Artemisia cina* en estado de prefloración (40 a 60 cm de altura) fueron proporcionadas por laboratorios Hunab®, México, quienes producen la planta de forma comercial en las siguientes condiciones: humedad de 24.6 %, pH 8.7 y salinidad de 1.6 %. La planta con número de voucher No. 11967 fue identificada como *Artemisia cina* por Dr. Alejandro Torres-Montúfar del herbario de FES Cuautitlán, Cuautitlán, Estado de México.

**Obtención del extracto vegetal:** Se utilizaron muestras de 1 kg aproximadamente de material vegetal para realizar la extracción en solvente por medio de maceración por 72 h a

temperatura ambiente, utilizando metanol, acetato de etilo y *n*-hexano para obtener extractos de alta, mediana y baja polaridad respectivamente. Pasado el tiempo de maceración, se filtró usando gasa, algodón y papel filtro (Whatman® #4). El filtrado resultante fue concentrado a presión reducida a 40 °C y 100 rpm en un rotavapor DLAB RE-100 Pro®. El extracto resultante se secó al vacío y almacenado en un desecador a presión, reducida hasta su uso.

Análisis cromatográfico en capa fina (TLC): Se utilizaron cromatofolios de aluminio Merck® con las siguientes condiciones sílica gel 60 F254. La fase móvil que se utilizó para realizar la elución de los extractos fue 5:5 *n*-hexano:acetato de etilo. Para cada carril, se aplicaron 15 µl de una solución de 16 mg/ml de cada uno los extractos y la referencia, por tanto, la mayor intensidad de las bandas corresponde a una mayor concentración. La referencia, fue el extracto de *n*-hexano reportado por Higuera Piedrahita *et al*(21), del cual se encuentra reportada la actividad antihelmíntica de *A. cina* sobre huevos de *Haemonchus contortus*. Las placas de cromatografía fueron revisadas a dos longitudes de onda (254 y 365 nm) antes de su revelado con sulfato cérico. Se calculó el factor de retención ( $R_f$ ) con la siguiente ecuación:

$$R_f = \frac{\text{Distancia recorrida del soluto}}{\text{Distancia recorrida del disolvente}} \quad (1)$$

Inhibición de la eclosión de huevos (IEH): Los huevos de *Haemonchus contortus* se obtuvieron de la cepa aislada y mantenida en la FES Cuautitlán. La IEH se realizó en placas ELISA de 96-pozos, el protocolo que se utilizó fue el reportado por Coles *et al*(13) en donde se utilizaron 100 huevos por pozo con cuatro repeticiones, los huevos expuestos a los tratamientos se incubaron en cámara húmeda durante 48 h previo a su lectura. La lectura de IEH se realizó utilizando una solución de yodo-lugol, que se agregó a cada pozo después de la incubación. El número de huevos sin eclosionar (muertos y larvados) y las larvas 1 fueron contabilizados para determinar el porcentaje de inhibición de la eclosión de huevos utilizando un microscopio con aumento de 10 X (Olympus, modelo CK-2, Japón®). Como control positivo se usó ivermectina (5 mg/ml) y agua como control negativo. Las fotografías se tomaron en el objetivo de 40X, utilizando una cámara CMOS HK-10 y el software ISCapture V3.6.6

Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS): Los componentes volátiles presentes en el extracto crudo de mayor actividad en la inhibición de la eclosión de huevos de *H. contortus*, se analizaron por GC-MS utilizando un cromatógrafo de gases HP Agilent Technologies 6890 acoplado a un detector de masas cuadrupolo MSD 5973 (HP Agilent) y una columna capilar HP-5 MS. (longitud: 30 m; diámetro interior: 0.25 mm; espesor de película: 0.25 µM). Se ajustó un flujo constante de helio como gas portador a la columna a 1 ml/min. La temperatura de entrada se fijó en 250 °C, mientras que la temperatura del horno se mantuvo inicialmente a 40 °C durante 1 min y se aumentó a 280 °C a intervalos

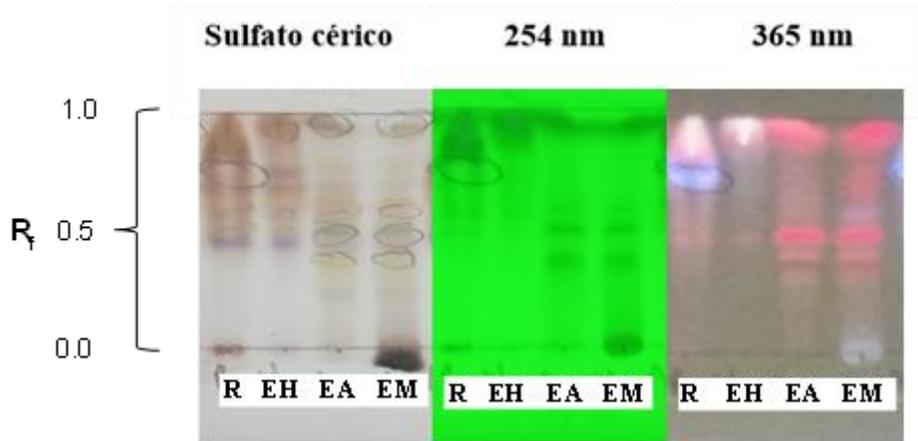
de 10 °C/min. El espectrómetro de masas se utilizó en modo de impacto de electrones positivos con una energía de ionización de 70 eV. La detección se realizó en modo de monitorización selectiva de iones. Las señales se identificaron y cuantificaron utilizando iones objetivo. Los compuestos se identificaron comparando sus espectros de masas con la biblioteca NIST versión 1.7a. Los porcentajes relativos se determinaron integrando las señales utilizando el software GC Chem Station, versión C.00.01. La composición se informó como un porcentaje del área total de la señal.

**Análisis estadístico:** se realizaron tres repeticiones por duplicado de cada extracto. Se calcularon las  $CL_{50}$  y  $CL_{90}$  por medio de un análisis PROBIT, utilizando el software SAS 9.0. Se obtuvo el promedio y error estándar de la media para cada extracto, se realizó una comparación múltiple de medias de Tukey al 95% de confianza por medio del programa Statgraphics.

La extracción por polaridad de los extractos de *Artemisia cina* permitieron obtener los siguientes porcentajes de rendimiento: el extracto de metanol (EM) presentó un porcentaje de rendimiento de 4.1 %, el de acetato de etilo (EA) 3.86 % y el extracto de *n*-hexano (EH) 1.09 %. Siendo el EM el que presentó el mayor rendimiento, seguido del EA y EH respectivamente.

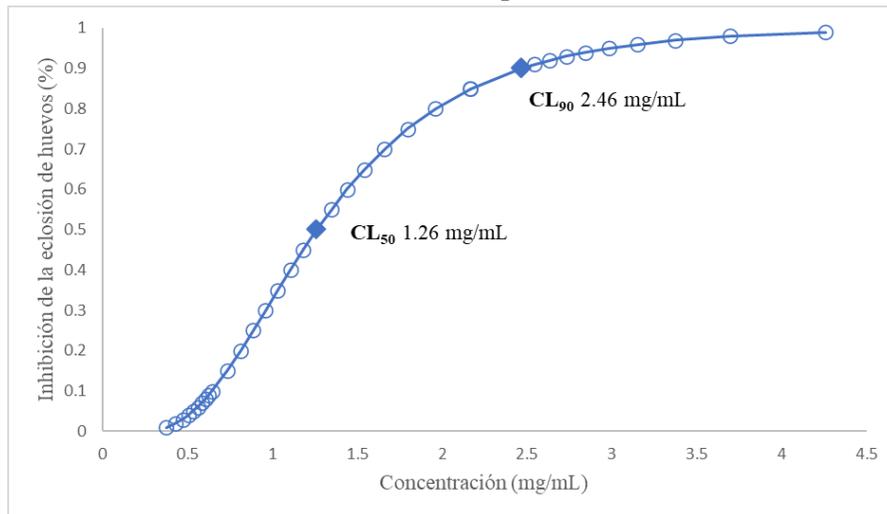
En la comparación del perfil químico de los diferentes extractos por medio de cromatografía en capa fina (TLC), se utilizó un sistema *n*-hexano:acetato de etilo (5:5), el cual permitió la separación de un mayor número de bandas con respecto a otros sistemas. En ese sistema se pudo observar la diferencia del perfil químico de cada uno de los extractos, donde el EH presenta la mayor concentración de compuestos entre los factores de retención ( $R_F$ ) 0.5 y 1.0, el EA entre 0.4 y 0.7 y el EM en 0.0. De acuerdo al  $R_F$  e intensidad de las bandas, los compuestos presentes en el EH son principalmente de baja polaridad, los del EA son de mediana polaridad y los del EM de mayor polaridad con respecto a los demás extractos (Figura 1). Los extractos resultantes fueron obtenidos por medio de una maceración simple usando diferente material vegetal para cada solvente evitando extracciones exhaustivas.

