



REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS PECUARIAS

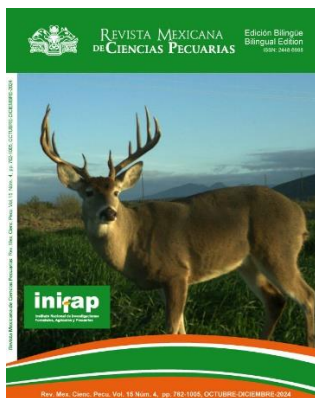
Edición Bilingüe
Bilingual Edition
ISSN: 2448-6698

Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias Rev. Mex. Cienc. Pecu. Vol. 15 Núm. 4, pp. 762-1005, OCTUBRE-DICIEMBRE-2024



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Venado cola blanca texano en parcela de triticale en el Rancho San Juan. Monclova, Coahuila.
Autor: **Eloy Alejandro Lozano Cavazos**.

REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS PECUARIAS Volumen 15 Numero 4, Octubre-Diciembre 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, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04010, Ciudad de México, <https://www.gob.mx/inifap>.

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 noviembre 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. María 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. María 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); en la Red Iberoamericana de Revistas Científicas de Veterinaria de Libre Acceso (www.veterinaria.org/revistas/revivec); en los Índices SCOPUS y EMBASE de Elsevier (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), en la Red Iberoamericana de Revistas Científicas de Veterinaria de Libre Acceso (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)

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). The Iberoamerican Network of free access Veterinary Scientific Journals (www.veterinaria.org/revistas/revivec). Thomson Reuter's "Journal Citation Report" Science Edition (<http://thomsonreuters.com/>). Elsevier's SCOPUS and EMBASE (www.elsevier.com) and the Essential Electronic Agricultural Library (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.

Momento de la suplementación sobre carga animal y producción de leche por hectárea de vacas Holstein en pastoreo

The effects of supplementation timing on stocking rate and milk production per hectare in grazing Holstein dairy cows

Citlali Anais Castro Jaime, Rodolfo Ramírez Valverde, Juan Andrés Burgueño Ferreira, Jacinto Efrén Ramírez Bribiesca, Luis Alberto Miranda Romero, Ricardo Daniel Améndola Massiotti762

Respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de ovinos alimentados con niveles crecientes de frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*

Productive response, carcass traits, and meat quality of sheep fed with increasing levels of crushed dry fruits of *Acacia farnesiana*

Miguel Ángel Zarza-Albarrán, Agustín Olmedo-Juárez, Pedro Mendoza- de Gives, Jaime Ancelmo-Mondragón, Javier Arece-García, Francisca Aviles-Nova, Benito Albarrán-Portillo, Rolando Rojo-Rubio778

Modelo de predicción para la extensión de la vida productiva en registros censurados de ganado Holstein de México

Prediction model for productive life extension in censored records of Holstein cattle from Mexico

Sandra Giovanna Núñez-Soto, Adriana García-Ruiz, Hugo Oswaldo Toledo Alvarado, Felipe de Jesús Ruiz-López800

Evaluación antihelmíntica *in vitro* de curcumina contra huevos y larvas de aislados de *Haemonchus contortus* con distinta susceptibilidad a ivermectina

In vitro anthelmintic evaluation of curcumin against the eggs and larvae of three *Haemonchus contortus* isolates with different susceptibility to ivermectin

Lisandro Alberto Encalada-Mena, Raquel López-Arellano, María Eugenia López-Arellano, María Gabriela Mancilla-Montelongo, Carlos Alfredo Sandoval-Castro, Agustín Olmedo-Juárez, Juan Felipe de Jesús Torres-Acosta811

Effect of spent coffee grounds aqueous extract as an antioxidant in raw pork patties during refrigerated storage

Efecto del extracto acuoso de granos de café gastado como antioxidante en hamburguesas de cerdo crudas durante el almacenamiento refrigerado

Juan Luis Murillo Hernández, Rey David Vargas Sánchez, Brisa del Mar Torres Martínez, Nelson Huerta Leidenz, Gastón Ramón Torrescano Urrutia, Armida Sánchez Escalante833

Prevalence and diversity of zoonotic intestinal parasites in household dogs in urban areas of the Colombian Caribbean

Prevalencia y diversidad de parásitos intestinales zoonóticos en perros domésticos en un área urbana en el Caribe colombiano

Luz Adriana Sarmiento-Rubiano, Yina García Toscano, Julieannie Paola Ruiz, Lucena Delgado Soraca, Alfonso Bettin Martínez, Jimmy Becerra Enriquez848

Transmisión espacial y vertical de los precios de leche del mercado internacional a mercados regionales y nacional de México

Spatial and vertical transmission of milk prices from the international market to Mexico's regional and national markets

Benigna González Ortiz, José Luis Jaramillo Villanueva, Samuel Vargas López, Ángel Bustamante González, Juan de Dios Guerrero Rodríguez, Vinicio Horacio Santoyo Cortés861

Competitividad y ventaja comparativa de ganado bovino de carne en la Sierra Norte de Puebla, México

Competitiveness and comparative advantage in beef cattle production in the Sierra Norte of Puebla, Mexico

Lisette Abigail Rojas-Juárez, José Luis Jaramillo-Villanueva, Samuel Vargas-López, Juan Cabas-Monje879

Dinámica estacional de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Mich.) Torr.] en Chihuahua, México: enfoque geoestadístico

Seasonal dynamics of sideoats grama [*Bouteloua curtipendula* (Mich.) Torr.] in Chihuahua, Mexico: a geostatistical approach

Ireyli Zuluamy Iracheta-Lara, Carlos Raúl Morales-Nieto, Gerardo Méndez-Zamora, Jaime Neftalí Márquez-Godoy, Federico Villarreal-Guerrero898

Comportamiento productivo de una asociación Mombaza-Kudzú en diferentes épocas del año

Productive behavior of a Mombasa-Kudzu association at different times of the year

Eduardo Daniel Bolaños-Aguilar, Javier Francisco Enríquez-Quiroz, Abraham Fragoso-Islas, Roberto Omar Castañeda-Arriola, Maribel Montero-Lagunes, Julio César Vinay-Vadillo913

REVISIONES DE LITERATURA

Reviews

Características de las curvas de lactación en ovejas y factores que influyen en su variación: Revisión

Characteristics of lactation curves in ewes and factors influencing their variation: A review
Gabriela Castillo-Hernández, Ana Erika Ochoa-Alfaro, Manuel Antonio Ochoa-Cordero, Jorge Alonso Maldonado Jáquez, Glafiro Torres-Hernández930

NOTAS DE INVESTIGACIÓN

Technical notes

Capacidad de carga del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus*) en el noreste de México

Carrying capacity of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus texanus*) in northeast Mexico
Fernando Isaac Gastelum Mendoza, Fernando Noel González Saldívar, Eloy Alejandro Lozano Cavazos, José Isidro Uvalle Saucedo, Guillermo Romero Figueroa, Enrique de Jesús Ruíz Mondragón, César Martín Cantú Ayala951

The management of irrigated elephant grass intercropped with legumes in the semi-arid region

Manejo del pasto elefante de riego intercalado con leguminosas en la región semiárida
Jéssica Daisy do Vale Bezerra, João Virgínio Emerenciano Neto, Tamiris da Cruz da Silva, Patrick Bezerra Fernandes, Stela Antas Urbano, Felipe Pontes Teixeira das Chagas, Gelson dos Santos Difante, Marcone Geraldo Costa, Antonio Leandro Chaves Gurgel, Francisco Israel Lopes Sousa, Rodrigo da Silva Santos, Ana Beatriz Graciano da Costa963

Evaluación *in vitro* de una fuente de nitrato protegido para rumiantes: efecto sobre la degradación de la materia seca y producción de metano

In vitro evaluation of a protected ruminant nitrate source: effect on dry matter degradation and methane production
María Elizabeth Rendón-Correa, Sandra Lucia Posada-Ochoa, Jaime Ricardo Rosero-Noguera.....979

Color, humedad y contenido polínico de mieles del ecosistema manglar de la costa de Tabasco, México

Color, moisture, and pollen content of honeys from the mangrove ecosystem of the coast of Tabasco, Mexico
Hugo Alvarado-Díaz, Juan Manuel Zaldívar-Cruz, Ángel Sol-Sánchez, Said Cadena-Villegas, Jorge Ismael Tucuch Haas, Rocío Guadalupe Acosta-Pech991



Actualización: septiembre, 2024

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. Necesariamente el autor que postule el manuscrito en la plataforma deberá fungir como autor para correspondencia, con quien únicamente el Comité Editorial tendrá comunicación con él. Asimismo, se deberán llenar los formatos de postulación, carta de originalidad y no duplicidad 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 Pecu 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)
DL ₅₀	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	gravidades

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.



Updated: September, 2024

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias is published in its entirety in two languages (Spanish and English) and publishes three categories of papers: Scientific Articles, Research Notes and Bibliographic Reviews.

Authors interested in publishing in this journal must comply with the guidelines indicated below, which, in general terms, are in accordance with those developed by the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) Bol Oficina Sanit Panam 1989;107:422-437.

1. Only unpublished works will be accepted. They will not be admitted if they are based on routine tests, or experimental data without statistical study when this is indispensable. Nor will works that have been previously published condensed or *in extenso* in Proceedings or Symposium of Meetings or Congresses (with the exception of Abstracts) be accepted.
2. All papers will be subject to review by a Scientific Editorial Committee, made up of Peers of the Discipline in question, who will not know the name and Institution of the proposing authors. The Editor will notify the author of the date of receipt of their work.
3. The manuscript must be submitted through the portal of the Journal at the electronic address: <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx>, consulting "**Instructions for submitting articles**" on the web page of Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias". For its preparation, the Microsoft Word processor will be used, with **Times New Roman font at 12 points**, double-spaced. The author who submits the manuscript on the platform, must only serve as corresponding author, Editorial Committee will have only communication with him. Likewise, the forms of submission, letter of originality and non-duplicity, which are available on the official website of the journal, must be completed.
4. Because it is a peer-reviewed journal, and to facilitate the work of the reviewers, all the lines of each page must be numbered continuously throughout the document; each page must also be numbered, including tables, illustrations, and graphs.
5. The articles will have a maximum length of 20 double-spaced pages, not including Title pages, and tables or figures (which must not exceed eight and must be included in the text). The Research Notes will have a maximum length of 15 pages and 6 tables or figures. Bibliographic

Reviews a maximum length of 30 pages and 5 tables.

6. The manuscripts of the three categories of papers that are published in **Rev. Mex. Cienc. Pecu.** must contain the components indicated below, each of them starting on a separate page.

Title page
Abstract in Spanish
Abstract in English
Text

Acknowledgments and conflict of interest
Literature cited

7. **Title Page.** It must only contain the title of the work, which should be concise but informative, as well as the title translated into Spanish. The manuscript should not include information such as names of authors, departments, institutions, correspondence addresses, etc., since these data will have to be registered during the process of capturing the application on the OJS platform (look at the Instructions for submitting articles at the address: <http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx>).
8. **Abstract in Spanish.** On the second page, an abstract that does not exceed 250 words must be included. It will indicate the purposes of the study or research; the basic procedures and methodology used; the most important results found, and if possible, their statistical significance and main conclusions. After the abstract, and on a separate line, add, properly labeled, 3 to 8 key words or short phrases that help indexers classify the work, which will be published along with the abstract.
9. **Abstract in English.** Write down the title of the work in English and then write the "abstract" with the same instructions that were indicated for the abstract in Spanish. At the end, and on a separate line, the corresponding keywords must be written.
10. **Text.** The three categories of papers that are published in **Rev. Mex. Cienc. Pecu.** consist of the following:



a) Scientific Articles. They must be reports of original works derived from partial or final results of studies. The text of the Scientific Article is divided into sections that have these headings:

Introduction
Material y methods
Results
Discussion
Conclusions and implications
Literature cited

In long articles, it may be necessary to add subheadings within these divisions in order to clarify the content, both in Material and methods and in the Results and Discussion sections, which can also be presented as a single section.

b) Research Notes. They consist of modifications to techniques, reports of clinical cases of special interest, preliminary work or limited research, description of new grass varieties, as well as research results that, in the opinion of the editors, should be published. The text will contain the same information as the experimental method referred to in subparagraph (a) but will be worded continuously from the beginning to the end of the work; this does not mean that subheadings are only deleted, but that it is written in a continuous and consistent manner.

c) Bibliographic Reviews. They consist of the treatment and presentation of a topical and important theme or issue; they purpose is to summarize, analyze and discuss, as well as to make available to the reader information already published on a specific theme. The text is divided into: Introduction, and the sections that correspond to the development of the topic in question.

11. **Acknowledgements and conflict of interest.**

Where appropriate, collaborations that need to be recognized must be specified, such as a) technical assistance received; b) appreciation for financial and material support, specifying the nature of the support; c) financial relationships likely to give rise to a conflict of interest. People who collaborated can be cited by name, adding their function or type of collaboration; for example: "scientific advisor", "critical review of the proposal for the study", "data collection", etc. Where appropriate, authors should mention if there is any conflict of interest.

12. **Literature cited.** Number references consecutively in the order in which they are first mentioned in the text. References in the

text, tables, and illustrations must be identified by **arabic numerals** in parentheses, without indicating the year of reference. Avoid, as far as possible, having to mention in the text the name of the authors of the references. Try not to use abstracts as references; "unpublished observations" and "personal communications" must not be used as references, although they may be inserted in the text (in parentheses).

Basic rules for Literature cited

Name of the authors, with capital letters only the initials, starting with the paternal surname, then initials of the maternal one and name (s). In case of compound surnames, a hyphen must be put between them, example: Elías-Calles E. Between the initials of an author, no punctuation mark, or separation should be placed; after each author, only a comma must be placed; after the last author, a period must be placed.

The title of the paper must be written in full (in its original language) then the abbreviated title of the journal where it was published, without any punctuation mark; immediately after, the year of publication, then the volume number, followed by the number (in parentheses) of the journal and finally the number of pages (this in the case of an ordinary journal article).

The list of references may include accepted articles, even if they are not yet published; indicate the journal and add "in press" (in square brackets).

In the case of books by a single author (or more than one, but all responsible for the total content of the book), after the name or names, the title of the book, the edition number, the country, the publishing house, and the year must be indicated.

When it comes to the chapter of a book by several authors, the name of the author of the chapter must be indicated, then the title of the chapter, then the name of the editors and the title of the book, followed by the country, the publishing house, year, and the pages covered by the chapter.

In the case of a thesis, the following must be indicated: name of the author, the title of the work, then the degree (bachelor's, master's, doctorate) in brackets, then the name of the city, state and, where appropriate, country, followed by the name of the University (not the school), and finally the year.



Use the style of the following examples:

Journals

Ordinary article, with volume and number. (Include the name of all authors when they are six or less; if there are seven or more, write down only the name of the first six and add "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.

Only the number without indicating the 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.

The author is not indicated.

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

Journal supplement.

- V) Hall JB, Staigmilller 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 the process of publication.

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

Books and monographs

Total author.

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

Chapter author.

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

Meeting proceedings.

- 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 XXV eltsville Symposium: Biotechnology's role in genetic improvement of farm animals*. USDA. 996:13.

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 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. **Tables, Graphs, and Illustrations.** It is preferable that they be few, concise, with the necessary data to be self-sufficient, that they be understood alone without having to read the text. For footnotes, conventional symbols should be used.
- 14 **Final version.** It is the document in which the authors have already integrated the corrections and modifications indicated by the Review Committee. Instructions that will contain the essential points for its correct preparation will be sent to the authors. Photographs and images must be in jpg format (or compatible) with at least 300 dpi resolution. Photographs, images, graphs, charts, or tables must be included in the same text file. Tables should not contain any vertical lines, and horizontal lines should contain only those delimiting column headings, and the line at the end of the table.
15. Once the final version is received, it will be sent for translation into English or Spanish, as appropriate. If the authors consider it convenient, they may send their final manuscript in both languages.
16. **Thesis.** They will be published as an Article or Research Note, as long as they conform to the standards of this journal.
17. Works not accepted for publication will be returned to the author, with an annex explaining the reasons why it is rejected or the modifications that must be made to be reevaluated.
- 18.

Frequently used abbreviations:

cal	calorie (s)
cm	centimeter (s)
°C	degree centigrade (s)
LD ₅₀	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	megacalorie (s)
MJ	megajoule (s)
m	meter (s)
masl	meters above sea level
µg	microgram (s)
µL	microliter (s)
µm	micrometer (s)(micra(s))
mg	milligram (s)
mL	milliliter (s)
mm	millimeter (s)
min	minute (s)
ng	nanogram (s)
<i>P</i>	(statistical) probability
p	page
CP	crude protein
PCR	polymerase chain reaction
pp	pages
ppm	parts per million
%	per cent (with number)
rpm	revolutions per minute
sec	second (s)
t	tonne (s)
TDN	total digestible nutrients
AU	animal unit
IU	international units
vs	versus
xg	gravities

Any other abbreviation should be placed in parentheses immediately after the full word(s).

19. Scientific names and other Latin phrases must be written in italics



Momento de la suplementación sobre carga animal y producción de leche por hectárea de vacas Holstein en pastoreo



Citlali Anais Castro Jaime ^a

Rodolfo Ramírez Valverde ^a

Juan Andrés Burgueño Ferreira ^b

Jacinto Efrén Ramírez Bribiesca ^c

Luis Alberto Miranda Romero ^a

Ricardo Daniel Améndola Massiotti ^{a*}

^a Universidad Autónoma Chapingo. Programa de Posgrado en Producción Animal, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230 Texcoco, Estado de México, México.

^b Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Texcoco, Estado de México, México.

^c Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Rama de Ganadería, Texcoco, Estado de México, México.

* Autor de correspondencia: r_amendola@yahoo.com

Resumen:

El objetivo fue evaluar, en pastoreo de praderas mixta de *Medicago sativa* L. y *Dactylis glomerata* L., la respuesta de vacas Holstein Neozelandés a la suplementación con concentrado en diferentes momentos del día, sobre producción individual, carga animal y producción de leche por hectárea. Se realizaron dos experimentos, en invierno y en primavera-verano, con un diseño cruzado 3×3. Los tratamientos fueron tres momentos de oferta de concentrado (5.0 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹) como suplemento luego de la ordeña matinal (AM), de la vespertina (PM), y dividido equitativamente en ambas ordeñas (AM-PM). Las

unidades experimentales fueron lotes de seis (invierno) o cinco vacas (primavera-verano) y sus respectivas áreas de pastoreo, mismas que recibieron los tratamientos. El criterio de manejo del pastoreo rotacional fue 8 cm de altura de forraje residual para todos los tratamientos; esto permitió estimar el efecto de los tratamientos sobre la carga animal. No hubo efecto ($P>0.05$) sobre carga animal. La producción de leche por vaca en AM fue 10.2 % superior que los otros dos tratamientos en promedio, tanto en invierno (8.6 %, $P=0.0002$), como en primavera-verano (11.7 %, $P<0.0001$). El incremento en producción de leche por ha (9 %) se debió a la respuesta individual y no a diferencias en carga animal. El criterio de manejo de pastoreo con altura única de forraje residual permitió, de modo sencillo, estimar la respuesta en carga animal y con ello la producción de leche por hectárea.

Palabras clave: Concentrado, Producción individual, Manejo de pastoreo, Diseño cruzado.

Recibido: 07/05/2024

Aceptado: 05/08/2024

Introducción

Las mejoras en el manejo de los sistemas de producción de leche en pastoreo han resultado en aumentos en la producción de leche por hectárea en trabajos experimentales⁽¹⁾. Entre los principales factores interrelacionados responsables de este aumento en la productividad están la carga animal⁽²⁾ y el uso de suplementos concentrados⁽³⁾. Esta última medida ha sido aplicada y estudiada durante muchos años, como se corrobora en la revisión conceptual realizada por el Dr. John Leaver⁽⁴⁾. No obstante, el tema sigue recibiendo atención de investigadores en la actualidad^(5,6,7).

La suplementación con concentrado es una práctica comúnmente utilizada en sistemas pastoriles, ya que, al incrementar la ingesta de energía, permite optimizar el estado nutricional de los animales, su condición corporal⁽⁸⁾ y la producción de leche individual⁽⁹⁾. La suplementación puede conducir a cambios en la composición de la leche en términos de alimento nutraceutico⁽¹⁰⁾. Al consumir suplemento, los animales reducen el consumo de forraje en la pradera, por ello la medida para utilizar el forraje con mayor eficiencia es acrecentar la carga animal (CA), y con eso aumenta la producción por unidad de área, mejorar la composición de la leche y, eventualmente, aumentar la CA⁽¹¹⁾. En sistemas bajo pastoreo, la carga animal es importante para determinar la eficiencia del sistema⁽¹²⁾. El interés del aumento en la producción de leche por hectárea radica en uno de los principales objetivos en pastoreo, que es maximizar la rentabilidad por superficie de pastoreo, al usar más eficientemente el forraje⁽¹³⁾.

El aumento en la producción de leche por hectárea a medida que aumenta la carga animal, en respuesta a la suplementación⁽¹⁴⁾, es más afectada por los cambios en la carga animal que por los cambios en la producción individual⁽¹⁵⁾. La respuesta a la suplementación también puede ser afectada por el momento de oferta del concentrado, a través de efectos sobre el nivel de sustitución del forraje de la pradera⁽¹⁶⁾, la digestión de la fibra y otras variables asociadas con la fermentación ruminal⁽¹⁷⁾. Tales efectos son atribuidos a los cambios diurnos debidos al ciclo circadiano en el ambiente ruminal, en la composición del forraje, y en el comportamiento de ingestión del ganado⁽¹⁷⁾.

Se ha reportado que independientemente de la cantidad del suplemento suministrada, las vacas pastorean con mayor intensidad antes de la puesta del sol⁽¹⁶⁾. Por lo anterior, el pastoreo vespertino tiene mayor duración e importante para el consumo de forraje, por efecto de ritmos circadianos en la fotosíntesis, la acumulación de materia seca (MS), de carbohidratos y ácidos grasos, que facilitan la descomposición de las partículas de forraje durante las fases iniciales de la digestión⁽¹⁸⁾.

Con base en lo anterior se formuló la hipótesis que la suplementación en horas de la mañana permitiría incrementar la producción individual de leche frente a la suplementación vespertina o la suplementación dividida entre ambas horas del día, misma que constituye la práctica regular. Por ello, el objetivo fue evaluar el impacto del momento de la suplementación con concentrado en un sistema de pastoreo, como herramienta para incrementar el desempeño productivo individual, la carga animal y por tanto la productividad por hectárea.

Material y métodos

Ubicación, unidad experimental

Se realizaron dos experimentos en el Módulo de Pastoreo de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 54' O, a 2,240 msnm); el primero del 4 de febrero al 26 de marzo (invierno), y el segundo del 6 de junio al 26 de julio (primavera-verano), ambos en 2022. El clima es templado subhúmedo con lluvias de verano, con una precipitación anual de 636 mm, y temperatura media anual de 15.2 °C⁽¹⁹⁾.

Las unidades experimentales fueron lotes de seis (invierno) o cinco (primavera-verano) vacas Holstein Neozelandés en lactancia en períodos de 17 días y sus respectivas áreas de pastoreo. Los lotes de vacas se homogenizaron, balanceándolos en función del peso vivo inicial, número de partos, días en lactancia y producción de leche durante dos semanas previas a la lotificación.

Praderas y manejo de pastoreo

Se utilizaron 10 potreros de alfalfa asociada con pasto ovillo de entre dos y tres años de establecidas, con área total de 4.5 ha. El pastoreo fue rotacional intensivo, con promedio de 5 días de ocupación, y 42 y 40 días de descanso para invierno y primavera-verano, respectivamente. Cada uno de los potreros se dividió en tres secciones iguales, que correspondieron a las unidades experimentales. Las áreas asignadas diariamente a cada lote de vacas se ajustaron con movimientos de cerco eléctrico móvil, con el objetivo de obtener 8 cm de altura de forraje residual en los tres tratamientos; las mediciones de altura se realizaron con disco descendente.

La carga animal se consideró como variable de respuesta a la suplementación resultante del área pastoreada en cada potrero. Por lo anterior, el criterio utilizado de manejo del pastoreo fue un componente esencial para cumplir tal objetivo.

Diseño experimental y tratamientos

El experimento se estableció en un diseño cruzado⁽²⁰⁾ 3×3. Los tratamientos fueron tres momentos de suplementación (posterior al ordeño): dividida entre mañana y tarde (AM-PM), matutina (AM) y vespertina (PM).

Previo al inicio del experimento se realizó un periodo de adaptación de 20 días para la conformación de los lotes, el manejo de pastoreo y composición del concentrado. Cada experimento tuvo una duración de 51 días, dividido en tres periodos de 17 días. A su vez, cada periodo fue dividido en dos fases: a) la adaptación al nivel de concentrado correspondiente a cada tratamiento (12 días), y b) el registro de datos de las variables de respuesta (5 días). El nivel de suplementación con concentrado ofrecido fue de 5.0 kg de MS vaca⁻¹ día⁻¹, con base en resultados previos, obtenidos en el mismo sitio⁽¹⁵⁾. El concentrado se elaboró en el Módulo de Pastoreo y su composición se definió tomando en cuenta la composición promedio del forraje estimada en el mismo experimento previo⁽¹⁵⁾. La formulación se basó en maíz rolado, sorgo molido, harina de gluten, grasa de sobrepaso, melaza y minerales; su composición química, promedio de ambos experimentos, fue 16.65 % de PC, 20.43 % de FDN (fibra detergente neutro), y 4.98 % de FDA (fibra detergente ácido).

Mediciones y procedimiento experimental

El manejo de pastoreo fue a través de aperturas del cerco eléctrico móvil. Diariamente se abrían por lote áreas de 12 × 4 m y luego en las franjas de 12 m de ancho, se registraron

mediciones de altura hasta lograr 8 cm de forraje residual; una vez cumplida esta meta, se abrían 2 m adicionales y se repitió la operación de medición de alturas de forraje residual. Esta propuesta de manejo fue utilizada por Amendola⁽²¹⁾, Ramírez-Mella *et al*⁽²²⁾, y Castro⁽¹⁵⁾. Los movimientos se realizaron en varias oportunidades durante el día.

Cada potrero se dividió en tercios del mismo ancho, logrando así que el avance en el pastoreo de los lotes fuese de forma paralela. El registro del área utilizada de pastoreo fue en dos momentos; al finalizar el pastoreo entre las ordeñas matutina y vespertina (avance matutino) y previo al inicio del pastoreo matutino (avance vespertino). De este modo cada día se registró el área utilizada por unidad experimental para determinar la carga animal resultante (Ecuación 1).

Posterior a cada ordeña, se proporcionó a las vacas el concentrado en el momento correspondiente a cada tratamiento en comederos individuales; el resto del tiempo permanecieron en los potreros con acceso a agua *ad libitum* en recipientes móviles localizados en un extremo del área de pastoreo (Cuadro 1).

Cuadro 1: Horario promedio de las actividades de gestión de las vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrado en distintos momentos del día

Actividad	Hora
Ordeña matutina	06:00 – 07:00
Permanencia matutina en el corral de suplementación	06:30 – 07:30
Pastoreo entre ordeñas matutina y vespertina	08:00 – 15:00
Ordeña vespertina	15:00 – 16:00
Permanencia vespertina en el corral de suplementación	15:30 – 16:30
Pastoreo entre ordeñas vespertina y matutina	17:00– 06:00 (+1 día)

De cada unidad experimental se obtuvieron muestras de forraje ofrecido y forraje residual. El procedimiento de muestreo⁽²³⁾, se realizó tomando muestras mediante el corte de cinco franjas de 0.50 x 5 m promedio, utilizando una podadora Trupper® México, a una altura de 8 cm. Las muestras de forraje residual fueron de forma apareada con las muestras de forraje ofrecido. Todas las muestras se secaron en estufa con circulación de aire a 50 °C, hasta peso constante.

La composición del forraje consumido se estimó con base en muestras obtenidas por unidad experimental, compuestas de 10 submuestras, tomadas mediante el uso de la técnica de pastoreo simulado⁽²⁴⁾ con una modificación, que consistió en la toma de muestra a 8 cm de

altura del suelo. Las muestras de forraje para determinar la composición nutricional y el concentrado se secaron a 55 °C hasta peso constante, y molidas en un molino Wiley® 4 USA con criba de 1 mm. El método utilizado para la determinación de PC fue Micro-Kjeldahl⁽²⁵⁾; FDN y FDA se estimaron utilizando el equipo ANKOM200⁽²⁵⁾, así mismo, se determinaron cenizas insolubles en ácido (CIA)⁽²⁵⁾.

El registro de la producción de leche se llevó a cabo de forma individual con medidores automáticos Alfa Laval®, en las ordeñas matutina y vespertina durante los cinco días consecutivos de la fase de medición. El análisis de composición de la leche se realizó sobre muestras individuales tomadas con muestreador automático Alfa Laval®, vertidas en viales de plástico. Las muestras de leche se analizaron con el equipo MilkoScan®, se determinó la concentración de grasa, proteína y sólidos totales. Para estimar la producción de leche por hectárea se consideró la producción de leche individual y la carga animal del ciclo de pastoreo correspondiente a cada potrero. La carga animal se estimó como la media ponderada de la carga instantánea de los periodos de ocupación y descanso, mediante la Ecuación 1.

$$CA = CI * PO / (PO + PD) \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde: CA= carga animal [vacas⁻¹ ha⁻¹ (ciclo de pastoreo)]; CI= carga instantánea (vacas⁻¹ ha⁻¹); PO= periodo de ocupación (días); PD= periodo de descanso (días).

Otras variables estimadas fueron peso vivo y condición corporal. La medición de peso vivo de las vacas se registró después de la ordeña matutina, dos días al inicio y dos días al final de cada periodo experimental, utilizando una báscula electrónica TruTest® Nueva Zelanda, con exactitud de 1 kg y capacidad para 1,000 kg. Al finalizar cada pesaje en el corral de alimentación, se llevó a cabo el registro de condición corporal por dos observadores entrenados, la escala utilizada fue de 1 a 5⁽²⁶⁾. El cambio de peso vivo y condición corporal se calculó como la diferencia entre las estimaciones de inicio y fin por periodo de cada variable.

Análisis estadístico

El modelo estadístico incluyó efectos del periodo, lote y tratamiento:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Periodo}_i + \text{Lote}_j + \text{Tratamiento}_k + E_{ijk} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde: Y_{ijk} representó el valor promedio a través de vacas y días de medición de peso vivo, condición corporal, carga animal, producción individual, contenido de grasa, proteína y sólidos totales. Tanto periodo, lote y tratamiento fueron efectos fijos y el error experimental fue la interacción entre estos tres factores, se asume que esta interacción no es de importancia

biológica o práctica. El análisis fue realizado dentro de época (experimento), debido a diferencias en clima, crecimiento de forraje y, en algunos casos, etapa de la lactancia.

Para el análisis de las variables de respuesta se utilizó el procedimiento GLM de SAS⁽²⁷⁾. Las medias fueron contrastadas por tratamientos mediante la instrucción LSMEANS y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey-Kramer.

Resultados y discusión

La altura de forraje residual en pastoreo fue similar entre tratamientos ($P>0.05$) con 8.4 cm promedio para ambos experimentos. Dicho criterio permitió conservar la misma eficiencia de utilización del forraje para todos los tratamientos; además, fue la base para estimar el efecto del momento de oferta del concentrado sobre la carga animal y por ende sobre la producción de leche por hectárea. El área asignada tuvo promedios de 210 m² diarios por lote en invierno y 233 en primavera, sin diferencias entre tratamientos.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de las masas de forraje ofrecido (FO) y forraje residual (FR) del pastoreo de vacas suplementadas en diferentes momentos del día con el mismo nivel de suplementación en praderas de alfalfa-ovillo. No hubo diferencia ($P>0.05$) en la masa de FO entre tratamientos, con promedios de 2,183 kg MS ha⁻¹ en invierno y 2,630 kg MS ha⁻¹ en primavera-verano. En invierno las condiciones ambientales, como bajas temperaturas, presencia de heladas, y menor radiación y fotoperiodo generan menor tasa de acumulación de forraje^(28,29). La disminución de la tasa de crecimiento en una asociación alfalfa-pasto ovillo resulta de las bajas temperaturas (menores que 10 °C) durante la estación⁽³⁰⁾. En cambio, en primavera-verano ocurren aumentos en la tasa de acumulación de forraje porque la temporada de crecimiento del forraje inicia a finales de abril y termina a mediados de octubre, con acumulación de 2,333 kg MS ha⁻¹ en un estudio⁽³¹⁾, comparable a la que se obtuvo en este estudio (2,630 kg).

En las masas de FR tampoco se presentaron diferencias ($P>0.05$) debido al criterio de manejo empleado (8 cm de altura residual). Con dicho criterio se obtuvo una eficiencia de pastoreo de 76 % en invierno y 80 % en primavera-verano.

En el presente estudio, se logró una eficiencia de pastoreo promedio de 78 %, similar al 75.3 % de eficiencia promedio reportado para las menores asignaciones.

Cuadro 2: Masa de forraje ofrecido y residual (kg MS ha⁻¹) por encima de 8 cm de altura, en praderas pastoreadas por vacas que recibieron suplementación en tres distintos momentos del día, en experimentos realizados en invierno y primavera-verano

Experimento	Parámetro	Tratamiento	Media	EE
Invierno	Forraje ofrecido	AM-PM	2140	34
		AM	2201	
		PM	2206	
	Forraje residual	AM-PM	495	14
		AM	527	
		PM	528	
Primavera verano	Forraje ofrecido	AM-PM	2624	35
		AM	2672	
		PM	2655	
	Forraje residual	AM-PM	512	10
		AM	506	
		PM	517	

AM-PM, AM, PM = momento de oferta del concentrado; EE= error estándar; ^ε ($P<0.05$) = nivel de significancia del análisis.

En el Cuadro 3 se muestran los resultados en la composición nutricional del forraje ofrecido. Se detectaron descensos entre las muestras de forraje ofrecido matutinas y vespertinas en las concentraciones de FDN, FDA y PC. Durante invierno estas disminuciones fueron de 7.5 % en FDN, 3.8 % en FDA y 7.7 % en PC; en tanto que en primavera-verano se presentaron descensos de 9.6 % en FDN, 8.1 % en FDA y 10.4 % en PC.

Cuadro 3: Composición nutricional (% MS) del forraje consumido por vacas lecheras en pastoreo que recibieron suplemento en diferentes momentos del día

Componente	Invierno			Primavera-verano		
	Forraje		EE	Forraje		EE
	AM	PM		AM	PM	
MS	22.3 ^{bb}	25.5 ^a	0.41	21.6 ^{yμ}	24.8 ^x	0.44
FDN	39.4 ^a	37.9 ^b	0.33	49.5 ^x	45.5 ^y	0.87
FDA	29.2 ^a	27.0 ^b	0.33	34.4 ^x	31.1 ^y	0.72
Cenizas	9.7	9.4	0.20	9.9	9.4	0.17
PC	19.5 ^a	18.0 ^b	0.26	20.3 ^x	18.2 ^y	0.11

AM, PM = momento del muestreo; MS= materia seca; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; PC= proteína cruda; ($P<0.05$) = nivel de significancia del análisis. ^{B μ} Medias con distinto literal minúscula ab o xy en la hilera son diferentes ($P<0.05$).

Los descensos en la concentraciones de FDN, FDA y PC entre las muestras de forraje ofrecido matutinas y vespertinas (Cuadro 3), pueden ser debidos a la dilución de las concentraciones de estos componentes en respuesta a las fluctuaciones diurnas en la concentración de carbohidratos solubles, por la actividad fotosintética de la planta⁽³²⁾. Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los de otras investigaciones; por ejemplo, se ha identificado un aumento del 30 % en los carbohidratos no estructurales (no estudiados en este trabajo) y una disminución significativa de las concentraciones de FDN y PC en 8,7 y 6,1%, en *Lolium perenne*, respectivamente entre 08:00 y 19:00 que corresponden a una dilución por ese mayor contenido de carbohidratos no estructurales⁽³²⁾. Al respecto, se ha señalado que las concentraciones de productos fotosintéticos tienen fluctuaciones diurnas más altas en las hojas que en los tallos y pseudotallos⁽¹⁸⁾. Del mismo modo, se ha reportado que el forraje de alfalfa cosechado en la mañana tiene contenidos de FDA y PC más altos que los de forraje cosechado más tarde⁽³³⁾.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados en cambios de peso vivo y condición corporal entre tratamientos. Los cambios de peso vivo fueron relativamente poco importantes, representaron hasta 45 g vaca⁻¹ día⁻¹ (invierno en AM-PM). Las vacas en AM-PM ganaron más peso vivo que los otros dos tratamientos ($P<0.05$) durante invierno, en cambio durante primavera si bien su cambio de peso fue mayor que en PM ($P<0.05$), no difirió del de AM ($P>0.05$). Los cambios de peso vivo por efectos de la suplementación están en función del periodo de la lactancia de las vacas; en el primer tercio de la lactancia la suplementación puede conducir a reducir pérdidas de peso, en tanto que más adelante en la lactancia puede conducir a incrementos en la ganancia de peso⁽²¹⁾. No se detectaron cambios en condición corporal entre los tratamientos ($P<0.05$).

Cuadro 4: Cambio de peso vivo (PV en kg) y condición corporal (CC en unidades) en vacas lecheras en pastoreo suplementadas, suplementadas en diferentes momentos del día

Experimento	Parámetro	Tratamiento			Media	EE
		AM-PM	AM	PM		
Invierno	Cambio PV	2.3 ^{a†}	1.8 ^b	1.8 ^b	2	0.17
	Cambio CC	0.01 ^a	0.003 ^a	-0.006 ^b	0.002	0.005
Primavera-	Cambio PV	1.9 ^{x€}	1.7 ^{xy}	1.2 ^y	1.6	0.20
Verano	Cambio CC	-0.004	0.008	-0.004	-0.00002	0.004

AM-PM, AM, PM= momento de oferta del concentrado; EE= error estándar; † € Medias con distinto literal minúscula ab o xy en la hilera son diferentes ($P<0.05$).

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de producción de leche por vaca y su composición. La producción de leche por vaca en el tratamiento AM fue mayor que el promedio de los otros dos tratamientos, tanto en invierno (6.1 %, $P=0.0002$), como en primavera-verano

(8.5 %, $P<0.0001$). En promedio de ambos experimentos, la oferta de concentrado por la mañana implicó 7.3 % de incremento en la producción de leche por vaca.

Cuadro 5: Producción y composición de leche en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con concentrado en diferentes momentos del día

Experimento	Parámetro	Tratamiento			Media	EE
		AM-PM	AM	PM		
Invierno	Producción de leche, L vaca ⁻¹ día ⁻¹	21.7 ^{b†}	23.8 ^a	21.8 ^b	22.5	0.24
	Proteína, %	3.5	3.6	3.4	3.5	0.02
	Grasa, %	3.9	4.0	3.9	3.9	0.03
	Sólidos totales, %	13.3	13.5	13.2	13.3	0.04
Primavera Verano	Producción de leche, L vaca ⁻¹ día ⁻¹	20.3 ^{y€}	22.6 ^x	19.6 ^y	20.8	0.29
	Proteína, %	3.6	3.5	3.5	3.6	0.03
	Grasa, %	4.0	3.9	3.9	4.0	0.03
	Sólidos totales, %	13.5	13.2	13.3	13.3	0.07

AM-PM, AM, PM =momento de oferta del concentrado como suplemento; EE= error estándar; ^{†€} Medias con distinto literal minúscula en la hilera son diferentes ab ($P=0.0002$) xy ($P<0.0001$).

En un estudio⁽¹⁵⁾ en el mismo sitio con el mismo tipo de vacas y praderas y con el mismo criterio de manejo de pastoreo, se obtuvo durante invierno con suplementación de 5 kg MS de concentrado dividida entre AM y PM una producción de 21.4 L vaca⁻¹ día⁻¹ similar a la obtenida en este experimento con la misma cantidad y esquema de suplementación; sin embargo, por el hecho de suministrar dicha cantidad únicamente en AM se obtuvo en este experimento 23.8 L vaca⁻¹ día⁻¹ (10 % superior). Del mismo modo, en un experimento con tratamientos similares⁽¹⁶⁾ se reportó tendencia ($P<0.07$) a 0.5 L vaca⁻¹ día⁻¹ mayor producción individual con la oferta matutina del suplemento. Por el contrario, se ha reportado mayor ($P<0.001$) producción de leche (2.1 L vaca⁻¹ día⁻¹) al suplementar a las vacas lecheras en pastoreo por la tarde en comparación con la mañana⁽³⁴⁾.

En el presente estudio no se detectó efecto ($P>0.05$) sobre la concentración de proteína, grasa o sólidos totales en leche. Sin embargo, los resultados encontrados en la literatura no son concluyentes. Se ha reportado que la concentración de proteína en la leche con suplementación vespertina es mayor ($P<0.05$), respecto a pastoreo sin suplementación y a la suplementación matutina⁽³⁵⁾. Esta respuesta pudo ser resultado de una asignación diaria de forraje restringida, pues la reducción de la proporción de forraje en la dieta de las vacas incrementa el volumen de leche producida y su concentración de proteína⁽³⁵⁾. También se ha precisado que el contenido de grasa en leche es menor con la oferta total del suplemento por la mañana⁽³⁶⁾. Por el contrario, entre tratamientos con y sin suplementación con ensilado de

maíz, y con diferentes asignaciones en el tiempo de pastoreo no se encontraron diferencias en la producción de leche, la producción de sólidos lácteos o la concentración y cantidad de grasa y proteína⁽³⁷⁾.

El momento en que fue ofrecido el concentrado no afectó ($P<0.5$) la carga animal en ninguno de los dos experimentos (Cuadro 6); el promedio de la carga en invierno fue 6.7 vacas ha⁻¹ y en primavera-verano fue 5.1 vacas ha⁻¹. La carga animal (CA) es descrita como el número de vacas por unidades de superficie y tiempo ($CA_{\text{Anual}}=\text{vacas}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $CA_{\text{diaria}}=\text{vacas}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$)⁽¹⁵⁾; en el presente estudio se consideró $CA_{\text{Ciclo de pastoreo}}$.

Cuadro 6: Carga animal de vacas lecheras (vacas ha⁻¹ por ciclo de pastoreo) suplementadas en diferentes momentos del día

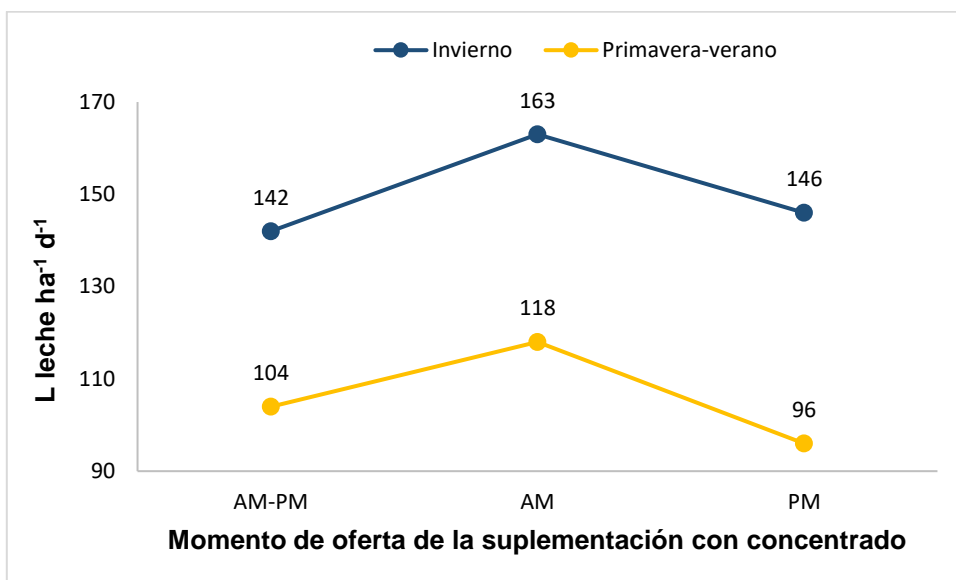
Experimento	AM-PM	EE	AM	EE	PM	EE
Invierno	6.5	0.39	6.9	0.05	6.7	0.29
Primavera verano	5.1	0.38	5.2	0.23	4.9	0.22

AM-PM, AM, PM= momento de oferta del concentrado como suplemento; EE= error estándar; ($P<0.5$).

El efecto sustitutivo consecuencia de la suplementación puede conducir a incrementos en la carga animal y con ello la producción de leche por hectárea⁽²²⁾. Al aumentar el nivel de suplementación, por el efecto sustitutivo se reduce el consumo de forraje en la pradera y con ello la eficiencia de utilización del forraje⁽²¹⁾. La falta de respuesta en carga animal a cambios en momentos de suplementación, implica que no hubo diferencias en efecto sustitutivo. En principio, conforme a lo estipulado en otro trabajo⁽³⁸⁾; esto se debió a que el nivel de suplementación fue el mismo en los tres tratamientos. Efectos de tratamientos sobre los ritmos circadianos en actividad de pastoreo pueden ocasionar cambios en consumo de forraje⁽³⁹⁾; únicamente ese tipo de efectos pudo haber ocasionado diferencias en efecto sustitutivo en este estudio, pero no se presentaron.

La respuesta en producción de leche por hectárea (Figura 1) es el resultado del producto de la producción individual por la carga animal. La producción de leche por hectárea del tratamiento AM superó al promedio de los otros dos tratamientos en 8.4 % durante invierno, y en 11.3 % durante primavera-verano. Estas diferencias se conformaron de manera similar y se originaron de las diferencias en producción individual, ya que en carga animal no hubo diferencias entre tratamientos.

Figura 1. Producción de leche por hectárea de vacas lecheras suplementadas en diferentes momentos



La estrategia de ofrecer el concentrado en un momento del día resultó en un método de mejora en el sistema de producción, que aprovechó en el tratamiento AM los cambios composición de forraje a través del día, de modo que conforme los indicado por otros autores⁽⁴⁰⁾ coincidió el mejor aprovechamiento de forraje por la tarde con su mayor valor nutritivo⁽³⁵⁾. Este resultado en que la más alta producción de leche con AM se debió al aumento en la producción individual, sin cambio en la carga animal, contradice lo reportado por distintos autores^(2,15,21), quienes indican que los incrementos en producción de leche por hectárea al variar la carga animal, responden a aumentos en ésta y no a mejoras en la producción individual.

La importancia de considerar la respuesta a suplementación en términos de producción de leche por hectárea en lugar de leche por vaca radica en que de este modo se estará tomando en cuenta el impacto de esta tecnología sobre el sistema de producción (unidad de producción)^(14,15); esto permitirá estimar de manera más adecuada su efecto sobre el desempeño económico del sistema.

Conclusiones e implicaciones

El criterio de manejo de pastoreo utilizado permitió lograr la misma eficiencia de utilización de forraje en la pradera, y con ello estimar la carga animal y producción de leche por hectárea. El impacto de la tecnología de suplementar todo el concentrado luego de la ordeña matinal produjo un incremento promedio de 10.2 % en producción individual de leche y resultó en una mejora de 9.9 % en la producción de leche por hectárea. Esta estrategia se tradujo en un

impacto positivo en el sistema de producción, sin aumentar los insumos, ya que se basó en cambios circadianos en la composición de forraje y el comportamiento de ingestión de forraje.

Agradecimientos y conflicto de intereses

Los autores agradecen el apoyo del CONAHCYT para los estudios de doctorado del primer autor y declaran que no tienen ningún conflicto de interés.


Literatura citada:

1. McCarthy B, Delaby L, Pierce KM, Journot F, Horan B. Meta-analysis of the impact of stocking rate on the productivity of pasture-based milk production systems. *Animal* 2011;5(5):784-794
2. Macdonald KA, Penno JW, Lancaster JAS, Roche JR. Effect of stocking rate on pasture production, milk production, and reproduction of dairy cows in pasture-based systems. *J Dairy Sci* 2008;91(5):2151-2163.
3. Bargo F, Muller LD, Delahoy JE, Cassidy TW. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J Dairy Sci* 2002;85(7):1777-1792.
4. Leaver JD. Effects of supplements on herbage intake and performance. In: Frame J. editor. *Grazing. Occasional Symposium No. 19. British Grassland Society.* 1985:79-88.
5. John AJ, Garcia SC, Kerrisk KL, Freeman MJ, Islam MR, Clark EF. The effect of temporal variation in feed quality and quantity on the diurnal feeding behavior of dairy cows. *Animal* 2019;13(11):2519-2526.
6. Bica GS, Pinheiro LC, Teixeira DL, De Sousa KT, Hötzel MJ. Time of grain supplementation and social dominance modify feeding behavior of heifers in rotational grazing systems. *Front Vet Sci* 2020;1-7.
7. Cahill L, Patton D, Reilly B, Pierce KM, Horan B. Grazing season length and stocking rate affect milk production and supplementary feed requirements of spring-calving dairy cows on marginal soils. *J Dairy Sci* 2023;106(2):1051-1064.
8. Stockdale CR. Effects of body condition score at calving and feeding various types of concentrate supplements to grazing dairy cows on early lactation performance. *Livestock Sci* 2008;116(1-3):191-202.


9. Albarrán M, Balocchi OA, Noro M, Wittwer F, Pulido RG. Effect of the type of silage on milk yield, intake and rumen metabolism of dairy cows grazing swards with low herbage mass. *Anim Sci J* 2016;87(7):878-884.
10. Ramírez-Mella M, Hernández-Mendo O, Ramírez-Bribiesca EJ, Améndola-Massiotti RD, Crosby-Galván MM, Burgueño-Ferreira JA. Effect of vitamin E on milk composition of grazing dairy cows supplemented with microencapsulated conjugated linoleic acid. *Trop Animal Health Prod* 2013;45:1783-1788.
11. Bargo F. Suplementación en pastoreo: conclusiones sobre las últimas experiencias en el mundo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires 2003;1:1-21 <https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/catedras/bargo.pdf>. Consultado 30 Nov, 2023.
12. Fales SL, Muller LD, Ford SA, O'sullivan M, Hoover RJ, Holden LA, *et al.* Stocking rate affects production and profitability in a rotationally grazed pasture system. *J Prod Agr* 1995;8(1):88-96.
13. Dillon PAT, Hennessy T, Shalloo L, Thorne F, Horan B. Future outlook for the Irish dairy industry: a study of international competitiveness, influence of international trade reform and requirement for change. *Inter J Dairy Tec* 2008;61(1):16-29.
14. Baudracco J, Lopez-Villalobos N, Holmes CW, Macdonald KA. Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: A review. *N Z J Agr Res* 2010;53(2):109-133.
15. Castro JC. Suplementación con concentrado sobre producción de leche individual y por hectárea de vacas Holstein en pastoreo [Tesis Maestría]. Texcoco, Estado de México; Universidad Autónoma Chapingo, 2020.
16. Sheahan AJ, Gibbs SJ, Roche JR. Timing of supplementation alters grazing behavior and milk production response in dairy cows. *J Dairy Sci* 2013;96(1):477-483.
17. Gekara OJ, Prigge EC, Bryan WB, Nestor EL, Seidel G. Influence of sward height, daily timing of concentrate supplementation, and restricted time for grazing on forage utilization by lactating beef cows. *J Animal Sci* 2005;83(6):1435-1444.
18. Gregorini P. Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. *Animal Prod Sci* 2012;52(7):416-430.
19. García E. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. 5ta ed. México, DF: Instituto de Geografía-UNAM; 2004.

20. Herrera Haro JG, García Artiga C. Bioestadística en ciencias veterinarias: Procedimientos de análisis de datos con SAS. Universidad Complutense de Madrid: Madrid: área Ciencias de la Salud; 2010.
21. Amendola RD. A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico [PhD Thesis]. The Netherlands. Wageningen Universiteit, 2002.
22. Ramírez-Mella M, Hernández-Mendo O, Améndola-Massiotti RD, Ramírez-Bribiesca EJ, Mendoza-Martínez GD, Burgueño-Ferreira JA. Productive response of grazing dairy cows to fresh chopped maize supplementation under a small farming system in the Mexican Highlands. *Trop Animal Health Prod* 2010;(42):1377-1383.
23. Jiménez-Rosales JD, Améndola-Massiotti RD, Burgueño-Ferreira JA, Ramírez-Valverde R, Topete-Pelayo P, Huerta-Bravo M. Herbage intake of dairy cows in mixed sequential grazing with breeding ewes as followers. *Trop Animal Health Prod* 2018;(50):531-536.
24. Bonnet O, Hagenah N, Hebbelmann L, Meuret M, Shrader AM. Is hand plucking an accurate method of estimating bite mass and instantaneous intake of grazing herbivores? *Range Eco Manag* 2011;64(4):366-374.
25. AOAC. Official Methods of Analysis. 18th ed. Washington, DC; USA Association of Official Agricultural Chemists. 2005.
26. Garcia A, Hippen A. Feeding dairy cows for body condition score. *Dairy Sci* 2008;137.
27. SAS. SAS/STAT:9.3 User's Guide (3rd ed.) Cary, NC, USA: SAS Inst. Inc. 2010.
28. Esparza JZ, Hernández-Garay A, Pérez JP, Herrera JG, Haro FOG, Hernández PAM, *et al.* Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovinillo. *Tec Pecu Mex* 2009;47(2):173-188.
29. Cullen BR, Eckard RJ, Callow MN, Johnson IR, Chapman DF, Rawnsley RP, *et al.* Simulating pasture growth rates in Australian and New Zealand grazing systems. *Aust J Agr Res* 2008;59(8):761-768.
30. Álvarez FG, López OR. Rendimiento agronómico, digestibilidad (*in vitro*) y contenido de proteína cruda de nueve variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Nazareno, Etna, Oaxaca [Tesis Profesional]. Texcoco, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo, 1992.
31. Lemus V, Guevara A, García JA, Gaspar D, García JG, Pacheco D. Producción de leche de vacas en pastoreo de alfalfa (*Medicago sativa*) en el altiplano mexicano. *Rev Mex Cien Pecu* 2020;11(1):1-18.

32. Delagarde R, Peyraud JL, Delaby L, Faverdin P. Vertical distribution of biomass, chemical composition and pepsin—cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: Interaction with month of year, regrowth age and time of day. *Animal Feed Sci Tec* 2000;84(1-2):49-68.
33. Putnam D, Mueller S, Marcum D, Frate C, Lamb C, Canevari M, *et al.* Diurnal changes in alfalfa forage quality. In: *Proc, 28th Alfalfa Symposium*. California, NV. 1998:31-39.
34. Trevaskis LM, Fulkerson WJ, Nandra KS. Effect of time of feeding carbohydrate supplements and pasture on production of dairy cows. *Live Prod Sci* 2004;85(2-3):275-285.
35. Jenkins TC, McGuire MA. Major advances in nutrition: impact on milk composition. *J Dairy Sci* 2006;89(4):1302-1310.
36. Abrahamse PA, Tamminga S, Dijkstra J. Effect of daily movement of dairy cattle to fresh grass in morning or afternoon on intake, grazing behaviour, rumen fermentation and milk production. *J Agr Sci* 2009;147(6):721-730.
37. Al-Marashdeh O, Gregorini P, Edwards GR. Effect of time of maize silage supplementation on herbage intake, milk production, and nitrogen excretion of grazing dairy cows. *J Dairy Sci* 2016;99(9):7123-7132.
38. Bargo F, Muller LD, Kolver ES, Delahoy JE. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J Dairy Sci* 2003;86(1):1-42.
39. Gregorini P. Estado interno. Estímulos que motivan el consumo y ciertas conductas ingestivas de rumiantes en pastoreo. *Producción Animal en Pastoreo*. Buenos Aires, Ediciones INTA 2011;513-65.
40. Soca P, González H, Manterola H, Bruni M, Mattiauda D, Chilibroste P, Gregorini P. Effect of restricting time at pasture and concentrate supplementation on herbage intake, grazing behaviour and performance of lactating dairy cows. *Liv Sci* 2014;(170):35-42.



Respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de ovinos alimentados con niveles crecientes de frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*



Miguel Ángel Zarza-Albarrán ^a

Agustín Olmedo-Juárez ^{b*}

Pedro Mendoza- de Gives ^b

Jaime Ancelmo-Mondragón ^a

Javier Arece-García ^c

Francisca Aviles-Nova ^a

Benito Albarrán-Portillo ^a

Rolando Rojo-Rubio ^{a*}

^a Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, km 67.5. Carretera Federal Toluca-Tejupilco, Temascaltepec, 51300, Estado de México. México.

^b Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad. Morelos, México.

^c Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Central España Republicana, Matanzas, Cuba.

*Autor de correspondencia: olmedo.agustin@inifap.gob.mx; aolmedoj@gmail.com

Resumen:

La presente investigación evaluó la respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de ovinos alimentados con niveles crecientes de frutos secos triturados de *Acacia farnesiana* (FSTAf). Se utilizaron 32 ovinos (20 ± 2.5 kg y edad de 70 ± 15 días). Se evaluaron cuatro niveles de FSTAf (T0=0.0, T1=1.5, T2=3.0 y T3=4.5 %). Se evaluó el crecimiento (21 días) y finalización (49 días). Se midió el peso vivo inicial y

final (PVI y PVF), consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria y total de peso (GDP y GTP) y eficiencia alimenticia (EA). En el día 70, los animales se sacrificaron para determinar las características de la canal (CCa), morfometría de la canal (MCA), peso de cortes primarios (PCPr), pesos de vísceras (PVi) y parámetros de calidad de la carne (CCr). La adición de FSTAf no afectó el CMS, tuvo efecto positivo sobre la GDP y GTP en la etapa de crecimiento ($P < 0.05$). Durante la finalización no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en las variables productivas. Los PCPr resultaron diferentes ($P < 0.05$) entre sí, T1 y T3 registraron los mayores pesos en lomo y cuello, respectivamente. Los CCr, muestran diferencias significativas sobre la fuerza de corte y capacidad de retención de agua a las 24 y 72 h. En el T1 se observó mejor terneza en la carne y en el T3 se observó una mayor pérdida de agua y mayor fuerza al corte. Se concluye que FSTAf mejora la ganancia de peso y el rendimiento de los cortes primarios.

Palabras clave: Ovinos, Inocuidad, Calidad de carne, Huizache.

Recibido: 13/10/2022

Aceptado: 28/06/2024

Introducción

En la actualidad, los sistemas intensivos de producción ovina se ven afectados, debido al incremento en el costo de los insumos utilizados en la alimentación, como los ingredientes energéticos (maíz y sorgo) y proteínicos tales como soya y canola⁽¹⁾; situación que repercute en los costos de producción de los sistemas ovinos a pequeña escala⁽²⁾. Ante esta situación, es necesario incorporar estrategias nutricionales que disminuyan el uso de insumos externos, como es el uso de recursos forrajeros locales provenientes de árboles⁽³⁾ y arbustos leguminosos, los cuales tienen propiedades nutraceuticas (proteína y compuestos bioactivos) que a bajas concentraciones (50 g/kg de MS) en la dieta se podría mejorar la respuesta productiva de los animales. Las plantas forrajeras que presentan dentro de su materia seca alta concentración de taninos condensados, flavonoides, saponinas, compuestos órgano sulfurados y aceites esenciales tienen la capacidad de modificar favorablemente la fermentación ruminal disminuyendo la oxidación de los aminoácidos⁽⁴⁾, acción antimicrobiana sobre algunos microorganismos intestinales, mejorar la salud intestinal y por consecuencia la absorción de nutrientes, aumento de la producción de ácido propiónico⁽⁵⁾, aumento de la palatabilidad de los alimentos y estímulo de la ingestión al disminuir la oxidación de los lípidos⁽⁶⁾. Aunado a esto estas plantas son capaces de seguir produciendo biomasa en condiciones de bajo contenido de humedad en el suelo⁽⁵⁾. *Acacia farnesiana* es una leguminosa arbustiva distribuida en climas tropicales y subtropicales de México, y una de sus mejores bondades agronómicas adaptativas es que es una de las primeras plantas que aparece en los suelos, una vez que los mismos han sido degradados por actividades antropogénicas, dando lugar a la

sucesión ecológica a plantas más exigentes en nutrientes⁽⁷⁾. Esta especie vegetal representa una fuente de nutrientes principalmente de origen proteico (hasta 20 % de PC)⁽⁸⁾ y alta digestibilidad de la materia orgánica⁽⁷⁾; sus frutos son ricos en metabolitos secundarios (taninos condensados, flavonoides y compuestos polifenólicos), compuestos químicos que benefician la salud animal, al mejorar su rendimiento productivo y calidad de la carne⁽⁸⁻¹³⁾. Así mismo, se ha reportado que algunos metabolitos secundarios presentes en *A. farnesiana* tales como flavonoides y taninos contienen propiedades antimicrobianas, antiinflamatorios, antioxidantes y antihelmínticas⁽¹¹⁻¹⁶⁾. Existen evidencias que al adicionar niveles de inclusión de hasta 12 % de frutos secos de *A. farnesiana* en dietas (base seca) para ovinos no se afectan los parámetros productivos⁽⁷⁾. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la inclusión de niveles crecientes en función de la cantidad de una fracción orgánica (F-AcOEt) presentes en frutos secos triturados de *A. farnesiana* en la alimentación ovinos durante el crecimiento y finalización en corral sobre los parámetros productivos, características de la canal, cortes primarios, calidad de la canal y cambios de peso en vísceras.

Material y métodos

Sitio experimental

El estudio se realizó en la Unidad Metabólica del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, localizado a 19° 2' 40" N y -100° 2' 42" O, a 1,800 msnm, en Temascaltepec de González, Estado de México, México. Con presencia de lluvias en verano y temperatura media anual de 18 °C⁽¹⁷⁾.

Material vegetal

Frutos maduros de *A. farnesiana* se colectaron en siete localidades diferentes (7 arbustos por sitio) en el municipio de Tejupilco (latitud 18°90' 58" N y longitud -100°15'27" O), en la zona sur poniente del Estado de México, México, durante la primavera. Los frutos se colectaron entre las 0600 a 0700 h y se trasladaron al Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, donde se secaron a la sombra hasta alcanzar peso constante y posteriormente se molieron en un molino de martillos (New Holland, 2315) a un tamaño de partícula de 5 mm. La actividad antihelmíntica e identificación de los principales metabolitos secundarios del material vegetal usado en el presente estudio fue previamente reportado en anteriores trabajos de investigación^(14,15).

Animales y alimentación

Se utilizaron 32 ovinos machos cruzados (Katahdin x Charollais; PV 20 ± 2.5 kg y edad 70 ± 15 días), a su llegada a la Unidad Metabólica del Centro Universitario UAEM-Temascaltepec, se pesaron para agruparlos de acuerdo a su peso de mayor a menor y formar ocho bloques homogéneos de cuatro animales cada uno. Cada animal se alojó en

una corraleta individual (0.8 x 1 m) la cual estaba equipada con comedero y bebedero. En cada bloque los tratamientos se asignaron de manera aleatoria. Posterior a esto, los ovinos recibieron intramuscularmente un mililitro de complejo vitamínico ADE (Vigantol ®), equivalente a 250,000 UI de vitamina A, 37,500 UI de vitamina D3 y 25 mg de vitamina E y 2.5 ml de bacterina de 8 vías (BOBACT 8 ®) para la prevención de clostridiosis y neumonías.

Todos los animales recibieron dietas experimentales (Cuadro 1) para la etapa de crecimiento (15 % PC y 2.9 Mcal/kg) y otra para finalización (14 % de PC y 3.0 Mcal/kg), de acuerdo a sus requerimientos nutricionales⁽¹⁸⁾. A ambas dietas se les realizó el análisis químico proximal⁽¹⁹⁾ y fraccionamiento de fibras⁽²⁰⁾ (Cuadro 2). La dieta se suministró a tres frecuencias: 0700, 1300 y 1900 h, bajo la siguiente proporción 30, 30 y 40 %. A todos los animales se les alimentó durante todo el experimento considerando su consumo voluntario, recibieron agua limpia y fresca a voluntad.

Cuadro 1: Dietas experimentales para ovinos en crecimiento y finalización adicionadas con diferentes niveles de frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*

Ingredientes (%)	Crecimiento				Finalización			
	¥Testigo	T1	T2	T3	¥Testigo	T1	T2	T3
Maíz rolado	37.8	37.1	36.3	35.3	50.0	50.0	50.0	50.0
Pasta de soya	9.0	9.0	9.0	9.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Pasta de canola	6.0	6.0	6.0	6.0	7.5	7.5	7.5	7.5
Sorgo entero	9.0	9.0	9.0	9.0	9.3	8.5	7.5	6.5
FSTAf [¥]	0.0	1.5	3.0	4.5	0.0	1.5	3.0	4.5
Melaza	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Urea	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Heno de alfalfa	22.5	21.7	21	20.5	10.0	9.3	8.8	8.3
Rastrojo de maíz	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Premezcla mineral	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Carbonato de calcio					0.5	0.5	0.5	0.5
Sal común	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

¥ Tratamientos: Testigo: 0.0, T1: 1.5, T2: 3.0 y T3: 4.5 como % de inclusión (BS) de la dieta, ¥FSTAf, frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*.

Cuadro 2: Composición química (%) de dietas experimentales y de los frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*

Nutriente (%)	Crecimiento			Finalización				A. <i>farnesiana</i>	
	‡Testigo	T1	T2	T3	‡Testigo	T1	T2		T3
MS	91.89	91.99	91.95	91.84	91.65	91.39	91.64	91.03	87.54
PC	15.17	15.45	15.35	15.06	14.32	14.04	14.12	14.08	12.52
EE	3.81	3.85	3.38	3.96	4.06	4.36	4.14	4.04	3.27
FDN	25.08	29.31	33.06	34.62	19.12	20.08	20.46	22.37	38.80
FDA	21.25	24.86	26.67	28.76	16.31	17.43	16.87	18.46	34.22
MO	89.80	90.20	90.05	90.20	91.10	91.40	91.10	90.60	91.30
Minerales	10.20	9.80	9.95	9.80	8.90	8.60	8.90	9.40	8.70

‡ Tratamientos: Testigo: 0.0, T1: 1.5, T2: 3.0 y T3: 4.5 como % de inclusión (BS) de la dieta; MS= materia seca, PC= proteína cruda, EE= extracto etéreo, FDN= fibra detergente neutro, FDA= fibra detergente ácido; MO= materia orgánica.

Prueba experimental

La prueba de alimentación duró 80 días, de los cuales 10 fueron de adaptación al corral y dietas; y se realizaron dos periodos experimentales, etapa de crecimiento por 21 días y finalización por 49 días de alimentación. Los tratamientos fueron diferentes niveles de frutos secos triturados de *A. farnesiana* (FSTAf): Testigo: 0, T1: 1.5, T2: 3.0 y T3: 4.5 %, de la dieta basal (BS) tanto en crecimiento como en finalización. Para los niveles de inclusión de los FSTAf fueron basados considerando los compuestos bioactivos de una fracción orgánica (F-AcOEt), usando el mismo lote de vainas a las del presente estudio. Los compuestos químicos específicos dentro de tal fracción fueron: ácido gálico, etil galato, naringina y naringenina⁽¹⁵⁾. El rendimiento de la F-AcOEt fue del 3.75 % lo que equivalió a 562, 1,125 y 1,687 mg de F-AcOEt en T1, T2 y T3; respectivamente.

Evaluación de la respuesta productiva

Después de los 10 días de adaptación a las corraletas y alimentación individual, los animales se pesaron durante tres días consecutivos (previo ayuno) para conocer el peso vivo inicial (PVI), posteriormente se pesaron al día 21 (fase de crecimiento) y día 70 (periodo de finalización). Durante toda la fase experimental se registró el consumo de materia seca, ganancia de peso total, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y eficiencia alimenticia.

Variables *post mortem*

Al día 70 del periodo experimental los animales se trasladaron a un rastro particular del municipio de Capulhuac, Estado de México, para sacrificarlos de acuerdo a la NOM-033-SAG/ZOO-2014 y Colomer-Rocher *et al*⁽²¹⁾. Se registró el peso vivo (PV) de los animales a la salida de la granja y llegada al rastro, para estimar el rendimiento en granja (rendimiento en granja, % = (PV llegada en rastro, kg/PV salida a granja, kg)*100. Doce (12) horas después de la llegada al rastro se sacrificaron, registrando previamente el PV,

para determinar el rendimiento comercial (%)= (canal caliente, kg/PV al sacrificio, kg)*100

Vísceras y subproductos

Una vez sacrificado el animal, se registró peso de la sangre, piel, cabeza y patas, vísceras rojas (corazón, hígado, pulmones y tráquea) y vísceras verdes vacías (rumen, retículo, omaso y abomaso, intestinos grueso y delgado). También se registró el peso de algunos órganos del sistema reproductor (testículos y pene), así como el peso de la grasa interna total de la cavidad torácica y abdominal.

Características y calidad de la canal

A los 45 min *post mortem* se registró el peso de la canal caliente (báscula digital portátil, Rhino), pH y temperatura (potenciómetro marca Hanna) del músculo *Longissimus thoracis* entre 12.^a y 13.^a costilla⁽²²⁾. Después la canal se llevó a la cámara fría (4 °C) y a las 24 h se registró el peso de la canal fría, pH y temperatura. Se midió el color del músculo *Pectoralis profundus* y color de la grasa superficial del músculo *Gluteus medius*, dicha variable fue evaluada por el sistema L* (luminosidad), a* (rojizo) y b* (amarillento)⁽²³⁾ con un colorímetro Minolta (Chroma Metro CR-200, Minolta Camara C., Osaka, Japón)⁽²²⁾. También se midieron los grados GR, que indica la profundidad total del tejido (mm) entre la superficie de la canal y la costilla, sobre la región de la 12.^a costilla y en un punto de 11 cm de la línea media; este indicador estima la grasa subcutánea: escasa o nula cobertura de grasa (GR de 0 a 4 mm), moderada cobertura de grasa (GR de 5 a 9 mm), abundante cobertura de grasa (GR de 10 a 15 mm), excesiva cobertura de grasa (GR >15 mm)⁽²⁴⁾. Entre la 12.^a y 13.^a costilla, se determinó el área del músculo *Longissimus thoracis*; el área bajo la chuleta, se midió en la 12.^a costilla mediante el uso de una rejilla de plástico o trazando el ojo en papel acetato y a continuación, utilizando una cuadrícula (GRID-USDA) para determinar el área en centímetros⁽²⁵⁾.

Características morfométricas y cortes primarios de la canal

Utilizando la metodología de Cañeque *et al*⁽²²⁾ y Colomer-Rocher *et al*⁽²¹⁾ se midió (cinta métrica) la longitud de la canal, perímetro de la grupa, largo y perímetro de las piernas, ancho mayor y menor del tórax (compás métrico). Se fraccionó la canal completa para registrar peso (báscula digital marca Torrey con precisión de 0.05 g) de piezas comerciales: piernas, cuello, espaldilla, rack, costillar y lomo⁽²⁶⁾.

Pérdida de agua, fuerza de corte y color de la carne

Para el análisis de calidad de la carne, se tomaron 350 g de carne del músculo *Longissimus thoracis* desde la 6.^a hasta la 3.^a costilla de la canal fría. La muestra se depositó en una hielera para transportarla a laboratorio de calidad de la carne del Centro Universitario

UAEM Temascaltepec, misma que se utilizó para determinar las variables: pérdida de agua por goteo, fuerza de corte y color de la carne (24, 48 y 72 h). Para determinar la pérdida de agua por goteo, se utilizó la técnica de Honikel⁽²⁷⁾. Se tomaron dos muestras libres de grasa de 50 g cada una con un espesor de 1.5 cm. A cada muestra se les colocó un anzuelo y fueron introducidas en una bolsa hermética, de tal manera que la carne quedara suspendida dentro de la bolsa. De esta forma todas las muestras se colgaron dentro de un refrigerador a 4 °C. Se registraron pesos a las 24, 48 y 72 h posteriores (báscula analítica, Ohaus ± 0.05 g). La pérdida de agua por goteo se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de agua por goteo (\%)} = \frac{\text{Peso final de la muestra (g)}}{\text{Peso inicial de la muestra (g)}} \times 100$$

En fuerza de corte de la carne se usó la metodología de Bratzler⁽²⁸⁾. Muestras de 4 cm largo x 4 cm de ancho y de 2.5 cm de grosor; estas muestras previamente fueron empacadas al vacío y puestas en refrigeración a 4 °C durante tres días, con la finalidad de alcanzar el 80 % de ablandamiento. Después de ese periodo a las muestras se le retiró el empaque al vacío y se colocaron en una bolsa de plástico, se sellaron y sometidas a cocción a baño maría (70-75 °C) durante hora y media; al final se les registró la temperatura interna, se dejó enfriar (30 min en agua limpia), y se determinó la fuerza de corte (kg) paralelo a las fibras musculares, con la ayuda un texturómetro (TAXT2, Stable Microsystems Corp, NY, EE. UU.) equipado con Cuchillas de cizalla, WarnerBrazler a una velocidad de 50 mm/min.

El color de la carne se realizó con un colorímetro Minolta serie CR-20 Konica Minolta, Osaka Japón, utilizando la metodología de CIE⁽²⁹⁾. Donde el color es medido por el sistema Hunter: valores altos de L* valores altos se asocian colores pálidos: 0 (negro), 100 (blanco); a*, valores altos determinan una mayor intensidad de color rojo: a*>0 (rojo), a*<0 (verde); b* valores altos se asocia una tonalidad más amarillenta de la carne: b*>0 (amarillo), b*<0 (azul). Estas mediciones se realizaron durante las 24 h *post mortem*, utilizando una muestra de 4 x 4 cm, con 2.5 cm de grosor. Esa misma muestra fue refrigerada a 4 °C para las determinaciones a las 48 y 72 h. Las lecturas se realizaron en tres sitios de la muestra libres de exceso de grasa intramuscular y manchas de sangre.

Diseño experimental y análisis de resultados

Los resultados obtenidos fueron sujetos a un análisis de varianza usando el procedimiento GLM del SAS⁽³⁰⁾, bajo un diseño de bloques completos al azar, tomando como factor de bloqueo el peso vivo inicial (PVI) de los animales, mismo que se utilizó como covariable en los análisis estadísticos. La comparación de medias entre tratamientos se determinó con la prueba de Tukey, se declararon diferencias significativas cuando $P \leq 0.05$ y tendencias cuando $0.05 < P \leq 0.1$.

Resultados

Respuesta productiva

El consumo de materia seca no fue afectado ($P \geq 0.05$) por la adición de los diferentes niveles de frutos secos triturados de *A. farnesiana* (FSTAf) en ambos periodos de evaluación. Durante el periodo de crecimiento de los animales el FSTAf, aumentó ($P \leq 0.05$) la GDP, GTP y PVF, mientras que la EA tendió ($P = 0.1$) a mejorarse (Cuadro 3). Durante la etapa de finalización no se encontraron diferencias significativas o tendencias ($P > 0.1$) entre tratamientos.

Cuadro 3: Comportamiento productivo de ovinos durante el crecimiento y finalización recibiendo diferentes niveles de frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*

Etapa/Variable	Tratamientos				EEM	Valor de P	
	Testigo	T1	T2	T3			
Crecimiento	PVI, kg	22.87	22.94	22.79	22.76		
	PVF, kg	28.36 ^b	29.95 ^{ab}	29.83 ^{ab}	30.43 ^a	0.44	0.02
	CMS, kg/día	1.50	1.53	1.49	1.62	0.17	0.45
	GDP, kg/día	0.26 ^b	0.33 ^{ab}	0.33 ^{ab}	0.36 ^a	0.05	0.02
	GTP, kg	5.52 ^b	7.10 ^{ab}	6.99 ^{ab}	7.59 ^a	1.25	0.02
	EA, kg	0.17 ^b	0.22 ^a	0.22 ^a	0.22 ^a	0.04	0.10
Finalización	PVI, kg	28.05	29.28	29.65	30.91		
	PVF, kg	45.69	45.70	46.88	46.23	2.79	0.81
	CMS, kg/día	1.52	1.50	1.50	1.63	0.17	0.52
	GDP, kg/día	0.33	0.33	0.35	0.34	0.05	0.82
	GTP, kg	16.29	16.28	17.45	16.82	2.78	0.82
	EA, kg	0.21	0.21	0.23	0.21	0.30	0.06

[¥] Tratamientos: Testigo: 0.0, T1: 1.5, T2: 3.0 y T3: 4.5 como % de inclusión (BS) de la dieta PVI= peso vivo inicial, PVF= peso vivo final, CMS= consumo de materia seca, GDP= ganancia diaria de peso, GTP= ganancia total de peso, EA= eficiencia alimenticia. EEM= error estándar de la media.

^{ab} Diferente literal en el mismo renglón indica diferencias ($P \leq 0.05$).

Características de la canal, cortes primarios y peso de las vísceras

Las características de la canal (Cuadro 4) y morfometría (Cuadro 5) no fueron afectadas ($P > 0.05$) por la adición de FSTAf. En los cortes primarios comerciales (Cuadro 6), el T3 tendió a mejorar ($P = 0.09$) el peso del cuello. La adición FSTAf al nivel de 1.5 % mejoró ($P \leq 0.01$) el peso del lomo. En los componentes no cárnicos no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en los tratamientos evaluados.

Cuadro 4: Características de la canal de ovinos finalizados en corral adicionadas con diferentes niveles de frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*

Variable	Tratamientos				EEM	Valor de P
	‡Testigo	T1	T2	T3		
RG, %	46.63	48.35	48.37	48.50	2.03	0.24
RC, %	50.93	52.70	52.87	52.81	1.95	0.17
L* canal	38.72	39.22	40.17	41.52	2.90	0.26
a* canal	10.45	12.43	10.42	10.20	2.03	0.13
b* canal	8.15	9.94	6.02	7.24	2.90	0.09
L* grasa	70.92	69.62	69.62	70.65	3.05	0.75
a* grasa	1.72	1.68	2.18	2.20	0.82	0.45
b* grasa	10.39	10.67	10.97	11.03	1.25	0.73
pH45	6.61	6.62	6.60	6.49	0.17	0.44
pH24	5.83	5.66	5.65	5.80	0.21	0.26
T°45	28.34	29.18	28.82	29.60	1.48	0.39
T°24	1.72	2.43	2.06	2.31	1.03	0.54
Grasa dorsal, mm	2.43	2.79	3.26	2.92	0.88	0.34
Grados GR	10.94	12.06	12.75	12.48	2.89	0.62
AOCh, cm ²	21.9	23.7	23.0	22.7	2.71	0.64

‡ Tratamientos: Testigo: 0.0, T1: 1.5, T2: 3.0 y T3: 4.5 como % de inclusión (BS) de la dieta, RG= rendimiento de la granja, RC= rendimiento comercial, AOCh= área del ojo de la chuleta.

Cuadro 5: Morfometría de canales de ovinos finalizados en corral adicionadas con diferentes niveles de frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*

Variables	Tratamientos				EEM	Valor de P
	‡Testigo	T1	T2	T3		
PCC, kg	21.75	23.11	23.29	23.29	1.65	0.22
PCF, kg	21.19	22.44	22.65	22.61	1.67	0.27
LC, cm	66.27	65.07	66.52	66.69	2.01	0.39
LP, cm	35.56	34.58	36.23	34.89	1.81	0.30
DP, cm	41.14	41.49	43.33	42.33	1.97	0.16
PG, cm	61.62	62.18	63.18	59.49	5.12	0.54
AG, cm	21.34	22.05	21.85	22.00	1.04	0.52
AMT, cm	23.47	24.45	23.59	24.51	1.73	0.50
ANT, cm	19.23	19.67	19.54	19.53	0.91	0.80

‡ Tratamientos: Testigo: 0.0, T1: 1.5, T2: 3.0 y T3: 4.5 como % de inclusión (BS) de la dieta. EEM= error estándar de la media. PCC= peso de la canal caliente, PCF= Peso de la canal fría, LC= largo de la canal, LP= largo de la pierna, DP= diámetro de la pierna, PG= perímetro de la grupa, AG= ancho de la grupa, AMT= ancho mayor del tórax y ANT= ancho menor del tórax.

Cuadro 6: Peso de los cortes primarios (kg) de corderos adicionadas con diferentes niveles de frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*

Variable (kg)	Tratamientos				EEM	Valor de P
	Testigo	T1	T2	T3		
Piernas	6.74	7.09	6.65	7.18	1.14	0.75
Cuello	1.01 ^b	0.98 ^b	1.02 ^b	1.3 ^a	0.18	0.09
Espaldilla	6.07	6.44	7.01	6.91	1.24	0.43
Rack	1.98	2.11	2.12	2.12	0.33	0.82
Costillas	3.51	3.34	3.29	3.26	0.50	0.75
Lomo	1.88 ^b	2.32 ^a	2.17 ^{ab}	2.16 ^{ab}	0.25	0.01

Testigo: 0.0, T1: 1.5, T2: 3.0 y T3: 4.5 como % de inclusión (BS) de la dieta. EEM= error estándar de la media.