**Figura 1:** Cromatografía en capa fina de referencia (R), los extractos de *n*-hexano (EH), acetato de etilo (EA) y metanol (EM) y Fase móvil:*n*-hexano:acetato de etilo 5:5, revelador: sulfato cérico



Una vez observada la diferencia en la composición química de los tres extractos, se evaluó la inhibición de la eclosión de huevos de *H. contortus*. En donde se observó una relación dosis-respuesta (Figura 2) en la IEH, lo que permitió utilizar el análisis Probit para calcular la CL<sub>50</sub> y CL<sub>90</sub> de los tres extractos.

**Figura 2:** Concentraciones letales CL<sub>50</sub> y CL<sub>90</sub> requeridas para inhibir la eclosión de huevos de *H. contortus* después de 48 h de incubación con un extracto metanólico de *Artemisia cina* determinado por análisis PROBIT



El EM presentó la mayor IEH (CL<sub>50</sub> 1.26 mg/ml y CL<sub>90</sub> 2.46 mg/ml), > seguida del EA (CL<sub>50</sub> 2.42 mg/ml y CL<sub>90</sub> 3.80 mg/ml) y > el EH (CL<sub>50</sub> 3.08 mg/ml y CL<sub>90</sub> 3.84 mg/ml). Es decir, que se observó un mayor efecto de EIH a medida que aumentó la polaridad de los extractos (Cuadro 1).

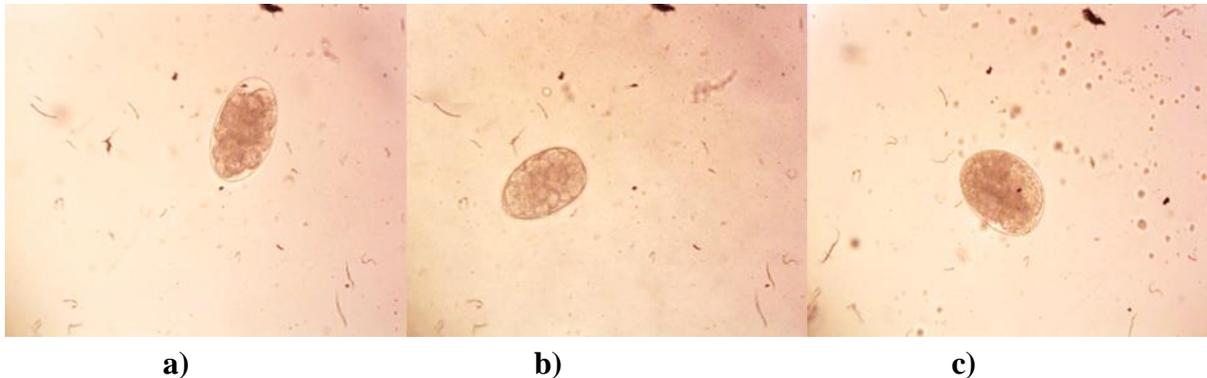
**Cuadro 1:** Porcentaje de inhibición de la eclosión de huevos de *Haemonchus contortus* expuestos a los extractos *n*-hexánico, acetato de etilo y metanólico de *Artemisia cina*

Tratamiento	CL <sub>50</sub> (mg/ml)	CL <sub>90</sub> (mg/ml)
<i>n</i> - hexano	3.08 (2.96 – 3.18) <sup>a</sup>	3.84 (3.70 – 4.07) <sup>a</sup>
Acetato de etilo	2.42 (2.27 – 2.55) <sup>b</sup>	3.80 (3.64 – 4.10) <sup>a</sup>
Metanol	1.26 (1.18 – 1.34) <sup>c</sup>	2.46 (2.32 – 2.66) <sup>b</sup>

<sup>ab</sup> Letras iguales indican no diferencia significativa entre grupos. Duncan  $\alpha < 0.05$ .

Se tomaron fotografías de los huevos observados en el microscopio a 40X sometidos al EM, y se observó inhibición de la eclosión en el tratamiento con ivermectina y huevos larvados en el tratamiento con extracto metanólico (Figura 3). En la figura a se muestra un huevo morulado expuesto a agua destilada sin daño, antes de las 48 h de exposición a los tratamientos. Cabe aclarar que, a las 48 h, los huevos expuestos a agua destilada se convirtieron en larvas 1.

**Figura 3:** Huevos de *Haemonchus contortus* observados a 40X en diferentes condiciones: a) control negativo con agua; b) control positivo de ivermectina (5 mg/ml); c) extracto metanólico de *Artemisia cina* a 2.46 mg/ml luego de 48 h post-exposición



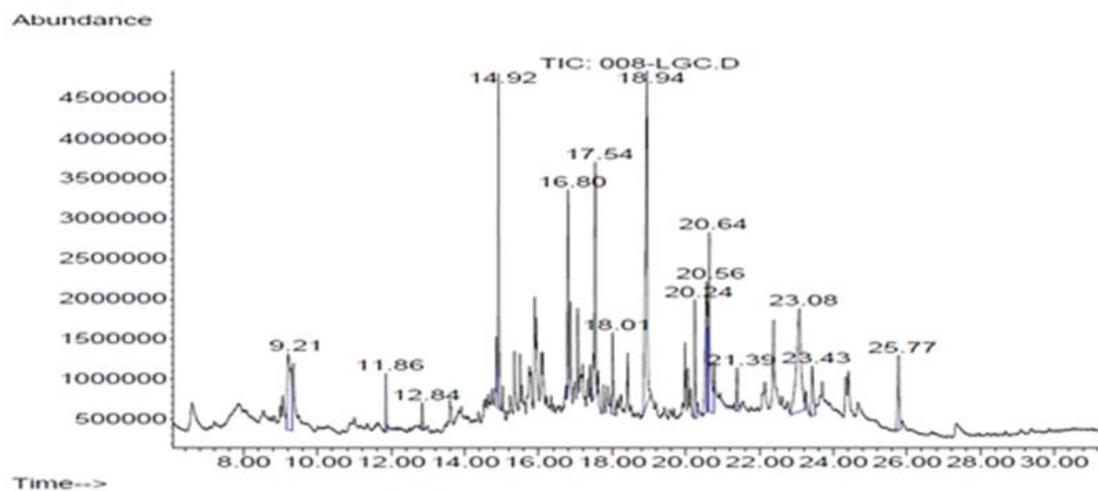
El EM mostró la mayor inhibición de la eclosión de huevos a concentraciones menores con respecto a los otros extractos. Por tanto, se determinaron los compuestos volátiles mayoritarios del EM a través CG-MS, y se propusieron de acuerdo con el patrón de fragmentación la estructura de los compuestos mayoritarios, los cuales se compararon con la biblioteca NIST. Teniendo en cuenta lo anterior, se proponen alrededor de 15 compuestos volátiles diferentes, de los cuales tres son ácidos grasos y 12 terpenos (Cuadro 2).

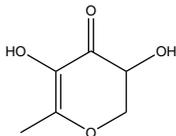
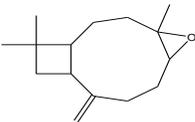
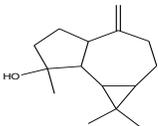
**Cuadro 2:** Compuestos volátiles presentes en el extracto metanólico de *Artemisia cina*

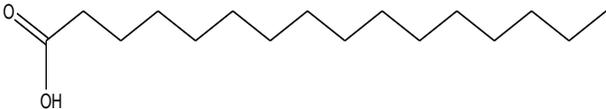
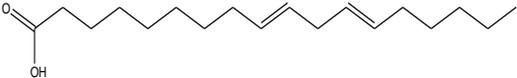
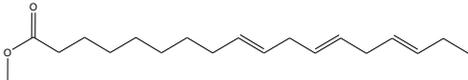
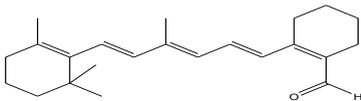
Compuesto	Tiempo de retención (min)	Nombre	Peso molecular (m/z)	% de área	Tipo de compuesto
(1)	9.20	4H-Piran-4-ona, 2,3-dihidro-3,5 dihidroxi-6-metil.	144	8.376	Hemiterpeno
(2)	11.85	Dihidro aromadendreno	202	1.519	Sesquiterpeno bicíclico
(3)	12.85	Cariofileno	204	0.891	Sesquiterpeno bicíclico
(4)	14.91	Óxido de cariofileno	220	9.601	Sesquiterpeno bicíclico
(5)	16.80	Espatulanol	220	5.256	Sesquiterpeno bicíclico
(6)	17.54	(-) Espatulanol	220	8.552	Sesquiterpeno bicíclico
(7)	10.80	Platambina	238	2.794	Sesquiterpeno bicíclico
(8)	18.94	Ácido hexadecanoico	256	19.185	Ácido graso saturado
(9)	20.241	Fitol	296	3.691	Diterpeno lineal
(10)	20.55	9-12 Ácido octadecanoico (Z,Z)	290	8.463	Ácido graso insaturado
(11)	20.63	9-12-15 Metil éster del ácido octadecatrienoico (Z,Z,Z)	292	9.736	Ácido graso insaturado