^{ab} Diferente literal en el mismo renglón indica diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

Calidad de la carne

En las variables de la calidad de la carne (Cuadro 7) se observaron diferencias ($P < 0.05$) sobre la pérdida de agua por goteo a las 24 y 72 h, resultando con una menor pérdida de agua T1 con 6.76 %, mientras que T2 presentó el mayor escurrimiento con 8.99 % a las 72 h. La fuerza de corte también mostró diferencias significativas ($P < 0.05$), donde el grupo testigo obtuvo una menor fuerza de corte en comparación de los demás tratamientos.

Cuadro 7: Parámetros de calidad de la carne de ovinos finalizados en corral adicionadas con diferentes niveles de frutos secos triturados de *Acacia farnesiana*

Variable/Trat	Hora	Tratamientos				EEM	Valor de P
		Testigo	T1	T2	T3		
L* carne	H0	29.45	28.93	28.29	28.00	2.42	0.64
a* carne		8.45	8.03	8.29	7.68	1.20	0.60
b* carne		9.04	8.70	8.80	8.36	1.19	0.72
L* carne	H24	33.22	32.69	32.6	31.134	2.87	0.51
a* carne		8.35	9.06	9.13	8.80	1.59	0.75
b* carne		10.90	11.10	10.20	9.80	2.38	0.67
L* carne	H48	32.83	32.96	32.45	32.15	2.35	0.90
a* carne		9.61	10.26	10.67	10.31	1.27	0.42
b* carne		11.27	11.59	12.17	11.71	1.54	0.71
L* carne	H72	32.03	32.30	30.93	31.33	1.88	0.48
a* carne		9.61	10.26	10.67	10.31	1.01	0.13
b* carne		12.56	12.49	13.17	12.36	1.38	0.66
PAG (%)	H24	2.19 ^{ab}	2.34 ^{ab}	3.28 ^a	1.75 ^b	0.911	0.02
	H48	4.71	4.39	5.55	3.88	1.38	0.14
	H72	7.95 ^{ab}	6.76 ^b	8.99 ^a	7.61 ^{ab}	1.19	0.01

FC (kg)	3.07 ^b	3.60 ^{ab}	4.79 ^a	3.74 ^{ab}	0.93	0.01
---------	-------------------	--------------------	-------------------	--------------------	------	------

[‡] Tratamientos: Testigo: 0.0, T1: 1.5, T2: 3.0 y T3: 4.5 como % de inclusión (BS) de la dieta. EEM= error estándar de la media, PAG= pérdida de agua por goteo, FC= fuerza de corte.

^{ab} Diferente literal en el mismo renglón indica diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

Discusión

Comportamiento productivo

Consumo de materia seca (CMS). El CMS es uno de los parámetros más críticos cuando se utilizan ingredientes ricos en compuestos fenólicos (taninos condensados, taninos hidrolizables y flavonoides) como parte de la dieta de los animales. Estudios previos realizados por este grupo de investigación a las mismas muestras de los FSTAf se encontró que contienen compuestos fenólicos como galato de etilo, galato de metilo, ácido gálico, naringina y naringenina^(14,15). Estos compuestos podrían estar interactuando en el metabolismo de los nutrientes de la dieta y modificar la respuesta productiva de los animales; esto coincide con otros estudios donde se ha reportado que los fenoles totales de los frutos de *A. farnesiana* pueden estar en el orden de 397.5 g/kg de materia seca⁽³¹⁾. En general los compuestos fenólicos presentan diferentes efectos bioactivos al ser consumidos por los animales, por ejemplo, los flavonoides como la naringina y naringenina que se encontraron en las misma vainas secas de *A. farnesiana* que se utilizaron en el presente estudio y la de estudios previos^(14,15), podrían incrementar la digestión de los carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) de las paredes de la célula vegetal, y también podrían modificar la síntesis de proteína microbiana favoreciendo las especies celulolíticas e inhibiendo la metanogénicas⁽³²⁾. Biológicamente, esto se puede explicar a que los compuestos fenólicos como los flavonoides y los taninos condensados por su peso molecular, pueden formar complejos con las proteínas y carbohidratos dietarios, a través de cuatro reacciones químicas: a) puentes de hidrogeno entre los radicales hidroxilos de los grupos fenólicos y el oxígeno de los grupos amida de los enlaces peptídicos de las proteínas, mismos que pueden ser reversibles dependiendo del pH del medio, b) interacciones hidrofóbicas entre el anillo aromático de los compuestos fenólicos y las regiones hidrofóbicas de la proteína, c) enlaces iónicos entre el ion fenolato del ácido gálico y el sitio catiónico de la proteína; este tipo de complejos son exclusivos de los taninos hidrolizables y son reversibles⁽³³⁾. El ácido gálico encontrado en las FSTAf, es parte de la estructura química de los taninos hidrolizables y podría formar complejos con las proteínas dietéticas modificando el sitio de digestión y absorción de nutrientes, y finalmente, d) al oxidarse los polifenoles a quinonas, éstas pueden formar complejos con las proteínas dietéticas mediante enlaces covalentes; este tipo de complejos son reversibles⁽³³⁾. Si se considera que el nivel de inclusión más alto de los FSTAf del presente estudio fue de 45 g/kg MS y el 39.7 % de dicha cantidad son fenoles totales, se estima que la dieta solo tuvo 17.86 g de compuestos bioactivos, concentración que podría tener un efecto sinérgico con el metabolismo de los nutrientes de la dieta. Adicionalmente en el presente estudio la adición de FSTAf no mostró diferencias entre tratamientos para el consumo de materia seca en ambas etapas

productivas (Cuadro 2) lo que podría estar relacionado con los niveles de inclusión en la dieta de los compuestos bioactivos que se utilizaron al estar por debajo de los 50 g/ kg de MS, concentración que se ha considerado benéfica al no presentar efecto negativo en el consumo voluntario de los animales. Ingestas mayores a dicha cantidad pueden afectar negativamente el consumo de materia seca y por consecuencia la respuesta productiva de los animales⁽³³⁾. Existen investigaciones donde tampoco se ha reportado efecto negativo de la inclusión de *A. farnesiana* en la dieta cuando se usaron de 120 a 240 g/kg de MS, por el contrario cuando la inclusión fue de 300 g/kg de MS, se aumentó el consumo en ovinos^(7,34). Es importante considerar que en este tipo de estudios se debe determinar los compuestos bioactivos específicos que se encuentran en la MS de las plantas, porque dependiendo de la naturaleza química y concentración de cada uno de ellos será la respuesta biológica en los animales. En este sentido Quiroz-Cardoso *et al*⁽⁹⁾ mencionan que los taninos condensados en frutos de *A. farnesiana* no influye sobre el consumo ni el índice de palatabilidad, pero la cantidad de fenoles totales sí afecta este parámetro. La concentración de compuestos secundarios en *A. farnesiana* puede ser variable y depende del estado de madurez de los frutos, condiciones edafológicas y ambientales en que éstas se desarrollan, naturaleza morfológica y química del tipo de compuesto^(9,10,35). Por lo tanto, para futuras investigaciones se debería considerar el estado de madurez de los frutos y la cuantificación de los compuestos bioactivos específicos.

Ganancia de peso. Tanto la ganancia diaria de peso (GDP) como ganancia total de peso (GTP) en la etapa de crecimiento, fueron afectados positivamente por los tratamientos con inclusión de FSTAf, mismos que fueron reflejados en el peso vivo final (PVF) de los animales. La GDP encontrados en este estudio fueron de 260, 330, 330, 360 g/día para el periodo de crecimiento y 330, 330, 350, 340 g/día en la etapa de finalización para Testigo, T1, T2, T3 respectivamente. El incremento de las variables productivas, durante la etapa de crecimiento se podría atribuir a que los animales consumieron una dieta más alta en proteína, y si se considera que los compuestos fenólicos (galato de etilo, galato de metilo, ácido gálico, naringina y naringenina) presentes en los FSTAf son compuestos químicos de alto peso molecular⁽⁴⁾, de estructura química compleja con una gran cantidad de grupos hidroxilos, mismos que pueden formar complejos⁽³⁶⁾ con las proteínas aminoácidos y polisacáridos de reserva y estructurales de la dieta⁽⁶⁾, los cuales a pH neutros son insolubles, que al pasar al abomaso por efecto del pH ácido^(37,38), se disocian aumentando el pool de proteína metabolizable a duodeno, por lo tanto se incrementa la disponibilidad de aminoácidos para la síntesis proteína muscular, que se traduce en una mayor ganancia de peso, como sucedió en los animales que recibieron FSTAf de la presente investigación.

Un mecanismo más puede ser la alteración que estos generan sobre las poblaciones bacterianas del rumen, ya que pueden inhibir el crecimiento de protozoarios y bacterias fibrolíticas, a su vez estimular la proliferación de bacterias amilolíticas tales como, *Succinimonas amylolytica* y *Selenomonas ruminantium* productoras de propionato⁽³⁹⁾. Además, las adiciones de saponinas de algunas especies mejoran la eficiencia de síntesis de proteína microbiana conduciendo a un proceso de fermentación energéticamente de mayor eficiencia⁽³⁹⁾. En este contexto, futuros estudios sobre parámetros de fermentación

ruminal, conteo de bacterias y metabolitos secundarios en rumen serán considerados. En muchas regiones tropicales y subtropicales de México y del mundo se encuentran diversos árboles y arbustos ricos en estos compuestos bioactivos, que podrían ser utilizados como estrategia nutraceútica para la mejora de productividad animal de las zonas rurales del mundo, donde el uso de alimentos concentrados proteicos o energéticos son poco disponibles. Existen otros estudios que ha incluido forrajes de árboles y arbustos en la alimentación animal, de manera particular cuando *Guazuma ulmifolia*⁽⁴⁰⁾ fue incluida existió una mejora en la ganancia de peso, lo mismo sucedió en la investigación de García-Winder *et al*⁽⁷⁾ cuando incluyó 12 % de frutos de *A. farnesiana* en la dieta de corderas Pelibuey en crecimiento.

Características de la canal, cortes primarios y peso de las vísceras

La calidad de la canal es uno de los parámetros de mayor importancia a evaluar en los procesos de producción y comercialización de ovinos, ya que determina en gran medida el precio de venta.

Color de la canal. En el presente estudio el color de la canal resultó similar a lo reportado por Jaborek *et al*⁽⁴¹⁾ para L* con 40.91; en este sentido los valores de L* se ven afectados por la concentración de mioglobina, misma que varía con la edad de los animales⁽⁴¹⁾, por el contrario, los valores de a* y b* difieren con lo reportado por Jaborek *et al*⁽⁴¹⁾. Esta variación en los resultados encontrados en este estudio y estudios previos se debe posiblemente a la edad de los animales y el tipo de alimentación⁽²⁶⁾.

Color de la grasa. El color de la grasa en este estudio no mostró diferencias significativas entre tratamientos con respecto al testigo; los valores encontrados para L* coinciden con lo reportado en otros estudios⁽⁴¹⁾, mientras que los valores de a* de los mismos autores (8.63) fueron mayores a los encontrados en este estudio, efecto atribuido al tipo y nivel de energía en la dieta, edad y sexo de los animales evaluados; aunque también mencionan que el manejo durante el sacrificio puede ser importante. Respecto a los valores de b*, los encontrados en el presente estudio fueron ligeramente mayor a los de Jaborek *et al*⁽⁴¹⁾; este color amarillento podría atribuirse a los carotenoides y xantofilas presentes de manera común en todos forrajes verdes que provocan color amarillento en la grasa, dichos compuestos pudieron estar presentes en las FSTAf que se utilizaron en el presente estudio.

PH. Los valores de pH (5.65-5.83) de la canal obtenidos en este estudio a las 24 h para todos los tratamientos, fueron similares a los reportados por otras investigaciones⁽⁴¹⁾ para ovinos de cruce Dorset x Hampshire. Mientras que resultaron ligeramente superiores a los observados por Partida de la Peña *et al*⁽²⁴⁾, quienes reportaron valores de pH promedio de 5.5 a las 24 h del sacrificio. La variación en este parámetro depende de diferentes factores como el manejo de los animales al momento del sacrificio, así como, la edad de los animales⁽⁴²⁻⁴⁴⁾. Del mismo modo, algunos autores han reportado variación debido al tipo de dieta, ya que canales provenientes de animales finalizados con dietas altas en

grano pueden presentar valores más altos en comparación con animales que su dieta estuvo basada en forraje⁽⁴¹⁾.

Grasa dorsal. La cobertura de grasa en la canal es el principal factor que determina su valor comercial, ya que evita la desecación de la canal, influye sobre la terneza y jugosidad de la carne, así como en el caso de ovinos interfiere en el aroma y sabor de la carne⁽²⁶⁾. La grasa dorsal obtenida en este experimento fue baja (2.43, 2.79, 3.26, 2.92 mm, respectivamente) en comparación con lo reportado en otra investigación⁽⁴⁵⁾, donde obtuvieron 6.33 mm. Esta característica es debida al peso de salida de los animales, lo que indica que se puede incrementar los pesos al sacrificio⁽⁴⁵⁾. En este sentido, la norma mexicana para la clasificación de las canales permite hasta 6.9 mm de cobertura de grasa subcutánea en corderos pesados para poder ser considerado en la clasificación “MEX EXT”.

Grados GR. El espesor de la grasa subcutánea dorsal es un parámetro objetivo altamente correlacionado con la mayoría de los tejidos tisulares de la canal, principalmente las tres piezas de mayor valor comercial⁽²⁶⁾. En este sentido, las mediciones del punto GR es otra alternativa que se relaciona con la cantidad de grasa en toda la canal, y que además se facilita su implementación sin interferir en la línea de sacrificio de los animales⁽⁴⁶⁾. En este estudio no se encontraron diferencias ($P>0.05$) para esta variable debido al efecto de los tratamientos (10.94, 12.06, 12.75, 12.48) para T0, T1, T2, T3, respectivamente, estos resultados se encuentran dentro de los rangos propuestos por Bianchi⁽⁴⁷⁾ para canales con peso de 18.5 a 22 kg.

Área del ojo de la chuleta. El músculo *Longissimus dorsi* es una variable importante para determinar la calidad de la canal, ya que está altamente correlacionado con la cantidad total de músculo de la misma, y corresponde con el rack y el lomo, que son las piezas de mayor valor económico⁽⁴⁵⁾. En este estudio a pesar de que no se encontraron diferencias ($P>0.05$), se observa un aumento en los tratamientos en comparación con el testigo (Cuadro 4). Asimismo, los valores encontrados en el presente estudio para este parámetro son mayores a los reportados en un trabajo con ovinos de raza Katahdin (17.4 cm²), así como a los datos promedio que reporta Partida de la Peña *et al*⁽²⁴⁾ para ovinos finalizados de forma intensiva, esto debido al genotipo de los animales estudiados.

Rendimientos de la canal. Los rendimientos encontrados en este estudio concuerdan en gran medida con Partida de la Peña *et al*⁽²⁴⁾ quienes reportaron un promedio del 50.9 % de rendimientos de la canal para ovinos finalizados en sistemas intensivos, lo que coincide con lo encontrado en este estudio para el T0, los rendimientos de T1, T2 y T3 fueron superiores a lo reportado por estos autores.

Cortes primarios. El rendimiento de los cortes primarios es un factor importante para la comercialización de la carne de ovinos cuando de cortes se trata, ya que cada uno de ellos recibe un valor diferente. En este estudio los pesos de los cortes primarios fueron similares ($P>0.05$) para piernas, cuello, espaldilla, rack y costillas (Cuadro 6), lo que coincide con

lo reportado en ovinos Pelibuey alimentados con garbanzo de desecho⁽⁴⁸⁾ y en ovinos de pelo alimentados con diversas proporciones de *Tithonia diversifolia*⁽⁴⁹⁾. Sin embargo, en el peso del lomo se observaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) (Cuadro 6). El peso y el rendimiento de los cortes primarios se asocia con el peso al sacrificio y el sistema de alimentación⁽⁴⁹⁾.

Morfometría. Las mediciones correspondientes a este rubro concuerdan con lo reportado por otros autores⁽⁴⁵⁾ para canales de cruce de Katahdin-Charollais y con Partida de la Peña *et al*⁽²⁴⁾ en canales de ovinos finalizados de forma intensiva. En este sentido estas variables no se vieron afectadas por los niveles de inclusión de vainas de *A. farnesiana*, ya que éstas dependen en gran medida de la raza y edad de los animales⁽²⁴⁾.

Visceras. Se cree que la carga de trabajo por la absorción más que la cantidad o las características de la digesta en el intestino delgado, tiene un impacto importante en la masa intestinal, así como el peso, la textura o la composición química de la digesta afectan la masa del tracto gastrointestinal⁽⁵⁰⁾. En este estudio no se vio afectado el peso de las diferentes componentes del tracto digestivo, lo que concuerda con diferentes estudios que incluyeron suplementación con frutos de leguminosas^(42,51). El peso de los diferentes órganos (corazón, hígado, pulmones), no se afectó por la inclusión de harina de frutos de *A. farnesiana*, lo que nos indica que es un suplemento apto para el consumo de los animales. El peso de la grasa total resultó elevado, esto debido a que se utilizaron dietas isoenergéticas e isoproteicas, lo que resultó en la acumulación de grasa en los riñones y pericardio⁽⁵²⁾.

Calidad de la carne

Color de la carne. En este estudio no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en los valores de L^* , a^* y b^* por los tratamientos que contenían frutos de *A. farnesiana*. Sin embargo, los valores de color L^* fueron menores a los reportados por Smeti *et al*⁽⁵³⁾, los valores de a^* por debajo de los patrones mencionado por Alberti *et al*⁽⁵⁴⁾ y b^* estuvieron dentro de los estándares⁽²⁹⁾ de los patrones de la norma UNE 48-103-94, donde señalan que los umbrales del color de la carne rosada L^* 44.0- 51.6, a^* 11.6-15.1, b^* 9.8-17.6, y carne DFD (oscura – firme – seca, por sus siglas en inglés) L^* 25.1-32.8, a^* 17.0-21.3, b^* 7.2-16.9. Estos cambios de color después del corte (hora 0) irá variando al entrar en contacto con el oxígeno y alcanzará sus valores máximos a los 48 h⁽⁵⁴⁾. Otros autores, señalan que el estándar aceptable para el color de la carne de cordero equivalentes a un valor L^* 34-35 y $a^* < 19$; estos umbrales de color indican que la carne de cordero con un valor cromático L entre 34 y 35 (que muestra luminosidad) y un valor de enrojecimiento (a) inferior a 19 (que indica menor enrojecimiento) sería aceptable⁽⁵⁵⁾. Sin embargo, estos criterios pueden diferir según la calificación de estándares regionales y preferencias de los consumidores^(56,57). Este comportamiento coincide con lo reportado por Luciano *et al*⁽⁵⁸⁾ para b^* , si bien no se registraron el pH de la carne, pero el pH de la canal a las 24 h fue > 5.6 , posiblemente fue debido al estrés por el transporte y manejo al *pre mortem* de los ovinos que afectó el pH y como consecuencia carne DFD⁽⁵⁹⁾. Por su parte otros

autores⁽⁵³⁾ reportaron comportamiento similar para los valores de a^* al noveno día de maduración. Con el tiempo de almacenamiento los valores de b^* se correlacionan positivamente con la apreciación sensorial de la degradación de la carne mientras que a^* se correlaciona negativamente con la degradación sensorial de color⁽⁵⁸⁾. Estos cambios de color en las carnes, puede ser afectado por los procesos oxidativos de la mioglobina en contacto con el oxígeno (la cantidad de mioglobina en el musculo determina la saturación del color: mioglobina color rojo purpura, oximioglobina de color rojo vivo, metaglobiolina de color pardo)⁽⁶⁰⁾. El color de la grasa será el depósito de pigmentos procedente del alimento (xantofilas, carotenos, etc)⁽⁵⁴⁾.

Pérdida de agua por goteo. De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación donde el nivel más bajo de inclusión de FSTAf presentó los valores más bajos de pérdida agua por goteo (hora 72), si se considera que el agua en la carne se puede encontrar ligada inmovilizada y libre, y la distribución de su electrones no son neutras, sino que tienen un final cargado positivo y otro negativo, lo que significa que pueden asociarse con grupos reactivos de diversos compuestos químicos como las proteínas y compuestos fenólicos de *A. farnesiana*, debido a su estructura química compleja y la gran cantidad de grupos hidroxilos libres pueden formar complejos con el agua a nivel tisular y aumentar la capacidad de retención de agua del músculo⁽³⁶⁾.

Fuerza de corte. La textura es una variedad de sensaciones relacionadas con la masticación, el corte y la penetración de la carne y es el parámetro más respetado por los consumidores⁽⁶¹⁾. Las diferencias encontradas en este estudio, muestran tendencia a aumentar la fuerza de corte conforme se incrementó los niveles de inclusión de frutos de *A. farnesiana*. Al aumentar la fuerza de corte en los tratamientos donde se incluyeron FSTAf, se puede hipotetizar que disminuyó la grasa intramuscular, ya que ésta le confiere la ternura a la carne; estos hallazgos son buenos desde el punto de vista carnes magras. Si se considera que uno de los factores más importantes que influye la calidad de la carne es el proceso oxidativo, el cual se disminuye cuando la carne presenta menos grasa, aumentando la vida de anaquel, lo cual se ha reportado que es posible al incluir en la alimentación de los animales fitoquímicos antioxidantes⁽⁶²⁾. Otras investigaciones apoyan esta justificación científica al mencionar que los compuestos fenólicos en la dieta han propuesto que pueden ser efectivos para mejorar el estado antioxidante de la carne, contribuyendo a la estabilización del color y el sabor, así como, la prevención de la rancidez^(6,63).

Conclusiones e implicaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, FSTAf pueden ser incluidos en las dietas para ovinos en crecimiento y finalización, debido a que no se encontró efecto adverso sobre el consumo de materia seca, puede mejorar la ganancia de peso en la etapa de crecimiento, así como aumentar el peso de cortes de alto valor comercial como el lomo. El uso de los frutos de esta especie arbustiva representa una opción potencial como un

alimento para mejorar la producción de rumiantes y reducir el uso de insumos alimenticios externos a la unidad de producción.

Conflicto de intereses

Los autores del presente trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Financiamiento

Este trabajo contó con financiamiento por la Universidad Autónoma del Estado de México bajo el proyecto UAEM 4585/2018/CIP. El primer autor recibió beca escolar por CONAHCyT México con número de referencia 577419.

Agradecimientos

El presente estudio forma parte del trabajo de tesis del M.C Miguel Ángel Zarza-Albarrán para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (Universidad Autónoma del Estado de México), bajo la dirección del Dr. Rolando Rojo-Rubio, Dr. Agustín Olmedo-Juárez y Dr. Jaime Mondragón Ancelmo.

Literatura citada:

1. Chetroui R. Results and potential in the economic efficiency of breeding young sheep for meat. *Scientific Papers: Management, Economic Engineering in Agr Rural Develop* 2020;20(2):127-132.
2. Vasta V, Luciano G. The effects of dietary consumption of plants secondary compounds on small ruminants' products quality. *Small Ruminant Res* 2011;101:150-159.
3. Haile A, Tolemariam T. The feed values of indigenous multipurpose trees for sheep in Ethiopia: The case of *Vernonia amygdalina*, *Buddleja polystachya* and *Maesa lanceolata*. *Livestock Res Rural Develop* 2008;20(3):1-7.
4. Vélez-Terranova, M, Campos-Gaona R, Sánchez-Guerrero, H. Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Trop Subtrop Agroecosist* 2014;17:489-499.
5. Oh J, Wall EH, Bravo DM, Hristov AN. Host-mediated effects of phytonutrients in ruminants: A review. *J Dairy Sci* 2017;100(7):5974-5983.
6. Mendel M, Chłopecka M, Dziekan N, Karlik W. Phytogetic feed additives as potential gut contractility modifiers a review. *Anim Feed Sci Technol* 2017;230:30-46; <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.05.008>.

7. García-Winder LR, Goñi-Cedeño S, Olguín-Lara PA, Díaz-Salgado G, Arriaga-Jordán CM. Huizache (*Acacia farnesiana*) whole pods (flesh and seeds) as an alternative feed for sheep in Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2009;41(8):1615-21.
8. Degen AA, El-Meccawi S, Kam M. Cafeteria trials to determine relative preference of six desert trees and shrubs by sheep and goats. *Livestock Sci* 2010;132(1-3):19-25.
9. Quiroz-Cardoso F, Rojas-Hernández S, Olivares-Pérez J, Hernández-Castro E, Jiménez-Guillén R, Córdova-Izquierdo A, Villa-Mancera A, *et al.* Composición nutricional, consumo e índices de palatabilidad relativa de los frutos de tres acacias en la alimentación de ovejas y cabras. *Arch Med Vet* 2015;47(1):33-38.
10. Barrientos-Ramírez L, Vargas-Radillo JJ, Rodríguez-Rivas A, Ochoa-Ruíz HG, Navarro-Arzate F, Zorrilla J. Evaluación de las características del fruto de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) para su posible uso en curtiduría o alimentación animal. *Madera y Bosques* 2012;18(3).
11. Cuchillo HM, Puga DC, Wrage-Mönning N, Espinosa MJG, Montaña BS, Navarro-Ocaña A, *et al.* Chemical composition, antioxidant activity and bioactive compounds of vegetation species by goats on semiarid rangelands. *J Anim Feed Sci* 2013;22:106–115.
12. Sosa-Pérez G, López-Ortiz S, Pérez-Hernández P, Cortez-Romero C, Gallegos-Sánchez J. Uso de frutos tropicales (Fabaceae) para complemento alimenticio de pequeños rumiantes. *Agroproductividad* 2017;10(2):37-41.
13. Qin S, Hou D. The biofunctions of phytochemical and their application in farm animals: the Nrf2/Keap 1 system as target. *Engineering* 2017;(3):738-752.
14. Zarza-Albarrán MA, Olmedo-Juárez A, Rojo-Rubio R, Mendoza-de Gives P, González-Cortazar M, Tapia-Maruri D, *et al.* Galloyl flavonoids from *Acacia farnesiana* pods possess potent anthelmintic activity against *Haemonchus contortus* eggs and infective larvae. *J Ethnopharmacol* 2020;249:12402.
15. Olmedo-Juárez A, Zarza-Albarrán MA, Rojo-Rubio R, Zamilpa A, González-Cortazar M, Mondragón-Ancelmo J, *et al.* *Acacia farnesiana* pods (plant: Fabaceae) possesses anti-parasitic compounds against *Haemonchus contortus* in female lambs. *Exp Parasitol* 2020;218:217.
16. Delgadillo-Puga C, Cuchillo-Hilario M, Espinosa-Mendoza GE, Medina-Campos O, Molina-Jijón E, Díaz-Martínez M, *et al.* Antioxidant activity and protection against oxidative-induced damage of *Acacia shaffneri* and *Acacia farnesiana* pods extracts: *in vitro* and *in vivo* assays. *BMC Compleme Altern Med* 2015;15:435.
17. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F; 1988.

18. NRC. Nutrient requirements of small ruminants, sheep, goats, cervids, and New World camelids. Animal Nutrition Series. The National Academy Press. Washington, DC, USA; 2007.
19. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis, 16th ed. AOAC, Arlington, VA, USA; 1997.
20. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch carbohydrates in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991;74:583-597.
21. Colomer-Rocher F, Morand-Fehr P, Kirton AH. Standard methods and procedures for goat carcass evaluation, jointing and tissue separation. *Livestock Prod Sci* 1987;17:49-159.
22. Cañeque V, Pérez C, Velasco S, Díaz MT, Lauzurica S, Álvarez I, *et al.* Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. *Meat Sci* 2004;67(4):595-605.
23. Centre Internationale de L'Éclairage Colorimetry. 2nd ed. Vienna: Publication CIE 1986:15.2.
24. Partida de la Peña JA, Ríos-Rincón FG, De la Cruz-Colín L, Domínguez-Vara IA, Buendía-Rodríguez G. Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2017;8(3):269-277.
25. Rust RE, Olson DG, Kratzer DD, Schuler RO, Vetter RL. M. *Longissimus* area of lamb carcasses—a Comparison of four measurement techniques and the evaluation of operator differences. *J Anim Sci* 1970;30(1):36-39.
26. Ruiz de Huidobro F, Miguel E, Cañeque V, Velasco S. Clasificación y conformación de la canal ovina. En: estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA: Serie ganadera; 2005:143-169.
27. Honikel KO. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci* 1998;49:447–457. doi:10.1016/S0309-1740(98)00034-5.
28. Bratzler LJ. Determining the tenderness of meat by use of the Warner-Bratzler method. *Proc Recip Meat Conf* 1949;2:117-121.
29. Centre Internationale de L'Éclairage (CIE). 'Definition dun space de couleur por deux coordonees de cromaticite et la luminosite. Supplement 2 to CIE publication no 15 (E-1–3-1) 1971/ (TC-1–3).' (Cente Internationale de L'Éclairage: Paris) 1976.
30. SAS, SAS Online Doc Version 9.1.3.SAS, NC. USA, Cary.: 2014.

31. Olivares-Pérez J, Rojas-Hernandez S, Camacho-Diaz LM, Cipriano-Salazar M, AZM. Salem. Fruits chemical composition and potential ruminal digestion of nine tree species in dry tropic region of Mexico. *Agroforest Syst* 2019;93:665–674. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0161-y>.
32. Alexander G, Singh B, Sahoo A, Bhat TK. *In vitro* screening of plant extracts to enhance the efficiency of utilization of energy and nitrogen in ruminant diets. *Anim Feed Sci Technol* 2008;145:229–244.
33. Frutos P, Hervás G, Giráldez FJ, Mantecón AR. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish J Agric Res* 2004;2(2):191-202.
34. Velázquez AJ, González M, Perezgrovas R, Bórquez J, Domínguez I. Producción, digestibilidad y rentabilidad en corderos de dietas con vainas de *Acacia farnesiana*. *Arch Zootec* 2011;60 (231):479-88.
35. Musharaf K, Farrukh H. Palatability and animal preferences of plants in Tehsil Takht-e-Nasrati, District Karak, Pakistan. *African J Agric Res* 2012;7(44):5858-5872.
36. Cortés JE, Moreno B, Pabón ML, Ávila P, Kreuzer M, Hess HD, *et al.* Effects of purified condensed tannins extracted from *Calliandra*, *Flemingia* and *Leucaena* on ruminal and postruminal degradation of soybean meal as estimated *in vitro*. *Anim Feed Sci Technol* 2009;151:194–204.
37. Dentinho TP, Belo AT, Bessa RJB. Digestion, ruminal fermentation and microbial nitrogen supply in sheep fed soybean meal treated with *Cistus ladanifer* L. tannins. *Small Ruminant Res* 2014;119:57–64.
38. Orlandi T, Kozloski GV, Alves TP, Mesquita FR, Ávila SC. Digestibility, ruminal fermentation and duodenal flux of amino acids in steers fed grass forage plus concentrate containing increasing levels of *Acacia mearnsii* tannin extract. *Anim Feed Sci Technol* 2015;210:37–45.
39. Castro-Montoya JM, Makkar HPS, Becker K. Chemical composition of rumen microbial fraction and fermentation parameters as affected by tannins and saponins using an *in vitro* rumen fermentation system. *Can J Anim Sci* 2011;91:433-448.
40. Gómez-Gurrola A, Partida-Hernández M, Ramírez-Duran R, Ramírez-Ramírez JC, Gómez-Gurrola JA, González-Mormita M, *et al.* Efecto de la inclusión del fruto de *Guazuma ulmifolia* como sustituto de maíz en la dieta sobre el comportamiento productivo y rendimiento en canal de ovinos Pelibuey. *Trop Subtrop Agroeco* 2014;17:215–222.
41. Jaborek JR, Zerby HN, Moeller SJ, Wick MP, Fluharty FL, Garza III H, *et al.* Effect of energy source and level, and animal age and sex on meat characteristics of sheep. *Small Ruminant Res* 2018;166:53–60.

42. Beriain MJ, Purroy A, Treacher T, Bas P. Effect of animal and nutritional factors and nutrition on lamb meat quality. *Sheep and goat nutrition: Intake, digestion, quality of products and rangelands*, 2000;75-86.
43. McGeehin B, Sheridan JJ, Butler F. Factors affecting the pH decline in lamb after slaughter. *Meat Sci* 2001;58(1):79-84.
44. Knapik J, Ropka-Molik K, Pieszka M. Genetic and nutritional factors determining the production and quality of sheep meat—a review. *Ann Anim Sci* 2017;17(1):23-40.
45. Vázquez-Soria ET, Méndez-Medina D. Comportamiento productivo y características de la canal en corderos provenientes de la cruce de ovejas Katahdin con machos de cuatro razas cárnicas especializadas. *Rev Mex Cienc Pecu* 2011;2(3):247-258.
46. Kirton AH, Feistand CL, Duganz DM. Prediction of ewe mutton carcass composition from carcass weight, GR and C measurements, and the Hennessy grading probe. *Proc NZ Soc Anim Prod* 1986;46:59-61.
47. Bianchi J. Un vistazo al sistema de tipificación de canales ovinas y su relación con la calidad del producto. *El país agropecuario*; 2008:26-29.
48. Ríos-Rincón FG, Barragán HB, Cerrillo-Soto MA, Estrada-Angulo A, Juárez-Reyes AS, Obregón JF, *et al.* Carcass characteristics, primal cut yields and tissue composition of Katahdin x Pelibuey lambs fed cull-chickpeas. *Rev Mex Cienc Pecu* 2012;3(3):357-371.
49. Gómez-Gurrola A, Del Sol-García G, Loya-Olguín L, Benítez-Meza A, Hernández-Ballesteros A. Rendimiento en canal de corderos de pelo, alimentados con diferentes proporciones de *Tithonia diversifolia* y *Pennisetum* spp. *Aba Vet* 2017;7(2):34-42. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2017.72.3>
50. Yamazaki A, Choki S, Kakizaki T, Matsuura A, Irimajiri M, Hodate K. Comparison of passage rate, structure and motility of the reticulo-rumen in two sheep breeds. In: *Ruminant physiology*. Leiden, The Netherlands: Wageningen Academic; 2009; 404-405.
51. Mireles EJ, Rodríguez D, Jordán H, Valdivia M, Ramírez A, García A, *et al.* Profile of fatty acids of *Longissimus dorsi* muscle and productive indicators of sheep, supplemented with pods of *Acacia cochliacantha*, in grasslands native to dry tropics. *Cuban J Agr Sci*;2015;49(3):329-388.
52. Preziuso G, Russo C, Casarosa L, Campodoni G, Piloni S, Cianci D. Effect of diet energy source on weight gain and carcass characteristics of lambs. *Small Ruminant Res* 1999;3(1):9-15.
53. Smeti S, Atti N, Mahouachi M, Munoz F. Use of dietary rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oils to increase the shelf life of Barbarine light lamb meat. *Small Ruminant Res* 2013;113:340–345.

54. Albertí P, Panea B, Ripoll G, Sañudo C, Olleta JL, Hegueruela I, Campo MM, Serra X. Medición del color. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid, España: MICYT-INIA: Ganadera 2005;3:216-25.
55. Hopkins DL, Toohey ES, Warner RD, Kerr MJ, Van de Ven R. Measuring the shear force of lamb meat cooked from frozen samples: comparison of two laboratories. *Anim Prod Sci* 2010;50(6):382-385.
56. Corlett MT, Pethick DW, Kelman KR, Jacob RH, Gardner GE. Consumer perceptions of meat redness were strongly influenced by storage and display times. *Foods* 2021;10(3):540.
57. Novoselec J, Šalavardić ŽK, Samac D, Ronta M, Steiner Z, Sičaja V, Antunović Z. Slaughter indicators, carcass measures, and meat quality of lamb fattened with spelt (*Triticum aestivum* spp. *Spelta* L.). *Foods* 2021;10(4):726.
58. Luciano G, Monahan FJ, Vasta V, Biondi L, Lanza M, Priolo A. Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Sci* 2009;81:120–125.
59. Cam MA, Olfaz M, Kirikci K, Tufekci H, Mercan L, Kilic U. Effects of pre-slaughter stress on meat quality characteristics of male lambs of Hemsin and of sheep breeds. *J Anim Plant Sci* 2021;47:8445-8459.
60. Li X, Zhang Y, Li Z, Li M, Liu Y, Zhang D. The effect of temperature in the range of -0.8 to 4°C on lamb meat color stability. *Meat Sci* 2017;134:28-33.
61. Holman BWB, Alvarenga TI, Van de Ven RJ, Hopkins DL. A comparison of technical replicate (cuts) effect on lamb Warner–Bratzler shear force measurement precision. *Meat Sci* 2015;105:93-95.
62. Mireles-Arriaga AI, Ruiz-Nieto JE, Hernández-Ruiz J, Hernández-Marín JA. Fitoquímicos antioxidantes alimentarios como estrategia de promoción de la estabilidad oxidativa de la carne de conejo. (*Oryctolagus cuniculus* L.). *Agroproductividad* 2018;11(6):91-96.
63. Ortuno J, Serrano R, Banón S. Use of dietary rosemary diterpenes to extend the preservation of sulphited-lamb products. *Small Ruminant Res* 2015;123:269–277.



Modelo de predicción para la extensión de la vida productiva en registros censurados de ganado Holstein de México



Sandra Giovanna Núñez-Soto ^{a,c}

Adriana García-Ruiz ^b

Hugo Oswaldo Toledo Alvarado ^c

Felipe de Jesús Ruiz-López ^{b*}

^a Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal. Unidad de Posgrado, Edificio "B" Primer Piso Circuito del Posgrado, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México D.F. México.

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

^c Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Genética y Bioestadística, Ciudad de México, México.

* Autor de correspondencia: ruiz.felipe@inifap.gob.mx

Resumen:

El objetivo de este estudio fue predecir los meses en producción a los 84 meses de edad (MEP84) para incluir información de animales aún vivos en la evaluación genética de longevidad a partir de información productiva y reproductiva para establecer la longevidad completa como MEP84. Los registros se obtuvieron de animales nacidos entre 1986 y 2020 de la asociación Holstein de México. Para predecir MEP84, se ajustó un modelo de regresión lineal para el 1er parto, al 2do, al 3º, al 4º y al 5º parto antes de 84 meses de edad. El modelo incluyó información de las vacas con longevidades completas como la producción de leche en kilogramos ajustada a 305 días EM (PE) en el parto actual, los meses en producción

acumulados previos al parto actual (MACL), los meses en producción en el parto actual (MLPA), el índice de gestación en el parto actual (IDG), el índice del estado de la lactación en el parto actual (EDL) y la edad al primer parto en meses (EPP) en su efecto lineal y cuadrático (EPP²). El modelo explicó del 44 al 98 % de la variación observada en MEP84. La mayoría de los coeficientes de regresión para expandir las longevidades fueron significativos y positivos ($P < 0.01$). La media del coeficiente para IDG fue negativo en todos los partos (-0.7159 ± 0.0171 y -2.0632 ± 0.0732). El modelo propuesto permitió incluir a vacas que aún no terminan su vida productiva, siendo de interés en las evaluaciones genéticas de longevidad.

Palabras clave: Modelo de predicción, Longevidad, Vacas Holstein.

Recibido: 31/01/2024

Aceptado: 17/07/2024

Introducción

La longevidad en el ganado productor de leche es una característica económica importante que presenta variabilidad genética, por lo general baja, pero suficiente para que haya progreso genético en las generaciones posteriores^(1,2). Los países que evalúan longevidad en ganado productor de leche la han medido como la vida de hato⁽³⁾, vida productiva^(3,4), longevidad funcional^(5,6), longevidad verdadera^(5,6), duración de la vida productiva⁽⁷⁾, longevidad a los 84 meses de edad⁽⁸⁾, longevidad antes del desecho o censura⁽⁹⁾, permanencia⁽¹⁰⁾, esperanza de vida^(11,12) y vida de ordeño⁽¹³⁾. Las bajas estimaciones de las heredabilidades (0.02 a 0.11)⁽¹⁴⁾ son el resultado de una variabilidad residual relativamente alta, lo que puede explicarse por la complejidad del rasgo y la influencia considerable de factores ambientales como el manejo. La vida productiva de las vacas lecheras es difícil de mejorar genéticamente debido, entre otros factores, a que los datos completos están disponibles demasiado tarde para los animales de interés, por lo que una selección temprana de la longevidad, que sería lo adecuado, se imposibilita. Diferentes autores han mencionado que mejorar la longevidad identificando tempranamente a los animales superiores es posible utilizando rasgos correlacionados, como es el caso de Maugan *et al*⁽¹⁵⁾ que incluyeron en su modelo características correlacionadas entre ellas y con la longevidad funcional como la composición de la ubre, fertilidad, índice de células somáticas e incidencia de mastitis para poder incluir a animales jóvenes en la evaluación genética de longevidad de manera temprana en ganado Holstein; por otro lado, se han estudiado en vacas Montbeliarde italianas 13 características de tipo que estuvieron correlacionadas con la supervivencia, permitiendo su predicción temprana⁽¹⁶⁾; otros investigadores utilizaron correlaciones de 15 características de tipo con la vida de hato a los

48 meses de edad en ganado Guernsey⁽¹⁷⁾. La selección temprana también se puede lograr con la evaluación no lineal de datos censurados⁽¹⁸⁾ o utilizando longevidades predichas para vacas vivas además de los datos de longevidad completa^(8,12). Esta última metodología se utiliza en Estados Unidos de Norteamérica⁽⁸⁾ para evaluar longevidad de ganado lechero medida como meses en producción a los 84 meses de edad (MEP84) porque permite el uso de registros incompletos provenientes de vacas que aún siguen vivas al momento de la evaluación, comúnmente llamados registros censurados. El proceso se basa en la predicción fenotípica de los MEP84 de los animales aún no desechados, a partir de regresores poblacionales para extender la duración de vida productiva y su posterior ajuste para homologar varianzas, proceso similar al aplicado a la extensión de las lactaciones incompletas para la característica de producción de leche⁽¹⁹⁾. Adicionalmente, al ser MEP84 una variable continua, representa mejor la vida útil de una vaca y hace que la distribución de la variable se aproxime a la distribución normal, permitiendo disponer tanto de datos completos hasta el desecho de vacas de edades muy avanzadas como de datos censurados de vacas más jóvenes⁽⁸⁾. En México, la evaluación de longevidad en ganado Holstein se hace solo para machos utilizando un modelo de supervivencia⁽²⁰⁾, esto es una limitante porque se necesitan indicadores de vida temprana para ayudar a los ganaderos en la selección de animales que tienen más probabilidades de alcanzar su máximo potencial, por lo tanto la utilización de MEP84 y un modelo lineal, no solo permitirá realizar la evaluación de hembras directamente, también permitirá incluir información genómica en un futuro cercano. Un primer paso para implementar la evaluación de MEP84 en la población Holstein de México es la predicción de la variable en animales que aún estén activos o aquellos que por cualquier razón se desconozca su longevidad verdadera, por lo que el objetivo de este estudio fue predecir los meses en producción a los 84 meses de edad a partir de información productiva y reproductiva complementaria en registros de vacas Holstein de México, utilizando el modelo de regresión lineal simple desarrollado por VanRaden y Klaaskate⁽⁸⁾ y evaluar el ajuste de este modelo.

Material y métodos

Se usó información del sistema de control de producción de la Asociación Holstein de México. Se incluyó información de vida productiva observada de un total de 70,314 vacas con 1 a 5 partos porque no hubo vacas que iniciaran su sexta lactancia antes de los 84 meses. La variable dependiente se estableció como los meses en producción a los 84 meses de edad estableciendo un máximo de 10 meses en producción por cada lactación para no favorecer indirectamente a vacas con lactaciones extendidas⁽⁸⁾. Para poder predecir MEP84, se utilizaron las variables independientes incluidas en el modelo estadístico de Van Raden y Klaaskate⁽⁸⁾ y disponibles al terminar cada parto del 1 al 5, la cual consistió en los meses en producción acumulados (MACL), meses en producción en el último parto (MLPA), el estado de la lactación al momento de la eliminación o finalización de la lactación (EDL), el índice

de gestación al momento de la eliminación o finalización de la lactación (IDG), la interacción del hato-año y estación de primer parto y la edad al primer parto y la producción de leche medida en kilos ajustada a 305 días equivalente maduro (PE). Aunque este modelo⁽⁸⁾ incluyó la variable días secos, estos no se incluyeron en el modelo por mostrar variaciones no explicadas importantes (análisis no presentado en este estudio). El IDG fue igual a 1 si la vaca se encontraba gestante; se consideró gestante a la vaca si tenía más de 70 días de haber sido inseminada artificialmente o tenía diagnóstico de gestación o contó con parto subsiguiente al analizado o cero en cualquier otro caso. El índice del estado de la lactación (EDL) se codificó como cero cuando la vaca estaba seca o en ordeño de más de 305 días y como uno si la vaca se encontraba en ordeño dentro de los 305 días. También se consideró la edad al primer parto en meses en sus efectos lineal y cuadrático.

Para los cálculos se consideraron cinco escenarios, que representaron la cantidad de información con la que contaba la vaca para su predicción y dependieron del número de lactaciones completas con las que contaba. Es decir, si había terminado su primera lactación o su segunda lactación y así consecutivamente hasta su quinta lactación. El número de vacas que presentaron un parto completo fue de 26,704, dos partos completos 18,351, tres partos completos 10,496, cuatro partos completos 5,115 y hasta cinco partos completos 3,065. Lo dicho diferencia la MEP84 calculada en este estudio a la obtenida en la población de los Estados Unidos de Norteamérica, en donde la información que consideraron la obtuvieron a partir de diferentes grupos de edad⁽⁸⁾. En otras palabras, se ajustaron modelos separados para los animales eliminados durante su segunda, tercera, cuarta o quinta lactación, utilizando la información generada hasta el parto anterior. Se consideró como parto actual, la lactación durante la cual fue eliminada la vaca.

El modelo estadístico usado para la predicción de los MEP84 fue el siguiente:

$$MEP84_{ijklmnopq} = \mu + h_{ypp_i} + \beta_1 m_{acl_j} + \beta_2 m_{lpa_k} + \beta_3 idg_l + \beta_4 edl_m + \beta_5 pe_n + \beta_6 epp_o + \beta_7 epp^2_p + \epsilon_{ijklmnopq}$$

Donde,

hypp es el hato-año de primer parto,

macl los meses en producción acumulados hasta el parto previo,

mlpa meses en producción en el parto actual,

idg índice de gestación en el parto actual,

edl estado de la lactación en el parto actual,

pe producción de leche estandarizada a 305 días EM en el parto actual,

epp edad al primer parto,

epp² el efecto cuadrático de la edad al primer parto,

$\epsilon_{ijklmnopq}$ es el error aleatorio.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ y β_7 son los coeficientes de las regresiones lineales para las variables descritas. Para realizar los análisis, se usó el procedimiento GLM del software estadístico SAS⁽²¹⁾.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran los coeficientes de regresión y su valor de probabilidad, así como los coeficientes de determinación obtenidos del modelo para predecir la MEP84 a partir de información del primero, segundo, tercer, cuarto y quinto parto. El modelo explicó el 98, 96, 92, 79 y 44 % de la variación proveniente por los efectos incluidos para MEP84 para el primer hasta el quinto parto respectivamente.

Cuadro 1: Coeficientes de determinación, coeficientes de regresión y *P*-valor de las variables utilizadas en el modelo de predicción para MEP84 en los primeros cinco partos

Variable	MEP84				
	Primer parto	Segundo parto	Tercer parto	Cuarto parto	Quinto parto
	Coefficiente de regresión				
MACL, m	0.8951***	0.8188***	0.6669***	0.4123***	0.1414***
MLPA, m	0.0034 ^{NS}	0.0265***	0.0714***	0.1329***	0.1348***
EDL (0,1)	-0.0579**	0.0166 ^{NS}	0.1330 ^{NS}	0.1801 ^{NS}	0.1781 ^{NS}
IDG (0,1)	-0.7159***	-1.1221***	-1.7292***	-2.0632***	-1.4743***
PE, kg	0.0001***	0.0001***	0.0001***	0.0002***	0.0002**
R ² , %	98	96	92	79	44

MACL= meses en producción acumulados hasta el parto actual, MLPA= meses en producción en el parto actual, EDL= índice del estado de la lactación (0= en ordeño, 1= seca), IDG= índice de gestación (0= vacía, 1= gestante), PE= producción de leche en kg ajustada a 305 días EM en el parto actual, R²= coeficiente de determinación.

*** = menor de 0.001, ** = entre 0.001 y 0.01, * = entre 0.011 y 0.05, NS = arriba de 0.05

Para explicar el efecto de las variables independientes utilizadas en el modelo para predecir la MEP84 a través de los cinco partos se muestran las figuras 1 a la 5. Los resultados mostraron que los MACL fueron significativos en todos los partos y con valores altos en los primeros tres partos, indicando que cuando se incrementa un mes de MACL, se incrementa 0.66 meses de MEP84 relación que va disminuyendo conforme aumenta el número de parto (Figura 1). Este resultado se debe a que MACL aporta directamente a MEP84 ya que son meses en producción ya realizados y esto se refleja en un incremento del pronóstico de MEP84. Se reportaron aumentos de un mes para la misma variable⁽⁸⁾. Los MLPA fueron significativos a partir del segundo parto hasta el quinto, e indican que al aumentar un mes en

leche en el parto actual los MEP84 se incrementan en 0.026 para el segundo parto, en 0.071 para el tercer parto, en 0.133 para el cuarto parto y en 0.135 para el quinto, lo anterior puede deberse a dos factores: uno es la relación entre días en producción y producción total de leche, ya que a mayor producción de leche menor probabilidad de desecho; y el otro es que una vaca con más meses en producción en la última lactación está más cerca de llegar al final de la misma y se incrementa la posibilidad de iniciar una nueva lactación y con esto se eleva la esperanza de una mayor MEP84, además de que en general estas vacas presentan una menor probabilidad de tener problemas de locomoción o de salud, quedan gestantes con mayor facilidad y tienen mayores producciones de leche, lo que concuerda con lo dicho por Dallago *et al*⁽²²⁾.

Figura 1: Efecto de los meses en producción acumulados hasta el parto actual (MACL) sobre la MEP84

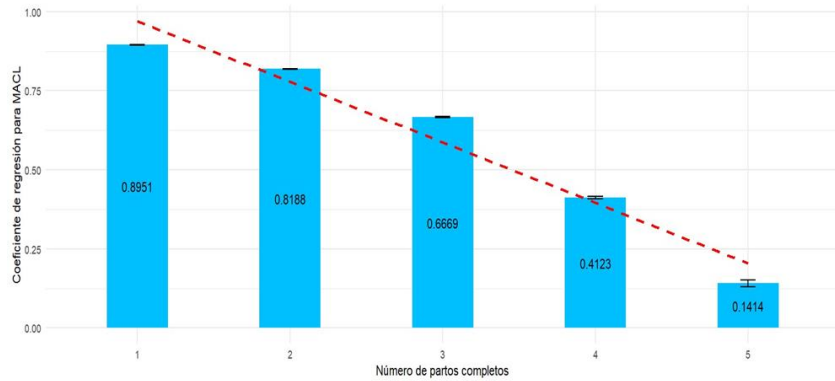
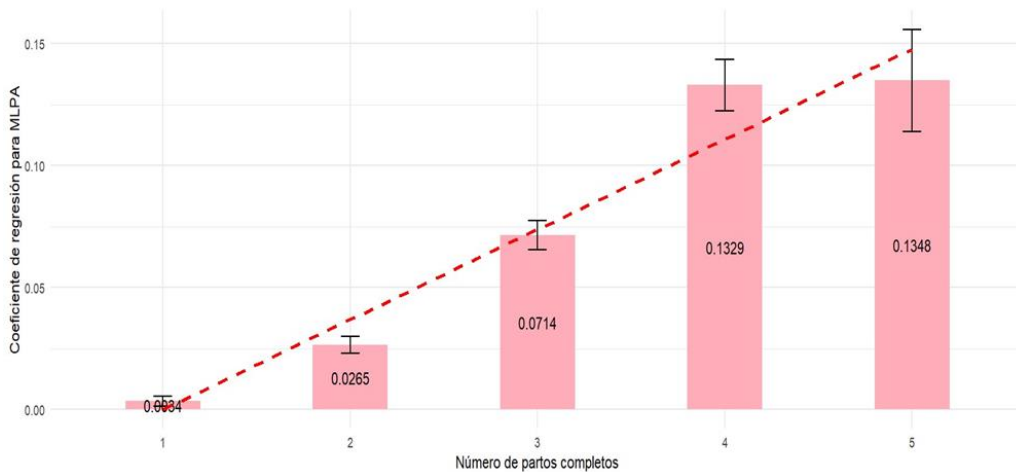


Figura 2. Efecto de los meses en producción en el parto actual (MLPA) sobre la MEP84



Los MLPA no fueron significativos al primer parto probablemente por la distancia en tiempo entre los MLPA de la primera lactación y la fecha de desecho de la vaca. Conforme se acerca la vaca al final de su vida productiva, los MLPA tienden a ser importantes en la predicción de MEP84 porque al tener mayores meses en producción en la lactación anterior predeciría que la vaca se mantuvo más tiempo en el hato productivo, debido a que tenía una alta producción o tenía mayor fertilidad o mejor salud; al contrario, cuando se tiene una vaca con una lactación previa corta en principio debería tener menor MEP84, esto podría deberse a que las condiciones productivas o reproductivas dentro del hato no fueron las mejores para ella y le ocasionaran tener menores meses en producción con una mayor probabilidad de que se deseche en la siguiente lactación. Aunque los coeficientes de regresión del estado de la lactación (EDL) fueron en magnitud similares a los de otras características como MLPA para los partos 2 a 5, solo fueron significativos para el primer parto. En el caso del primer parto, cuando la vaca está en ordeño, la predicción de MEP84 disminuye 0.06 meses con respecto a que si la vaca esté en periodo seco (Figura 3). Esto se podría deber a que cuando la vaca es primípara y termina su lactación sin reportar un secado, se encuentra en desventaja contra las vacas que terminan su ciclo con un secado por estar menos preparadas para iniciar un nuevo ciclo productivo y con ello disminuyen su esperanza de MEP84. Contradictoriamente, cuando la vaca terminó su tercera lactación sin un registro de secado, la predicción de MEP84 aumentó 0.13 meses ($P < 0.05$) debido, probablemente, a que la vaca ya está cerca de alcanzar su medición real de MEP84, y el que no cuente con información de la fecha de secado en este momento no es tan crítico en la predicción de MEP84. Por otra parte, cuando la vaca no estaba gestante (IDG) al finalizar la lactación previa, la predicción de MEP84 fue negativa en los cinco partos ($P < 0.0001$) con una tendencia que indica que va disminuyendo conforme aumenta el número de parto hasta disminuir 2.06 meses en el cuarto parto (Figura 4), lo que indica que el que la vaca no tenga asegurado un próximo parto al momento de la predicción, disminuye drásticamente el MEP84 predicho, lo que concuerda con lo reportado por varios autores^(1,23,24). Finalmente, el efecto de la PE sobre MEP84 fue significativo en los cinco partos indicando que al aumentar un kilo la producción de leche, los MEP84 predichos tiene un aumento de 0.0001 meses para los primeros tres partos y de 0.0002 meses para el cuarto y quinto parto (Figura 5). Esto puede reflejar el hecho de que cuando las vacas tienen una mayor producción de leche, los ganaderos tienden a darles más oportunidades de quedarse en el establo, incrementando sus MEP84⁽²⁰⁾. Sin embargo, la gran variación que existe en esta variable hace que el efecto sea pequeño comparado con los de las otras variables en el estudio. La edad al primer parto en su efecto lineal y cuadrático no fueron significativas en ningún parto.

Figura 3: Efecto del estado de la lactación (EDL) sobre la MEP84

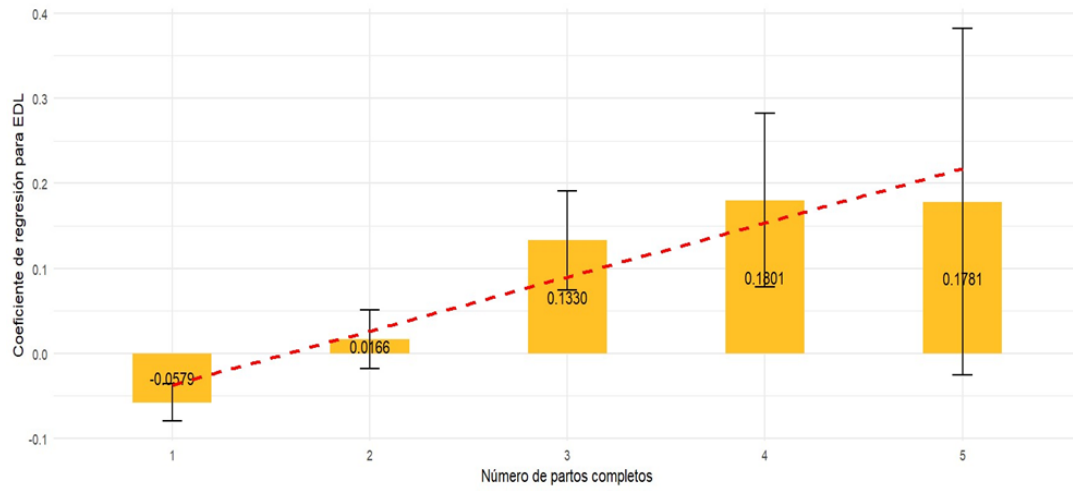


Figura 4: Efecto del índice de gestación (IDG) sobre la MEP84

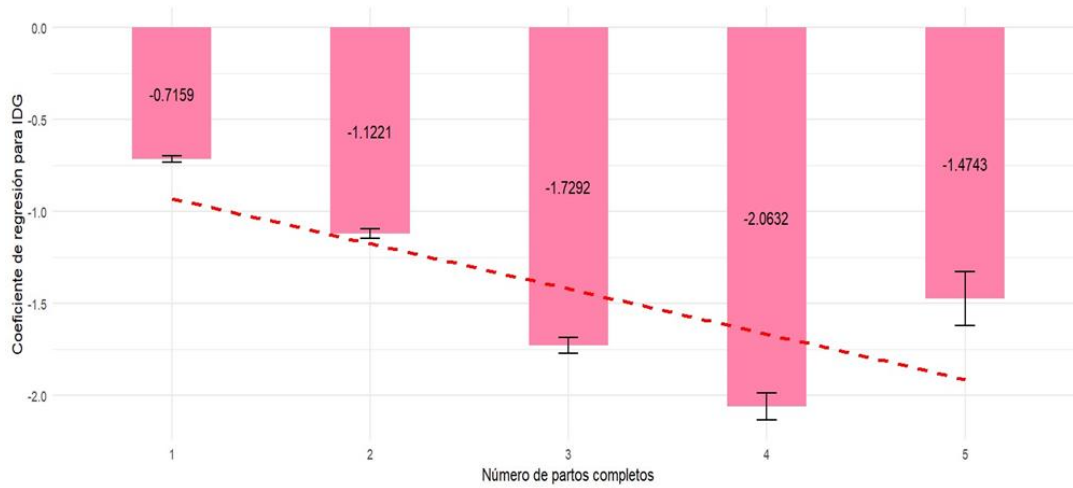
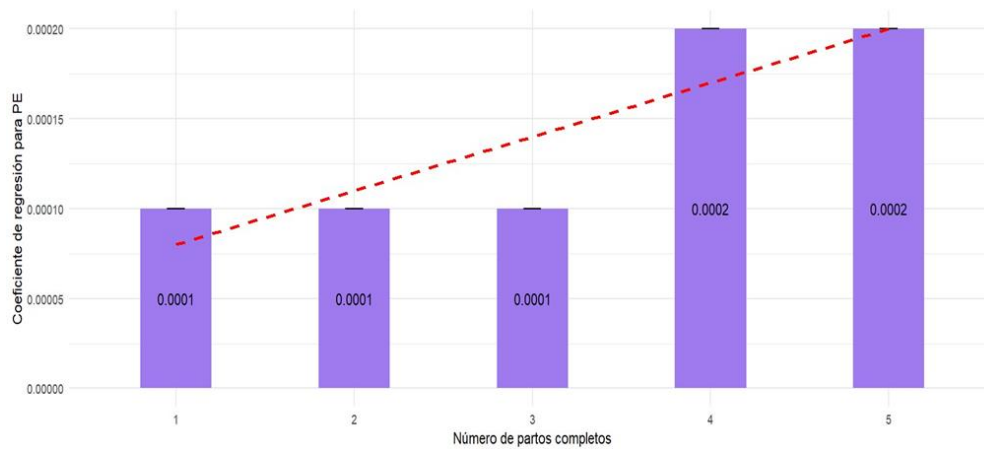


Figura 5: Efecto de la producción de leche a los 305 días EM (PE) sobre la MEP84

Conclusiones e implicaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, es posible predecir con alta precisión MEP84 en vacas Holstein productoras de leche, con cuando menos una lactación terminada a partir de la producción de leche en kilogramos ajustada a 305 días EM, los meses en producción acumulados, los meses en producción de la última lactación, si la vaca está en producción o seca y si se encuentra gestante o no, variables comunes en los controles de producción lecheros. Por otro lado, el MEP84 pronosticado fue mayor para las vacas que tenían más meses en producción en su última lactación completa registrada, se encontraban en producción en su último registro (excepto vacas de segunda lactación) o estaban gestantes al final de la última lactación.

La predicción de MEP84 permitirá incluir en la evaluación genética de esta población a animales que no han terminado su vida productiva, información que ayudará a los productores en el mejoramiento genético de la longevidad en sus hatos.


Agradecimientos y fuente financiera

Investigación realizada gracias al financiamiento de la beca CONACYT 47153. Agradecimientos a la Asociación Holstein de México y al CENIDFyMA-INIFAP por la información y las facilidades brindadas para realizar este trabajo.


Literatura citada:

1. Hu H, Mu T, Ma Y, Wang X, Ma Y. Analysis of longevity traits in Holstein cattle: A Review. *Front Genet* 2021;(12):1-15. doi:10.3389/fgene.2021.695543.
2. De Vries A. Economic trade-offs between genetic improvement and longevity in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2017;100(5):4184-4192. doi:10.3168/jds.2016-11847.
3. Tsuruta S, Misztal I, Lawlor TJ. Changing definition of productive life in US Holsteins: Effect on genetic correlations. *J Dairy Sci* 2005;88(3):1156-1165. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72782-X.
4. Costa A, Bovenhuis H, Penasa M. Changes in milk lactose content as indicators for longevity and udder health in Holstein cows. *J Dairy Sci* 2020;103(12):11574-11584. doi.org/10.3168/jds.2020-18615.
5. Vukasinovic N, Moll J, Künzi N. Analysis of productive life in Swiss Brown cattle. *J Dairy Sci* 1997;80(10):2572-2579. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76213-1.
6. Sasaki O, Aihara M, Hagiya K, Nishiura A, Ishii K, Satoh M. Genetic evaluation of the longevity of the Holstein population in Japan using a Weibull proportional hazard model. *Anim Sci J* 2011;83(2):95–102. doi:10.1111/j.1740-0929.2011.00943.
7. Caraviello DZ, Weigel KA, Gianola D. Prediction of longevity breeding values for US Holstein sires using survival analysis methodology. *J Dairy Sci* 2004;87(10):3518–3525. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73488.
8. VanRaden PM, Klaaskate EJH. Genetic evaluation of length of productive life including predicted longevity of live cows. *J Dairy Sci* 1993;(76):2758-2764.
9. Raguz N, Jovanovac S. Analysis of the relationships between type traits and longevity in Croatian Simmental cattle using survival analysis. *Agric Conspec Sci* 2011;76(3):249-253.
10. Brickell JS, Wathes DC. A descriptive study of the survival of Holstein-Friesian heifers through to third calving on English dairy farms. *J Dairy Sci* 2011;(94):1831-1838. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-3710>.
11. Van Pelt M, Meuwissen THE, De Jong G, Veerkamp RF. Genetic analysis of longevity in Dutch dairy cattle using random regression. *J Dairy Sci* 2015;98(6):4117-4130. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9090>.
12. Brotherstone S, Veerkamp RF, Hill WG. Predicting breeding values for herd life of Holstein-Friesian dairy cattle from lifespan and type. *Anim Sci* 1998;(67):405–411.

13. Zhang H, Liu AY, Wang H, Luo X, Yan X, Guo X, Li L, Liu, Su G. Genetic parameters and genome-wide association studies of eight longevity traits representing either full or partial lifespan in Chinese Holsteins. *Front Genet* 2021;(12):634986. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.634986>.
14. Forabosco F, Jakobsen JH, Fikse WF. International genetic evaluation for direct longevity in dairy bulls. *J Dairy Sci* 2009;(92):2338–2347.
15. Maugan LH, Rostellato R, Tribout T, Mattalia S, Ducrocq V. Combined single-step evaluation of functional longevity of dairy cows including correlated traits. *Genet Sel Evol* 2023;55(75):1-15. <https://doi.org/10.1186/s12711-023-00839-6>.
16. Kern EL, Cobuci JA, Costa CN, McManus CM, Campos GS, Almeida TP, *et al.* Genetic association between herd survival and linear type traits in Holstein cows under tropical conditions. *Ital J Anim Sci* 2014;(13):665–672.
17. Harris BL. Linear programming applied to dairy cattle selection [doctoral thesis]. Iowa, USA: University of Iowa State; 1992. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/9997>.
18. Mészáros G, Sölkner J, Ducrocq V. The Survival Kit: Software to analyze survival data including possibly correlated random effects. *Computer methods and programs in biomedicine* 2013;110(3):503-10. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.01.010>.
19. VanRaden PM, Dematawewa CM, Pearson RE, Tooker ME. Productive life including all lactations and longer lactations with diminishing credits. *J Dairy Sci* 2006;89(8):3213-3220. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72596-6.
20. Abadía JR, Ruíz FJ, Vega VE, Montaldo HH. Análisis genético para vida productiva en ganado Holstein de México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2016;7(1):1-14. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242016000100001&lng=es.
21. SAS. SAS/STAT User's Guide (version 9.4 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2010.
22. Dallago GM, Wade KM, Cue RI, McClure JT, Lacroix R, Pellerin D, *et al.* Keeping dairy cows for longer: a critical literature review on dairy cow longevity in high milk-producing countries. *Animals* 2021;(11):808. <https://doi.org/10.3390/ani11030808>.
23. Pipino DF, Piccardi M, Lopez-Villalobos N, Hickson RE, Vázquez MI. Fertility and survival of Swedish Red and White × Holstein crossbred cows and purebred Holstein cows. *J Dairy Sci* 2023;106(4):2475-2486. doi:10.3168/jds.2022-22403.
24. Essl A. Longevity in dairy cattle breeding: A review. *Livest Sci* 1998;(57):79–89. doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00160-2



Evaluación antihelmíntica *in vitro* de curcumina contra huevos y larvas de aislados de *Haemonchus contortus* con distinta susceptibilidad a ivermectina



Lisandro Alberto Encalada-Mena ^a

Raquel López-Arellano ^b

María Eugenia López-Arellano ^c

María Gabriela Mancilla-Montelongo ^d

Carlos Alfredo Sandoval-Castro ^{e*}

Agustín Olmedo-Juárez ^c

Juan Felipe de Jesús Torres-Acosta ^e

^a Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Campeche, México.

^b Universidad Nacional Autónoma de México. FES-Cuautitlán, Laboratorio de Ensayos de Desarrollo Farmacéutico, Estado de México, México.

^c Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, Morelos, México.

^d CONAHCYT-Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Yucatán, México.

^e Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Km 15.5 Carr. Mérida-Xmatkuil, 97315, Mérida, Yucatán, México.

*Autor de correspondencia: carlos.sandoval@correo.uady.mx

Resumen:

El creciente problema de resistencia a los antihelmínticos (AHs) convencionales en poblaciones de nematodos gastrointestinales (NGI), ha motivado la búsqueda de alternativas para su control en los rebaños de ovinos y caprinos, como es el caso de los metabolitos secundarios de plantas. En el presente trabajo se evaluó la actividad AH *in vitro* de curcumina (CUR) contra tres aislados del nematodo de rumiantes *Haemonchus contortus* con diferente susceptibilidad a los AHs convencionales. Se utilizaron las pruebas *in vitro* de inhibición de la eclosión de huevos (IEH), inhibición de la migración larvaria (IML), inhibición del desenvaine larvario (IDL) y mortalidad a las 72 h de L₃ sin vaina. Las pruebas se realizaron usando un intervalo de concentraciones de 0 - 8.5 µg CUR/ml. Solamente la prueba de IDL fue realizada con un intervalo de concentración de 0 - 17.3 µg CUR/ml. Se obtuvieron las curvas de concentración-respuesta en una regresión log-logística y se realizó un diseño completamente al azar mediante un ANOVA. La CUR no presentó actividad AH en las pruebas de IEH, IML y mortalidad, pero sí demostró efecto AH significativo en la prueba de IDL. Este efecto fue más potente contra el aislado FMVZ-UADY (CE₅₀= 1.9 µg/ml, IC₉₅% 1.58-2.31), seguido por el aislado Paraíso (CE₅₀= 3.2 µg/ml, IC₉₅% 2.69-3.81) y CENID-SAI, INIFAP (CE₅₀= 7.0 µg/ml; IC₉₅% 6.58-7.43). Se concluye que la CUR tiene efecto AH contra el desenvaine de las L₃ de *H. contortus* pero no afecta la eclosión de huevos, la migración de L₃ o la mortalidad de L₃ sin vaina a las dosis evaluadas.

Palabras clave: Polifenol, Antihelmíntico, Desenvaine larvario, Estabilizadores poliméricos.

Recibido: 26/04/2023

Aceptado: 03/07/2024

Introducción

Los nematodos gastrointestinales (NGI) representan uno de los principales problemas de salud de rumiantes en pastoreo^(1,2). Los pequeños rumiantes que padecen infecciones altas por NGI presentan alteraciones digestivas que ocasionan retraso del crecimiento o disminuyen los indicadores productivos. También pueden causar anemia, edema y, en casos muy severos, la muerte del animal^(3,4). *Haemonchus contortus* es uno de los NGI de mayor relevancia debido a su patogenicidad y su amplia distribución en regiones tropicales y subtropicales del mundo⁽⁵⁾. El control de estos parásitos se basa en el uso de desparasitantes comerciales que, con el tiempo han favorecido la selección de poblaciones con resistencia a los antihelmínticos (RA)⁽⁶⁾. La creciente problemática de poblaciones de NGI con RA ha

motivado la búsqueda de medidas alternativas de control⁽⁷⁾. Entre éstas, se encuentra el uso de metabolitos secundarios de plantas, en particular los compuestos polifenólicos, que han demostrado su efecto antihelmíntico (AH) contra diferentes fases de vida del *H. contortus*^(8,9). La planta *Curcuma longa* L. pertenece a la familia Zingiberácea y es nativa del continente asiático. El principal polifenol encontrado en los extractos obtenidos de *C. longa* es la curcumina (CUR) (60-75 %), junto con la desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina en menor proporción^(10,11). A la CUR se le han confirmado diversas actividades farmacológicas como anti-oxidante, anti-inflamatorio, anti-cancerígeno, anti-viral, anti-bacterial y anti-parasitario⁽¹²⁻¹⁸⁾. La evaluación de la actividad antiparasitaria de CUR se ha realizado mediante extractos obtenidos con solventes de diferente polaridad a partir de distintas partes de plantas de *C. longa*. La actividad AH ha sido evaluada contra adultos, L₃ y huevos de *H. contortus* a diversas concentraciones (mg/ml)⁽¹⁹⁻²¹⁾ generalmente empleando altas dosis debido a que la CUR presenta baja solubilidad en agua, pobre absorción, rápida degradación, y por tanto, presenta una reducida biodisponibilidad⁽¹⁰⁾. Estas características han llevado a la búsqueda de procesos que permitan aumentar su solubilidad mediante la encapsulación de los metabolitos secundarios en nanopartículas lipídicas, nanoemulsiones, nanoliposomas, polímeros biodegradables, dendrímeros, hidrogeles, uso de caseína y ciclodextrinas^(22,23). Así, recientemente se ha propuesto una combinación de la CUR con estabilizadores poliméricos como la polivinilpirrolidona (PVP) en forma de dispersión sólida (CUR/PVP)^(24,25). Esta combinación mejora la solubilidad de la CUR y mantiene baja su toxicidad en células y tejidos⁽²⁶⁻²⁸⁾. Por otro lado, los pocos trabajos que han evaluado la actividad AH *in vitro* de los extractos de *C. longa* no mencionan las concentraciones del metabolito CUR en los bioensayos, y solo se supone que el efecto AH reportado se debe al contenido de CUR y otros curcuminoides⁽¹⁹⁻²¹⁾. Por lo tanto, la actividad AH de la CUR contra *H. contortus* no se ha demostrado plenamente. El objetivo del presente estudio fue evaluar la capacidad AH *in vitro* de la CUR sobre tres aislados de *H. contortus* con distintos estatus de RA.

Material y métodos

Consideraciones éticas experimentales

Todos los animales experimentales se manejaron siguiendo las Normas Oficiales Mexicanas para colecta de germoplasma (NOM-051-ZOO-1995 y NOM-062-ZOO-1999) (www.gob.mx/senasica). Así mismo, se siguieron los lineamientos éticos del Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán (FMVZ-UADY) (Permiso No. CB-CCBA-D-2021-005).

Lugar del estudio

La producción de *H. contortus* en animales donadores con infecciones monoespecíficas controladas, y los bioensayos *in vitro* se realizaron en la FMVZ-UADY, Xmatkuil, Mérida, México.

Aislados de *Haemonchus contortus*

Se utilizaron tres aislados de *H. contortus* cuya caracterización de resistencia a AH se conocía antes de realizar el presente estudio:

(1) El aislado “Paraíso” proveniente de una granja ovina comercial ubicada en Umán, Yucatán, México, con antecedentes de resistencia a ivermectina (IVM; *i.e.* reducción de huevos en heces: 64 %), sulfóxido de albendazol (ABZ; reducción de huevos en heces: 0 %) y levamisol (LEV; reducción de huevos en heces: 92 %)⁽²⁹⁾.

(2) El aislado “FMVZ-UADY”, originario de una granja ubicada en Mérida, Yucatán, con antecedentes de NGI resistentes a ABZ (*i.e.* reducción de huevos en heces: 89 %) y LEV (reducción de huevos en heces: 87 %)⁽³⁰⁾, pero susceptible a IVM (*i.e.* reducción de huevos en heces 99 %)⁽²⁹⁾.

(3) El aislado CENID-SAI-INIFAP, fue proporcionado por el departamento de Helminología del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Este aislado fue caracterizado en la FMVZ-UADY con técnicas *in vitro* como susceptible a tiabendazol (TBZ) ($CE_{50}=0.050 \mu\text{g/ml}$) de acuerdo con la metodología de eclosión de huevos descrita por Von Samson-Himmelstjerna *et al*⁽³¹⁾, y de acuerdo a la técnica de migración larvaria⁽³²⁾ susceptible a IVM ($CE_{50}=1.09 \mu\text{M}$)⁽³³⁾. Así mismo en 2020, este aislado fue caracterizado como susceptible a IVM (79.22 % mortalidad a 11.42 mM) mediante la técnica de mortalidad *in vitro*⁽³⁴⁾.

Donadores y obtención de aislados monoespecíficos de *Haemonchus contortus*

Se utilizaron seis caprinos de entre 3 y 4 meses de edad de 15 kg de peso vivo (PV), criados libres de NGI desde el nacimiento. Para cada aislado, anteriormente descritos, de *H. contortus* se infectaron dos animales donadores, cada uno recibió 7,000 L₃ *per os*⁽³⁵⁾. En todo momento los animales se mantuvieron en jaulas individuales con piso elevado ubicadas dentro de corrales individuales con piso de concreto en las instalaciones de la FMVZ-UADY.

A partir de los 24 días post-infección se obtuvieron muestras de heces directamente del recto de cada animal donador usando bolsas de polietileno nuevas⁽³⁶⁾. Las muestras de heces se usaron para determinar la presencia y el número de huevos por gramo de heces (HPG) mediante la técnica de McMaster⁽³⁷⁾; esta prueba se realiza con 2 g de heces y 28 ml de solución saturada de azúcar (densidad= 1.28 y sensibilidad de 50 HPG). A continuación, se realizaron coprocultivos en frascos de plástico limpios y se incubaron a 28 °C durante 5-6 días para obtener L₃, las cuales se recuperaron de las heces mediante la técnica de Baermann⁽³⁸⁾. Finalmente fueron identificadas como *Haemonchus* utilizando claves morfológicas⁽³⁹⁾.

Obtención de huevos de *Haemonchus contortus*

La obtención de huevos se realizó de acuerdo al procedimiento de MAFF (1986)⁽³⁸⁾. Se colectaron las heces directamente del recto de los animales donadores usando bolsas de polietileno. En el laboratorio, las heces se depositaron en un colador de plástico colocado sobre un mortero de porcelana. Se añadieron 100 ml de agua por cada 10 g de heces y se procedió a macerar las heces. La suspensión de heces con agua se filtró usando una capa doble de gasa colocada en un embudo, y el líquido se recuperó en un matraz. Este líquido se tamizó a través de una malla de 25 µm con la mínima cantidad de agua sin cloro. Se recuperaron los huevos del tamiz y se colocaron en tubos de 50 ml. Los tubos (5810R, Eppendorf, Alemania) se centrifugaron a 453 g por 5 min. Después se eliminó el sobrenadante conservando el sedimento, al que se añadieron 25 ml de solución saturada de azúcar (densidad= 1.28). El sedimento se volvió a suspender con ayuda de un vórtex y los tubos fueron centrifugados nuevamente. Se recuperó la capa superficial de la solución con un asa bacteriológica, y ésta fue depositada en otro tubo de plástico con una solución de agua purificada por ósmosis inversa. Este procedimiento se realizó varias veces para tratar de recuperar la mayor cantidad de huevos posibles. Posteriormente se estimó su concentración por mililitro y se ajustó hasta lograr una suspensión de 200 huevos/ml.

Producción de L₃ de *Haemonchus contortus*

La producción de L₃ consistió en recuperar cada 24 h todas las heces que los animales donadores depositaron en la malla plástica colocada debajo de cada una de las jaulas individuales. Las heces colectadas de cada donador se pasaron a bolsas de polietileno nuevas claramente identificadas para su traslado al laboratorio. Después de la incubación, las L₃ se recuperaron con el aparato de Baermann⁽³⁸⁾. Las larvas se depositaron en botellas de cultivo con tapa ventilada. Los frascos fueron identificados con su fecha de cosecha, nombre de aislado y su concentración de L₃/ml. Las larvas se conservaron en refrigeración (6-10 °C) hasta su uso en las pruebas *in vitro* de inhibición de la migración y desenvaine, así como la de mortalidad de L₃ desenvainadas que son descritas posteriormente.

Dispersión de curcumina en polivinilpirrolidona (CUR/PVP)

Previo a los estudios *in vitro* y considerando la pobre solubilidad de la CUR^(16,40), se utilizó un procedimiento descrito previamente para mejorar la solubilidad y absorción de la cúrcuma E⁽²⁵⁾. El procedimiento consistió en combinar la cúrcuma E (52.28 % CUR; Laboratorios Mixim S.A. de C.V., Naucalpan, México) con PVP K30 (Agrimer K-30 Ashland, Columbus, Ohio, U.S.), en proporción 1:7. Esto permitió obtener una dispersión de cúrcuma E con una concentración final de CUR de 6.2 % (CUR/PVP). Este procedimiento se realizó en el Laboratorio de Ensayos de Desarrollo Farmacéutico (LEDEFAR) de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

Preparación de soluciones madre de la dispersión CUR/PVP

Para las pruebas de inhibición de la eclosión de huevos (IEH), inhibición de la migración larvaria (IML) y mortalidad a las 72 h de L₃ sin vaina, se elaboró una solución madre con 32.4 mg de dispersión de CUR/PVP en 20 ml de agua purificada y se agitó con barra magnética durante 2 h. Posteriormente, la suspensión se centrifugó (BHG, Alemania) a 1,057 g durante 5 min y se utilizó el sobrenadante para las distintas concentraciones de los bioensayos. Para la prueba de inhibición del desarrollo larvario (IDL) se elaboró una solución madre con 64.8 mg de dispersión de CUR/PVP en 20 ml de agua purificada.