(12)	21.390	Azuleno [6,5-b] furan -2,5-diona, decahidro-4a,8 dimetil-3-metileno, [3aR-(3a $\alpha$ , 4a $\beta$ , 7a $\alpha$ , 8 $\beta$ , 9a $\alpha$ )]	248	1.497	Sesquiterpeno lactónico
(13)	23.07	2-[4-metil-6-(2,6,6-trimetilciclohex1-enil) exa-1,3,5-trienil][ciclohex-1-en-carboxialdehido	280	13.677	Diterpeno bicíclico
(14)	23.42	Espiro [7H-ciclohepta[b]furan 7,2'(5H')-furan]-2,5'(3H)-diona, octahidro-8-hidroxi-6,8-dimetil-3-metileno, [3aS-(3a $\alpha$ , 6 $\beta$ , 7a $\alpha$ , 8a,8a $\alpha$ )]	280	2.772	Sesquiterpeno lactónico
(15)	25.77	Azuleno [6,5-b] furan -2,5-diona, decahidro-4a,8 dimetil-3-metileno, [3aR-(3a $\alpha$ , 4a $\beta$ , 7a $\alpha$ , 8 $\beta$ , 9a $\alpha$ )]	248	3.989	Sesquiterpeno lactónico

De manera general, los compuestos volátiles del EM son principalmente terpenos y algunos ácidos grasos, siendo los sesquiterpenos los de mayor diversidad química. En la Figura 4 se pueden observar siete compuestos que de acuerdo con el porcentaje del área bajo la curva del total de compuestos ( $\geq 8\%$ ), podrían considerarse como mayoritarios. De acuerdo al patrón de fragmentación de los siete compuestos volátiles mayoritarios del EM de *Artemisia cina*, las estructuras propuestas se muestran en el Cuadro 3.

**Figura 4:** Cromatograma de CG-MS de los compuestos químicos presentes en el extracto metanólico de *Artemisia cina***Cuadro 3:** Compuestos volátiles mayoritarios del extracto metanólico de *Artemisia cina* determinados a través de CG-MS

Compuesto	TR	Estructura propuesta
(1)	9.20	
(4)	14.92	
(6)	17.54	

(8)	18.94	
(10)	20.55	
(11)	20.63	
(13)	23.07	

TR= tiempo de retención (min).

De acuerdo al Cuadro 2, los posibles compuestos volátiles mayoritarios son terpenos y ácidos grasos. De los terpenos, están presentes: el compuesto (1) un hemiterpeno, (4) un sesquiterpeno bicíclico y (6) tricíclico, (13) un diterpeno bicíclico. De los ácidos grasos: (8) un ácido graso saturado, (10) ácido graso insaturado y (11) insaturado y esterificado. El ácido hexadecanoico (8) es el más abundante en el EM, seguido del 2-[4-metil-6-(2,6,6-trimetilciclohex-1-enil) hexa-1,3,5-trienil][ciclohex-1-en-carboxialdehído (13).

La inhibición de la eclosión de huevos (IEH) del EM se puede atribuir a la presencia de ácidos grasos saturados e insaturados como el ácido hexadecanoico el cual es el más abundante en el EM de *Artemisia cina*. Pineda-Alegría *et al*<sup>(14)</sup>, evaluaron el ácido pentadecanoico  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$ , ácido hexadecanoico  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$  (8) y ácido esteárico  $(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH})$ , y encontraron un aumento de la IEH al aumentar el número de carbonos de los ácidos grasos insaturados, siendo los más activos el palmítico y esteárico a una dosis de 20 mg/ml, donde obtuvieron el 100 % de IEH de *H. contortus*. Teniendo en cuenta que el EM presentó  $\text{CL}_{100}$  en la IEH de 4.25 mg/ml y que uno de sus compuestos mayoritarios es el ácido hexadecanoico, se podría pensar que existe un sinergismo con los demás compuestos químicos presentes en EM. Por la naturaleza de estos ácidos grasos podrían ser los potenciales compuestos con actividad ovicida del EM.

La presencia de metabolitos secundarios en las plantas es consecuencia de la interacción de éstas con el medio que la rodea. Estas interacciones son propias de los factores bióticos y

abióticos del lugar donde se encuentre la planta. Respecto al perfil fitoquímico del EM de *A. cina* utilizado en este estudio y a la concentración, es respuesta a las condiciones controladas del cultivo, ya que el material vegetal fue obtenido de un invernadero<sup>(15)</sup>.

El EM de *A. cina* posee un alto contenido de terpenos los cuales se han reportado a su vez con una alta actividad ovicida de nematodos gastroentéricos de rumiantes. Estos terpenos son el óxido de cariofileno (**3**) y espatulenol (**5**), los cuales hacen parte de los compuestos mayoritarios (15.4 % y 5.1 % respectivamente) del aceite esencial de *Achyrocline satureioides*<sup>(16)</sup>, los cuales tienen una EC<sub>50</sub> de 10.42 mg/ml en la IEH sobre *H. contortus*. En comparación con el CE<sub>50</sub> de 1.42 mg/ml en la IEH del EM de *Artemisia cina*, en el cual está presente (**3**) y (**5**) en 9.60 % y 5.25 %.

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea como hipótesis que los ácidos grasos y terpenos tienen diferente mecanismo de acción y podrían estar trabajando en conjunto, generando así una interacción farmacodinámica<sup>(15)</sup>, en este caso un sinergismo. El sinergismo se presenta cuando el efecto o respuesta de la mezcla es mayor que la suma de la combinación de los fármacos por separado<sup>(15)</sup>. Aunque no es común encontrar interacciones farmacológicas entre compuestos químicos, es deseable encontrar sinergismos entre los mismos, ya que podrían ser la base para implementar una terapia de combinación de fármacos, lo que podría reducir los efectos secundarios que normalmente se presentan en la monoterapia de medicamentos<sup>(17)</sup>, lo cual podría ser una excelente alternativa al uso de antihelmínticos, debido a la resistencia que se presenta actualmente. Ya que una particularidad de los metabolitos secundarios, es que son multiblanco debido a la presencia de diferentes grupos funcionales<sup>(18)</sup>. Este efecto sinérgico debe ser comprobado en futuros trabajos.

Aunque los terpenos y ácidos grasos son comunes para el género *Artemisia*, en la planta *A. cina* solo se ha reportado la presencia de santonina, pectolarigenina<sup>(10)</sup>, 3'-demetoxi-6-O-demetilisoguaiacina, norisoiguacina<sup>(19)</sup>, artemisinina y derivados<sup>(20)</sup>. Por tanto, este trabajo reporta la presencia de tres ácidos grasos y doce terpenos diferentes a la artemisinina en *A. cina* de los cuales no se tiene reporte. La actividad antihelmíntica de *A. cina* se le ha adjudicado principalmente al extracto *n*-hexánico<sup>(19-21)</sup>, para el caso específico de la IEH se encontró que la actividad aumenta conforme la polaridad de los extractos incrementa, por lo que abre una nueva perspectiva para diseñar un fitomedicamento con efecto antihelmíntico.

Todos los extractos evaluados de *Artemisia cina* presentaron actividad inhibitoria de eclosión de huevos de *Haemonchus contortus*, siendo el extracto metanólico (EM) el que presentó mayor actividad. El EM contiene 15 compuestos volátiles diferentes, de los cuales tres son ácidos grasos y 12 terpenos. Siendo el ácido hexadecanoico y el 2-[4-metil-6-(2,6,6-trimetilciclohex-1-enil) hexa-1,3,5-trienil][ciclohex-1-en-carboxialdehído los compuestos mayoritarios, de los cuales se presume son los responsables de la actividad ovicida.

## Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la estancia posdoctoral del Dr. Luis David Arango de la Pava financiado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la Universidad Nacional Autónoma de México bajo la dirección de la Dra. Raquel López-Arellano y la Dra. Rosa Isabel Higuera Piedrahita.

## Financiamiento

Proyecto PAPIIT IA204822 denominado "Evaluación del efecto tóxico del extracto *n*-hexánico de *Artemisia cina* y cinaguaiacina sobre los parámetros bioquímicos en sangre y alteraciones anatomopatológicas en ratas Wistar después de su administración oral" de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Literatura citada:

1. Mohamed HI, Arafa WM, El-Dakhly KM. Prevalence and associated risk factors of gastrointestinal helminths and coccidian infections in domestic goats, *Capra hircus*, in Minya, Egypt. Beni Suef Univ J Basic Appl Sci 2023;12(1):29. doi:10.1186/s43088-023-00369-6.
2. Jackson F, Coop RL. The development of anthelmintic resistance in sheep nematodes. Parasitology 2000;120(7):95-107. doi:10.1017/S0031182099005740.
3. Dolinská MU, Königová A, von Samson Himmelstjerna G, Várady M. Variation in allele frequencies in benzimidazole resistant and susceptible isolates of *Haemonchus contortus* during patent infection in lambs. Sci Rep 2023;13(1):1296. doi:10.1038/s41598-023-28168-0.
4. Sabatini GA, de Almeida Borges F, Claerebout E, *et al.* Practical guide to the diagnostics of ruminant gastrointestinal nematodes, liver fluke and lungworm infection: interpretation and usability of results. Parasit Vectors 2023;16(1):58. doi:10.1186/s13071-023-05680-w.