Determinación de la concentración de curcumina

Debido a la baja solubilidad de la CUR, en el sobrenadante utilizado para los bioensayos fue necesario determinar el contenido real en la suspensión. Para determinar la concentración de la suspensión se utilizó las metodologías descritas en la nota de Buchi No. 747⁽⁴¹⁾ y FSSAI⁽⁴²⁾. Brevemente, el sobrenadante utilizado se analizó con un espectrofotómetro UV/VIS (Lambda 25, Perkin Elmer, Beaconsfield, UK) a 425 nm de transmitancia. Se preparó una curva de calibración (0 - 6 mg/L) de CUR (estándar de Sigma Aldrich® cat. C7727 con 91 % de pureza) en etanol. Se utilizó etanol puro (Sigma Aldrich® cat. E7148) para corregir la lectura de fondo. Este procedimiento permitió determinar que la solución madre preparada con 32.4 mg de CUR/PVP contenía 11.3 µg CUR/ml y la solución madre de 64.8 mg de CUR/PVP contenía 23 µg CUR/ml.

Prueba de inhibición de eclosión de huevos

La prueba IEH se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Coles *et al*⁽⁴³⁾. La suspensión de huevos (200 huevos/ml) se distribuyó de manera homogénea en placas de 24 pozos (1 ml por pozo). Para esta prueba se utilizó la solución madre de CUR/PVP que contenía 11.3 µg/ml de CUR. Las concentraciones finales en los pozos se obtuvieron por

diluciones seriadas (%) de la solución madre: 2.3 (20 %), 4.0 (35 %), 5.7 (50 %) y 8.5 (75 %) $\mu\text{g/ml}$ de CUR en un volumen final de 2,000 μl . Se usaron 10 μl de solución de Lugol (0.5 % del volumen incubado) como control positivo de la prueba y 1,000 μl de agua purificada como control negativo. La placa antes mencionada se incubó a 28 °C en una estufa bacteriológica. Después de 48 h se detuvo la eclosión de los huevos mediante la adición de 50 μl de solución de Lugol por pozo. La prueba contó con dos réplicas y tres repeticiones para cada concentración. El contenido de cada pozo se contabilizó con la ayuda de cámaras de McMaster y un microscopio compuesto (objetivo 10x). En el fondo de la cámara se contabilizó el número de huevos morulados (HM), el número de huevos que contenían larvas que no eclosionaron (LNE) y el número de larvas L_1 presentes en la muestra, según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Inhibición de la eclosión} = \frac{\text{huevos sin eclosionar}}{\text{huevos sin eclosionar} + L_1} \times 100$$

Prueba de inhibición de migración larval

Esta prueba se realizó de acuerdo al procedimiento de Demeler *et al*⁽³²⁾ para evaluar IVM en dimetilsulfóxido. Para las pruebas con CUR/PVP, se realizaron las modificaciones que se describen a continuación. Se utilizó la solución madre de dispersión de CUR/PVP en agua purificada a una concentración de 11.3 $\mu\text{g CUR/ml}$. Las concentraciones finales en los pozos fueron a partir de diluciones seriadas (%) de la solución madre: 0, 0.6 (5 %), 1.1 (10 %), 2.0 (17.5 %), 3.7 (32.75 %), 5.7 (50 %) y 8.5 (75 %) $\mu\text{g CUR/ml}$. En una placa de 24 pozos se colocaron 0 - 500 μl de agua purificada más 0 - 750 μl de la solución madre en cada pozo. Para el control positivo se emplearon 100 μl (10 %) de Lugol, y para el control negativo 500 μl de agua purificada. Posteriormente, se agregaron en los pozos 250 μl (pozos con concentración final de 8.5 $\mu\text{g CUR/ml}$) o 500 μl (pozos restantes) de una suspensión de larvas a una concentración de 600 y 300 L_3/ml , respectivamente, alcanzando un volumen final de 1,000 μl . Cada concentración de CUR, así como controles positivos y negativos contó con con dos réplicas y tres repeticiones. Las placas se incubaron a 28 °C durante 24 h. Para la preparación de las placas de migración se colocaron 500 μl , de bacto-agar al 1.5 % alternando una fila con bacto-agar y otra fila vacía. Se colocó un tamiz (malla de 25 μm) en cada pozo de bacto-agar. Al final de la incubación con CUR, el contenido de L_3 en los pozos de trabajo y en los pozos controles, fue transferido a los tamices. Las placas de migración se incubaron a 28 °C durante 24 h para permitir que las L_3 migraran a través de los tamices. Finalizado el tiempo de incubación de las placas de migración se retiró el tamiz. De esta manera las L_3 migradas permanecieron en los pozos correspondientes. Las L_3 que no migraron (quedando dentro de los tamices) fueron transferidas a los pozos vacíos de las filas contiguas de la misma placa. Los tamices se lavaron con 1,000 μl de agua purificada para recuperar todas las L_3 en

el pozo correspondiente. Se agregó una gota de solución de Lugol en todos los pozos. El contenido de cada pozo se vertió en cámaras McMaster para realizar el conteo de L₃ de cada pozo. Se contó el número de L₃ migradas y L₃ no migradas de cada concentración y se calculó el porcentaje de migración utilizando la fórmula descrita por Demeler *et al*⁽³²⁾:

$$\% \text{ Inhibición de la migración} = \frac{\text{no migradas } L_3}{L_3 \text{ migradas} + \text{no migradas } L_3} \times 100$$

Prueba de inhibición del desenvaine larvario

Esta prueba se realizó de acuerdo al procedimiento de Jackson y Hoste⁽⁴⁴⁾. Se empleó una suspensión de 1,000 L₃ por ml. Para esta prueba se utilizó la solución madre de dispersión de CUR/PVP que contenía 23.0 µg CUR/ml. Las L₃ fueron incubadas durante 3 h a 23 °C en las diferentes concentraciones, obtenidas a partir de diluciones seriadas de la solución madre: 0.6 (2.5 %), 2.3 (10 %), 3.5 (15 %), 4.6 (20 %), 8.1 (35 %), 11.5 (50 %) y 17.3 (75 %) µg CUR/ml en tubos de 15 ml. Adicionalmente, se incubaron L₃ en las respectivas concentraciones de PVP K-30 para descartar cualquier actividad AH del polímero. Para el control positivo las L₃ se incubaron con LEV (120 mg/ml, Laboratorios Aranda S.A. de C.V., México). En el control negativo, las L₃ fueron expuestas a agua purificada. Posteriormente, se centrifugaron a 453 g durante 5 min y lavadas con agua purificada en tres ocasiones. Las larvas expuestas a los diferentes tratamientos se dividieron en cuatro alícuotas de 200 µl (200 L₃ en cada alícuota). Previo a la prueba de desenvaine con CUR/PVP, se realizó la respectiva curva de calibración para inducir el desenvaine gradual de cada aislado con diluciones de una solución de hipoclorito de sodio (2 %) y cloruro de sodio (16.5): 1/300, 1/400, 1/480, 1/600 y 1/800 en solución búfer de fosfatos (PBS, pH 7.4). El proceso de desenvaine fue monitoreado cada 20 min (minutos 0, 20, 40 y 60), en respectivas alícuotas de 50 µl (25-50 L₃) usando un microscopio con los objetivos de 10x y 40x. El desenvaine fue detenido mediante el flameado de los portaobjetos cubiertos por los cubreobjetos conteniendo las L₃. Se efectuaron cuatro repeticiones por cada una de las concentraciones evaluadas de CUR. El %IDL fue determinado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Inhibición de desenvaine} = \frac{L_3 \text{ no desenvainadas}}{L_3 \text{ no desenvainadas} + L_3 \text{ desenvainadas}} \times 100$$

Prueba de evaluación de mortalidad sobre L₃ desenvainadas

Esta prueba se realizó de acuerdo al procedimiento de Reyes-Guerrero *et al*⁽³⁴⁾ con algunas modificaciones. Durante un periodo que abarcó desde las 3 hasta las 15 semanas de edad de

las L₃ de cada aislado de *H. contortus*, se realizaron cinco ensayos con L₃ desenvainadas con hipoclorito de sodio comercial al 0.187 %⁽⁴⁵⁾. Para esta prueba se utilizó la solución madre de dispersión de CUR/PVP que contenía 11.3 µg/ml de CUR. Las L₃ desenvainadas fueron expuestas a diferentes concentraciones 1.1 (10 %), 2.3 (20 %), 4.0 (35 %), 5.7 (50 %) y 8.5 (75 %) µg CUR /ml teniendo como control positivo solución de Lugol (10 µl) y control negativo agua purificada (50 µl). Cada concentración de CUR, controles positivos y negativos contó con dos réplicas de tres repeticiones cada una en placas de microtitulación de 96 pozos. Se agregaron 100 L₃, contenidas en 25 µl (pozos con concentración final de 8.5 µg/ml CUR) o en 50 µl (resto de los pozos) en un volumen final de 100 µl por pozo. Posteriormente se incubaron a 28 °C durante 72 h. Al final del periodo de incubación, se procedió a realizar el conteo de L₃ vivas y muertas en cada pozo, recogiendo la totalidad del pozo en gotas de 10 µl que fueron depositadas en portaobjetos para su conteo utilizando un microscopio óptico (objetivo 4x). Finalmente, se calculó el porcentaje de mortalidad utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Mortalidad} = \frac{L_3 \text{ muertas}}{L_3 \text{ muertas} + L_3 \text{ vivas}} \times 100$$

Análisis de datos

Los datos obtenidos en los ensayos con huevos (IEH) o L₃ (IML, IDL y mortalidad) se utilizaron para la obtención de las curvas de concentración-respuesta en una regresión log-logística con dos parámetros en el software RStudio, usando la extensión drc^(46,47). Se obtuvo la CE₅₀ e IC95% de cada prueba. El porcentaje de IEH, IML, IDL y mortalidad se analizaron respectivamente en un diseño completamente al azar mediante un ANOVA utilizando la función GLM de la extensión mass en el software RStudio^(42,43,48). Se incluyeron dos factores: aislado y concentración, el primero con tres niveles (Paraíso, FMVZ-UADY y CENID-SAI, INIFAP) y el segundo las concentraciones utilizadas de CUR para cada prueba. La comparación de medias se realizó con la prueba de Bonferroni en un nivel de significancia $P < 0.05$.

Previo a realizar el ANOVA descrito, se confirmó que los datos de eclosión, migración y desenvaine no cumplían con el supuesto de normalidad de acuerdo al test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Tampoco cumplían con la homogeneidad de varianza de acuerdo a la prueba de heterocedasticidad de Breusch-Pagan. Por lo tanto, los datos tuvieron que ser transformados mediante la transformación de Box-Cox con la extensión mass del programa mencionado^(47,48), posteriormente se realizó el análisis con los valores transformados una vez confirmados los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Sin embargo, los resultados se presentan como valores retro-transformados para facilitar su interpretación.

Resultados

Actividad de la CUR para inhibir el desarrollo del huevo y la eclosión de la L₁

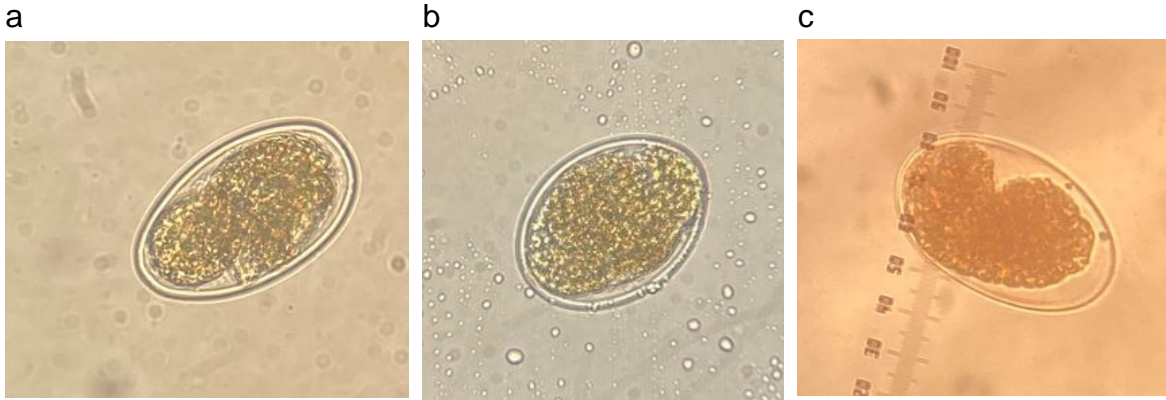
En el Cuadro 1 se presentan los promedios de inhibición de eclosión de huevos con distintas concentraciones de CUR para tres distintos aislados de *H. contortus*. De las cuatro distintas concentraciones de CUR utilizadas, solamente la concentración con 5.7 µg/ml de CUR alcanzó 99 % de inhibición de la eclosión en los aislados Paraíso y FMVZ-UADY, lográndose observar presencia de huevos morulados y huevos larvados (Figura 1 a y b). Sin embargo, a la mayor concentración evaluada, la inhibición no disminuyó de manera significativa para esos mismos aislados (Cuadro 1). En esta última concentración (8.5 µg CUR/ml) las L₁ mostraron cambios morfológicos que se podrían asociar a daño o inviabilidad de éstas (Figuras 2 a y b). En el aislado CENID-SAI, INIFAP los porcentajes de IEH fueron bajos (< 10 %) en todas las concentraciones utilizadas. Por tanto, no se pudo determinar la CE₅₀ para ninguno de los aislados de *H. contortus* evaluados.

Cuadro 1: Porcentaje de inhibición (promedio ± desviación estándar) de la eclosión de huevos tratados con distintas concentraciones de curcumina (CUR) en tres aislados de *Haemonchus contortus* con distinta susceptibilidad a antihelmínticos comerciales

	0 µg CUR/ml	2.3 µg CUR/ml	4 µg CUR/ml	5.7 µg CUR/ml	8.5 µg CUR/ml
Aislado					
Paraíso	5.1 ± 2.5	6.6 ± 3.6	16.4 ± 10.5	100 ± 0 ^a	34.8 ± 50.6
FMVZ-UADY	3.3 ± 0.9	8.3 ± 4.9	7.4 ± 2.4	99.8 ± 0.3 ^a	8.7 ± 3.5
CENID-SAI					
INIFAP	3.2 ± 1.2	6.5 ± 2.2	7.6 ± 2.1	6.5 ± 1.9 ^b	6.6 ± 1.2

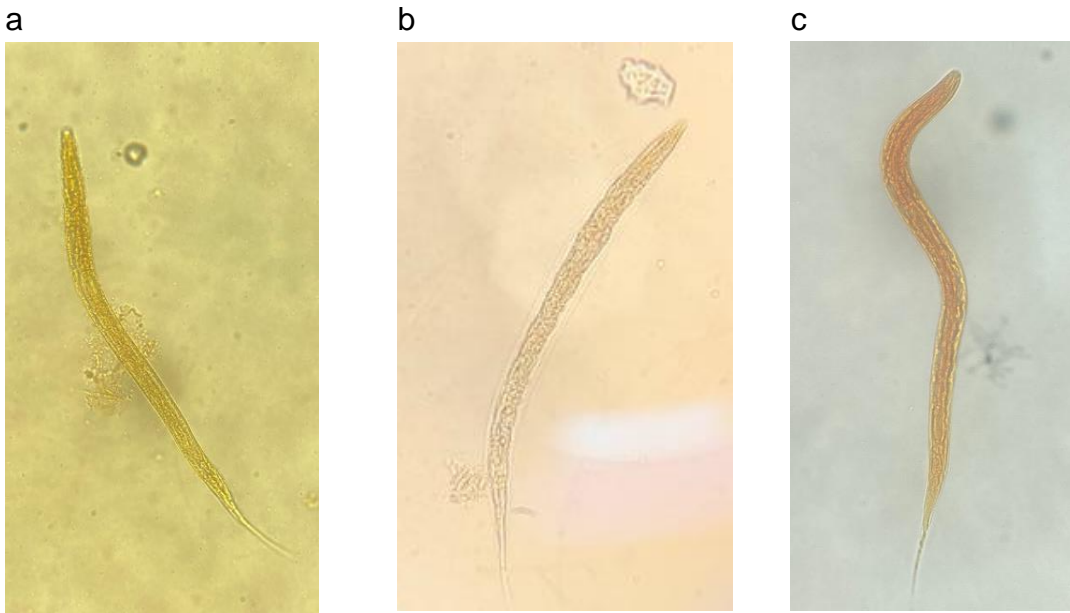
ab Literal diferente en la misma columna indica diferencia significativa entre aislados ($P < 0.05$).

Figura 1: Huevos de *Haemonchus contortus* aislado Paraíso (objetivo 40x) recuperados del bioensayo de inhibición de la eclosión a una concentración de 5.7 µg/ml de CUR



(a) huevo larvado y (b) huevo morulado. (c) Huevo recuperado del control positivo con tiabendazol.

Figura 2: Larvas L₁ de *Haemonchus contortus* aislado Paraíso recuperadas de bioensayos de inhibición de la eclosión de huevos (concentración de 8.5 µg/ml de CUR)



(a) larva degradada y (b) larva degradada con cutícula separada del cuerpo. (c) Larva L₁ normal recuperada de control negativo (objetivo 40x).

Actividad antihelmíntica de CUR sobre la migración de L₃ de tres aislados de *Haemonchus contortus*

En el Cuadro 2 se muestran los promedios de IML obtenidos con distintas concentraciones de CUR para tres aislados de *H. contortus*. De las seis distintas concentraciones utilizadas,

solamente la concentración de 5.7 µg/ml de CUR alcanzó porcentajes altos de inhibición de la migración con 64 % y 53 % para los aislados Paraíso y FMVZ-UADY, respectivamente, comparando con el control negativo ($P<0.05$). Por su parte, el aislado CENID SAI, INIFAP mostró menor inhibición de la migración con solo 20.3 %, y no fue diferente al control negativo. De modo semejante que en los bioensayos de IEH, no fue posible identificar la CE_{50} de CUR para inhibir la migración de los tres aislados evaluados.

Cuadro 2: Porcentaje de inhibición de migración (promedio \pm desviación estándar) de L_3 tratadas con distintas concentraciones de curcumina (CUR) en tres aislados de *Haemonchus contortus* con distinta susceptibilidad a antihelmínticos comerciales

Aislado	0 µg CUR/ml	0.6 µg CUR/ml	1.1 µg CUR/ml	2.0 µg CUR/ml	3.7 µg CUR/ml	5.7 µg CUR/ml	8.5 µg CUR/ml
Paraíso	11.4 \pm 3.6	15.2 \pm 3.6	18.8 \pm 14	13.2 \pm 1.8	12.7 \pm 3.8	64.1 \pm 22.1 ^a	18.1 \pm 7.1
FMVZ-UADY	11.1 \pm 4.5	19.2 \pm 10.5	10.8 \pm 3.5	10.8 \pm 3.5	12.1 \pm 6.8	53 \pm 23.1 ^a	18.9 \pm 12.9
CENID-SAI	8.4 \pm 8.4	9.3 \pm 9.3	8.4 \pm 8.4	8.7 \pm 8.7	14.6 \pm 14.6	13.6 \pm 13.6	20.3 \pm 20.3
INIFAP	3.1	7.4	2.7	2.4	4.3	2.4 ^b	12.8

^{ab} Literal diferente en la misma columna indica diferencia significativa entre aislados ($P<0.05$).

Actividad antihelmíntica de CUR sobre el desenvaine de L_3 de tres aislados de *Haemonchus contortus*

Se demostró que la CUR puede bloquear el desenvaine de las L_3 en las concentraciones de 8.1, 11.5 y 17.3 µg CUR/ml en rangos que van desde el 60 % hasta el 100 %. Las CE_{50} de los tres aislados fueron diferentes al no traslaparse sus respectivos $IC_{95\%}$. La menor CE_{50} se obtuvo con el aislado FMVZ-UADY (CE_{50} = 1.9 µg/ml, $IC_{95\%}$ 1.58-2.31), seguida de Paraíso (CE_{50} = 3.2 µg/ml, $IC_{95\%}$ 2.69-3.81) y el valor más alto fue el de CENID-SAI, INIFAP (CE_{50} = 7.0 µg/ml; $IC_{95\%}$ 6.58-7.43).

Actividad de CUR sobre la mortalidad de L_3 desenvainadas de tres aislados de *Haemonchus contortus*

Con respecto a los bioensayos de mortalidad de L_3 desenvainadas de los tres aislados de *H. contortus*, los promedios del porcentaje de mortalidad fueron menores al 10 % en todas las concentraciones evaluadas. Por lo tanto, no se registró un efecto de mortalidad sobre las L_3 desenvainadas de los tres aislados evaluados.

Discusión

Actividad antihelmíntica de CUR sobre eclosión de huevos de tres aislados de *Haemonchus contortus*

El presente trabajo demostró que la CUR no tiene efecto AH evidente sobre la eclosión de huevos de *H. contortus*. No se pudo determinar la CE₅₀ de CUR para ninguno de los aislados evaluados. Sin embargo, es de llamar la atención que se encontró un 99 % de disminución de la eclosión a la concentración de 5.7 µg CUR/ml para los aislados de Paraíso y FMVZ-UADY. Aparentemente, a esta concentración se presentaron las condiciones favorables para la solubilidad de la CUR en el agua y su difusión a través de las capas que protegen al huevo de *H. contortus*. Sin embargo, en la concentración mayor (8.5 µg CUR/ml) el efecto no fue evidente. Se desconoce por qué se presenta este fenómeno, pero se pudiera deber a la alta saturación del soluto en el líquido del bioensayo, o pudiera ser el resultado de un efecto hormético, al presentarse una respuesta bifásica en la que a bajas dosis no hay efecto y a dosis mayores sí se observan cambios, pero a medida que aumenta la dosis ésta no presenta el efecto esperado (en forma de J o de U invertida al graficarse)⁽⁴⁹⁾. Este fenómeno es tema central en la respuesta biológica, adaptativa y de reparación, y tiene implicaciones en farmacología y toxicología⁽⁵⁰⁾. Así, la hormesis se ha presentado a distintas concentraciones de curcumina en distintos tipos celulares^(51,52). Estudios previos han demostrado que un extracto metanol:agua (70:30) de *C. longa* mostró efecto AH contra los huevos de *H. contortus*, con una CE₅₀ de 69.75 µg/ml⁽²⁰⁾. Por otro lado, Cruz-Aguila⁽⁵³⁾ demostró el efecto de dos extractos del rizoma de *C. longa*, uno hidroalcohólico (1:9) y uno acuoso, sobre huevos de *H. contortus*, con CE₅₀ de 100.9 y 83.7 mg/ml, respectivamente. En los dos estudios que utilizaron extractos de *C. longa* no se determinó el papel de la CUR en el efecto AH reportado contra los huevos de *H. contortus*. En esos estudios se utilizaron solventes con distinta polaridad para la extracción de los compuestos y no se purificaron para la identificación de sus principales compuestos. Por lo tanto, estos autores solo suponen que se trata de un efecto de la curcumina, al ser ésta el principal componente en un extracto de *C. longa*. Sin embargo, es importante considerar la posibilidad de un efecto sinérgico al combinar diferentes curcuminoides como en el caso de *Toxocara canis* en el que la CUR mostró efecto AH sobre las L₂, pero el efecto se incrementó al combinar la CUR con desmetoxicurcumina, bisdesmetoxicurcumina y ciclocurcumina, sugiriendo que el sinergismo mejora la efectividad⁽⁵⁴⁾. Es importante recalcar que las L₁ observadas en los ensayos de IEH sugieren que la CUR podría ocasionar pérdida de la continuidad celular a nivel de órganos internos, cambios que pueden ser compatibles con la inviabilidad de las L₁. Estos efectos en la L₁ no habían sido reportados anteriormente y se sugiere que es necesario evaluar el efecto de la CUR sobre larvas de diferente estadio mediante la metodología de desarrollo larvario⁽⁵⁵⁾.

Actividad antihelmíntica de CUR sobre L₃ de tres aislados de *Haemonchus contortus*

En las pruebas de IML los resultados son semejantes a los obtenidos en las pruebas de IEH, ya que no se encontró un efecto AH de la CUR y no se pudo determinar la CE₅₀ para ninguno de los tres aislados evaluados. Tal como ocurrió en la prueba de IEH, los mejores porcentajes de inhibición en la migración de L₃ se obtuvieron con la concentración de 5.7 µg CUR/ml, aunque solo se alcanzaron porcentajes de inhibición entre 50 y 60 %. Al igual que en las pruebas de IEH, los resultados de la prueba de IML fueron erráticos posiblemente debido a las características propias de la CUR que podría presentar degradación al final de los bioensayos (48 h) ya que fue evidente el oscurecimiento de la solución, pasando de un amarillo claro al inicio del bioensayo hasta un color café en el interior de los pozos a las 48 h^(56,57). Hasta donde los autores tienen conocimiento, no existe algún antecedente de pruebas *in vitro* de IML para evaluar algún extracto de *C. longa* contra L₃ de *H. contortus* y que pudiera ayudar a explicar los resultados obtenidos.

Un resultado sobresaliente del presente estudio fue encontrar que la CUR bloquea el desenvaine de las L₃ de *H. contortus*. Este bloqueo del desenvaine, que se ha confirmado que ocurre en el líquido ruminal⁽⁵⁸⁾, pudiera ocasionar que las L₃ no puedan invadir las criptas en el abomaso, y consecuentemente no lograrían llegar a sus siguientes etapas, incluyendo la L₄, L₅ y adultos⁽⁵⁹⁾. Diversos estudios muestran que el bloqueo del desenvaine se asocia a la actividad de los polifenoles contenidos en los extractos de diferentes plantas obtenidos tanto de las hojas como de otras partes de diferentes especies de plantas^(8,60). La CUR es un polifenol relacionado estructuralmente con el ácido cafeico y ácido ferúlico⁽⁶¹⁾, los cuales también han sido evaluados contra *H. contortus* con los bioensayos de IEH e IDL⁽⁸⁾. El ácido ferúlico ha mostrado efecto ovicida a concentraciones de 200-400 µg/ml, y en la prueba de IDL los ácidos cafeico y ferúlico presentaron actividad a concentraciones de 7.8 y 20.6 µg/ml, respectivamente. En el presente estudio se demostró que la CUR inhibe el desenvaine de las L₃ a concentraciones menores (< 7 µg/ml) que las de polifenoles mencionados anteriormente.

Se desconoce cuál es el mecanismo por medio del cual la CUR puede inhibir el desenvaine en los tres aislados de *H. contortus*. Pero es un hecho que la CUR mostró diferencias significativas en su capacidad de inhibir el desenvaine en los tres aislados estudiados. Se ha sugerido que la actividad de bloqueo del desenvaine depende de cómo interactúa la CUR con enzimas, proteínas, ácidos nucleicos, biomoléculas y diferentes tipos de receptores en la vaina de los *H. contortus*⁽⁶²⁾. Recientemente, un estudio de metabolómica reveló un panel de metabolitos directamente responsables del desenvaine de las L₃, al estar asociado con aminoácidos, así como con las vías del metabolismo de las purinas y el piruvato en *H.*

contortus⁽⁶³⁾. Es evidente que se deberá investigar el papel de CUR en una o varias de estas vías metabólicas que pueden llevar a inhibir el desenvaine.

Por otro lado, el presente trabajo confirmó que la CUR no afecta la mortalidad de las L₃ sin vaina. Dado que la mortalidad causada por diferentes concentraciones de CUR sobre las L₃ desenvainadas nunca superó el 10 %. Esto confirma estudios previos que mostraron que el extracto de *C. longa* ocasiona una mortalidad menor al 10 % cuando se usa a 100 µg/ml⁽²⁰⁾. Un segundo estudio confirmó la ausencia de algún efecto sobre la mortalidad de L₃ de dos extractos de *C. longa*⁽⁵³⁾. Todos estos estudios contrastan con el trabajo de Nasai *et al*⁽²¹⁾, quienes proponen que un extracto etanólico de *C. longa* incrementa la mortalidad de las L₃ (78 %) a dosis de 200 mg/ml. Sin embargo, en este último estudio, se usó una gran cantidad de extracto y pudiera no ser viable de replicar en condiciones *in vivo*. Definitivamente, es importante recalcar que, aun cuando no se logró estimar una CE₅₀ de CUR para la mortalidad de las L₃, la prueba de eclosión de huevos demostró que la CUR es capaz de ocasionar cambios que pueden ser compatibles con la inviabilidad de las L₁ de *H. contortus*.

Finalmente, se ha corroborado que los aislados de *H. contortus* de distintas regiones geográficas presentan diferente susceptibilidad *in vitro* a los compuestos naturales de las plantas, tanto en la prueba de IEH como la de IDL^(64,65). Estos autores sugieren un proceso adaptativo por parte del parásito, para lograr su supervivencia aún en presencia de compuestos secundarios con actividad AH que son ingeridos por el rumiante durante el pastoreo. En este estudio fue posible demostrar que en los diversos bioensayos *in vitro* los aislados presentaron respuestas diferentes en las concentraciones de CUR evaluadas. Esto fue más evidente para las pruebas de IDL en las que los tres aislados fueron diferentes entre sí. Se desconoce por qué el aislado CENID-SAI, INIFAP presentó la menor sensibilidad al efecto de CUR sobre el desenvaine con respecto a los otros dos aislados de campo de Yucatán.

Conclusiones e implicaciones

La CUR no mostró actividad AH *in vitro* contra la eclosión de huevos, la migración de L₃ o la mortalidad de L₃ sin vaina de ninguno de los tres aislados (FMVZ-UADY, Paraíso, CENID-SAI, INIFAP). Sin embargo, se demostró un efecto sobre el desenvaine de las L₃, al igual que diferencias entre los tres aislados de *H. contortus* estudiados.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Agradecimientos

La presente investigación fue financiada por el CENID SAI, INIFAP a través del proyecto 20454534898 y forma parte del proyecto de Doctorado de Lisandro Encalada Mena en la FMVZ-UADY, México. Así también Lisandro Encalada Mena recibió una beca de estudios de posgrado del programa PRODEP-SEP (UNACAM-122). La producción de huevos y larvas de diferentes aislados de *H. contortus* fue obtenida del cepario de NGI de la FMVZ-UADY que es un producto del proyecto Cátedras CONAHCYT No. 692.

Literatura citada:

1. Encalada-Mena LA, Corbala-Bermejo JA, Vargas-Magaña JJ, García-Ramírez MJ, Uicab-Brito L, del Río-Rodríguez J. Gastrointestinal nematode prevalence in dual purpose systems in the municipality of Escárcega, Campeche, México. *Agrociencia* 2009;43(6):569–576.
2. Rinaldi L, Catelan D, Musella V, Cecconi L, Hertzberg H, Torgerson PR. *et al.* *Haemonchus contortus*: spatial risk distribution for infection in sheep in Europe. *Geospat Health* 2015;19:325–331.
3. Coop RL, Holmes PH. Nutrition and parasite interaction. *Int J Parasitol* 1996;26(8-9):951-962.
4. Arsenopoulos KV, Fthenakis GC, Katsarou EI, Papadopoulos E. Haemonchosis: A Challenging parasitic infection of sheep and goats. *Animals* 2021;11:1–28.
5. Besier RB, Kahn LP, Sargison ND, Van Wyk JA. The Pathophysiology, Ecology and Epidemiology of *Haemonchus contortus* Infection in Small Ruminants. *Adv Parasitol* 2016;93:95-143.
6. Rose H, Rinaldi L, Bosco A, Mavrot F, De Waal T, Skuce P. *et al.* Widespread anthelmintic resistance in European farmed ruminants: a systematic review. *Vet Rec* 2015;176(21):546-546.
7. Torres-Acosta JFJ, Hoste H, Sandoval-Castro CA, Torres-Fajardo RA, Ventura-Cordero J, González-Pech P. *et al.* The art of war against gastrointestinal nematodes in sheep and goat herds of the tropics. *Rev Académica Cienc Anim* 2019;17:39-46.
8. Mancilla-Montelongo G, Castañeda-Ramírez GS, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Borges-Argáez R. Evaluation of cinnamic acid and six analogues against eggs and larvae of *Haemonchus contortus*. *Vet Parasitol* 2019;270:25-30.

9. Lima CS, Pereira MH, Gainza YA, Hoste H, Regasini LO, de Souza Chagas AC. Anthelmintic effect of *Pterogyne nitens* (Fabaceae) on eggs and larvae of *Haemonchus contortus*: Analyses of structure-activity relationships based on phenolic compounds. *Ind Crops Prod* 2021;164:113348.
10. Nelson KM, Dahlin JL, Bisson J, Graham J, Pauli GF, Walters MA. The essential medicinal chemistry of curcumin. *J Med Chem* 2017;60(5):1620–1637.
11. Tsuda T. Curcumin as a functional food-derived factor: degradation products, metabolites, bioactivity, and future perspectives. *Food Funct* 2018;9(2):705-714.
12. Mimche PN, Taramelli D, Vivas L. The plant-based immunomodulator curcumin as a potential candidate for the development of an adjunctive therapy for cerebral malaria. *Malar J* 2011;10(Suppl 1):1-9.
13. Rauf A, Imran M, Orhan IE, Bawazeer S. Health perspectives of a bioactive compound curcumin: A review. *Trends Food Sci Technol* 2018;74:33–45.
14. Trujillo J, Chirino YI, Molina-Jijón E, Andérica-Romero AC, Tapia E, Pedraza-Chaverrí J. Renoprotective effect of the antioxidant curcumin: Recent findings. *Redox Biol* 2013;1(1):448–456.
15. Xue X, Yu JL, Sun DQ, Zou W, Kong F, Wu J. *et al.* Curcumin as a multidrug resistance modulator - A quick review. *Biomed Prev Nutr* 2013;3(2):173–176.
16. Mahmood K, Zia KM, Zuber M, Salman M, Anjum MN. Recent developments in curcumin and curcumin based polymeric materials for biomedical applications: A review. *Int J Biol Macromol* 2015;81:877–890.
17. De Aguiar DP, Moscardini MBM, Morais ER, De Paula RG, Ferreira PM, Afonso A. *et al.* Curcumin generates oxidative stress and induces apoptosis in adult *Schistosoma mansoni* worms. *PLoS One* 2016;11(11):1–25.
18. Cervantes-Valencia ME, Alcalá-Canto Y, Sumano-Lopez H, Ducoing-Watty AM, Gutierrez-Olvera L. Effects of *Curcuma longa* dietary inclusion against *Eimeria spp.* in naturally-infected lambs. *Small Ruminant Res* 2016;136:27-35.
19. Singh A, Varshneya C, Telang RS. *In vitro* anthelmintic effect of *Curcuma longa*. *Indian Vet J* 2005;82(6):594–596.

20. Ullah S, Khan MN, Sajid MS, Muhammad G. Comparative anthelmintic efficacy of *Curcuma longa*, *Citrullus colocynthis* and *Peganum Harmala*. Glob Vet 2013;11(5):560–567.
21. Nasai NB, Abba Y, Abdullah FFJ, Marimuthu M, Tijjani A, Sadiq MA. *et al.* In vitro larvicidal effects of ethanolic extract of *Curcuma longa* Linn on *Haemonchus* larval stage. Vet World 2016;9(4):417–420.
22. Yallapu MM, Jaggi M, Chauhan SC. Curcumin nanoformulations: a future nanomedicine for cancer. Drug Discov 2012;17(1-2):71-80.
23. Rafiee Z, Nejatian M, Daeihamed M, Jafari SM. Application of curcumin-loaded nanocarriers for food, drug and cosmetic purposes. Trends Food Sci Technol 2019;88:445-458.
24. Paradkar A, Ambike AA, Jadhav BK, Mahadik KR. Characterization of curcumin–PVP solid dispersion obtained by spray drying. Int J Pharm 2004;271(1-2):281-286.
25. Hernandez-Patlan D, Solis-Cruz B, Pontin KP, Latorre JD, Baxter MF, Hernandez-Velasco X. *et al.* Evaluation of a solid dispersion of curcumin with polyvinylpyrrolidone and boric acid against *Salmonella enteritidis* infection and intestinal permeability in broiler chickens: A pilot study. Front Microbiol 2018;9:1–10.
26. Teodorescu M, Bercea M. Poly(vinylpyrrolidone) – A versatile polymer for biomedical and beyond medical applications. Poly Plast Technol Eng 2015;54(9):923–943.
27. Sadeghi F, Ashofteh M, Homayouni A, Abbaspour M, Nokhodchi A, Garekani HA. Antisolvent precipitation technique: A very promising approach to crystallize curcumin in presence of polyvinyl pyrrolidone for solubility and dissolution enhancement. Colloids Surf B 2016;147:258-264.
28. Guo L, Shi M, Song N, Wan Z, Liu H, Liu L. Anchorage of curcumin onto PVP enhances anti-tumor effect of curcumin. Med Chem Res 2019;28(5):646–656.
29. Sepúlveda-Vázquez J, Lara-Del Rio MJ, Vargas-Magaña JJ, Quintal-Franco JA, Alcaraz-Romero RA, Ojeda-Chi MM. *et al.* Frequency of sheep farms with anthelmintic resistant gastrointestinal nematodes in the Mexican Yucatán peninsula. Vet Parasitol: Reg Stud Rep 2021;24:1–7.
30. Mancilla-Montelongo MG, González-Pech PG, Miranda-Miranda DY, Castañeda-Ramírez GS, Encalada-Aguilar PA, Can Celis AC. *et al.* Targeted treatment strategies for the control of gastrointestinal nematodes in a goat flock with anthelmintic resistant worm populations and poor nutrition. Small Rumin Res 2023;227:107062.

31. Von Samson-Himmelstjerna G, Coles GC, Jackson F, Bauer C, Borgsteede F, Cirak VY. *et al.* Standardization of the egg hatch test for the detection of benzimidazole resistance in parasitic nematodes. *Parasitol Res* 2009;105(3):825–834.
32. Demeler J, Küttler U, von Samson-Himmelstjerna G. Adaptation and evaluation of three different *in vitro* tests for the detection of resistance to anthelmintics in gastro intestinal nematodes of cattle. *Vet Parasitol* 2010;170:61–70.
33. Encalada-Mena LA, López-Arellano, R, López-Arellano ME, Mancilla-Montelongo M G, Sandoval-Castro CA, Olmedo-Juárez A. *et al.* Curcumin-PVP improves the *in vitro* efficacy of ivermectin against resistant and susceptible *Haemonchus contortus*. *Exp Parasitol* 2024;256:108670.
34. Reyes-Guerrero DE, Cedillo-Borda M, Alonso-Morales RA, Alonso-Díaz MA, Olmedo-Juárez A, Mendoza-de-Gives P. *et al.* Comparative study of transcription profiles of the P-glycoprotein transporters of two *Haemonchus contortus* isolates: Susceptible and resistant to ivermectin. *Mol Biochem Parasitol* 2020;238:111281.
35. Ramos-Bruno E, Sandoval-Castro CA, Torres-Acosta JFJ, Sarmiento-Franco LA, Torres-Fajardo R, Chan-Pérez, JI. *et al.* Nitrogen retention in hair sheep lambs with a gradient of *Haemonchus contortus* infection. *Vet Parasitol* 2021;296:109488.
36. Mendoza de Gives P, Torres-Acosta JF, Figueroa-Castillo JA, Soberanes-Céspedes N, Mancilla-Montelongo MG, Jasso-Villazul C. *et al.* Diagnóstico y control sustentable de nematodos gastrointestinales en ovinos y caprinos en la era de la resistencia antihelmíntica. Primera ed. Mérida, Yucatán, México: Editorial Universidad Autónoma de Yucatán; 2023.
37. Bauer BU, Pomroy WE, Gueydon J, Gannac S, Scott I, Pfister K. Comparison of the FLOTAC technique with the McMaster method and the Baermann technique to determine counts of *Dictyocaulus eckerti* L₁ and strongylid eggs in faeces of red deer (*Cervus elaphus*). *Parasitol Res* 2010;107:555-560.
38. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF). Manual of veterinary parasitological laboratory techniques. 3rd ed. London. Her Majesty's Stationery Office (HMSO); 1986.
39. van Wyk JA, Mayhew E. Morphological identification of parasitic nematode infective larvae of small ruminants and cattle: A practical lab guide. *Onderstepoort J Vet Res* 2013;80(1):1–14.