5. Badar SN, Sajid MS, Rizwan HM, *et al.* *In vitro* and *in vivo* anthelmintic response of the seeds of *Amomum subulatum* roxb and *Vitex negundo*. *Brazilian J Biol* 2024;84. doi:10.1590/1519-6984.261768.
6. George MM, Vatta AF, Howell SB, *et al.* Evaluation of changes in drug susceptibility and population genetic structure in *Haemonchus contortus* following worm replacement as a means to reverse the impact of multiple-anthelmintic resistance on a sheep farm. *Int J Parasitol Drugs Drug Resist* 2021;15:134-143. doi:10.1016/j.ijpddr.2021.02.004.
7. Irum S, Ahmed H, Mukhtar M, *et al.* Anthelmintic activity of *Artemisia vestita* Wall ex DC. and *Artemisia maritima* L. against *Haemonchus contortus* from sheep. *Vet Parasitol* 2015;212(3-4):451-455. doi:10.1016/j.vetpar.2015.06.028.
8. Turi CE, Shipley PR, Murch SJ. North American *Artemisia* species from the subgenus *Tridentatae* (Sagebrush): A phytochemical, botanical and pharmacological review. *Phytochemistry* 2014;98:9-26. doi:10.1016/j.phytochem.2013.11.016.
9. Higuera-Piedrahita RI, Dolores-Hernández M, Cruz-Cruz HA de la, *et al.* 3'-Demethoxy-6-O- Demethylisoguaiacin and Norisoguaiacin Nematocidal Lignans from *Artemisia cina* against *Haemonchus contortus* Infective Larvae. *Plants* 2023;12(4):820. doi:10.3390/plants12040820.
10. Sakipova Z, Giorno TBS, Bekezhanova T, *et al.* Pharmacological evaluation of *Artemisia cina* crude CO<sub>2</sub> subcritical extract after the removal of santonin by means of high speed countercurrent chromatography. *Molecules* 2020;25(12):2728. doi:10.3390/molecules25122728.
11. Meng Y, Ma N, Lyu H, *et al.* Recent pharmacological advances in the repurposing of artemisinin drugs. *Med Res Rev* 2021;41(6):3156-3181. doi:10.1002/med.21837.
12. Montes Zaragoza LA. Propiedades terapéuticas del género *artemisia* presente en Tijuana, uso y alternativa económica en población de escasos recursos [tesis maestría]. Tijuana, Baja California. Universidad Autónoma de Baja California, 2015.
13. Coles GC, Bauer C, Borgsteede FHM, *et al.* World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (W.A.A.V.P.) methods for the detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. *Vet Parasitol* 1992;44(1-2):35-44. doi:10.1016/0304-4017(92)90141-U.
14. Pineda-Alegría JA, Sánchez JE, González-Cortazar M, *et al.* *In vitro* nematocidal activity of commercial fatty acids and  $\beta$ -sitosterol against *Haemonchus contortus*. *J Helminthol* 2020;94:e135. doi:10.1017/S0022149X20000152.

15. Cascorbi I. Arzneimittelinteraktionen: Prinzipien, Beispiele und klinische Folgen. Dtsch Arztebl Int 2012;109(33-34):546-556. doi:10.3238/arztebl.2012.0546.
16. Fantatto RR, Chagas AC de S, Gainza YA, *et al.* Acaricidal and anthelmintic action of ethanolic extract and essential oil of *Achyrocline satureioides*. Exp Parasitol 2022;236-237. doi:10.1016/j.exppara.2022.108252.
17. Liu J, Zhu J, Xue J, *et al.* *In silico*-based screen synergistic drug combinations from herb medicines: A case using *Cistanche tubulosa*. Sci Rep 2017;7(1). doi:10.1038/s41598-017-16571-3.
18. Wink M. Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. Medicines 2015;2(3):251-286. doi:10.3390/medicines2030251.
19. Higuera-Piedrahita RI, López-Arellano ME, López-Arellano R, Cuenca-Verde C, Cuéllar-Ordaz JA. Evaluación del efecto de las artemisininas provenientes del extracto etanólico de *Artemisia cina* sobre L3 de *Haemonchus contortus* en una técnica de explantes abomasales. Ciencia y Agricultura 2016;13(1):107-116. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560062814009>.
20. Higuera-Piedrahita RI, Dolores-Hernández M, Jiménez-Pérez LG, *et al.* *In vitro* nematocidal effect and anthelmintic activity of *Artemisia cina* against *Haemonchus contortus* in gerbils and relative expression of hc29 gene in transitional larvae (I3-I4). Acta Parasitol 2021;66(3):938-946. doi:10.1007/s11686-021-00364-w.
21. Higuera-Piedrahita RI, Dolores-Hernández M, de la-Cruz-Cruz HA, *et al.* An *Artemisia cina* n-hexane extract reduces the *Haemonchus contortus* and *Teladorsagia circumcincta* fecal egg count in naturally infected periparturient goats. Trop Anim Health Prod 2022;54(2). doi:10.1007/s11250-022-03103-z.



## Frecuencia y factores asociados al diagnóstico de *Ehrlichia canis* y *Anaplasma* spp. en perros



Antuané Jesús Carbajal Ruiz <sup>a</sup>

Jorge Luis Vilela Velarde <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas. Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Lima, Perú.

\*Autor de correspondencia: [jvilela@cientifica.edu.pe](mailto:jvilela@cientifica.edu.pe)

### Resumen:

Este estudio evalúa la cantidad de casos reportados de anaplasmosis y ehrlichiosis canina en el distrito del Rímac, Lima, Perú, así como su asociación con factores implicados en la presentación de estas enfermedades. En estos casos es común la presencia de anemia y trombocitopenia, los cuales afectan los parámetros hematológicos normales. Se muestreó todas las historias clínicas del periodo 2018-2021 de pacientes caninos de la Clínica Veterinaria Municipal del Rímac ubicado en el distrito del Rímac, Lima – Perú. Se usó la prueba estadística de Ji cuadrada y el coeficiente de contingencia para determinar asociación. Todas las variables fueron analizadas también mediante regresión binomial logística. Se usó un nivel de significancia de 0.05. En 4.308 % (224/5,200) de historias clínicas se diagnosticó *Ehrlichia canis* y *Anaplasma* spp. Se usó la prueba de Ji cuadrada para evaluar asociación con los factores sexo, raza, edad, y estación del año, concluyendo que hubo asociación de las enfermedades con el grupo etario; y a un intervalo de confianza al 95 % se observó que la frecuencia de casos de *E. canis* y *Anaplasma* spp. fue de 95.98 % y 1.79 %, respectivamente, y la co-infección de ambos patógenos fue de 2.23 %. En el modelo de regresión logística se incluyeron los efectos de peso vivo y sexo sobre el diagnóstico de ehrlichiosis y anaplasmosis los cuales resultaron significativos. Hubo asociación significativa entre el diagnóstico de ehrlichiosis y anaplasmosis canina con la edad y peso, pero no hubo efecto con raza, y estación del año.

**Palabras clave:** Anaplasmosis, Anemia, Ehrlichiosis, Historias clínicas, Trombocitopenia.

Recibido: 23/11/2023

Aceptado: 09/05/2024

La ehrlichiosis canina, considerada una de las enfermedades más importantes que afectan a los perros, tiene una amplia distribución mundial y es causada por el agente infeccioso *Ehrlichia canis*, siendo común la co-infección con *Anaplasma* spp. (*A. phagocytophilum* y *A. platys*), también transmitido por garrapatas *Rhipicephalus sanguineus*, la cual potencia sus signos clínicos<sup>(1)</sup>, siendo mayormente identificada en áreas donde *E. canis* es endémico<sup>(2,3)</sup>. Se puede sospechar de infección cuando el can vive o viaja a una región endémica o si tuvo una exposición previa a garrapatas, siendo las técnicas de diagnóstico comunes la hematología, citología, serología y aislamiento, pero el diagnóstico definitivo requiere técnicas moleculares<sup>(4)</sup>. Además, es frecuente en climas cálidos y templados como la época de verano donde está activo el vector<sup>(5)</sup>. Se ha mencionado como factores asociados al diagnóstico de las enfermedades el estar en la calle, sexo, edad, raza pastor alemán, infestación de garrapatas y no usar ectoparasiticidas<sup>(6)</sup>.

La ehrlichiosis canina fue reportada por primera vez en 1982 en Perú, y desde esa fecha los casos han aumentado<sup>(7)</sup>. Lima metropolitana reportó una prevalencia de ehrlichiosis canina en la zona norte con un 4.05 %, en el centro 11.5 %, en el sur 33.78 %, en el este 43.24 % y en la zona oeste 7.43 %<sup>(8)</sup>. En el distrito de Chorrillos, La Molina y San Juan de Miraflores se reportó 16.5 % de casos positivos en el año 2001<sup>(9)</sup>, otro estudio reportó 31.1 % de casos de *E. canis* en Chorrillos en el 2019<sup>(10)</sup>; y en el 2020 se reportó un incremento de casos positivos para ehrlichiosis con 59.4 % en la zona norte<sup>(11)</sup>. En estudios actuales realizados en Lima metropolitana reportaron un total de 29.2 % de casos positivos a *Anaplasma platys*<sup>(12)</sup>. Debido a la información mencionada se tuvo como objetivo determinar la frecuencia de ehrlichiosis y anaplasmosis canina, así como el grado de asociación de los factores sexo, estación del año, raza, edad y peso vivo en la Clínica Veterinaria Municipal de Rímac (CVMR) en el periodo 2018–2021.

Para lograr los objetivos propuestos, se desarrolló la investigación de tipo básica, transversal, retrospectiva y descriptiva. Tiene la aprobación del comité institucional de ética en Investigación con animales y biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (Código: 399-2021-PRE16). Para su realización, se utilizó información de historias clínicas de la CVMR localizada en el distrito de Rímac, provincia de Lima, subregión de Lima-Centro, Perú. El clima es subtropical desértico templado con una temperatura promedio anual de 19 °C con rango entre 14 y 30 °C. La precipitación promedio anual es menor a 15 mm, siendo más acentuado entre los meses de julio y agosto. La casuística aproximada por año es de 150. Se recopiló las historias clínicas de caninos atendidos en el periodo 2018 y 2021 en la CVMR, que hayan sido diagnosticados como positivos a *E. canis* y/o *Anaplasma* spp. mediante el kit CaniV-4 de la marca Anigen (BioNote Inc., South Korea), el cual presenta una sensibilidad y especificidad de 97.6 % y 99 % para *E. canis*, mientras que para *Anaplasma* spp. es de 88.5 % y 97.1 %, respectivamente.

Se consideró la lectura de las historias clínicas para establecer factores asociados a las infecciones mencionadas, logrando como variables de estudio las siguientes: cantidad de casos clínicos diagnosticados (Cuadro 1); la edad al momento del diagnóstico, categorizada en tres grupos (Cuadro 2). Para esta agrupación se consideró que los perros a temprana edad presentan mayores riesgos de estar expuestos al vector comparados con canes considerados gerontes, porque al completar el calendario de vacunación comienzan a tener paseos regulares al exterior<sup>(13,14)</sup>. También estación del año (Cuadro 3) y raza (Cuadro 4)

La información recolectada fue tabulada en el programa Microsoft Excel 2016. Se usó la prueba estadística de Ji cuadrada y el coeficiente de contingencia para determinar asociación preliminar entre el diagnóstico y los factores asociados. Todas las variables se analizaron mediante modelo de regresión binomial logística (análisis multivariado) mediante el programa SPSS v.25 para Windows, mediante el cual se obtuvo estimados de regresión, intervalos de confianza al 95% odds ratio (OR) y valores de significancia. La variable dependiente fue el diagnóstico de evaluación de cada animal y las variables independientes sexo, raza, grupo etario y peso. Se usó un nivel de significancia de 0.05 para todos los cálculos.

Luego de procesar y analizar la información, los casos de *E. canis* y *Anaplasma* spp. representaron el 4.308 % (224/5,200) de la población, siendo el 95.98 % (215/224) para *E. canis*, el 1.79 % (4/224) para *Anaplasma* spp., y un 2.23 % (5/224) la co-infección de ambos patógenos. La significancia de la asociación entre los tres grupos de casos y sexo, junto con el coeficiente de contingencia se presenta en el Cuadro 1. Las edades de los canes positivos a ambas enfermedades estuvieron entre 1 mes y 14 años, siendo en su mayoría menor a 2 años con 47.76 % (107/224), seguido de mayor a 3 años con 32.58 % (73/224) (Cuadro 2). Se presentaron más casos de ehrlichiosis y anaplasmosis canina en la estación de otoño con 40.18 % (90/224), seguido de verano con 33.48 % (75/224) (Cuadro 3). Para la variable raza, la mayoría fueron mestizos con 58.04 % (130/224). En los canes mestizos y de raza, la ehrlichiosis canina representó la mayoría de los casos con 56.25 % (126/224) y 39.73 % (89/224), respectivamente, resaltando la raza Shitzu (Cuadros 4 y 5).

**Cuadro 1:** Frecuencia de casos positivos a ehrlichiosis y anaplasmosis canina asociado al sexo con *P*-valor Ji cuadrada y coeficiente de contingencia en paréntesis

	<i>E. canis</i>	<i>Anaplasma</i> spp.	Co-infección de <i>E. canis</i> y <i>Anaplasma</i> spp.	Historia clínica	Porcentaje del total	<i>P</i> -valor
H	80	4	0	84	37.5	0.072
M	135	0	5	140	62.5	(0.174)
T	215	4	5	224	100	

H= hembras; M= machos; T= total.

**Cuadro 2:** Diagnóstico de ehrlichiosis y anaplasmosis canina asociado al grupo etario con *P*-valor Ji cuadrada y coeficiente de contingencia en paréntesis

	<i>E. canis</i>	<i>Anaplasma</i> spp.	Co- infección	Historias clínicas	Porcentaje del total	<i>P</i> -valor
< 2 años	101	2	4	107	46.98	0.003 (0.283)
2-3 años	44	0	0	44	20.47	
>3 años	70	2	1	73	32.56	
Total	215	4	5	224	100	

**Cuadro 3:** Diagnóstico de ehrlichiosis y/o anaplasmosis canina asociado a la estación del año con *P*-valor Ji cuadrada y coeficiente de contingencia en paréntesis

	<i>E. canis</i>	<i>Anaplasma</i> spp.	Co- infección	Historia clínica	Porcentaje del total	<i>P</i> -valor
Primavera	22	1	1	24	10.71	0.051 (0.264)
Verano	72	2	1	75	33.48	
Otoño	89	1	0	90	40.18	
Invierno	32	0	3	35	15.63	
Total	215	4	5	224	100	

**Cuadro 4:** Diagnóstico de ehrlichiosis y anaplasmosis canina asociado a la raza con Ji cuadrada y coeficiente de contingencia en paréntesis

	<i>E. canis</i>	<i>Anaplasma</i> spp.	Co- infección	Total de casos	Porcentaje del total	<i>P</i> - valor
Mestizo	126	3	1	130	58.04	0.774
De raza	89	1	4	94	41.96	(0.074)
Total	215	4	5	224	100	

**Cuadro 5:** Diagnóstico de casos positivos de ehrlichiosis y anaplasmosis canina según la raza en la Clínica Veterinaria Municipal del Rímac

Raza	<i>E. canis</i>	<i>Anaplasma</i> spp.	<i>E. canis</i> y <i>Anaplasma</i> spp.	Total de casos
American bully	2	0	0	2
Bichon	3	0	0	3
Bull terrier	3	0	0	3
Bulldog ingles	3	0	0	3
Chihuahua	2	0	0	2
Chow chow	2	0	0	2
Cocker	8	0	0	8
Doberman	1	0	0	1
Dogo argentino	1	0	0	1
Golden	7	0	0	7
Labrador	4	0	1	5
Maltes	2	0	0	2
Ovejero	1	0	0	1
Pastor aleman	2	0	0	2
Pekines	1	0	0	1
Perro Sin Pelo del Perú	1	0	1	2
Pitbull	8	0	0	8
Poodle	7	0	0	7
Pug	1	0	0	1
Rottweiler	1	1	0	2
Samoyedo	3	0	0	3
Schnauzer	8	0	0	8
Sharpei	1	0	0	1
Shitzu	12	0	0	12
Siberiano	3	0	2	5
Tekel	1	0	0	1
Yorkshire terrier	1	0	0	1
Cruza	126	3	1	130

En cuanto al resultado del hemograma registrado en las historias clínicas, y el resultado de regresión multinomial: coeficiente de regresión ( $\beta$ ), odds ratio a un intervalo de confianza al 95 %; se obtuvo que el riesgo que las hembras presenten trombocitopenia, y anemia con trombocitopenia es de 0.28 y 0.41 veces menos probable que los machos, respectivamente. Por otro lado, el riesgo que se presente trombocitopenia por cada aumento de kilogramo de peso es 1.172 veces más probable (Cuadro 6).