40. Liu W, Zhai Y, Heng X, Che FY, Chen W, Sun D. *et al.* Oral bioavailability of curcumin: problems and advancements. *J Drug Target* 2016;24(8):694–702.
41. Buchi (2021) Application note No. 747/2021. Determination of curcuminoids in turmeric powder.
https://assets.buchi.com/image/upload/v1623829658/pdf/ShortNotes/SN_747_2021_Determination_of_Curcuminoids_in_turmeric_powder.pdf.
42. Food Safety and Standards Authority of India (FSSAI). Manual of methods of analysis of foods: spices, herbs and condiments. New Delhi, Government of India, Ministry of Health and Family Welfare; 2012.
43. Coles GC, Jackson F, Pomroy WE, Prichard RK, Von Samson-Himmelstjerna G, Silvestre A. *et al.* The detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. *Vet Parasitol* 2006;136(3–4):167–185.
44. Jackson F, Hoste H. *In vitro* methods for primary screening of plant products for direct activity against ruminant nematodes. In: Vercoe PE, *et al* editors. *In vitro* screening of plant resources for extra- nutritional attributes in ruminants: Nuclear and related methodologies. Springer;2010:25–45.
45. Liébano-Hernández E, López-Arellano ME, Vázquez-Prats V, Mendoza de Gives P. Cryopreservation of infective larvae of *Haemonchus contortus*. *Rev Latinoam Microbiol* 1996;38(2):111-114.
46. Ritz C, Baty F, Streibig JC, Gerhard D. Dose-response analysis using R. *PLoS One* 2015;10(12):1–13.
47. R Core Team. A language and environment for statistical computing Vienna, Austria. 2020.
48. Ripley B, Venables B, Bates DM, Hornik K, Gebhardt A, Firth D, Ripley MB. Package ‘mass’. *Cran R* 538. 2013;113-120.
49. Calabrese EJ. Hormesis: path and progression to significance. *Int J Mol Sci* 2018;19(10):2871.
50. Calabrese EJ, Mattson MP. How does hormesis impact biology, toxicology, and medicine?. *NPJ Aging Mech* 2017;3(1):13.

51. Moghaddam NSA, Oskouie MN, Butler AE, Petit PX, Barreto GE, Sahebkar A. Hormetic effects of curcumin: What is the evidence? *J Cell Physiol* 2019;234(7):10060–10071.
52. Rainey NE, Moustapha A. Petit PX. Curcumin, a multifaceted hormetic agent, mediates an intricate crosstalk between mitochondrial turnover, autophagy, and apoptosis. *Oxid Med Cell Longev* 2020;3656419.
53. Cruz-Aguila J. Pruebas *in vitro* de extractos vegetales contra *Haemonchus contortus* [tesis licenciatura]. México, Tabasco: Universidad Autónoma Chapingo; 2018.
54. Kiuchi F, Goto Y, Sugimoto N, Tsuda Y, Akao N, Kondo K. Nematocidal activity of turmeric: synergistic action of curcuminoids. *Chem Pharm Bull* 1993;41(9):1640–1643.
55. Olmedo-Juárez A, Rojo-Rubio R, Arece-García J, Salem AZ, Kholif AE, Morales-Almaraz E. *In vitro* activity of *Pithecellobium dulce* and *Lysiloma acapulcensis* on exogenous development stages of sheep gastrointestinal strongyles. *Ital J Anim Sci* 2014;13(4):3104.
56. Li B, Konecke S, Wegiel LA, Taylor LS, Edgar KJ. Both solubility and chemical stability of curcumin are enhanced by solid dispersion in cellulose derivative matrices. *Carbohydr Polym* 2013;98(1):1108-1116.
57. Rathnayaka RMMP, Madhusankha GDMP, Perera ODAN. Curcumin ethanolic extraction and its' stability in food applications. In 2019 From Innovation to Impact (FITI), 1-6.
58. Marin-Tun CG, Mancilla-Montelongo MG, Capetillo-Leal CM, Sandoval-Castro CA, Hoste H, Borges-Argáez R, Torres-Acosta JFJ. Adapting the *in vitro* rumen incubation method to evaluate the effect of a plant extract on the exsheathment inhibition of *Haemonchus contortus* infective larvae. *Vet Parasitol* 2024;327:110135.
59. Sommerville RI. The exsheathing mechanism of nematode infective larvae. *Exp Parasitol* 1957;6(1):18-30.
60. Spiegler V, Liebau E, Hensel A. Medicinal plant extracts and plant-derived polyphenols with anthelmintic activity against intestinal nematodes. *Nat Prod Rep* 2017;34(6):627-643.
61. Hardman WE. Diet components can suppress inflammation and reduce cancer risk. *Nutr Res Pract* 2014;8(3):233-240.

62. Ali R, Rooman M, Mussarat S, Norin S, Ali S, Adnan M, Khan SN. A systematic review on comparative analysis, toxicology, and pharmacology of medicinal plants against *Haemonchus contortus*. *Front Pharmacol* 2021;12:644027.
63. Palevich N, Maclean PH, Subbaraj AK, Cao M. A multimodal metabolomics approach to elucidate the trigger components of rumen fluid for larval exsheathment in a model gastrointestinal parasitic nematode, *Haemonchus contortus*. *bioRxiv* 2021. [preprint]
64. Chan-Pérez JI, Torres-Acosta JF, Sandoval-Castro CA, Hoste H, Castañeda-Ramírez GS, Vilarem G. *et al.* *In vitro* susceptibility of ten *Haemonchus contortus* isolates from different geographical origins towards acetone:water extracts of two tannin rich plants. *Vet Parasitol* 2016;217:53–60.
65. Chan-Pérez, JI, Torres-Acosta JFJ, Sandoval- Castro CA, Castañeda-Ramírez GS, Vilarem G, Mathieu C. *et al.* Susceptibility of ten *Haemonchus contortus* isolates from different geographical origins towards acetone:water extracts of polyphenol-rich plants. Part 2: Infective L₃ larvae. *Vet Parasitol* 2017;240:11-16.

Efecto del extracto acuoso de granos de café gastado como antioxidante en hamburguesas de cerdo crudas durante el almacenamiento refrigerado

Juan Luis Murillo Hernández ^a

Rey David Vargas Sánchez ^b

Brisa del Mar Torres Martínez ^b

Nelson Huerta Leidenz ^c

Gastón Ramón Torrescano Urrutia ^b

Armida Sánchez Escalante ^{b*}

^a Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora. Ingeniería en Industrias Alimentarias. Michoacán, México.

^b Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (CTAOA). Carretera a La Victoria Km. 0.6, 83148 Sonora, México.

^c Texas Tech University. Department of Animal and Food Sciences. Texas, USA.

*Autor de correspondencia: armida-sanchez@ciad.mx

Resumen:

Se estudió el efecto del extracto acuoso de granos de café gastado (CG) y el butilhidroxitolueno (BHT) sobre el deterioro del color, la oxidación de lípidos y el estado antioxidante de las hamburguesas de cerdo crudas durante el almacenamiento refrigerado (4 °C/9 días, en oscuridad). Se evaluó el contenido de polifenoles y la actividad antirradical del extracto de CG. Las hamburguesas de cerdo se evaluaron para determinar el pH, los parámetros de color y la oxidación de lípidos (OXL), así como la actividad antioxidante total de la carne. Los resultados mostraron que el extracto de CG es una fuente importante de

polifenoles y ejerce actividad antioxidante. Su inclusión en muestras de carne mitigó los cambios indeseables en los valores de pH, color y OXL y aumentó la estabilidad antioxidante durante el almacenamiento ($P<0.05$). En conclusión, el uso del extracto de CG como antioxidante natural puede mejorar la calidad y la vida útil de las hamburguesas de cerdo crudas.

Palabras clave: Extracto natural, Residuos de café, Actividad antioxidante, Pro-oxidación, Calidad de la carne.

Recibido: 29/01/2024

Aceptado: 25/09/2024

Introducción

La oxidación de lípidos (OXL) de las carnes conduce al desarrollo de compuestos indeseables que socavan la composición de nutrientes (por ejemplo, aminoácidos esenciales y ácidos grasos) y los atributos sensoriales (color, olor, sabor y textura), comprometiendo así las intenciones de compra y la aceptabilidad de los consumidores finales. Por lo tanto, para reducir el proceso de OXL en la carne y los productos cárnicos, se han utilizado ampliamente antioxidantes sintéticos (por ejemplo, butilhidroxitolueno y butilhidroxianisol). Sin embargo, la creciente preocupación por los riesgos para la salud que plantean los antioxidantes sintéticos está obligando a su sustitución por compuestos antioxidantes naturales⁽¹⁾.

Los compuestos antioxidantes naturales se han extraído de cada estructura anatómica de las plantas, como flores, frutos, hojas, entre otros. No obstante, los subproductos derivados de la industria de procesamiento de frutas también han sido considerados una fuente importante de polifenoles con esta propiedad⁽²⁾. El residuo insoluble que se obtiene después de filtrar la bebida es un subproducto comúnmente conocido como café gastado (CG). El CG generalmente se desecha cuando no se utiliza como fertilizante⁽³⁾.

En lugar de tratar el CG como un residuo, otras industrias de procesamiento han aprovechado esta materia prima como sustrato para el crecimiento de hongos⁽⁴⁾ y como aditivo alimentario para panaderías⁽⁵⁾. En este contexto, el extracto de residuos de café tostado molido añadido al 15 % a las caballas saladas ha disminuido la OXL durante 15 días de almacenamiento refrigerado⁽⁶⁾. El CG también se ha propuesto como ingrediente para que la industria cárnica reduzca la OXL⁽¹⁾. Sin embargo, la evaluación de CG y sus extractos como aditivo antioxidante para el desarrollo de nuevos productos cárnicos para mejorar la vida útil necesita más investigación.

Por lo tanto, se estudió la inclusión del extracto acuoso de CG como ingrediente funcional para mejorar el estado antioxidante de las hamburguesas de cerdo crudas durante el almacenamiento refrigerado.

Material y métodos

Extracción de polifenoles

Se obtuvo el CG (Caffenio®, *Coffea arabica* L. oscuro) y se sometió a esterilización térmica. Los compuestos polifenoles de CG se extrajeron con agua como disolvente mediante un método asistido por ultrasonido (42 KHz/25 °C/30 min), utilizando una proporción 1:10 CG-disolvente (Bransonic 3800; Jeju, Corea). La mezcla resultante se filtró (papel filtro Whatman 1) al vacío (MVP 6; Jeju, Corea), se evaporó a 100 rpm/60 °C (Yamato RE301BW; Tokio, Japón) y se secó (Yamato DC401; Tokio, Japón). El extracto resultante de CG se almacenó a -20 °C/en condiciones de oscuridad⁽⁷⁾.

Contenido de polifenoles

El contenido de ácido clorogénico (CAC) se determinó como se reportó anteriormente⁽⁸⁾. El extracto de CG (100 µl, 500 µg/ml) se mezcló con 200 µl de urea (0.17 M) y 200 µl de ácido acético glacial (0.1 mol/L), luego se añadieron 500 µl de dH₂O. La mezcla resultante se homogeneizó con 500 µl de NaNO₂ (0.14 mol/L) y 500 µl de NaOH (0.5 mol/L), luego se centrifugó (2,250 xg/4 °C, 10 min). La absorbancia se midió a 510 nm y los resultados se mostraron en mg de equivalentes de ácido clorogénico (EAC)/por gramo de extracto.

El contenido de fenoles totales (CFT) se determinó por el procedimiento de Folin-Ciocalteu⁽⁹⁾. El extracto de CG (10 µl, 500 µg/ml) se mezcló con 80 µl de dH₂O y 60 µl de Na₂CO₃ (7 %, p/v), luego se añadieron 40 µl de reactivo Folin-Ciocalteu (2 M). La mezcla resultante se homogeneizó con 80 µl de dH₂O y se incubó (25 °C/1 h, en oscuridad). La absorbancia se midió a 750 nm y los resultados se mostraron como mg de equivalentes de ácido gálico (EAG)/g.

El contenido de flavonoides totales (CFIT) se determinó por el procedimiento de NaNO₂-Al(NO₃)₃-NaOH⁽¹⁰⁾. El extracto de CG (500 µl, 500 µg/ml) se homogeneizó con 1 ml de NaNO₂ (5 %, p/v), 10 ml de NaOH (1 mol/L) y 1 ml de AlCl₃ (10 %, p/v). Luego se añadieron 25 ml de etanol (70 %, v/v). La solución resultante se incubó (25 °C/15 min, en oscuridad). La absorbancia se midió a 510 nm y los resultados se mostraron en mg de equivalentes de rutina (ER)/g.

El contenido de taninos totales (CTT) se determinó por el procedimiento de vainillina⁽¹¹⁾. El extracto de CG (0.2 g) se mezcló con 10 ml de metanol y se centrifugó (10,000 xg/4 °C, 20 min). A continuación, se mezclaron 180 µl del sobrenadante con 900 µl de vainillina (1 %, p/v) y 900 µl de HCl (8 %, v/v) y se incubaron (25 °C/20 min, en oscuridad). La absorbancia se midió a 500 nm y los resultados se mostraron como mg de equivalentes de (+)-catequina (EC)/g.

Ensayos de antioxidantes

La actividad de eliminación de radicales libres se determinó mediante el procedimiento del radical DPPH[•] (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo)⁽¹²⁾. A continuación, se homogeneizaron 100 µl de extracto de CG (500 µg/ml) con 100 µl de solución de radical (300 µM/kg) y se incubaron (25 °C/30 min, en oscuridad). La absorbancia se midió a 520 nm y los resultados se mostraron como (%) de inhibición: DPPH[•] (%) = [(Absorción de radicales a 0 min) – (Absorción de radicales antioxidantes a 30 min) / (Absorción de radicales a 0 min)] × 100.

La actividad eliminadora de cationes radicales se evaluó mediante el procedimiento del radical ABTS^{•+} [catión radical 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)]⁽¹³⁾. El catión radical (absorbancia de 0.8) se mezcló con extracto de CG (500 µg/ml) en una proporción de 99:1 y se incubó (25 °C/6 min, en oscuridad). La absorbancia se midió a 734 nm y los resultados se mostraron como (%) de inhibición: ABTS^{•+} (%) = [(Absorción de radicales en solución a 0 min) – (Absorción de radicales antioxidantes a 6 min) / (Absorción de radicales)] × 100.

El poder reductor fue determinado por el procedimiento del poder antioxidante reductor férrico (FRAP, por sus iniciales en inglés)⁽¹⁴⁾. A continuación, se homogeneizaron 5 µl de extracto de CG (500 µg/ml) con 150 µl de solución FRAP [10:1:1, 300 mM/kg tampón de acetato de sodio en ácido acético glacial y 10 mM/kg de reactivo TPZ en 40 nM/kg de HCl y 20 mM/kg de FeCl₃] y se incubaron (25 °C/8 min/en oscuridad). La absorbancia se midió a 595 nm y los resultados se mostraron en mg de hierro equivalente (Fe²⁺)/g.

El poder reductor también se determinó por el procedimiento RPA⁽¹⁴⁾. A continuación, se homogeneizaron 100 µl de extracto de CG (500 µg/ml) con 300 µl de tampón fosfato (0.2 mol/L, pH 6.6) y 300 µl de C₆FeK₄N₆ (1 %, p/v). La mezcla resultante se incubó a 50 °C durante 20 min. A continuación, se añadieron 300 µl de TCA (10 %, p/v) y las muestras se centrifugaron a 4,200 xg/4 °C, 15 min (Sorvall ST18R, Thermo Fisher Scientific; Waltham, EE. UU.). El sobrenadante se homogeneizó con 100 µl de dH₂O y 250 µl de FeCl₃ (0.1 %, p/v). La absorbancia se midió a 700 nm y los resultados se mostraron como absorbancia.

Elaboración de hamburguesas de cerdo

Se obtuvo carne picada fresca de cerdo (músculo *Semimembranoso*) (Norson®) y se mezcló con 1.5 % de sal (NaCl, p/p) y grasa dorsal (20 %, p/p). Las hamburguesas de cerdo se evaluaron en cuatro tratamientos (por triplicado) de la siguiente manera: Testigo (muestras sin antioxidante); T1 (muestras con 0.05 % de extracto de CG, p/p); T2 (muestras con 0.1 % de extracto de CG, p/p); T3 (muestras con 0.02 % de BHT, p/p). Se elaboraron dieciséis hamburguesas (40 g por hamburguesa) por tratamiento, se empaquetaron en bandejas de Styrofoam™ (poliestireno expandido) y se recubrieron con película de cloruro de polivinilo (17,400 cm³ O₂/m²/23 °C, 24 h). Las hamburguesas empaquetadas se refrigeraron (4 °C/9 días/en oscuridad) y en cada día de muestreo, se abrieron cuatro paquetes por tratamiento para su debido análisis.

Mediciones de la calidad de la carne

La composición química proximal (contenido de humedad, grasa, proteína, cenizas y carbohidratos) del producto cárnico se determinó siguiendo procedimientos estándar⁽¹⁵⁾.

El pH del producto cárnico se determinó mezclando las muestras con dH₂O (proporción 1:10) a 4,500 rpm/5 °C, 1 min (T25, IKA®; Staufen, Alemania), y utilizando un potenciómetro (pH211, Hanna; RI, EE. UU.)⁽¹⁵⁾.

Se utilizó el procedimiento de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico para medir la oxidación lipídica (OXL)⁽¹⁶⁾. El producto cárnico (1 g) se homogeneizó con 2,000 µl de TCA (10 %, p/v) (4,500 rpm/5 °C, 1 min) y se centrifugó (2,300 xg/4 °C, 20 min). A continuación, se homogeneizaron 200 µl de la solución filtrada (papel filtro Whatman 1) con 200 µl de reactivo TBA (0.02 mol/kg) y se incubaron a 98 °C, 20 min. La absorbancia se midió a 531 nm y los resultados se mostraron como mg de malondialdehído (MDA)/g.

El color del producto cárnico se midió espectrofotométricamente (CM-508d, Konica Minolta Inc.; Tokio, Japón). Las muestras se expusieron a O₂ en refrigeración a 4 °C, 30 min. Después de eso, se realizaron 10 lecturas en la superficie de las muestras para registrar: L*, luminosidad; a*, rojez; b*, amarillez; C*: cromaticidad; h*, ángulo de matiz⁽¹⁷⁾.

El homogeneizado de la carne se obtuvo después de homogeneizar las hamburguesas de cerdo con dH₂O (proporción 1:10) a 4,500 xg/4 °C, 10 min. Posteriormente, el sobrenadante se filtró y se sometió a mediciones de contenido de polifenoles, actividad antirradical y poder reductor.

Análisis estadístico

Los polifenoles y los datos de actividad antioxidante ($n=6$) se analizaron mediante un ANOVA de una sola vía, mientras que las mediciones de la calidad de la carne se sometieron a un ANOVA de dos vías. Se realizó una prueba de Tukey ($P<0.05$). Además, se utilizó un análisis multivariado para determinar la relación entre todos los parámetros (SPSS versión 21).

Resultados y discusión

Contenido de polifenoles y actividad antioxidante del extracto de CG

La presencia de polifenoles en el extracto de CG se demostró mediante los resultados obtenidos, incluyendo CAC (205.03 ± 4.13 mg EAC/g), CFT (562.71 ± 20.04 mg EAG/g), CFIT (756.38 ± 11.82 mg ER/g) y CTT (12.50 ± 3.33 mg EC/g). Además, los valores medios de actividad antioxidante también mostraron que el extracto de CG muestra una alta actividad antirradical DPPH[•] (84.95 ± 0.61 %) y ABTS^{•+} (43.93 ± 2.08 %), aunque el estándar (BHT) mostró los valores antioxidantes más altos ($P<0.05$) respecto al extracto de CG (89.12 ± 2.10 % y 81.20 ± 1.15 %, respectivamente). Además, el extracto de CG muestra valores moderados de FRAP (0.21 ± 0.10 mg Fe²⁺/g) y RPA (0.11 ± 0.01 abs) en relación con BHT (0.53 ± 0.15 mg Fe²⁺/g y 0.60 ± 0.10 abs, respectivamente) ($P<0.05$).

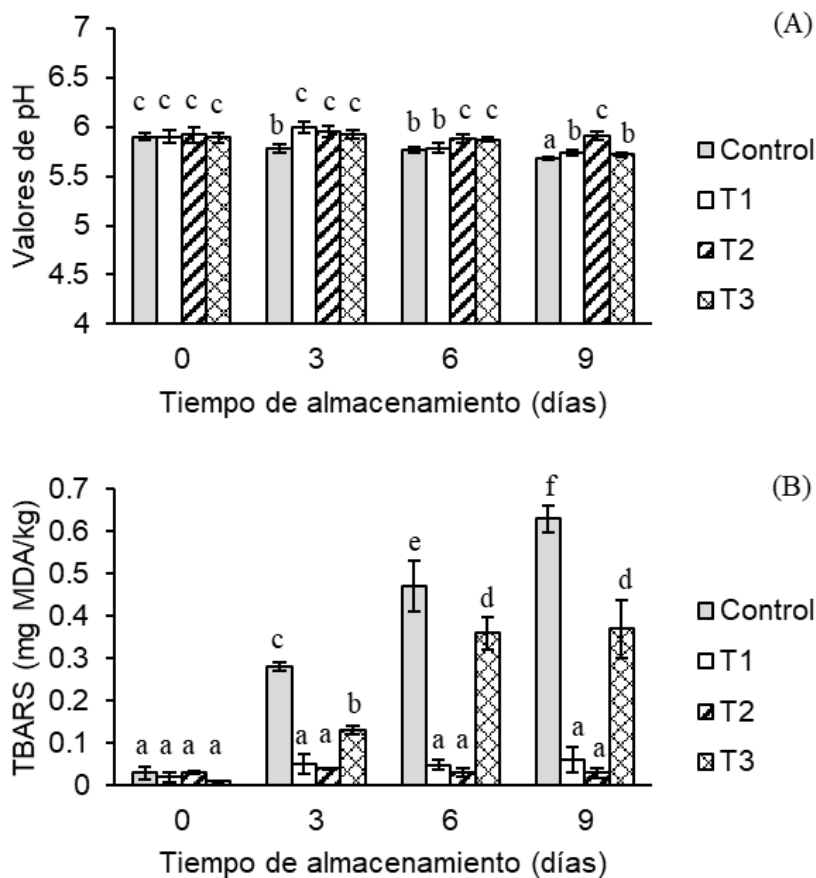
En trabajos anteriores se ha demostrado que estos subproductos agroindustriales son una fuente clave de polifenoles, incluyendo flavonoides y ácidos fenólicos, ampliamente correlacionados con su efecto antioxidante *in vitro*⁽²⁾. No obstante, la ausencia o presencia de estos componentes en los extractos de residuos de café podría estar asociada a la variedad (*C. arabica* y *C. robusta*), sistema de extracción (sólido-líquido, Soxhlet, entre otros), y el tipo de solvente (agua o etanol) utilizado para la extracción del compuesto^(18,19). Además, la presencia de polifenoles en el extracto de CG se relaciona con su efecto antirradical; por lo tanto, una estrategia prometedora para mejorar la estabilidad antioxidante de los productos cárnicos de cerdo durante el almacenamiento podría ser la adición de extracto de CG.

Calidad de las hamburguesas de cerdo

De acuerdo con los resultados, la composición proximal de las muestras de carne no varió con la inclusión de 0.05 y 0.1 % de extracto de CG ($P>0.05$). Los valores promedio obtenidos fueron 55.73 % (humedad), 19.5 % (proteína), 22.5 % (grasa), 1.8 % (cenizas) y 0.53 % (carbohidratos). Se ha observado que la adición de 1 y 2 % de extractos de residuos agroindustriales en las formulaciones de las hamburguesas de cerdo no afectaba significativamente la composición proximal original⁽²⁰⁾.

La Figura 1 ilustra los cambios de pH y OXL de las hamburguesas de cerdo crudas (A y B, respectivamente). La interacción del tratamiento × tiempo de almacenamiento afectó significativamente ($P<0.05$). En el primer día de almacenamiento (día 0), la incorporación de tratamientos antioxidantes no afectó los valores de pH y OXL ($P>0.05$). Sin embargo, los valores de pH disminuyeron y los valores de OXL aumentaron durante el tiempo de almacenamiento ($P<0.05$). Al día 9 (fin de almacenamiento), las muestras de carne tratadas con T1 y T2 presentaron los valores de pH más altos y los valores más bajos de OXL ($P<0.05$).

Figura 1: Valores de pH (A) y OXL (B) (Media ± DE, n= 6) de hamburguesas de cerdo crudas durante el tiempo de almacenamiento



T1= hamburguesas de cerdo con 0.05 % de extracto de CG; T2= hamburguesas de cerdo con 0.1 % de extracto de CG; T3= hamburguesas de cerdo con 0.02 % de BHT.

^{abcdef} Los superíndices en minúsculas indican diferencias significativas cuando se considera el efecto de la interacción del tratamiento x el tiempo de almacenamiento ($P<0.05$).

La evaluación de la calidad de la carne indica cambios *antemortem* y *postmortem* que ocurren en los animales de sacrificio; el pH y la OXL son propiedades clave en la percepción de la calidad de la carne que influyen en la intención de compra de carne asociadas con las pérdidas

de calidad en los productos de la industria cárnica^(16,21). Pero también se ha demostrado que la inclusión de fuentes no sintéticas ricas en polifenoles mejora la calidad de los alimentos⁽²²⁾. En esta investigación, los valores iniciales de pH en las hamburguesas de cerdo se mantuvieron dentro del rango típico de la carne fresca de cerdo (pH 5.5-5.9). Se observó una reducción en los valores de pH de las hamburguesas de cerdo durante el almacenamiento en frío cuando se agregaron extractos de antioxidantes sintéticos o naturales (semillas de dátiles)⁽²³⁾. Además, de acuerdo con los resultados de este estudio, se observó una disminución del 42 % en la OXL de las hamburguesas de cerdo cocidas adicionadas con extracto de CG claro y oscuro (1 g/kg o 10 %), almacenadas en condiciones de congelación durante tres meses⁽²⁴⁾. Al añadir 0.05 y 0.1 % de extracto etanólico de CG, se redujo la OXL en un sistema de carne de cerdo cruda almacenada a 37 °C/12 h⁽¹⁹⁾. Además, se ha demostrado una reducción de OXL de la carne de res molida (tapa superior) añadida con 0.1 % de café tostado molido (claro, medio y oscuro) durante el almacenamiento (4 °C/6 días)⁽²⁵⁾.

De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 1), la interacción del tratamiento × el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo sobre los valores de color ($P < 0.05$). Al día 0, la incorporación de antioxidantes no afectó estos parámetros ($P > 0.05$). Sin embargo, los valores de L^* , a^* , b^* y C^* se redujeron durante el tiempo de almacenamiento, mientras que los valores de h^* aumentaron ($P < 0.05$). En el día 9, las muestras de carne tratadas con T1 y T2 presentaron los valores más altos de L^* , a^* , b^* y C^* y los valores más bajos de h^* ($P < 0.05$). El color es otro parámetro clave en la percepción de la calidad de la carne⁽²¹⁾. En concordancia con el estudio, se ha reportado una reducción en los valores de L^* , a^* y b^* a través del almacenamiento refrigerado (4 °C/6 días) en muestras de carne control en comparación con sus contrapartes tratadas con 0.1 % de café tostado molido⁽²⁵⁾.

Cuadro 1: Cambios de color de las hamburguesas de cerdo crudo tratadas con el extracto acuoso de CG durante el tiempo de almacenamiento

Ítem	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento, días			
		0	3	6	9
L*	Testigo	57.14 ± 1.36 ^c	51.51 ± 1.57 ^a	51.77 ± 1.36 ^a	49.39 ± 1.35 ^a
	T1	56.83 ± 1.16 ^c	54.40 ± 1.74 ^b	54.06 ± 1.93 ^b	54.63 ± 1.56 ^b
	T2	56.97 ± 0.86 ^c	53.61 ± 0.90 ^b	53.24 ± 1.39 ^b	53.18 ± 1.98 ^b
	T3	56.35 ± 1.56 ^c	56.01 ± 0.63 ^c	54.31 ± 1.86 ^b	53.25 ± 1.31 ^b
a*	Testigo	10.56 ± 1.37 ^c	7.55 ± 1.39 ^b	6.27 ± 0.97 ^b	4.15 ± 0.94 ^a
	T1	9.60 ± 0.88 ^c	9.33 ± 1.14 ^c	8.28 ± 1.39 ^{bc}	7.25 ± 0.83 ^b
	T2	10.79 ± 1.18 ^c	10.12 ± 1.67 ^c	8.25 ± 0.74 ^{bc}	8.52 ± 1.01 ^{bc}
	T3	9.22 ± 0.68 ^c	9.10 ± 1.79 ^c	7.68 ± 0.82 ^b	4.75 ± 1.38 ^a
b*	Testigo	18.09 ± 1.37 ^c	15.68 ± 1.43 ^b	14.56 ± 0.95 ^a	12.28 ± 1.65 ^a
	T1	18.20 ± 0.97 ^c	16.67 ± 1.05 ^b	16.34 ± 1.01 ^b	15.84 ± 1.35 ^b
	T2	19.08 ± 1.21 ^c	17.21 ± 1.65 ^{bc}	16.95 ± 1.40 ^b	16.11 ± 1.50 ^b
	T3	17.62 ± 1.03 ^{bc}	16.16 ± 1.34 ^b	15.75 ± 0.90 ^b	14.95 ± 1.11 ^a
C*	Testigo	21.15 ± 1.49 ^c	17.35 ± 1.77 ^b	16.74 ± 1.29 ^b	13.54 ± 0.86 ^a
	T1	20.35 ± 1.08 ^c	18.62 ± 1.61 ^{bc}	18.45 ± 1.80 ^{bc}	16.77 ± 1.32 ^b
	T2	21.25 ± 1.29 ^c	19.45 ± 1.60 ^c	18.84 ± 1.44 ^{bc}	17.78 ± 1.71 ^b
	T3	19.06 ± 1.17 ^c	17.52 ± 1.69 ^b	16.51 ± 1.72 ^b	15.64 ± 1.68 ^{ab}
h*	Testigo	61.41 ± 1.16 ^a	63.62 ± 1.51 ^a	66.17 ± 1.72 ^b	72.75 ± 1.02 ^c
	T1	63.80 ± 1.60 ^a	63.10 ± 2.06 ^a	65.74 ± 1.46 ^{ab}	67.83 ± 1.88 ^b
	T2	62.21 ± 1.53 ^a	62.47 ± 1.90 ^a	63.01 ± 1.46 ^a	64.45 ± 1.49 ^a
	T3	62.51 ± 1.86 ^a	65.09 ± 1.84 ^{ab}	66.44 ± 1.51 ^b	71.73 ± 2.06 ^c

Los resultados se expresan como media ± DE (n= 6); T1= hamburguesas de cerdo con 0.05 % de extracto de CG; T2= hamburguesas de cerdo con 0.1 % de extracto de CG; T3= hamburguesas de cerdo con 0.02 % de BHT.

^{abc} Los superíndices en minúsculas indican diferencias significativas cuando se considera el efecto del tratamiento x tiempo de almacenamiento ($P<0.05$).

Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de los homogeneizados de carne

De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 2), la interacción del tratamiento × el período de almacenamiento afectó significativamente el contenido de polifenoles de los homogeneizados de carne ($P<0.05$). No se detectaron diferencias ($P>0.05$) en los valores de CTT (valor promedio 0.87 mg EC/g), ABTS⁺ (49.58 %) y RPA (0.87 abs) durante el almacenamiento. En el día 0, los valores de ácido clorogénico (CAC), CFT y CFIT aumentaron ($P<0.05$) en las muestras de carne tratadas con extracto de CG (T2>T1). No obstante, los valores de CAC, CFT y CFIT disminuyeron significativamente ($P<0.05$)

durante el período de almacenamiento, y en el día 9, los valores más altos ($P<0.05$) de CAC, CFT y CFIT correspondieron a T2.

Cuadro 2: Contenido de polifenoles de las hamburguesas de cerdo tratadas con el extracto acuoso de CG durante el tiempo de almacenamiento

Ítem	Día	Tratamientos			
		Testigo	T1	T2	T3
CAC,	0	31.01 ± 0.50 ^a	85.99 ± 1.50 ^d	110.15 ± 2.78 ^e	31.43 ± 0.50 ^a
mg EAC/g	9	31.20 ± 0.62 ^a	33.10 ± 0.42 ^b	75.72 ± 0.33 ^c	31.60 ± 0.44 ^a
CFT,	0	31.70 ± 3.01 ^c	33.17 ± 2.50 ^c	42.84 ± 2.10 ^e	38.67 ± 1.15 ^d
mg EAG/g	9	23.20 ± 1.04 ^a	21.20 ± 1.30 ^a	27.10 ± 1.23 ^b	26.62 ± 1.00 ^b
CFIT,	0	34.01 ± 0.90 ^d	34.46 ± 1.50 ^d	46.20 ± 0.80 ^e	22.27 ± 1.98 ^b
mg ER/g	9	15.60 ± 1.13 ^a	20.30 ± 1.55 ^b	31.91 ± 2.56 ^c	20.16 ± 1.13 ^b
CTT,	0	1.00 ± 0.50	0.96 ± 0.15	1.06 ± 0.42	0.78 ± 0.28
mg EC/g	9	0.80 ± 0.45	0.74 ± 0.31	0.79 ± 0.30	0.84 ± 0.33

Los resultados se expresan como media ± DE (n= 6); T1= hamburguesas de cerdo con 0.05 % de extracto de CG; T2= hamburguesas de cerdo con 0.1 % de extracto de CG; T3= hamburguesas de cerdo con 0.02 % de BHT.

^{abcde} Los superíndices en minúsculas indican diferencias significativas cuando se considera el efecto de la interacción del tratamiento x tiempo de almacenamiento ($P<0.05$).

De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 3), la interacción del tratamiento × el período de almacenamiento afectó significativamente el estado antioxidante de los homogeneizados de carne ($P<0.05$). En cuanto a la actividad antioxidante, en el día 0, los valores de DPPH^{*} y FRAP aumentaron ($P<0.05$) en las muestras de carne debido al extracto de CG. Sin embargo, los valores de antioxidantes se redujeron ($P<0.05$) durante el almacenamiento en las muestras control y de T3. En el día 9, T1 y T2 presentaron los valores más altos de DPPH^{*} y FRAP ($P<0.05$).

Cuadro 3: Estado antioxidante de las hamburguesas de cerdo tratadas con el extracto acuoso de CG durante el tiempo de almacenamiento

Ítem	Día	Tratamientos			
		Testigo	T1	T2	T3
DPPH*, %	0	30.10 ± 2.70 ^c	41.97 ± 1.00 ^d	48.65 ± 1.54 ^e	43.92 ± 2.99 ^d
	9	13.50 ± 0.55 ^a	43.70 ± 1.60 ^d	45.08 ± 2.04 ^{de}	15.37 ± 1.02 ^b
ABTS* ⁺ , %	0	50.40 ± 1.55 ^a	51.98 ± 1.83 ^a	48.68 ± 2.75 ^a	48.52 ± 3.00 ^a
	9	49.10 ± 1.52 ^a	48.95 ± 1.45 ^a	49.25 ± 3.22 ^a	49.83 ± 2.99 ^a
FRAP, mg Fe ²⁺ /g	0	4.64 ± 0.52 ^a	12.09 ± 1.13 ^b	17.03 ± 0.50 ^c	3.89 ± 0.55 ^a
	9	3.97 ± 0.50 ^a	10.62 ± 0.55 ^b	18.42 ± 1.74 ^c	4.64 ± 0.52 ^a
RPA (Abs)	0	1.10 ± 0.30	1.03 ± 0.05	0.91 ± 0.30	0.92 ± 0.25
	9	0.80 ± 0.20	0.70 ± 0.30	0.81 ± 0.30	0.70 ± 0.30

Los resultados se expresan como media ± DE (n= 6); T1= hamburguesas de cerdo con 0.05 % de extracto de CG; T2= hamburguesas de cerdo con 0.1 % de extracto de CG; T3= hamburguesas de cerdo con 0.02 % de BHT.

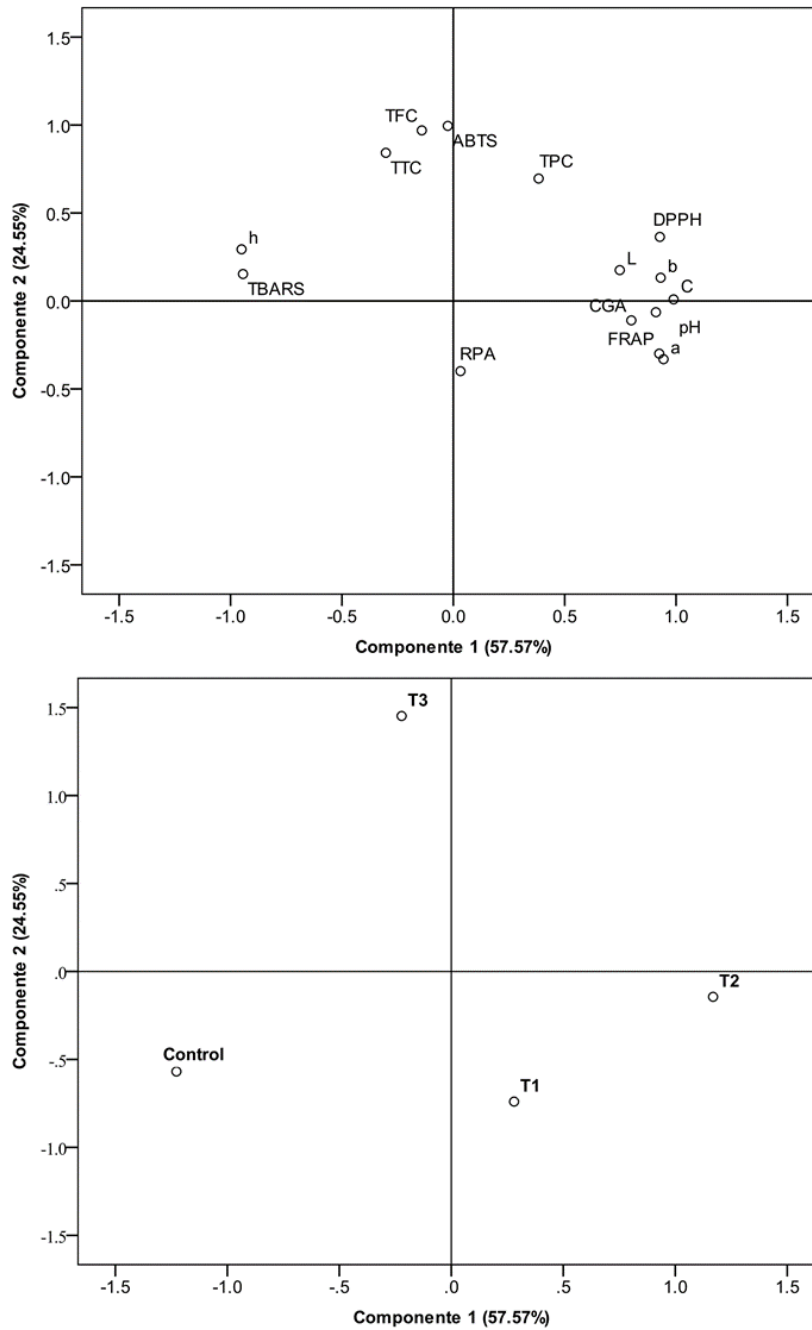
^{abcd} Los superíndices en minúsculas indican diferencias significativas cuando se considera el efecto de la interacción del tratamiento x tiempo de almacenamiento ($P < 0.05$).

Las reacciones oxidativas en los alimentos, incluyendo la carne y los productos cárnicos, se consideran la principal causa no microbiana del deterioro de la calidad, y se asocian con una pérdida de antioxidantes endógenos *postmortem*. La especie animal, la raza, el tipo de músculo y la ubicación anatómica pueden influir en el contenido de antioxidantes endógenos⁽²²⁾. En cuanto al contenido de antioxidantes exógenos, la presencia de compuestos fenólicos en la carne y los productos cárnicos puede ser el resultado de la dieta del animal⁽²⁶⁾, mientras que la extracción e incorporación de compuestos bioactivos de fuentes naturales en las formulaciones cárnicas puede aumentar el estado antioxidante de los productos cárnicos⁽²²⁾. En este contexto, se incrementó el contenido fenólico y el estado antioxidante de las hamburguesas de cerdo crudas y cocidas almacenadas (4 °C/6 días) y adicionadas con un 2 % de un extracto etanólico natural⁽²⁷⁾.

Análisis multivariante

En la Figura 2 se muestra un análisis de componentes principales para determinar las diferencias entre las variables y los tratamientos analizados. El primer y segundo componente mostraron una varianza de 57.57 y 24.55 %, respectivamente. En este contexto, el 82.12 % de la variación total fue explicado por ambos componentes. Además, se observó una separación de los tratamientos en cuanto a las variables; por ejemplo, el tratamiento T2, cargado hacia el cuadrante derecho, presentó el mayor contenido de polifenoles y actividad antioxidante.

Figura 2: Análisis de los componentes principales de los parámetros y tratamientos evaluados



Control, muestras sin antioxidante; T1= hamburguesas de cerdo con 0.05 % de extracto de CG; T2= hamburguesas de cerdo con 0.1 % de extracto de CG; T3= hamburguesas de cerdo con 0.02 % de BHT.