**Cuadro 6:** Resultado de regresión multinomial: coeficiente de regresión ( $\beta$ ), odds ratio e intervalo de confianza al 95%

	$\beta$ (ES)	Odds ratio	Intervalo de confianza OR al 95%	
			Inferior	Superior
<b>Normal vs Anemia</b>				
Intercepto	0.402 (0.746)			
Hembra	-0.401 (0.453)	0.67	0.275	1.629
Macho			Referencia	
Mestizo	0.306 (0.465)	1.359	0.546	3.377
Puro			Referencia	
Grupo etario G1	0.640 (0.856)	1.896	0.354	10.157
Grupo etario G2	-2.168 (1.459)	0.114	0.007	1.998
Grupo etario G3			Referencia	
Peso	0.03 (0.049)	1.03	0.936	1.134
Grupo etario G1 x Peso	-0.122 (0.074)	0.885	0.766	1.023
Grupo etario G2 x Peso	0.206 (0.140)	1.228	0.934	1.616
Grupo etario G3 x Peso			Referencia	
<b>Normal vs Trombocitopenia</b>				
Intercepto	-1.183 (1.830)			
Hembra	-1.274 (0.532)*	0.28	0.099	0.794
Macho			Referencia	
Mestizo	-0.148 (0.517)	0.863	0.313	2.378
Puro			Referencia	
Grupo etario G1	1.932 (1.154)	6.9	0.719	66.204
Grupo etario G2	1.401 (1.571)	4.06	0.187	88.199
Grupo etario G3			Referencia	
Peso	0.158 (0.056)**	1.172	1.051	1.307
Grupo etario G1 x Peso	-0.138 (0.073)	0.871	0.755	1.005

Grupo etario G2 x Peso	0.047 (1.141)	1.048	0.796	1.381
Grupo etario G3 x Peso			Referencia	
Normal vs A Y T				
Intercepto	0.254 (0.762)			
Hembra	-0.892 (0.427)*	0.41	0.178	0.946
Macho			Referencia	
Mestizo	0.406 (0.433)	1.502	0.642	3.51
Puro			Referencia	
Grupo etario G1	1.011 (0.843)	2.748	0.527	14.340
Grupo etario G2	-1.022 (1.414)	0.360	0.023	5.752
Grupo etario G3			Referencia	
Peso	0.040 (0.050)	1.041	0.943	1.149
Grupo etario G1 x Peso	-0.016 (0.062)	0.984	0.872	1.111
Grupo etario G2 x Peso	0.155 (0.139)	1.167	0.889	1.533
Grupo etario G3 x Peso			Referencia	

Nota:  $R^2= 0.219$  (Cox y Snell),  $0.237$  (Nagelkerke); Modelo final=  $\beta + \text{Sexo} + \text{Raza} + \text{Grupo Etario} + \text{Peso} + \text{Grupo etario} * \text{Peso}$ ;  $Ji^2= 55.508$ ; \*  $P<0.05$ ; \*\*  $P<0.01$ ; Normal: se considera a caninos que no presentan alteraciones en el hemograma. G1= menor de 2 años; G2= 2 a 3 años; G3= mayor a 3 años.

En el año 2009 se reportaron casos de ehrlichiosis canina con historial de origen en múltiples distritos de Lima, obteniendo en la zona norte un 4.05 %, en el centro 11.5 %, en el sur 33.78 %, en el este 43.24 % y en la oeste 7.43 %<sup>(8)</sup>; en distritos de Lima-norte se tuvo una frecuencia del 36.7 % para *E. canis* en el 2017<sup>(15)</sup>, incrementando a 59.4 % en el 2020<sup>(11)</sup>; en el Callao, la seroprevalencia general para ehrlichiosis canina fue de 57.5 % en Ventanilla<sup>(16)</sup>; para los distritos de Chorrillos, La Molina y San Juan de Miraflores se reportó por primera vez 16.5 % de anticuerpos contra *E. canis* con la técnica de ELISA<sup>(9)</sup>. En Chorrillos, la prevalencia de *E. canis* fue de 31.1 % en el 2019<sup>(10)</sup>; en San Juan de Lurigancho de 46.44 % en el 2016<sup>(17)</sup>, incrementando a 47.5 % en el 2017<sup>(14)</sup>; en Lima, en la Universidad Cayetano Heredia, se obtuvo 45.5 % de ehrlichiosis canina y 10.6 % de anaplasmosis canina. En 2015 los casos positivos a anaplasmosis canina fueron 29.2 % en Lima<sup>(12)</sup>. Teniendo estos datos de referencia para comparar la frecuencia de 4.308 % de casos de ehrlichiosis y anaplasmosis canina en el distrito del Rímac, se sugiere una menor frecuencia que otros distritos, probablemente debido a diferentes criterios de inclusión o el uso de otras variables incluidas en el análisis o incluso el uso de técnicas

moleculares más precisas<sup>(12)</sup>. Sin embargo, también puede ser que realmente exista una baja prevalencia, como se encontraron en los distritos de la zona norte o en la zona centro, mencionados anteriormente<sup>(8)</sup>, tomando en cuenta que el distrito de Rímac es cercano o incluso colindante a estas zonas.

Paiva y Giset<sup>(18)</sup> mencionan que para que el vector cumpla su ciclo biológico debe tener las condiciones óptimas de clima y humedad, siendo ideal las temperaturas elevadas a 30 °C, y la humedad de 20 % al 93 %, sino el ciclo puede prolongarse varios meses, por ello se considera a la enfermedad transmitida por garrapatas presente en regiones tropicales y subtropicales<sup>(3)</sup> como Lima, que tiene el clima subtropical árido con temperaturas anuales que varían de 19.5 °C a 20.3<sup>(19)</sup>, siendo la temperatura más alta registrada en febrero con un promedio de 26.5 °C<sup>(7)</sup>. Este estudio registró una mayor frecuencia de casos de ehrlichiosis y anaplasmosis canina en otoño con 40.18 %, (Cuadro 3); esto no necesariamente indica que haya más probabilidad de contagio en otoño, ya que otro estudio indica mayores casos en verano con 64.6 % de ehrlichiosis canina<sup>(14)</sup>; se conoce que la ehrlichiosis canina puede estar presente durante todo el año, probablemente debido al cambio climático y la variación de temperatura en Perú, o el periodo de incubación para presentar signos clínicos según el sistema inmune del canino<sup>(20)</sup>; por otro lado, debido a que el vector es sensible al frío disminuye su presencia en invierno<sup>(21)</sup>, pero luego del reposo invernal, algunos de los diferentes estadios de su ciclo biológico sobreviven e infectan simultáneamente al animal susceptible, mayormente en primavera y otoño, llegando a su máxima multiplicación en verano<sup>(14)</sup>.

Se conoce que la infección de ambas enfermedades no distingue al hospedero por su sexo, edad o raza<sup>(22,23)</sup>, aunque otro autor considera a las hembras más susceptibles de contraer la enfermedad durante la época de celo, debido a la exposición a machos que no siempre tienen un control contra ectoparásitos<sup>(9)</sup>. Estudios previos de Rodríguez *et al*<sup>(24)</sup> y Zambrano<sup>(25)</sup> hallaron una mayor cantidad de casos de anaplasmosis y ehrlichiosis en machos. La infección puede estar relacionada con el grado de respuesta inmunológica y la presencia del vector<sup>(18,26)</sup>. Dichos estudios coinciden con los del presente estudio, ya que el 62.5 % de los canes positivos a *E. canis* y/o *Anaplasma* spp. fueron machos (Cuadro 1); probablemente estos resultados puedan estar influenciados por la cantidad de perros machos, mestizos y de tamaño mediano siendo 56.6 %, 54.1 % y 42.2 %, respectivamente, según el estudio de Arauco *et al*<sup>(27)</sup>.

Se ha reportado que uno de los factores de riesgo asociados con la enfermedad ehrlichiosis canina es la edad temprana, indicando mayores casos en menores de 1 año<sup>(16,28)</sup>, mayores de 1 año<sup>(29)</sup>, seguido de 6 a 11 meses de edad<sup>(30)</sup>; además se ha reportado en su mayoría, canes afectados con *E. canis* y *A. platys* entre 13 y 24 meses de edad<sup>(31)</sup>; entre 2 a 4 años<sup>(8,11,32)</sup>, mayores de 4 años<sup>(33)</sup>, 2 a 6 años y de 6 años o más<sup>(10)</sup>; por otro lado, Villaverde<sup>(13)</sup> menciona que la mediana de la edad de canes con anticuerpos positivos a *Ehrlichia* spp. es de 24 meses, coincidiendo con los resultados de este estudio, ya que el

grupo etario que tuvo mayor cantidad de casos fue el de menor a 2 años con 47.76 % (Cuadro 2). Estos resultados sugieren que, al término de calendario de vacunación de los caninos a una edad temprana están más expuestos al vector, ya que los dueños consideran que están totalmente protegidos contra patógenos<sup>(7,14)</sup>.

Se conoce que todas las razas tienen la misma probabilidad de infección<sup>(22)</sup>, sin embargo, la raza Pastor Alemán parece tener mayor predisposición a desarrollar la forma clínica<sup>(8)</sup>; al igual que el Springer spaniel<sup>(22)</sup>, mientras que, en este estudio en razas resaltó la raza Shitzu (Cuadro 5). En este estudio se obtuvo la mayoría de casos de anaplasmosis y/o ehrlichiosis canina en canes mestizos con 58.04 % (Cuadro 4), coincidiendo con Coello *et al*<sup>(34)</sup> que indica que en perros mestizos predominan casos de anaplasmosis, y lo reportado por Lorsirigool y Pumipuntu<sup>(35)</sup>, Villaverde<sup>(13)</sup>, y Cusicanqui y Zuñiga<sup>(11)</sup> donde los perros infectados con *E. canis* son mayormente de raza mestiza, siendo común en perros que nunca han usado un ectoparasiticida o lo han usado de forma intermitente. La cantidad de perros positivos a estas enfermedades no permitió que se identificaran diferencias significativas, o que realmente no haya diferencias, como ya se ha demostrado en otros estudios<sup>(6)</sup>.