Conclusiones e implicaciones

El extracto de CG es una fuente novedosa de componentes antioxidantes, incluidos los polifenoles. La incorporación del extracto de CG en las hamburguesas de cerdo provoca respuestas deseables en los valores de pH, el color y la estabilidad de la oxidación de lípidos durante los tiempos de almacenamiento. Además, el extracto de CG aumenta el contenido de polifenoles y el estado antioxidante de las muestras de carne. El extracto de CG se puede utilizar en la formulación de hamburguesas de cerdo para prevenir reacciones de oxidación y mitigar las pérdidas de calidad de la carne durante el almacenamiento refrigerado.

Agradecimientos y conflicto de intereses

Agradecemos la beca recibida del programa “Investigadoras e Investigadores por México” – CONAHCYT. También agradecemos el apoyo técnico de Melina Estrada-Alanis.

Literatura citada:

1. Shah MA, Bosco SJD, Mir SA. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Sci* 2014;98(1):21-33.
2. Oswell NJ, Thippareddi H, Pegg RB. Practical use of natural antioxidants in meat products in the US: A review. *Meat Sci* 2018;145:469-479.
3. Anastopoulos I, Karamesouti M, Mitropoulos AC, Kyzas GZ. A review for coffee adsorbents. *J Mol Liq* 2017;229:555-565.
4. Besufekad Y, Mekonnen A, Girma B, Daniel R, Tassema G, Melkamu J, Asefa M, Fikiru T, Denboba L. Selection of appropriate substrate for production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *J Yeast Fungal Res* 2020;11(1):15-25.
5. Martínez-Saez N, García AT, Pérez ID, Rebollo-Hernanz M, Mesías M, Morales FJ, *et al.* Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chem* 2017;216:114-122.
6. Song EJ, Kim JY, Lee SY, Kim KBWR, Kim SJ, Yoon SY, *et al.* Effect of roasted ground coffee residue extract on shelf-life and quality of salted mackerel. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2009;38(6):780-786.
7. Pérez-Hernández LM, Chávez-Quiroz K, Medina-Juárez LÁ, Meza NG. Phenolic compounds, melanoidins, and antioxidant activity of green coffee bean and processed coffee from *Coffea arabica* and *Coffea canephora* species. *Biotechnia* 2013;15(1):51-56.

8. Griffiths DW, Bain H, Dale MFB. Development of a rapid colorimetric method for the determination of chlorogenic acid in freeze-dried potato tubers. *J Sci Food Agric* 1992;58(1):41-48.
9. Ainsworth EA, Gillespie KM. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nat Protoc* 2007;2:875-877. <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>.
10. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 1999;64(4):555-559.
11. Price ML, Butler LG. Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. *J Agric Food Chem* 1977;25(6):1268-1273.
12. Molyneux P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J Sci Technol* 2004;26(2):211-219.
13. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Rad Biol Med* 1999;26(9-10):1231-1237.
14. Berker KI, Güçlü K, Tor İ, Demirata B, Apak R. Total antioxidant capacity assay using optimized ferricyanide/prussian blue method. *Food Anal Methods* 2010;3:154-168.
15. AOAC. Official methods of analysis. 18th ed.; Gaithersburg, MD, USA: Association of Official Analytical Chemists. 2005.
16. Pfalzgraf A, Frigg M, Steinhart H. Alpha-Tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage. *J Agric Food Chem* 1995;43(5):1339-1342.
17. Hernández B, Sáenz C, Alberdi C, Diñeiro JM. CIELAB color coordinates versus relative proportions of myoglobin redox forms in the description of fresh meat appearance. *J Food Sci Technol* 2016;53:4159-4167.
18. Bravo J, Monente C, Juárez I, De Peña MP, Cid C. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food Res Int* 2013;50(2):610-616.
19. Kim JH, Ahn DU, Eun JB, Moon SH. Antioxidant effect of extracts from the coffee residue in raw and cooked meat. *Antioxidants* 2016;5(3):21.
20. Schmidt MM, Kubota EH, Prestes RC, Mello RO, Rosa CS, Scapin G, Ferreira S. Development and evaluation of pork burger with added natural antioxidant based on extract of banana inflorescence (*Musa cavendishii*). *CyTA J Food* 2016;14(2):280-288.

21. Hughes JM, Clarke FM, Purslow PP, Warner RD. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2020;19(1):44-63.
22. Falowo AB, Fayemi PO, Muchenje V. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Res Int* 2014;64:171-181.
23. Sayas-Barberá E, Martín-Sánchez AM, Cherif S, Ben-Abda J, Pérez-Álvarez JÁ. Effect of date (*Phoenix dactylifera* L.) pits on the shelf life of beef burgers. *Foods* 2020;9(1):102-116.
24. Jully KMM Toto CS, Were L. Antioxidant effect of spent, ground, and lyophilized brew from roasted coffee in frozen cooked pork patties. *LWT-Food Sci Technol* 2015;66:244-251.
25. Lin C, Toto C, Were L. Antioxidant effectiveness of ground roasted coffee in raw ground top round beef with added sodium chloride. *LWT-Food Sci Technol* 2015;60(1):29-35.
26. Beghelli D, Cosmo AD, Faeti V, Lupidi G, Bailetti L, Cavallucci C, Polidori P. *Origanum vulgare* L. and *Rosmarinus officinalis* L. aqueous extracts in growing-finishing pig nutrition: effects on antioxidant status, immune responses, polyphenolic content and sensorial properties. *J Food Res* 2019;8(2):90-99.
27. Vargas-Sánchez RD, Torrescano-Urrutia GR, Torres-Martínez BDM, Pateiro M, Lorenzo JM, Sánchez-Escalante A. Propolis extract as antioxidant to improve oxidative stability of fresh patties during refrigerated storage. *Foods* 2019;8(12):614.



Prevalencia y diversidad de parásitos intestinales zoonóticos en perros domésticos en un área urbano en el Caribe colombiano



Luz Adriana Sarmiento-Rubiano ^{a*}

Yina García Toscano ^b

Julieannie Paola Ruiz ^c

Lucena Delgado Soraca ^b

Alfonso Bettin Martínez ^b

Jimmy Becerra Enriquez ^a

^a Metropolitan University. Food and human behavior research group, Calle 76 42 78, Barranquilla, Atlantico. Barranquilla, Colombia.

^b Metropolitan University. Caribbean Research Group on Infectious Diseases and Microbial Resistance, Barranquilla, Colombia.

^c BIOVET Specialized Veterinary Diagnostic Center. Barranquilla, Colombia.

* Autor de correspondencia: lusarru@hotmail.com

Resumen:

Los perros ofrecen múltiples beneficios en su relación con los humanos, pero también pueden ser portadores de parásitos zoonóticos que afectan la salud humana y animal. Las zoonosis representan alrededor del 58 % de todas las enfermedades infecciosas en los humanos. Se evaluó el parasitismo intestinal en perros con dueños en la ciudad de Barranquilla, Colombia, en los años 2016, 2017 y 2018. Se realizó un estudio descriptivo retrospectivo que incluyó 3,279 reportes de evaluación parasitológica de heces de perro. El 49.2 % de los perros presentó algún tipo de parásito intestinal. Los más frecuentes fueron los helmintos: *Strongyloides* sp. (9.6%), *Toxocara canis* (7.7 %) y *Ancylostoma caninum* (6.2 %); y los

protozoarios *Entamoeba* spp. (10.0 %), *Isospora* spp. (6.9 %) y *Giardia* spp. (5.7 %). Un análisis de componentes principales de los perfiles parasitarios por año identificó diferencias significativas entre ellos. La presencia de parásitos intestinales de transmisión zoonótica en los perros domésticos analizados resalta la necesidad de establecer medidas correctivas y preventivas en el ámbito de la salud pública que permitan su control, ya que constituyen un riesgo significativo de enfermedad para los humanos y los perros.

Palabras clave: Parásitos intestinales, *Giardia*, *Blastocystis*, Helmintos, Zoonosis, Protozoos.

Recibido: 22/02/2024

Aceptado: 05/08/2024

Introducción

Los animales de compañía como los perros ofrecen múltiples beneficios en su relación con los humanos. Sin embargo, una faceta de esta estrecha y milenaria asociación de colaboración y afecto entre especies es la zoonosis. Existen parásitos de transmisión zoonótica que pueden representar un riesgo potencial para la salud humana y animal. Las zoonosis representan alrededor del 58 % de las enfermedades infecciosas humanas, y, de los 177 patógenos considerados por la OMS como reemergentes, el 73 % están relacionados con el contacto humano con una fuente animal^(1,2). La transmisión de parásitos zoonóticos entre humanos y mascotas, como los perros, está vinculada mayormente con el manejo inadecuado de las excretas de los animales. Por ejemplo, la presencia de heces de perros en parques, calles y espacios públicos donde pasean a las mascotas es una fuente importante de contaminación para humanos y animales. Además, el contacto físico de niños y adultos con sus mascotas durante el juego permite el intercambio de parásitos presentes en el pelo y las patas de los animales. Es común encontrar parásitos intestinales caninos (por ejemplo, *Toxocara canis*, *Ancylostoma caninum*, *Echinococcus* sp., y *Dipylidium caninum*, entre otros) en las heces de perros que conviven con humanos, tanto en ambientes rurales como urbanos. Pero también hay hallazgos ocasionales de parásitos propios al ser humano, como *Ascaris lumbricoides* y *Strongyloides stercoralis*⁽³⁾.

Protozoos zoonóticos como *Giardia* sp., *Entamoeba histolytica/dispar*, *Cyclospora* y *Cryptosporidium* sp. son comunes en la población humana a nivel mundial y se les consideran causantes de trastornos gastrointestinales y diarreas, tanto en personas sanas como en las inmunológicamente comprometidas^(4,5). Los parásitos intestinales son un problema de salud pública mundial que tiene efectos sociales, económicos y culturales asociados a la pobreza⁽⁶⁾.

En Colombia, las encuestas nacionales de parasitismo de los años 1965, 1980 y 2014 coinciden en reportar parasitismo intestinal en más del 80 % de la población⁽⁷⁾.

El impacto de las zoonosis en la salud humana hace pertinente y oportuno realizar estudios que ayuden a comprender y definir los posibles riesgos de transmisión de estas patologías. Es aún más relevante cuando se trata de animales como los perros que conviven tan de cerca con los humanos. En Colombia, según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la presencia de las mascotas en las familias aumentó significativamente en los últimos años. Actualmente, el 57 % de los hogares convive con al menos una mascota (4.4 millones de familias); los perros son la mascota preferida en el 71 % de estos hogares⁽⁸⁾. Las condiciones climáticas y ambientales del Caribe colombiano, donde se encuentra la ciudad de Barranquilla, son propicias para la transmisión de parásitos intestinales. El objetivo de este trabajo fue determinar la frecuencia de parásitos intestinales en perros con dueños, basado en los resultados de 3,279 análisis coprológicos realizados a mascotas caninos durante los años 2016 a 2018 en la ciudad de Barranquilla, Colombia.

Material y métodos

Descripción del área de estudio

Barranquilla está ubicada en el vértice nororiental del departamento de Atlántico, Colombia. Este centro urbano limita al norte con el mar Caribe, al oriente con el río Magdalena y al suroccidente con otros municipios. Posee un clima tropical seco; la temperatura media oscila entre los 24 y 28 °C, y la humedad oscila entre el 65 y 85 %⁽⁹⁾. Aunque no existen datos exactos sobre la población canina en Barranquilla en el periodo 2016 – 2018, un cálculo para el 2016 estimó que había 82,386 perros⁽¹⁰⁾. Si se considera que la población humana estimada en Barranquilla era de 1'223,616 personas en el mismo año⁽¹¹⁾, se puede inferir que había un perro por cada 15 habitantes, aproximadamente.

Recolección y evaluación de muestras

La metodología de este estudio fue descriptiva y retrospectiva. Se usaron un total de 3,279 reportes de análisis parasitológicos de heces de perros con dueño generados por un laboratorio clínico que atiende una red de servicios veterinarios en la ciudad de Barranquilla. Las muestras fecales fueron aportadas por los dueños de los perros como examen de control de rutina de sus mascotas, y el diagnóstico parasitológico fue realizado por un bacteriólogo experto mediante la revisión microscópica directa de las muestras fecales con solución salina y lugol para la identificación de formas parasitarias.

Análisis estadísticos

Para el análisis de los resultados, los perros se clasificaron en dos categorías: raza mixta, aquellos animales de ascendencia desconocida con características de dos o más tipos de razas, y animales de raza pura, según la clasificación de la Federación Cinológica Internacional (FCI) de la Organización Mundial Canina (Tabla 1). Se realizó un análisis descriptivo y exploratorio de los resultados: 1) para establecer la frecuencia absoluta y relativa de los parásitos presentes en las muestras y; 2) para comparar, mediante la prueba de Ji-cuadrada, variables categóricas, los resultados entre perros de raza pura y mixta y entre los años evaluados. El nivel de significancia se estableció en $P < 0.05$. Se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) para comparar los perfiles parasitarios por raza y por año. Los análisis se hicieron con el programa XLSTAT para Excel (Addinsoft Inc., París, Francia).

Cuadro 1: Clasificación de la población canina en la ciudad de Barranquilla, Colombia, según los grupos de razas establecidos por la Federación Cinológica Internacional (FCI).

Animales (n)	Secciones por grupo (n)
Total (3,279)	
Raza mixta (861)	
Raza pura (2,418)	
GRUPO I. Pastores y boyeros (74)	Pastores (74)
GRUPO II. Pinscher y Schnauzer (574)	Molosoides (150) Pinschers y Schnauzers (424)
GRUPO III. Terriers (344)	Terriers de compañía (258) Terriers tipo bull (86)
GRUPO IV. Teckels (6)	Teckels (6)
GRUPO V. Spitz y Primitivo (192)	Malamute de Alaska (6) Nórdicos de trineo (95) Spitz asiáticos y similares (16) Spitz europeos (72) Tipo primitivo – de caza (3)
GRUPO VI. Sabueso, rastro y similares. (115)	Sabuesos (115)
GRUPO VII. Muestras y similares (16)	Muestras continentales (13) Muestras inglesas e irlandesas (3)
GRUPO VIII. Cobradores y levantadores de caza (289)	Cobradores de caza (200) Levantadores de caza (89)
GRUPO IX. Compañía (808)	Bichons y similares (42) Poodle (404) Chihuahua (43) Molosoides de talla pequeña (157) Perros tibetanos (162)

La tabla muestra el número de animales para cada grupo y sección en la clasificación de la FCI.

Resultados

De las 3,279 muestras analizadas, 2,418 (73.7 %) fueron de perros de razas identificadas y clasificadas por el FCI, mientras 861 (26.3 %) fueron de perros de raza mixta. Del total, 49.2 % de las muestras dieron positivas a parásitos intestinales. No hubo diferencia en la frecuencia de parasitismo entre los perros de raza pura y de raza mixta; solo para el helminto *Toxocara canis* la prevalencia fue más alta ($P=0.010$) entre los de raza mixta que entre los de raza pura (Cuadro 2).

Cuadro 2: Prevalencia de parasitismo entre los perros muestreados por grupo de raza y por año

Parasitismo	Total % (n = 3,279)	Pura (n = 2,418)	Mixta (n = 861)	2016 (n = 997)	2017 (n = 1,428)	2018 (n = 854)
Positivo	49.2 (1,614)	49.0 (1,184)	49.9 (430)	51.2 (510)	47.8 (683)	49.3 (421)
1 parásito	41.8 (1,371)	41.4 (1,002)	42.9 (369)	43.2 (431)	41.0 (586)	41.5 (354)
2 parásitos	6.6 (215)	6.9 (167)	5.6 (48)	7.7 (77)	5.7 (82)	6.6 (56)
3 ≥ parásitos	0.9 (28)	0.6 (15)	1.5 (13)	0.2 (2)	1.1 (15)	1.3 (11)
Helmintos	28.2 (925)	27.4 (662)	30.5 (263)	23.1 ^a (230)	31.5 ^b (450)	28.7 ^b (245)
1 helminto	25.5 (836)	25.0 (604)	26.9 (232)	20.6 (205)	27.6 (394)	27.8 (237)
2 helmintos	2.3 (77)	2.2 (52)	2.9 (25)	2.5 (25)	3.3 (47)	0.6 (5)
3 helmintos	0.4 (12)	0.2 (6)	0.7 (6)	0.0 (0)	0.6 (9)	0.4 (3)
Protozoo	24.2 (794)	24.9 (602)	22.3 (192)	31.3 ^a (312)	18.6 ^b (265)	25.4 ^c (217)
1 protozoo	22.3 (731)	22.8 (551)	20.9 (180)	29.0 (289)	17.5 (250)	22.5 (192)
2 protozoos	1.8 (60)	2.0 (49)	1.3 (11)	2.2 (22)	1.0 (14)	2.8 (24)
3 ≥ protozoos	0.1 (3)	0.1 (2)	0.1 (1)	0.1 (1)	0.1 (1)	0.1 (1)

^{abc} Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencias ($P<0.05$).

Cuadro 3. Prevalencias de tipos y géneros/especies de parásitos por grupo de raza y por año

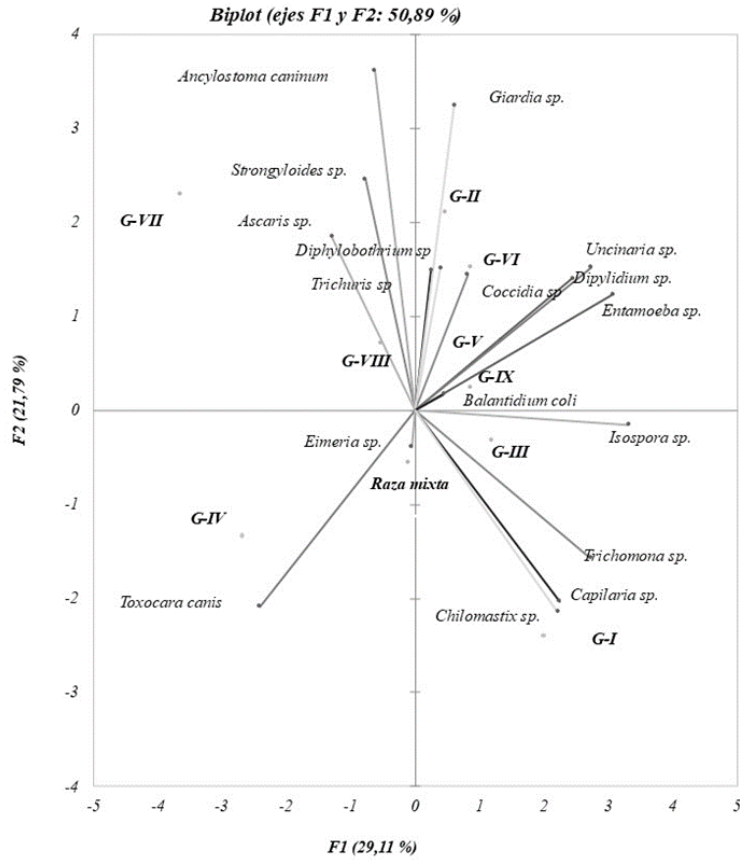
Parásitos	Total (n= 3,279)	Pura (n= 2,418)	Mixta (n= 861)	2016 (n= 997)	2017 (n=1,428)	2018 (n= 854)
Nematodos						
<i>Toxocara canis</i>	7.7 (254)	7.0 ^a (170)	9.8 ^b (84)	9.2 ^a (92)	8.2 ^b (117)	5.3 ^c (45)
<i>Trichuris</i> spp.	0.1(3)	0.1(3)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.2 (3)	0.0 (0)
<i>Ancylostoma caninum</i>	6.2 (200)	6.0 (140)	6.2 (54)	3.1 ^a (31)	7.8 ^b (112)	6.7 ^c (57)
<i>Diphylobothrium</i> spp	0.0 (1)	0.0 (1)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.1 (1)
<i>Capillaria</i> spp.	0.3 (11)	0.3 (7)	0.5 (4)	0.4 (4)	0.4 (6)	0.1 (1)
<i>Strongylus</i> spp	9.6 (314)	9.0 (218)	11.1 (96)	6.9 ^a (69)	12.8 ^b (183)	7.3 ^a (62)
<i>Uncinaria</i> spp.	6.1 (200)	6.0 (144)	6.5 (56)	5.7 (57)	6.4 (91)	6.1 (52)
<i>Ascaris</i> spp.	1.1 (35)	1.2 (28)	0.8 (7)	0.0 (0)	0.1 (1)	4.0 (34)
Cestodos						
<i>Dipylidium caninum</i>	0.3 (9)	0.4 (9)	0.0 (0)	0.2 (2)	0.2 (3)	0.5 (4)
Protozoos						
<i>Entamoeba</i> spp	10.0 (329)	10.5 (253)	8.8 (76)	13.3 ^a (133)	7.1 ^b (102)	11.0 ^a (94)
<i>Giardia</i> spp.	5.7 (188)	6.0 (144)	5.1 (44)	7.4 ^a (74)	3.6 ^b (52)	7.3 ^a (62)
<i>Isoospora canis</i> .	6.9 (225)	6.7 (163)	7.2 (62)	7.6 (76)	7.1 (101)	5.6 (48)
<i>Coccidia</i> sp*	3.0 (99)	3.3 (81)	2.1 (18)	4.4 ^a (44)	1.3 ^b (19)	4.2 ^a (36)
<i>Balantidium coli</i>	0.0 (1)	0.0 (1)	0.0 (0)	0.1 (1)	0.0 (0)	0.0 (0)
<i>Eimeria</i> spp.	0.0 (1)	0.0 (0)	0.1 (1)	0.1 (1)	0.0 (0)	0.0 (0)
<i>Trichomonas</i> spp.	0.3 (11)	0.4 (9)	0.2 (2)	0.3 (3)	0.5 (7)	0.1 (1)
<i>Chilomastix</i> spp.	0.2 (4)	1.4 (1)	0.2 (2)	0.4 (4)	0.0 (0)	0.2 (2)

* Diferentes especies de *Coccidia* pueden infectar a los perros: *Isoospora burrowsi*, *I. canis*, *I. neorivolta*, y *I. ohioensis*. Solo se puede identificar *I. canis* por medio de la estructura del ovocito; los demás se clasificaron como *Coccidia* sp.

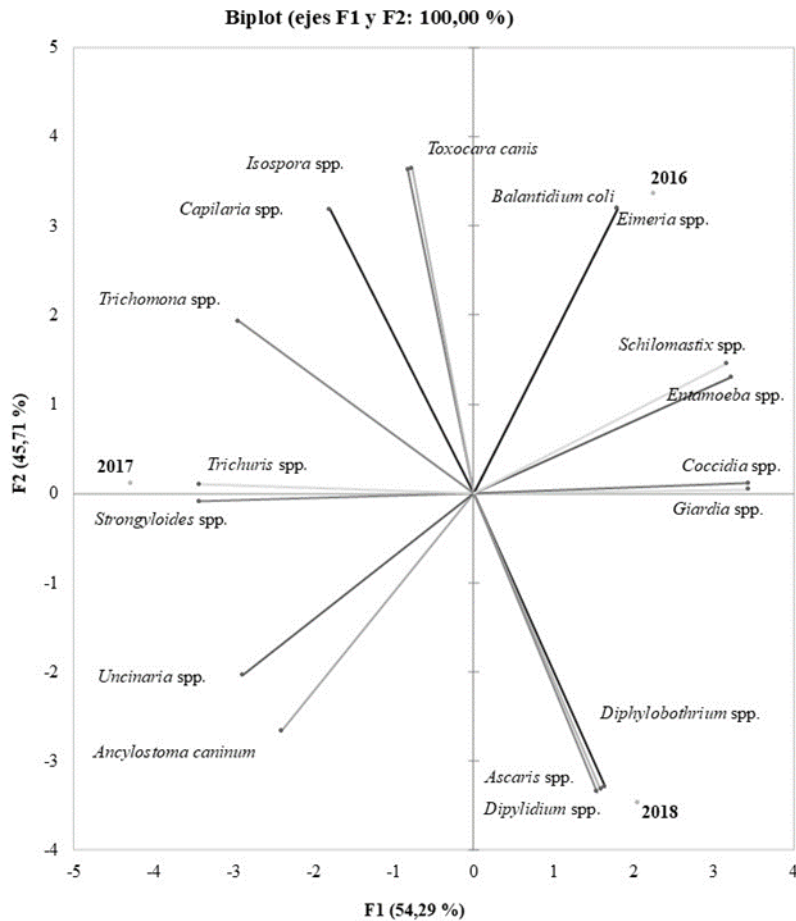
^{abc} Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencias ($P < 0.05$).

El parásito más frecuente entre las muestras fue el protozoo *Entamoeba* spp. (n= 329), seguido por los nematodos *Strongyloides* spp. (n= 314) y *Toxocara canis* (n= 254) y el protozoo *Isoospora canis* (n= 225) (Cuadro 3). Por medio del coeficiente de correlación de Pearson, el análisis de componentes principales (PCA) permitió resumir y visualizar la relación entre los perfiles parasitarios de los grupos de perros de raza pura y los perros de raza mixta (Figura 1). Los factores 1 y 2 del PCR explicaron el 50.89 % de la varianza acumulada. Los componentes principales del factor 1 (varianza 29.11 %) fueron *Isoospora* sp. (17.9 %); *Entamoeba* spp. (15.5 %); *Coccidia* sp. (12.2 %); y *Trichomonas* spp. (12.1 %). Los del factor 2 (varianza 21.79 %) fueron *Ancylostoma* sp (21.3 %); y *Giardia* sp. (17.2 %). Si se adiciona el factor 3, se da una varianza acumulada de 68.1 para los componentes *Ascaris* sp. (20.0 %) y *Strongyloides* sp. (17 %). No se observaron relaciones entre los perfiles parasitarios de los grupos de razas de perros.

Figura 1. Análisis de PCA de las relaciones entre los perfiles de parásitos de los grupos de perros analizados



Al comparar el parasitismo por año, se observó que no había diferencias significativas en el número de animales con parásitos intestinales por año; sin embargo, la contaminación por helmintos y por trofozoos sí mostró diferencias significativas ($P < 0.05$). El 2017 fue el año con mayor prevalencia de helmintiasis, y el 2016 el de mayor contaminación por protozoarios (Cuadro 2). Los principales helmintos que generaron la diferencia entre años fueron *Toxocara canis*, *Ancylostoma caninum* y *Strongyloides sp.*; los protozoarios *Entamoeba spp.*, *Giardia spp.* y *Coccidia sp.* presentaron diferencias significativas entre los años evaluados ($P < 0.05$) (Cuadro 3). El análisis de PCA de los perfiles parasitarios por año (Figura 2), muestra que se alcanza el 100 % de la varianza con los factores 1 y 2. Las variables principales del factor 1 (varianza 59.3 %) fueron *Giardia sp.* (10.8 %), *Strongyloides sp.* (10.8 %), *Trichuris sp.* (10.8 %), y *Coccidia sp.* (10.8 %). Para el factor 2 (varianza 45.7 %) fueron *Isospora sp.* (12.2 %), *Toxocara canis* (12.1 %), *Dipylidium* (10.3 %), y *Ascaris sp.* (10.1 %). Los perfiles parasitarios variaron entre los años analizados.

Figura 2: Análisis de PCA de los perfiles de parásitos por año

Discusión

Recientemente, se han realizado un gran número de estudios en varias partes del mundo para identificar la presencia de parásitos intestinales en animales de compañía que conviven con los humanos. Los resultados han sido heterogéneos y dependientes en gran medida de factores ambientales y climáticos que facilitan la transmisión de parásitos. Otros factores son las condiciones socioeconómicas de pobreza y mala higiene, las cuales facilitan la transmisión de parásitos zoonóticos. En una evaluación de 493 perros con dueños en la zona urbana de Roma, Italia, se encontró una prevalencia de parasitismo de 9.7 %, los parásitos más frecuentes siendo *Trichuris vulpis* (5.5 %) y *Toxocara canis* (4.3 %) ⁽¹²⁾. En la ciudad de Villahermosa en Tabasco, México, se observó que el 26.5 % de 302 muestras evaluadas de heces de perros domésticos contenían parásitos gastrointestinales, siendo *Ancylostoma caninum* el más común ⁽¹³⁾. Y en Argentina, una evaluación de 1,944 muestras de heces de perros colectadas en áreas rurales y urbanas mostró la presencia de parásitos en el 37.86 %

de las muestras; en las áreas rurales hubo un 40.06 % y en las urbanas 33.44 %. Los perfiles parasitarios diferían entre los tipos de áreas⁽¹⁴⁾.

En el presente estudio en la ciudad de Barranquilla, la prevalencia de parasitismo en los perros con dueños fue 49.2 %. Los parásitos más frecuentes fueron los helmintos *Strongylus* sp., *Toxocara canis* y *Ancylostoma caninum*, y los protozoos *Entamoeba* spp., *Isospora* spp. y *Giardia* spp. Un estudio previo en Barranquilla, realizado en el año 2015, encontró una prevalencia de parasitismo de 73.3 % en 925 perros analizados. Los parásitos más prevalentes fueron *Entamoeba* sp. (34.1 %), *Isospora* sp. (21.1 %), *Giardia* spp. (18.1 %) y *Toxocara canis* (12.3 %)⁽¹⁵⁾. Esta es una prevalencia menor de lo observado en los datos actuales, aunque el perfil parasitario fue similar⁽¹⁵⁾. La importancia para la salud pública de los protozoos encontrados en este estudio se evidencia por su potencial zoonótico y su patogenicidad significativa tanto en humanos como en animales. *Isospora canis* e *I. ohioensis* son los coccidios que más afectan a los perros. En el tracto gastrointestinal canino, *I. canis* produce enteritis y daño a las mucosas causando diarrea hemorrágica, vómitos, tenesmo, inapetencia y signos respiratorios y neurológicos. La infección humana se asocia con la ingestión de alimentos contaminados con heces de perro⁽¹⁶⁾.

La prevalencia de *Giardia* en personas y perros como portadores asintomáticos y como causa de patología representa un riesgo constante para la salud de ambas especies. El tratamiento continuo y la reinfección pueden generar resistencia a los antiparasitarios, lo cual hace cada vez más difícil la eliminación del parásito⁽¹⁷⁾. La giardiasis es causa de diarrea y desnutrición en niños y tiene una distribución global, con más de 200 millones de casos anuales. La *Giardia* ha sido incluida en la "iniciativa de enfermedades desatendidas" por la Organización Mundial de la Salud⁽¹⁸⁾. Una revisión sistemática reporta que la prevalencia (cuantificada con técnicas de microscopio) de *Giardia* en Colombia varía entre el 0.9 y 48.1 %⁽¹⁹⁾. En el área metropolitana de Barranquilla, la prevalencia de giardiasis en 2015 fue de 15.2 % en niños menores de 10 años⁽²⁰⁾. *Entamoeba* es la tercera enfermedad parasitaria con potencial mortífero más común en el mundo; es la causa de amebiasis humana y abscesos hepáticos invasivos. Alrededor del 90 % de los casos de amebiasis humana son asintomáticos, lo que lleva a la transmisión continua del parásito. *Entamoeba* es un protozoo zoonótico que coloniza el tracto digestivo de humanos y animales y se considera un problema de salud pública a nivel mundial⁽²¹⁾. La prevalencia de *Entamoeba* spp. en la población humana de Barranquilla en 2015 fue de 6.1 %⁽²⁰⁾. La infección por *Toxocara* sp. en humanos puede causar larva migrans visceral y, junto con *Ancylostoma* spp., se asocia con larva migrans cutánea en comunidades pobres⁽²²⁾. Los perros son susceptibles a la infección experimental con *S. stercoralis* de origen humano, aunque la transmisión de perros a humanos no se ha demostrado de manera clara⁽²³⁾.

En áreas tropicales, *Balantidium coli* se considera una enfermedad zoonótica desatendida. Este protozoo infecta el tracto intestinal, causando diarrea severa y otras anormalidades

gastrointestinales en animales domésticos. Se considera un hallazgo de importancia zoonótica⁽²⁴⁾. En los resultados actuales, uno de los perros tenía *Balantidium*, lo que representa un riesgo para la salud de la mascota y sus dueños. Otros hallazgos poco frecuentes en este estudio incluyen *Eimeria* sp., que se encontró en un perro. Este parásito coccidio, que causa diarrea y trastornos gastrointestinales principalmente en personas inmunodeprimidas, también se ha reportado en perros domésticos en Perú con una prevalencia de 10.68 %⁽²⁵⁾. *Trichomonas* se observa de manera ocasional en las heces de perros con diarrea, aunque se consideran oportunistas; se encontraron en once de las muestras analizadas en este estudio a pesar de que las heces no eran diarreicas. Tanto el *Trichomonas fetus* y el *Pentatrichomonas hominis* están presentes en muestras fecales caninas; estos protozoarios causan infecciones gastrointestinales humanas⁽²⁶⁾.

El análisis de PCA de los perfiles parasitarios para cada año evaluado, mostró diferencias significativas. Estas se pueden atribuir a ligeras variaciones en las condiciones climáticas de un año a otro en la misma área geográfica. Se ha reportado previamente variaciones en perfiles parasitarios en la misma área geográfica al comparar perfiles parasitarios humanos en áreas con características ambientales y culturales muy similares⁽²⁰⁾. Los factores culturales también pueden causar variaciones porque favorecen o inhiben la posibilidad de infección en cada momento del complejo ciclo de vida de cada parásito. El manejo adecuado de los excrementos humanos y animales es fundamental en el control del parasitismo. Diversos estudios han demostrado, en áreas urbanas y rurales de diferentes países, que la presencia de formas parasitarias infectivas en el suelo provenientes de las heces de humanos y animales parasitados es un factor clave en la infección de mascotas. En Chile, en un 48.3 % de 83 parques de la ciudad de Temuco se encontraron huevos de parásitos, siendo *Toxocara* sp. (12.4 %) los más frecuentes⁽²⁷⁾. En la ciudad de Tunja, Colombia, el 60.7 % de las muestras fecales de caninos colectadas en parques de la ciudad y el 100 % de las muestras de suelo contenían huevos y larvas de parásitos, principalmente *Toxocara* sp., *Ancylostoma* spp., *Trichuris* sp. y *Strongyloides* sp.⁽²⁸⁾. La viabilidad de *Toxocara* sp. en el suelo depende de factores como temperatura, pH, humedad, entre otros. Sin embargo, se sabe que son muy resistentes a las condiciones climáticas y que, dependiendo de las condiciones, pueden continuar siendo infecciosos de seis a doce meses; incluso, a bajas temperaturas pueden serlo por varios años⁽²⁹⁾.

Conclusiones e implicaciones

Se encontró que el 49.2 % de los perros evaluados presentaban parásitos intestinales. No hubo relaciones entre los perfiles parasitarios de los grupos de perros por razas, pero sí se observó que los perfiles parasitarios difirieron entre años. La presencia de parásitos intestinales con potencial zoonótico encontrados en perros con dueños observados en este trabajo, demuestra la necesidad de nuevos estudios para definir los factores asociados a este

problema de salud pública, y de implementar medidas correctivas y preventivas para controlarlos.

Literatura citada:

1. Jones BA, Grace D, Kock R, Alonso S, Rushton J, Said M. Zoonosis emergence linked to agricultural intensification and environmental change. *PNAS USA*. 2013;110(21):8399-8404.
2. Woolhouse MEJ, Gowtage-Sequeria S. Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerg Infect Dis* 2005;11(12):1842.
3. Ritossa L, Viozzi G, Flores V. The state of knowledge on intestinal helminths in free-roaming dogs in southern South America. *Canine Genet Health Med*. 2021. <https://www.intechopen.com/online-first/the-state-of-knowledge-on-intestinal-helminths-in-free-roaming-dogs-in-southern-south-america>. Accessed Nov 22, 2023.
4. Sotiriadou I, Pantchev N, Gassmann D, Karanis P. Molecular identification of *Giardia* and *Cryptosporidium* from dogs and cats. *Parasite* 2013;20(8):1-8.
5. Dantas-Torres F, Otranto D. Dogs, cats, parasites, and humans in Brazil: Opening the black box. *Parasite Vectors* 2014;7(1):22.
6. Inter-American Development Bank, Pan American Health Organization, Sabin Vaccine Institute. A Call to Action: Tackling soil-transmitted helminths in Latin America and the Caribbean 2011. <http://www.paho.org/hq/in>. Accessed Nov 30, 2023.
7. Ministry of Health and Social Protection, University of Antioquia. National Survey of Intestinal Parasitism in the School Population 2012 – 2014. Medellín: National Faculty of Public Health, University of Antioquia. 2015. <https://www.minsalud.gov.co/sites/.../encuesta-nacional-of-parasitism-2012-2014.pdf>. Accessed Nov 25, 2023.
8. DANE National Administrative Department of Statistics. National Quality of Life Survey 2023. <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen>.
9. Ramírez-Cerpa E, Acosta-Coll M, Vélez-Zapata J. Analysis of weather conditions of short-term rainfall in urban areas: case study, Barranquilla, Colombia. *Idesia* 2017;35(2). <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183232316>. Accessed Nov 30, 2023.
10. Ministry of Health and Social Protection. Anti-rabies vaccination coverage by departments. 2016. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/Cobertura-vacunacion-antirrabica-departamentos-2016.pdf>. Accessed Nov 30, 2023.

11. DANE National Administrative Department of Statistics. Population projections of the National Administrative Department of Statistics –DANE- 2005-2020. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/.../8Tablasvida1985_2020.pdf. Accessed May 30, 2023.
12. La Torre F, Di Cesare A, Simonato G, Cassini R, Traversa D, Frangipane di Regalbano A. Prevalence of zoonotic helminths in Italian house dogs. *J Infect Dev Ctries* 2018; 12(8):666-672.
13. Torres-Chablé OM, García-Herrera RA, Hernández-Hernández M, Peralta-Torres JA, Ojeda-Robertos NF, Blitvich BJ. Prevalence of gastrointestinal parasites in domestic dogs in Tabasco, southeastern Mexico. *Rev Bras Parasitol* 2015;24(4).
14. Soriano SV, Pierangeli NB, Roccia I, Bergagna HFJ, Lazzarini LE, Celescinco A, Basualdo JA. A Wide diversity of zoonotic intestinal parasites infects urban and rural dogs in Neuquén, Patagonia, Argentina. *Vet Parasitology* 2010;167(1):81-85.
15. Sarmiento-Rubiano LA, Delgado L, Ruiz JP, Sarmiento MC, Becerra J. Intestinal parasites in dogs and cats from owners from the city of Barranquilla, Colombia. *Rev Investig Vet Perú* 2018;29(4).
16. Dubey JP, Lindsay DS. Coccidiosis in dogs (*Canis familiaris*) In: Coccidiosis in livestock, poultry, companion animals, and humans, CRC Press: Boca Raton; 2020;245-254.
17. Fantinatti M, Gonçalves-Pinto M, Lopes-Oliveira LA, Da-Cruz AM. Epidemiology of *Giardia duodenalis* assemblages in Brazil: there is still a long way to go. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 2021;115:e200431.
18. Buret AG, Cacciò SM, Favennec L, Svärd S. Update on *Giardia*: Highlights from the Seventh Int *Giardia* and *Cryptosporidium* Conf. *Parasite* 2020;27:49.
19. Fusaro C, Chávez-Romero YA, Prada SL, Serrano-Silva N, Bernal JE, González-Jiménez FE, Sarria-Guzmán Y. Burden and epidemiology of human intestinal *Giardia duodenalis* infection in Colombia: a systematic review. *Trop Med Infect Dis* 2022;7(10): 325.
20. Sarmiento-Rubiano LA, Filott M, Gómez L, Suarez-Marengo M, Sarmiento MC, Becerra JE. Comparative study of the intestinal parasitism profiles between communities across the five municipalities of the Barranquilla metropolitan area, Colombia. *Osong Public Health Res Perspect* 2021;12(5):333-341.