Es frecuente que estas enfermedades alteren los valores hematológicos, siendo esencial el hemograma completo para el diagnóstico, ya que durante todas las fases se considera a la trombocitopenia un factor asociado a la enfermedad<sup>(5,36)</sup> apareciendo en 80 % de los casos pudiendo estar acompañada por anemia regenerativa o no regenerativa<sup>(20)</sup>. Estos resultados fueron hallados en la mayoría de historias clínicas de los canes afectados por *E. canis* y/o *Anaplasma* spp., obteniendo según el odds ratio, una menor probabilidad en las hembras de presentar trombocitopenia, y anemia con trombocitopenia comparado con los machos (Cuadro 6); esto puede estar asociado a que algunos caninos puedan estar cursando la etapa subclínica de la enfermedad o puedan estar incubando al agente sin presentar sintomatología relevante ni hallazgos hematológicos. Por otro lado, la variación de kilogramo de peso de cada canino descrito en las historias clínicas corresponde a diferentes tamaños, razas y edades, obteniendo, una mayor probabilidad de presentar trombocitopenia por cada aumento de kilogramo (Cuadro 6); además considerando que se ha descrito un comportamiento fisiológico diferente entre perros jóvenes y adultos para los valores eritrocitarios y leucocitarios<sup>(37)</sup>, se ha mencionado que perros adultos positivos a la enfermedad presentan valores menores de la serie roja, blanca y plaquetaria, y en cachorros una media más baja de hemoglobina y glóbulos rojos<sup>(11)</sup>, sugiriendo que, probablemente los hallazgos de este estudio estén influenciados por la edad entre cachorro o adulto. Finalmente, este trabajo permite concluir que la frecuencia de casos de *E. canis* y *Anaplasma* spp. fue 4.308 %. De esta muestra para los caninos diagnosticados con *E. canis* se tuvo 95.98 % , para *Anaplasma* spp., 1.79 % , y la co-infección de ambos, 2.23 %. Hubo asociación significativa entre el diagnóstico de ehrlichiosis y anaplasmosis canina con la edad, sexo (OR) y peso (OR), pero no hubo con los factores de raza, y estación del año.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

#### Literatura citada:

1. Little S, Braff J, Place J, Buch J, Dewage B, Knupp A, *et al.* Canine infection with *Dirofilaria immitis*, *Borrelia burgdorferi*, *Anaplasma* spp., and *Ehrlichia* spp. in the United States, 2013–2019. *Parasites Vectors* 2021;14(10):1756-3305. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04514-3>.
2. Petruccelli A, Ferrara G, Iovane G, Schettini R, Ciarcia R, Caputo V, *et al.* Seroprevalence of *Ehrlichia* spp., *Anaplasma* spp., *Borrelia burgdorferi* sensu lato, and *Dirofilaria immitis* in stray dogs, from 2016 to 2019, in Southern Italy. *Animals* 2021;11(1):1-10. <https://doi.org/10.3390/ani11010009>.
3. Gutierrez N, Perez L, Agrela F. Ehrlichiosis canina. *Saber* 2016;28(4):1315-0162. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-01622016000400002&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622016000400002&lng=es&tlng=es).
4. Gal A, Loeb E, Yisaschar-Mekuzas Y, Baneth G. Detection of *Ehrlichia canis* by PCR in different tissues obtained during necropsy from dogs surveyed for naturally occurring canine monocytic ehrlichiosis. *Vet J* 2008;175(2):212-217. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.01.013>.
5. Ettinger SJ. Tratado de medicina interna. Enfermedades del perro y del gato. Elsevier. Sexta ed. 1992(Vol 2):297-299.
6. Selim A, Alanazi A, Sazmand A, Otranto, D. Seroprevalence and associated risk factors for vector-borne pathogens in dogs from Egypt. *Parasites Vector* 2021;14:175. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04670-0>.
7. Huerto-Medina E, Dámaso-Mata B. Factores asociados a la infección por *Ehrlichia canis* en perros infestados con garrapatas en la ciudad de Huánuco, Perú. *Rev Perú Med Exp Salud Pública*. 2015;32(4):756-760. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342015000400019&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342015000400019&lng=es&tlng=es).
8. Contreras A, Gavidia C, Li O, Diaz C, Hoyos L. Estudio retrospectivo de caso-control de *Ehrlichiosis canina* en la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos: periodo 2002-2005. *Rev Invest Vet* 2009;20(2):270-276. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172009000200018&lng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172009000200018&lng=es).

9. Adrianzen J, Chávez A, Casas E, Li E. Seroprevalence of canine ehrlichiosis and heartworm disease in three districts of Lima. *Rev Investi Vet Peru* 2003;14(1):43-48. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172003000100008&lng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172003000100008&lng=es).
10. Espichan G. Determinación de la seroprevalencia de ehrlichiosis canina asociado a factores de riesgo durante los meses de verano febrero y marzo del año 2019 en el distrito de Chorrillos, Lima, Perú [Tesis de licenciatura]. Lima, Perú: Universidad Científica del Sur; 2019.
11. Cusicanqui J, Zuñiga R. Serological frequency of *Ehrlichia canis* in canines suspected of ehrlichiosis in the northern districts of Lima, Peru. *Rev Investi Vet Peru* 2020;31(3). <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18164>.
12. Tateishi T, Lí E, Hoyos L, Rivera G, Manchego S, Barrios A, *et al.* Identificación hematológica y molecular de *Anaplasma platys* en caninos domésticos de Lima metropolitana con signos clínicos compatibles con anaplasmosis. *Rev Inv Vet Perú* 2015;26(1): 111-118. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i1.10920>.
13. Villaverde C. Evidencia serológica de *Ehrlichia* spp. en canes con cuadros de trombocitopenia en Iquitos. [tesis licenciatura]. Lima, Perú: Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2017.
14. Solorzano K. Frecuencia de *Ehrlichia canis* en caninos atendidos en la clínica veterinaria “animal friend” del distrito de San Juan de Lurigancho – Mangomarca 2017. [Tesis de licenciatura]. Huanuco, Perú. Universidad Nacional Hermilio Valdizán; 2018.
15. Vicente E. Detección de *Ehrlichia canis* mediante PCR en tiempo final en muestras de sangre canina sospechosas provenientes de la zona de Lima Norte. [tesis licenciatura]. Lima, Perú. Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2017.
16. Chavez M. Seroprevalencia de ehrlichiosis en caninos (*Canis familiaris*) del distrito de Ventanilla. [Tesis de licenciatura]. Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman; 2017.
17. Sánchez VAP, Almeyda MED, Porras EG. Seroprevalence of canine ehrlichiosis in three veterinary practices in the district of San Juan de Lurigancho-Lima, 2016. *Braz J Hea Rev* 2019;2(4):2981-5. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/2051>.
18. Paiva S, Giset M. Perfil de las proteínas sanguíneas en perros positivos con *Ehrlichia canis* Agosto 2015. Febrero 2016, Ciudad de Chiclayo departamento de Lambayeque. [tesis licenciatura]. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; 2017.

19. INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática Perú. Anuario de Estadísticas Anuales. Perú. 2017.
20. Harrus S, Waner T. Diagnosis of canine monocytotropic ehrlichiosis (*Ehrlichia canis*): An overview. *Vet J* 2011;187(3):292-296. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.02.001>.
21. Arenas JE, Vélez AF. Frecuencia y factores de riesgo asociados a la presencia de hemoparásitos en caninos que acudieron a una clínica veterinaria en la ciudad de Cúcuta. [Bachelor Thesis]. Cucuta, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira; 2016.
22. Sainz A, Amusatogui I, Tesouro M, Rodríguez F. Las ehrlichiosis en el perro: presente y futuro. *Profesión Veterinaria* 2000;12(47):22-28.
23. Requejo N. Prevalencia de ehrlichiosis canina en la clínica veterinaria Pet´s Park-la Victoria. [tesis licenciatura]. Lambayeque, Perú. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; 2018.
24. Rodríguez R, Dávalos C, Melchiade J. Diagnóstico de ehrlichiosis, anaplasmosis, dirofilariosis y enfermedad de Lyme y caracterización de vectores en caninos callejeros del sector Guasmo Sur – Guayaquil. [tesis licenciatura]. Guayaquil, Ecuador: Universidad Central del Ecuador; 2018.
25. Zambrano M. Factores de riesgo que inciden en la prevalencia puntual de anaplasmosis en perros en una zona urbana del norte de Manabí. [tesis licenciatura]. Manabí.Ecuador: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López; 2019.
26. Gutiérrez N, Pérez L, Agrela I. Ehrlichiosis canina. *Saber*. 2016;28(4):4. <https://bit.ly/2oo3ChS>. Consultado 15 Oct, 2023.
27. Arauco D, Betty U, León D, Falcón N. Indicadores demográficos y estimación de la población de canes con dueño en el distrito de San Martín de Porres. *Salud Tecnol Vet* 2015;2(2):83-92. <https://doi.org/10.20453/stv.v2i2.2254>.
28. Reategui H, Sánchez C, Marie S. Estudio de la incidencia de la ehrlichiosis en caninos en el distrito de Tarapoto. [tesis licenciatura]. Tarapoto, Perú: Universidad Nacional de San Martín; 2018.
29. Asgarali Z, Pargass I, Adam J, Mutani A, Ezeokoli C. Haematological parameters in stray dogs seropositive and seronegative to *Ehrlichia canis* in North Trinidad. *Ticks Tick-borne Dis* 2012;3(4):207-211. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2012.03.006>.
30. Chozo E. Prevalencia de erliquiosis en perros atendidos en la Clínica Veterinaria Zona Animal, distrito de Chiclayo, septiembre 2015–septiembre 2017. [tesis licenciatura]. Chiclayo. Perú Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; 2019.