21. Fu X, Zhong Y, Chen L, Ge M, Yu M, Sun Y, Shen L. Global burden and trends of the *Entamoeba* infection-associated diseases from 1990 to 2019: An observational trend study. *Tropica Act* 2023;240:106866.
22. Leung AK, Barankin B, Hon KL. Cutaneous larva migrans. Recent patents on inflammation and allergy drug discovery. 2017;11(1):2-11.
23. Streit A. Strongyloidiasis: Really a zoonosis? In: Strube C, Mehelhorn H, editors. Dog parasites endangering human health. Cham Springer; 2021:195-226.
24. Ahmed A, Ijaz M, Ayyub RM, Ghaffar A, Ghauri HN, Aziz MU, Javed MU. *Balantidium coli* in domestic animals: An emerging protozoan pathogen of zoonotic significance. *Tropic Act* 2020;203:105298.
25. Torrel TS, Vargas LA, Murga CA, Huaman V. Prevalence of *Eimeria* sp, and morphometric study of oocysts found in domestic dogs in Peru. *Rev Vet* 2022;33(1):59-62.
26. Gookin JL, Birkenheuer AJ, John S, Spector VM, Levy MG. Molecular characterization of trichomonads from feces of dogs with diarrhea. *J Parasitol* 2005;91(4):939–943.
27. Pacheco-Ortega G A, Chan-Pérez JI, Ortega-Pacheco A, Guzmán-Marín E, Edwards M, Brown MA, Hernández-Cortazar IB. Screening of zoonotic parasites in playground sandboxes of public parks from subtropical Mexico. *J Parasitology Res* 2019;7409076.
28. Díaz-Anaya AM, Pulido-Medellín MO, Giraldo-Forero JC. Nematodes with zoonotic potential in public parks in the city of Tunja, Colombia. *Public Health of Mexico*. 2015;57(2):170-176.
29. Rostami A, Ma G, Wang T, Koehler AV, Hofmann A, Chang BC, Gasser RB. Human toxocariasis—a look at a neglected disease through an epidemiological ‘prism’. *Infect Genet Evol* 2019;74:104002.



Transmisión espacial y vertical de los precios de leche del mercado internacional a mercados regionales y nacional de México



Benigna González Ortiz ^a

José Luis Jaramillo Villanueva ^{a*}

Samuel Vargas López ^a

Ángel Bustamante González ^a

Juan de Dios Guerrero Rodríguez ^a

Vinicio Horacio Santoyo Cortés ^b

^a Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla No. 205, Santiago Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, 72760. Puebla, México.

^b CUESTAAM. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. México.

*Autor de correspondencia: jaramillo@colpos.mx

Resumen:

Cuando un país importa un bien o servicio se sujeta a los precios determinados por el mercado mundial, por lo tanto, los precios del mercado interno cambian cuando los precios internacionales lo hacen. El objetivo de este estudio fue estimar el grado de transmisión de precios entre el precio al productor de leche en México a nivel nacional y regional y el de Estados Unidos (transmisión espacial), así como entre el precio de la leche al menudeo y el precio al productor en México (transmisión vertical). Se realizó un análisis econométrico de series de tiempo mensuales de los precios de leche de enero de 1990 a diciembre de 2021, aplicando pruebas de raíz unitaria, de cointegración y un modelo de vectores de corrección de error. Los resultados indican que existe una relación a largo plazo de los precios de Estados Unidos con los precios al productor a nivel nacional y regional, así como entre el precio al menudeo y el precio al productor. Se encontró que la transmisión espacial de los precios internacionales al precio al productor a nivel nacional y regional en Jalisco y Veracruz es de

forma simétrica, y asimétrica con el precio al productor en el estado de Coahuila. Existen diferencias entre regiones en la velocidad de ajuste cuando los precios internacionales aumentan que cuando disminuyen. La transmisión vertical también fue de forma simétrica, unidireccional del productor al mercado minorista e incompleta.

Palabras clave: Transmisión de precios, Mercado de la leche, Modelo corrección de error.

Recibido: 07/12/2023

Aceptado: 20/07/2024

Introducción

Históricamente México ha sido importador de leche en polvo debido a que la producción nacional no es suficiente para cubrir la demanda interna. En 2022, las importaciones representaron el 23.3 % del consumo nacional⁽¹⁾. En 2021 las importaciones de leche en polvo representaron el 40 % del valor total de las importaciones de lácteos. El principal proveedor de México, de estas importaciones, es Estados Unidos^(2,3,4). Para el subsector lácteo nacional las importaciones históricamente superan a las exportaciones, es decir, la balanza comercial es deficitaria^(2,3).

Cuando un país importa un bien se sujeta a los precios determinados por el mercado mundial, por lo tanto, los precios del mercado interno cambian cuando los precios internacionales lo hacen. En un escenario de importaciones quienes se benefician son los consumidores, y estos beneficios representan una pérdida para el productor debido a que los productos importados se consiguen en el mercado internacional a precios menores de lo que se pagan en el mercado nacional^(5,6). Estados Unidos puede ofrecer precios competitivos de leche en polvo al mercado internacional, ya que tiene alta productividad: el rendimiento (litros de leche/vaca/día) en México en el 2021 fue 13.3, y para Estados Unidos en ese mismo año fue de 29.78⁽⁷⁾. Además de que tanto la producción como la comercialización de Estados Unidos reciben elevados subsidios, lo que distorsiona los precios del producto en los mercados mundiales^(3,8).

En México, existe una elevada concentración tanto a nivel de la producción como de la industria. El 53 % de la producción de leche se concentra en cuatro estados, Jalisco (21 %), Coahuila (11.3 %), Durango (11.4 %) y Chihuahua (9.4 %)⁽²⁾. Dentro de la cadena leche, en el eslabón de la industrialización existen 130 empresas que procesan 86 % de la producción nacional, con un personal ocupado de 42 mil personas⁽⁹⁾. La industria lechera no solo es una fuente importante de cambio de precios, sino que también actúa como mediador de las señales de precios que se originan en diferentes partes de la cadena alimentaria⁽¹⁰⁾.

La industria de la leche nacional es de tipo “oligopolio”, caracterizada por un alto grado de concentración de empresas, barreras de entrada significativas y diferenciación dinámica del producto⁽¹¹⁾. En ésta, los precios determinan la asignación de recursos y las decisiones de producción de los agentes económicos⁽¹²⁾.

La transmisión de precios es el proceso a través del cual se transmite información entre los participantes de un mercado⁽¹⁰⁾, su estudio permite conocer si los mercados están integrados. Un marco teórico utilizado en la literatura es la ley de un solo precio, que dice que cuando existe intercambio comercial entre dos regiones separadas espacialmente, bajo condiciones de competencia perfecta, los shocks de precios en un mercado se transmiten completa y simétricamente al otro mercado, y los precios de equilibrio difieren sólo en los costos de transferencia⁽¹³⁻¹⁶⁾. Se dice que los mercados que transmiten la información sobre precios de forma rápida y completa están perfectamente integrados y suelen ser eficientes⁽¹³⁾.

De forma específica, los estudios de transmisión de precios analizan la forma y velocidad de ajuste de los precios domésticos ante los cambios en los precios internacionales⁽¹⁴⁻¹⁷⁾. La velocidad con la que se transmiten los precios, las magnitudes de la transmisión y el comportamiento no lineal en la transmisión de los precios son indicadores de la ineficiencia del mercado⁽¹⁸⁾.

Los resultados obtenidos a través de un meta-análisis⁽¹⁹⁾ sugieren que la transmisión asimétrica de precios en las relaciones entre productores y minoristas es más probable en los sectores de países con una estructura agrícola más fragmentada y con mayor apoyo gubernamental. En México, se han realizado estudios de la transmisión de precios de la leche fluida, del mercado internacional al nacional, e incluso al mercado regional y local^(14,15), pero en un único punto geográfico, y no existe ningún estudio de la transmisión en las principales regiones productoras, tanto espacial como vertical. El objetivo de este estudio fue estimar el grado de transmisión espacial entre precios de importación de leche de Estados Unidos y el precio al productor de leche en México a nivel nacional y en las principales regiones productoras y entre el precio al menudeo de la leche y el precio al productor a nivel nacional (transmisión vertical).

Material y métodos

El análisis econométrico realizado utilizó series de tiempo mensuales de los precios de leche fluida de 1990:01 a 2022:12. Los datos de México tanto a nivel nacional como regional son los pagados al productor (precio medio rural), obtenidos de la página web del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura⁽²⁰⁾. Los precios regionales corresponden a los pagados al productor en los estados de Jalisco, Coahuila y

Veracruz. Se seleccionaron los estados que ocupan los primeros lugares en la producción de leche de bovino en sus respectivas regiones; Jalisco es el primer estado productor en la región Centro-Occidente y ocupa el primer lugar a nivel nacional (21 %), Coahuila es el primer estado productor en la región Noreste ocupando el segundo lugar a nivel nacional (11.8 %) y Veracruz es el primer estado productor de la región Sur-Sureste y ocupa el sexto lugar a nivel nacional (6 %)⁽²¹⁾.

El precio internacional de la leche corresponde a los precios de exportación de leche descremada en polvo por Estados Unidos hacia México, transformada en leche equivalente, obtenidos de la página web de USDA-AMS⁽²²⁾. Los precios al consumidor corresponden al precio promedio al consumidor por litro de leche fluida pasteurizada, proporcionados por el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados⁽²³⁾ de la Secretaría de Economía, y ajustados por el índice nacional de precios al consumidor⁽²⁴⁾. Las series de precios se expresaron en dólares por litro utilizando el tipo de cambio emitido por el Banco de México⁽²⁵⁾. Los datos se transformaron en logaritmos naturales para poder realizar el análisis econométrico e interpretar los coeficientes como elasticidades.

Las pruebas de estacionariedad utilizadas fueron la de Dickey-Fuller Aumentada (DFA)⁽²⁶⁾, y Phillips-Perron (PP)⁽²⁷⁾ con las cuales se verificó el orden de integración de cada serie. Enseguida se estimó la relación a largo plazo, utilizando la cointegración en dos etapas⁽²⁸⁾ y se confirmó con la prueba de Johansen⁽²⁹⁾. Para finalizar, se estimó un Modelo Asimétrico de Vectores de Corrección de Error (MAVCE); una prueba para seleccionar el orden de rezago para un MAVCE, y una prueba F para igualdad de coeficientes de TCE⁺ y TCE⁻ (cambios positivos y negativos en el término del error, respectivamente). La hipótesis nula (H₀) de simetría, se rechaza si β_2^+ y β_2^- (coeficientes de ajuste de precios) son significativamente diferentes entre sí⁽¹²⁾:

Pruebas de cointegración

La prueba de cointegración se aplicó tanto en el modelo de transmisión de precios espacial como en el vertical. La cointegración entre variables -una vez demostrada la existencia de raíces unitarias- es una condición necesaria para la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo en la serie. Un vector de variables que tienen raíz unitaria está cointegrado si una combinación lineal de estas variables es estacionaria⁽²⁶⁾. Para probar la relación de largo plazo, se utilizaron tanto la prueba de cointegración de dos pasos de Engle-Granger⁽²⁸⁾ como la prueba de Johansen⁽²⁹⁾. El primer enfoque consiste en estimar la regresión de cointegración (ecuación 1) mediante MCO:

$$p_t^{out} = a + b_1 p_t^{in} + m_t \quad (1)$$

Donde p_t^{out} es el precio de producción de una empresa en el periodo t, y p_t^{in} es el precio de los insumos en el periodo t. A partir de la regresión de cointegración, se obtiene el residual \hat{U}_t , al que se le aplica una prueba DFA de raíz unitaria. El fracaso del rechazo de la hipótesis nula de no estacionariedad permite estimar la ecuación 2.

$$Dm_t = a + b_1m_{t-1} + b_2Dm_{t-1} \tag{2}$$

Un coeficiente negativo del término de error (entre -2 y cero) confirma una relación de largo plazo entre el precio de la leche pagado al productor y el precio internacional de la leche. Por otro lado, la prueba de Johansen derivó la distribución de dos estadísticos de prueba para la hipótesis nula de no cointegración; las pruebas de valores propios y de la traza⁽²⁹⁾. Una vez verificada la cointegración entre precios, se aplicó un Modelo de Corrección de Errores (MCE) para capturar el efecto de corto y largo plazo de p_t^{in} sobre p_t^{out} , y la velocidad de ajuste a la cual p_t^{out} regresa al equilibrio después de un cambio en p_t^{in} .

Transmisión espacial de precios asimétrica entre el precio internacional y el nacional

Considerando que los precios al productor e internacionales están cointegrados, se estimó un Modelo Asimétrico de Corrección del Error (MAVCE) para investigar la posible interdependencia de los precios de importación sobre los precios domésticos (transmisión espacial). La división del Término de Corrección del Error (TCE) en componentes positivos y negativos permitió comprobar la existencia de transmisión de precios asimétrica, siguiendo este enfoque, se utilizó la ecuación 3 para estudiar la transmisión de precios asimétrica espacial⁽¹²⁾

$$\Delta p_t^{farm} = \alpha + \sum_{j=1}^k (\beta_j^+ D^+ \Delta p_{t-j+1}^{int}) + \sum_{j=1}^L (\beta_j^- D^- \Delta p_{t-j+1}^{int}) + \phi^+ TCE_{t-1}^+ + \phi^- TCE_{t-1}^- + \gamma_t \tag{3}$$

Donde Δ es la primera diferencia del operador; P_t^{farm} = precio al productor; P_t^{int} = precio de importación, D^+ y D^- son variables ficticias mediante las cuales, el precio de los insumos se divide en una variable que incluye sólo los precios crecientes y otra que incluye sólo los precios decrecientes; β_j^+ y β_j^- son coeficientes de ajuste del precio; ϕ^+ y ϕ^- son parámetros constantes; TCE es el término de corrección de error. Se utilizó una prueba F para verificar la hipótesis nula de simetría.

Transmisión vertical asimétrica de los precios

Para estimar la transmisión vertical asimétrica se utilizó la ecuación 4 y se utilizó una prueba F para verificar la hipótesis nula de simetría⁽¹²⁾.

$$\Delta p_t^{farm} = \alpha + \sum_{j=1}^k (\beta_j \Delta p_{t-j+1}^{int}) + \phi^+ TCE_{t-1}^+ + \phi^- TCE_{t-1}^- + \gamma_t \quad (4)$$

Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados de la prueba de raíz unitaria de DFA y PP a las series de precios, el valor estadístico de t no permite rechazar la hipótesis nula de raíz unitaria con un nivel de confianza del 95 %, es decir, las series de precios son no estacionarias (Cuadro 1). Estudios recientes de transmisión de precios de la leche, obtuvieron resultados similares de no estacionariedad entre las series de tiempo^(15,17,30). El resultado de no estacionariedad de las series de tiempo justifica el uso de las pruebas de cointegración. La cointegración permite que una combinación de variables no estacionarias resulte ser estacionaria. Se puede ver como una relación de equilibrio a largo plazo entre variables a pesar de que en el corto plazo pasen por situaciones de desequilibrio⁽³¹⁾. Para determinar si las series están cointegradas (equilibrio a largo plazo), los residuos (u_t) de la regresión de cointegración deben ser estacionarios, esto se logra aplicándoles la prueba de DFA para determinar la estacionariedad de las series de tiempo.

Cuadro 1: Resultados de las pruebas de DFA y PP en las series de precios de la leche, de importación, al productor nacional, al productor regional y al consumidor

Serie de precios	Prueba de DFA	5% del valor crítico	Prueba de PP	5% del valor crítico
Precio de importación	-2.328	-3.425	-20.865	-21.406
Precio consumidor	-2.032	-3.425	-13.350	-21.406
Precio producción nacional	-3.409	-3.425	-37.672	-21.406
Precio producción Jalisco	-3.339	-3.425	-24.447	-21.402
Precio producción Coahuila	-2.830	-3.425	-15.919	-21.402
Precio producción Veracruz	-3.301	-3.425	-22.482	-21.402

Cointegración a largo plazo del modelo espacial nacional y regional

Los resultados de la prueba DFA del término del error indican que se rechaza la hipótesis nula de no estacionariedad (Cuadro 2), lo que significa que la serie de precios de importación

está cointegrada a largo plazo tanto con la serie de precios nacional como con las de precio regionales.

Cuadro 2: Resultados de la prueba de DFA del término del error

Pares de precios	Prueba de DFA del error	5% del valor crítico
$p^{Imp_p^{prod\ nacional}}$	-4.174	-2.875
$p^{Imp_p^{Jal}}$	-3.450	-2.875
$p^{Imp_p^{Coah}}$	-3.344	-2.875
$p^{Imp_p^{Ver}}$	-3.598	-2.875

Engle y Granger⁽²⁸⁾ confirmaron una relación a largo plazo entre el precio de leche al productor a nivel nacional y el precio de importación de leche (Cuadro 3), así como también entre el precio al productor en Jalisco, Coahuila y Veracruz y el precio internacional (Cuadro 4).

Cuadro 3: Resultados de la prueba de cointegración de Engle-Granger en dos etapas del modelo espacial entre el precio de importación y el precio al productor nacional

Variable	Coefficiente	Error estándar	Valor de t	P> t
m_{t-1}	-0.118624	0.0179831	-6.60	0.000
Dm_{t-1}	.4825031	0.044505	10.84	0.000
Constante	0.0000821	0.0021071	0.04	0.969
Prueba F	69.26			
R cuadrada	0.2677			

Cuadro 4: Resultados de la prueba de cointegración de Engle-Granger en dos etapas del modelo espacial entre el precio de importación y el precio al productor regional

Variable	Jalisco				Coahuila				Veracruz			
	Coef.	EE	t value	P> t	Coef.	EE	t value	P> t	Coef.	EE	t value	P> t
m_{t-1}	-0.0657	0.0169	-3.87	0.000	-.0640	.0169	-3.77	0.000	-.0692	.018	-3.82	0.00
Dm_{t-1}	.1426	0.0510	2.79	0.006	.1366	.0512	2.67	0.008	.0762	.051	1.48	0.13
Constante	-0.0005	0.0024	-0.21	0.831	-.0004	.0021	-0.21	0.832	-.0007	.002	-0.29	0.77
Prueba F	9.94				9.27				7.66			
R cuadrada	0.506				0.42				0.39			

EE= error estándar.

Al igual que la prueba de Engle-Granger, la prueba de Johansen determina la existencia de una relación estable y de equilibrio a largo plazo. Los resultados de la prueba de Johansen de cointegración de las series de precios de importación y al productor nacional arrojaron un valor estadístico de traza (5.9169) mayor que el valor crítico del 5% (3.76), al igual que los

valores para las series de precios en Jalisco, Coahuila y Veracruz (6.8901, 4.7077, 5.0788, respectivamente) por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de no cointegración entre los precios, es decir, los precios de importación influyen en el comportamiento de los precios al productor a nivel nacional y regional en los estados de Jalisco, Coahuila y Veracruz a largo plazo.

Estudios similares^(14,15) realizados en México con datos de precios de leche, confirmaron la cointegración a largo plazo entre el precio de importación y el precio pagado al productor, lo que sugiere que el precio de importación influye en el comportamiento de los precios de leche al productor a largo plazo. Además de la relación a largo plazo de los precios mexicanos con los precios de Estados Unidos, también se comprobó esta relación con los precios de Oceanía y la Unión Europea⁽¹⁵⁾. Esta relación de cointegración de los precios de importación con los precios domésticos no siempre sigue una relación a largo plazo, sobre todo en países donde las exportaciones están por arriba de las importaciones de leche⁽¹⁶⁾.

Dada la confirmación de cointegración entre el precio de importación y el precio al productor de la leche a nivel nacional y regional, se estimó un Modelo de Corrección de Error (MCE), que relaciona los cambios en el P_t^{int} con los cambios en el P_t^{farm} en el caso del modelo espacial y del llamado termino de corrección del error (TCE), se calcularon los residuos rezagados de la ecuación de cointegración.

Modelo espacial de vectores de corrección de error: nacional

Los valores de TCE_{t-1}^+ y TCE_{t-1}^- reflejan que cuando el precio de importación cambia, el precio al productor a nivel nacional cambia en diferente proporción cuando aumenta con respecto a cuando disminuye. Cuando los precios de importación aumentan, los precios al productor aumentan en 8 %, pero cuando los precios de importación disminuyen, los precios al productor disminuyen en 14 % (Cuadro 5).

Cuadro 5: Resultados del modelo espacial de vectores de corrección de error (MAVCE) de las series de precios de importación y al productor a nivel nacional

Variable independiente	Modelo espacial simétrico				Modelo espacial asimétrico			
	Coef.	EE	t	p> t	Coef.	EE	t	p> t
P_{int}	0.1140	0.0365	3.12	0.002	---	---	---	---
P_{int}^-	---	---	---	---	0.2438	0.1004	2.43	0.016
P_{int}^+	---	---	---	---	0.2493	0.0949	2.63	0.009
P_{farm}_{t-1}	0.5741	0.0486	11.82	0.000	0.5685	0.0486	11.68	0.000
P_{farm}_{t-2}	0.1047	0.0503	-2.08	0.038	-0.097	0.0504	-1.94	0.053

Pint _{t-1}	0.0105	0.0402	0.26	0.793	0.0149	0.0459	0.33	0.745
Pint _{t-2}	-0.0428	0.0376	-1.14	0.255	-0.0385	0.0376	-1.03	0.306
TCE _{t-1}	-0.1135	0.0182	-6.22	0.000	---	---	---	
TCE _{t-1} ⁺	---	---	---		-0.0861	0.0235	-3.66	0.000
TCE _{t-1} ⁻	---	---	---		-0.1487	0.0262	-5.66	0.000
Constante	0.00031	0.0019	0.16	0.875	-0.0003	0.0019	-0.16	0.876
Normalidad: (Prob>z)	0.963				0.96389			
LM test (Prob>Ji ²)	0.863				0.049			
DW test	2.012				1.9148			
R-cuadrada	0.3937				0.3985			
Test: H ₀ : b ₁ ⁺ = b ₁ ⁻	---				F(1,374) = 2.35			
Test: H ₀ : b ₂ ⁺ = b ₂ ⁻	---				F(1, 372) = 3.41			

EE= error estándar.

Resultados similares se reportan en Chile⁽³²⁾ en un estudio de transmisión espacial de precios internacionales sobre los precios domésticos, donde los efectos o “shocks” negativos son traspasados más rápidamente que los efectos o “shocks” positivos, lo que podría ser explicado por la estructura oligopsónica en la recepción de leche fluida. Al igual que resultados reportados en estudios previos, para el periodo 1990-2016⁽¹⁴⁾, en este estudio, los coeficientes de cambio contemporáneo son significativamente menores a uno en ambas ecuaciones, indicando que los precios al productor no reaccionan completamente en un mes a los cambios en los precios internacionales. La prueba de F indica que se acepta la hipótesis nula de simetría $H_0 : b_2^+ = b_2^-$ a un nivel de significancia del 5% (Prob > F=0.065).

Los estudios de transmisión de precios de la leche en México son escasos^(14,15), y han arrojado resultados distintos en los modelos de corrección de errores. En el presente estudio, la velocidad de ajuste del precio nacional ante desviaciones del equilibrio muestra un valor inferior a los estudios preliminares (-0.113). La evidencia de simetría en la transmisión espacial de precios a nivel nacional difiere con lo encontrado por estudios previos en México para el periodo 1990-2016⁽¹⁴⁾. Esto probablemente debido a que el periodo de análisis es diferente. Sin embargo, lo encontrado en esta investigación coincide con otra investigación reciente en México⁽¹⁵⁾ para el periodo 2001-2019. Por otro lado, en un estudio similar realizado en Chile⁽³²⁾, encontraron evidencias de asimetría en la transmisión espacial de los precios entre el mercado.

Modelo espacial de vectores de corrección de error: regional

Los valores de los coeficientes asociados al TCE de los modelos regionales resultaron negativos y significativos. El resultado de la prueba F indica que se acepta la hipótesis nula

de simetría: $H_0 : \beta_2^+ = \beta_2^-$ en el nivel de significancia del 5% para la respuesta de los precios al productor en Jalisco (F=1.01) y Veracruz (F=0.02), sin embargo, se rechaza para el caso de Coahuila (F=7.71; $P > F = 0.0058$), sugiriendo la evidencia de asimetría en la respuesta de los precios en este estado (Cuadro 6). Los resultados de simetría para la transmisión de precios internacionales al productor en Jalisco, coincide con lo reportado por un estudio reciente realizado en la misma región⁽¹⁵⁾, en el que analizaron la transmisión de precios de tres mercados internacionales hacia el mercado nacional, regional en Jalisco y local en Chicontepec, Veracruz.

El presente estudio también encontró diferencias en la transmisión de precios al productor de una región a otra, los valores de TCE_{t-1}^+ y TCE_{t-1}^- reflejan que cuando el precio de importación cambia, el precio al productor en Jalisco, Coahuila y Veracruz cambia en diferente proporción cuando aumenta con respecto a cuándo disminuye.

A diferencia de los precios nacionales y regionales (Jalisco), los precios de importación afectan de diferente forma a los precios en el estado de Coahuila; cuando los precios de importación aumentan, los precios al productor en Coahuila aumentan en 10 %, pero cuando los precios de importación disminuyen, los precios al productor disminuyen en 1 %, es decir, la velocidad de ajuste es significativamente mayor cuando los precios suben que cuando disminuyen. La velocidad de ajuste para los precios al productor en Veracruz no mostró diferencias significativas cuando los precios suben o cuando bajan (Cuadro 6).

Estas variaciones en la transmisión de precios y en la respuesta de los precios al productor en las tres regiones al cambio en los precios de importación pueden estar asociadas a la estructura de mercado dentro de cada región. Coahuila forma parte de la Comarca Lagunera, que en conjunto con el estado de Durango aportan el 22.5 % de la producción nacional⁽²¹⁾, en esta región predomina el sistema especializado y la estructura de mercado es de tipo oligopsonio, aquí se encuentran las dos empresas con mayor cuota en el mercado de los lácteos en México, LALA y Alpura. Ambas empresas mantienen una relación estrecha con sus socios a quienes compran la leche a un precio comparativamente elevado⁽³³⁾, lo que podría explicar que los cambios positivos en los precios de importación se reflejen más rápido que los negativos en el precio al productor. La importancia del estudio de la estructura de mercado como parte del análisis de la transmisión de precios en el mercado de la leche ya ha sido abordada en otros estudios⁽³⁴⁾. Estudios realizados en México⁽³⁵⁾, y en el mercado de la leche entre países que integran un sector a nivel internacional⁽³⁶⁾ han hecho énfasis en la necesidad de considerar el análisis de transmisión de precios a nivel regional, ya que se pueden identificar diferencias en la respuesta a la transmisión de precios entre regiones.

Cointegración a largo plazo del modelo vertical

Para el modelo de transmisión vertical entre el precio al productor de leche (P^{prod}) y el precio al menudeo (P^{con}) se probó la hipótesis de que el precio al menudeo es causado por el precio al productor. Y dado que las series de tiempo resultaron no estacionarias, se procedió a realizar las pruebas de cointegración a largo plazo utilizando la ecuación (1).

Los resultados de la estimación de la ecuación (1) mostraron una R^2 de 0.14, un valor estadístico de t de 16.72 y un valor estadístico de F de 279.58. La prueba de DFA del término del error mostró un estadístico de prueba de -3.646, en contraste con el 5 % de los valores críticos de -2.875, indicando que se rechaza la hipótesis nula de no estacionariedad. Los resultados de la prueba de cointegración de Engle-Granger en dos etapas muestran un coeficiente negativo del error, confirmando la relación a largo plazo entre los precios (Cuadro 7).

Cuadro 7: Resultados de la Prueba de cointegración de Engle-Granger en dos etapas para el modelo vertical de transmisión de precios

Variable	Coefficiente	Error estándar	Valor de t	$P > t $
m_{t-1}	-0.0963809	0.0155752	-6.19	0.000
Dm_{t-1}	0.5261937	0.0435508	12.08	0.000
Constante	0.000011	0.0021777	0.01	0.996
Prueba F	81.75			
R cuadrada	0.3014			

En un estudio de transmisión vertical de precios en el mercado de la leche en Rusia⁽³⁷⁾ se encontró que no existe una relación de cointegración a largo plazo entre los precios al productor y los precios al menudeo, sin embargo, un cambio en el precio en el mercado al menudeo tiene un efecto significativo en el precio al productor y viceversa, es decir, existe un efecto bidireccional.

El valor del estadístico de traza (3.3776) de la prueba de Johansen fue menor que el 5% del valor crítico (3.76), no permite rechazar la hipótesis nula de cointegración, es decir, se confirma que las series de precios están cointegradas.

Modelo vertical de vector de corrección de errores

Una vez comprobada la cointegración de los precios de la leche al menudeo y al productor, se estimó un modelo Vector de Corrección de Errores⁽¹²⁾ y se utilizó una prueba F para probar la hipótesis nula de simetría. Los modelos de corrección de errores permiten cuantificar que

proporción del precio es transmitida a lo largo de la cadena de comercialización y la velocidad con que eso ocurre⁽¹²⁾. El resultado de la prueba F indica que se acepta la hipótesis nula de simetría ($H_0 : \beta_2^+ = \beta_2^-$) en el nivel de significancia del 5% ($P>F= 0.5534$), este resultado difiere de lo encontrado en un estudio previo en México⁽¹⁴⁾, para el periodo de 1990-2016, en el que identificaron evidencia de asimetría en la respuesta de transmisión de los precios del productor al mercado minorista. En contraste con este estudio, los valores del TCE_{t-1}^- obtenidos inducen un cambio ligeramente mayor en el precio de menudeo que el TCE_{t-1}^+ (Cuadro 8).

Cuadro 8: Resultados del modelo de corrección de errores; vertical simétrico y asimétrico

Variable independiente	Modelo simétrico				Modelo asimétrico			
	Coef.	EE	t	p> t	Coef.	EE	t	p> t
Pprod _t	0.0326	0.0593	0.55	0.583	---	---	---	
Pprod _{t-1}	0.6234	0.0489	12.75	0.000	0.6248	0.0489	12.75	0.000
Pprod _{t-2}	-0.1419	0.0511	-2.77	0.006	-0.1441	0.0513	-2.81	0.005
Pcon _{t-1}	0.0572	0.0596	0.96	0.338	0.0454	0.0642	0.71	0.480
Pcon _{t-2}	-0.0222	0.0592	-0.38	0.708	-0.0222	0.0593	-0.38	0.708
TCE_{t-1}	-0.0780	0.0153	-5.08	0.000	---	---	---	
TCE_{t-1}^+	---	---	---		-0.0692	0.0211	-3.28	0.001
TCE_{t-1}^-	---	---	---		-0.0865	0.0213	-4.06	0.000
Constante	0.0002	0.0020	0.13	0.899	0.00007	0.0020	0.04	0.969
Normality test (Prob>z)	0.99330				0.9933			
LM test (Prob>Ji ²)	1.011				0.996			
DW test	2.013912				2.0144			
R-cuadrada	0.3440				0.3451			
Test: $H_0 : b_2^+ = b_2^-$	---				F (1,372) = 0.35			

EE= error estándar.

Estudios de transmisión vertical de precios de la leche en otros países como Eslovaquia^(38,39), Hungría⁽⁴⁰⁾ y Uruguay⁽³⁰⁾, encontraron evidencia de asimetría en la transmisión de los precios en diferentes eslabones de la cadena. Uno de los factores causantes de asimetría, común en estos estudios es el poder de mercado por parte de la industria, no obstante, el hecho de que los productores estén más integrados a la cadena productiva (formando parte de la industria a través de cooperativas, por ejemplo) hace que reaccionen con mayor rapidez a los cambios en los precios⁽³⁰⁾.

Conclusiones e implicaciones

Existe una relación de cointegración a largo plazo entre los precios de importación de leche en polvo y el precio al productor a nivel nacional y regional en Jalisco, Coahuila y Veracruz, y entre los precios al menudeo y al productor nacional. Los precios de importación de leche en polvo se transmiten de forma simétrica al productor a nivel nacional y regional en Jalisco y Veracruz, indicando que no hay diferencias significativas en la respuesta del precio al productor si los precios de importación aumentan o disminuyen. Sin embargo, si se encontró evidencia de asimetría en la transmisión de los precios internacionales a los precios al productor en el estado de Coahuila, donde un aumento se transmite más rápidamente que una disminución. La velocidad de ajuste a desviaciones en el equilibrio a largo plazo se comportó de manera diferente entre regiones. No se encontró evidencia de asimetría en la transmisión de precios vertical entre el precio al menudeo y el precio al productor nacional, la velocidad de ajuste muestra que la respuesta de los precios al menudeo es más rápida cuando los precios al productor disminuyen que cuando aumentan. Entender la dinámica de la transmisión espacial y vertical de los precios puede orientar a los diseñadores de política pública a diseñar programas de apoyo al sector lácteo más integrales y diferenciados por región, de tal forma que se asegure una mejor distribución del bienestar y los ingresos a lo largo de la cadena. Este estudio aporta a la literatura de transmisión de precios de la leche en México, además de que identifica posibles diferencias en la transmisión espacial de los precios de importación de la leche a nivel regional, resaltando la importancia de que los diseñadores de política pública consideren a la hora de formular estrategias de atención al sector, las diferencias regionales para asegurar una mejor distribución del bienestar y los ingresos a lo largo de la cadena. Finalmente, dadas las restricciones del modelo utilizado, se sugiere en estudios subsecuentes ampliar el modelo MVCE lineal a un MVCE de umbral incorporando el modelo Momentum-Threshold Autoregressive (M-TAR), ya que permiten identificar cambios profundos en las series de precios, además de que se pueden obtener asimetrías en los ajustes de precios ante desviaciones positivas o negativas.

Agradecimientos

Se agradece al C. Faustino Zaragoza López del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM) de la Secretaría de Economía, la facilitación de la información histórica de los precios al consumidor de la leche. Manifestamos que no existe ningún tipo de conflicto de interés.

Cuadro 6: Resultados del Modelo Espacial Asimétrico Regional

Variable independiente	Jalisco				Coahuila				Veracruz			
	Coef.	EE	t	p> t	Coef.	EE	t	p> t	Coef.	EE	t	p> t
$Pint_t^-$	-0.0326	0.126	-0.26	0.796	-0.0028	0.105	-0.03	0.978	-0.0258	0.134	-0.19	0.847
$Pint_t^+$	-0.0284	0.119	-0.24	0.796	0.0029	0.099	0.03	0.976	-0.0318	0.126	-0.25	0.801
$Pfarm_{t-1}$	0.1563	0.052	2.99	0.003	0.1086	0.052	2.07	0.039	0.0838	0.053	1.59	0.114
$Pfarm_{t-2}$	-0.0337	0.052	-0.65	0.516	-0.0182	0.051	-0.36	0.723	-0.0029	0.052	-0.06	0.954
$Pint_{t-1}$	0.0648	0.057	1.13	0.259	0.0768	0.047	1.62	0.107	0.0762	0.061	1.25	0.210
$Pint_{t-2}$	-0.0220	0.046	-0.48	0.631	-0.0158	0.038	-0.42	0.678	-0.0470	0.048	-0.97	0.334
ECT_{t-1}^+	-0.0497	0.023	-2.14	0.033	-0.1037	0.022	-4.70	0.000	-0.0737	0.024	-3.10	0.002
ECT_{t-1}^-	-0.0847	0.027	-3.17	0.002	-0.0105	0.025	-0.42	0.674	-0.0690	0.028	-2.47	0.014
Constante	-0.0008	0.002	-0.33	0.743	-0.0008	0.002	0.39	0.697	-0.0004	0.003	-0.17	0.867
Test normalidad (Prob>z)	0.8032				0.8554				0.7778			
LM test (Prob>Ji ²)	1.546				1.706				0.303			
DW test	1.511				1.668				0.296			
R-cuadrada	0.637				0.855				0.550			
Test: $H_0 : b_2^+ = b_2^-$	F(1, 366) = 1.01				F(1, 366) = 7.71				F(1, 366) = 0.02			

EE= error estándar.

Literatura citada:

1. FIRA. Fideicomisos Instituidos en relación con la Agricultura (2021). Panorama Agroalimentario. <https://www.fira.gob.mx>. Consultado 20 Ago, 2022.
2. CANILEC. Cámara Nacional de Industriales de la Leche (2022). Estadísticas del Sector lácteo 2011-2021. <https://www.canilec.org.mx/estadisticas.htm>. Consultado 05 Ago, 2022.
3. SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). Panorama Agroalimentario. https://nube.siap.gob.mx/panorama_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021. Consultado 10 de Ago, 2022.
4. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022). Dairy Market Review. Overview of global dairy market and policy developments in 2021. Rome.
5. Parkin M, Loría DE. Microeconomía. Versión para Latinoamérica. 9a ed. México: PEARSON EDUCACIÓN; 2010.
6. Robledo PR. Producción de leche en México y su comercio de lácteos con países del APEC. In: Teoría, impactos externos y políticas públicas para el desarrollo regional. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México: 2018.
7. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). [https://www.fao.org/faostat/es/#home\(1997\)](https://www.fao.org/faostat/es/#home(1997)). Consultado 29 Jul, 2023.
8. SE. Secretaría de Economía. Análisis del sector lácteo en México. Dirección General de Industrias Básicas. 2012. https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf.
9. SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/crece-la-produccion-de-leche-en-mexico-sagarpa-158944?idiom=es#:~:text=Dentro%20de%20la%20cadena%20de,380%20mil%20millones%-20de%20pesos>. Consultado 05 Ene, 2023.
10. Lloyd T. Forty years of price transmission research in the food industry: Insights, challenges and prospects. *J Agr Econ* 2017;68(1):3-21.
11. Caballero GMA. La industria de la leche en México: conductas y tendencias. [Tesis doctorado]. Texcoco, Estado de México: Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos; 2010. Disponible en: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/83>.

12. Meyer J, Crammon-Taubadel SV. Asymmetric Price transmission: A survey. *J Agr Econ* 2004;55(3):581-611.
13. Bakucs Z, Benedek Z, Fertő I. Spatial Price Transmission and Trade in the European Dairy Sector. *AGRIS on-line Papers Econ Inf* 2019;11(2):13-20.
14. Jaramillo-Villanueva JL, Palacios-Orozco A. Transmisión de precios vertical y espacial en el mercado mexicano e internacional de leche. *Rev Mex Cienc Pecu* 2019;10(3):623-642.
15. Martínez-Marcos D, Barrios-Puente G, Pérez-Soto Francisco, Ruiz-Hernández JA, Lara-Reimers EA. Transmisión espacial de precios desde el mercado internacional al mercado mexicano de leche. *Ecosist Recur Agropecu* 2023;10(1):e3022.
16. Arcos CA. Transmisión de precios internacionales en el mercado lácteo chileno. *Chilean J Agric Anim Sci* 2020;36(1):86-94.
17. Jaramillo-Villanueva JL, Benítez-García E. Trasmisión de precios en el mercado mexicano e internacional de café (*Coffea arabica L.*): un análisis de cointegración. *Agrociencia* 2016;50(7):931-944.
18. Ramsey AF, Goodwin BK, Hahn WF, Holt MT. Impacts of COVID-19 and Price transmission in U.S. Meat Markets. *Agr Econ* 2021;52(3):441-458.
19. Bakucs Z, Falkowski J, Fertő I. Does market structure influence price transmission in the Agro-food sector? A Meta-analysis perspective. *J Agric Econ* 2013;65(1):1-25.
20. SIAP-SADER. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Indicadores económicos. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>. Consultado 15 Abr, 2022.
21. SIAP-SADER. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022). Panorama Agroalimentario. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>. Consultado 01 de Ago, 2023.
22. USDA-AMS. United States Department of Agriculture. <http://www.fas.usda.gov/ustrade/>. Consultado 10 Mar, 2022.
23. SNIIM. Sistema Nacional de Información de Mercados, Secretaría de Economía (SE). <http://www.economia-sniim.gob.mx/>. Consultado 18 Feb, 2022.
24. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Índice Nacional de Precios al Consumidor y al Productor. <http://www.inegi.org.mx/>. Consultado 15 Mar, 2022.

25. Banco de México. Indicadores económicos. <http://banxico.org.mx>. Consultado 20 Mar, 2022.
26. Dickey DA, Fuller WA. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica* 1981;49(4):1057-1072.
27. Phillips PCB, Perron P. Testing for unit root in time series regression. *Biometrika* 1988;75(2):335-346.
28. Engle RF, Granger CWJ. Cointegration and error correction: Representation, estimation and testing. *Econometrica* 1987;55(2):251-276.
29. Johansen S. Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica* 1991;59(6):1551-1580.
30. Bertamini F, Carriquiry M. Incidencia del mercado internacional y de la estructura del mercado doméstico en la transmisión de precios en la cadena láctea: evidencia desde Uruguay. Udelar. FCEA. Lecon 2021. Serie Documentos de Trabajo; 12/21.
31. Jiménez TR. Orígenes y evolución de la teoría de la cointegración y del análisis de la transmisión de los precios en mercados. *Historia de la probabilidad y la estadística (V)* 2011;249-262.
32. Labra-Hernández J, Cabas-Monje J, Velasco-Fuenmayor J. Efectos del precio internacional de la