31. Moreira S, Bastos C, Araújo R, Santos M, Passos LMF. Retrospective study (1998-2001) on canine ehrlichiosis in Belo Horizonte, MG, Brazil. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2003;55(2):141-147. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352003000200003>.
32. Quenta Y. Estudio epidemiológico de la prevalencia de ehrlichiosis canina en la zona urbana de la ciudad de Tacna 2013. [tesis licenciatura]. Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; 2013.
33. Jara MA. Frecuencia de Ehrlichia Canis en caninos de la ciudad de Chimbote-2013. [tesis licenciatura]. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca; 2014.
34. Coello Peralta R, Cedeño Reyes P, Salazar Mazamba ML, Ríos Zambrano T. Anaplasmosis en canes de la zona urbana del cantón Palenque. *RECIMUNDO*. 2017;1(5):235-53. <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/72>.
35. Lorsirigool A, Pumipuntu N. A retrospective study of dogs infected with *Ehrlichia canis* from 2017-2019 in the thonburi area of bangkok province, Thailand. *Int J Vet Sci* 2020;9(4):578-580. <https://www.ijvets.com/pdf-files/Volume-9-no-4-2020/578-580.pdf>.
36. Oliva J. Determinación de ehrlichiosis canina en la ciudad de Chiclayo, mediante diagnóstico clínico y hematológico directo durante enero – octubre 2014. [tesis licenciatura]. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; 2015.
37. Brenten T, Morris PJ, Salt C, Raila J, Kohn B, Schweigert FJ, *et al.* Age-associated and breed-associated variations in haematological and biochemical variables in young Labrador retriever and miniature Schnauzer dogs. *Vet Rec Open* 2016;3(1). <https://doi.org/10.1136/vetreco-2015-000166>.

# Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias

Rev. Mex. Cienc. Pecu. Vol. 15 Núm. 3, pp. 483-761, JULIO-SEPTIEMBRE-2024

## CONTENIDO CONTENTS

### ARTÍCULOS / ARTICLES

	Pags.
<b>Modelación de curvas de lactancia para producción de leche, grasa y proteína, y evaluación de factores que las afectan en ganado Holstein en México</b> Modeling lactation curves for milk production, fat and protein, and evaluation of factors that affect them in Holstein cattle in Mexico Luis Enrique Trejo-Díaz, Felipe De Jesús Ruiz-López, Hugo Oswaldo Toledo-Alvarado, Marina Durán-Aguilar, Adriana García-Ruiz.....	483
<b>Aceite de maíz en la transferencia de embriones de ovejas Pelibuey</b> Corn oil in Pelibuey ewes embryo transfer Christofer Israel Márquez Hernández, Arturo Pro Martínez, Glafiro Torres Hernández, Raymundo Rangel Santos, Jaime Gallegos Sánchez.....	501
<b>Modelo alternativo para medir la adopción de innovaciones: aplicación en el sistema apícola poblano</b> Alternative model to measure the adoption of innovations: application in the Puebla beekeeping system Irving César Farrera-Vázquez, Enrique Genaro Martínez-González, Vinicio Horacio Santoyo-Cortés, Norman Aguilar-Gallegos, Reyna Azucena Luna-Olea, José Miguel Omaña-Silvestre.....	515
<b>Caracterización de mataderos ovinos para la producción de barbacoa en un municipio del altiplano central de México</b> Characterization of sheep slaughterhouses for barbacoa production in a municipality in the Central Mexican Plateau Enrique Daniel Archundia Velarde, Gisela Velázquez Garduño, Jorge Osorio Avalos, Jesús Terreros Mecalco, María Antonia Mariezcurrena Berasain.....	534
<b>Tipología de productor y efectos indirectos del cambio climático en la ganadería bovina en Sinaloa</b> Producer typology and indirect effects of climate change on cattle ranching in Sinaloa Venancio Cuevas-Reyes, Alfredo Loaiza Meza, Obed Gutiérrez Gutiérrez, Mercedes Borja Bravo, Cesar A. Rosales-Nieto.....	555
<b>Effect of sex on meat quality traits and sensory properties in Argentine crossbred pigs</b> Efecto del sexo sobre los rasgos de calidad de la carne y las propiedades sensoriales en cerdos mestizos argentinos César Federico Guzmán, Julieta Fernández Madero, Alberto Enrique Carini, Malvina Marcela Tolaba, Alejandra Picallo, Enrique Paván, Laura Pouzo.....	570
<b>Resistencia a la ivermectina en Rhipicephalus microplus (Acari: Ixodidae) en el noreste de México y factores de riesgo asociados</b> Ivermectin resistance in Rhipicephalus microplus (Acari: Ixodidae) in northeastern Mexico and associated risk factors Samantha Abigail Moreno-Linares, Romario García-Ponce, Jesús Jaime Hernández-Escareño, Heidi Giselle Rodríguez-Ramírez, José Pablo Villarreal-Villarreal.....	584
<b>Efecto del pastoreo, corte y riego en la producción y valor nutritivo de zacate Buffel</b> Effect of grazing, cutting, and irrigation on the production and nutritional value of Buffelgrass Cristian Lizarazo-Ortega, Guadalupe Rodríguez-Castillejos, Hugo Bernal-Barragán, Erasmo Gutiérrez-Ornelas, Emilio Olivares-Sáenz, José Luis Hernández-Mendoza.....	602
<b>REVISIONES DE LITERATURA / REVIEWS</b>	
<b>Regiones genómicas, genes y polimorfismos de un solo nucleótido en la resistencia a nematodos gastrointestinales en ovinos. Revisión</b> Genomic regions, genes, and single nucleotide polymorphisms in resistance to gastrointestinal nematodes in sheep. Review Marcela Villegas-Castañeda, Vielka Jeanethe Castañeda-Bustos, Juan Manuel Bello-López, Clemente Cruz-Cruz.....	616
<b>Uso y evolución del sexado espermático en bovinos. Revisión</b> Use and evolution of sperm sexing in cattle. Review Horacio Álvarez Gallardo, David Urbán Duarte, Adriana Velázquez Roque, José Fernando De La Torre Sánchez.....	641
<b>Winemaking by-products and grape polyphenols extracts as phytogetic feed additives in the pork production. Review</b> Subproductos de la vinificación y extractos de polifenoles de la uva como aditivos fitogénicos para raciones en la producción porcina. Revisión Dan María Alejandra Ospina-Romero, Humberto González-Ríos, Miguel Ángel Barrera-Silva, Martín Valenzuela-Melendres, Miguel Ángel Martínez-Téllez, Araceli Pinelli-Saavedra.....	669
<b>Re-seed or not re-seed? Factors affecting rangeland grass-seedling establishment. Review</b> Contribution of forage grasses to biological nitrogen fixation and their response to diazotroph inoculation. Review Aldo Torres Sales, José Carlos Villalobos González.....	700
<b>NOTAS DE INVESTIGACIÓN / TECHNICAL NOTES</b>	
<b>Estimación de parámetros genéticos para características de flujo y conductividad de la leche en un sistema de ordeño robotizado</b> Estimation of genetic parameters for milk flow rate and conductivity traits in a robotic milking system Norma Leticia Cornejo-García, Marina Durán-Aguilar, Felipe de Jesús Ruiz-López, Germinal Jorge Cantó-Alarcón, José Luis Romano-Muñoz.....	721
<b>Ácidos grasos y terpenos del extracto metanólico de Artemisia cina como posibles responsables del efecto ovicida sobre Haemonchus contortus</b> Fatty acids and terpenes from the methanolic extract of Artemisia cina as possible compounds responsible for the ovicidal effect on Haemonchus contortus Luis David Arango-De la Pava, Héctor Alejandro De la Cruz-Cruz, Jorge Alfredo Cuéllar-Ordaz, Alejandro Zamilpa, Manasés González-Cortazar, María Eugenia López-Arellano, Rosa Isabel Higuera-Piedrahita, Raquel López-Arellano.....	734
<b>Frecuencia y factores asociados al diagnóstico de Ehrlichia canis y Anaplasma spp. en perros</b> Frequency and factors associated with the diagnosis of Ehrlichia canis and Anaplasma spp. in dogs Antuané Jesús Carbajal Ruiz, Jorge Luis Vilela Velarde.....	749

**inirap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias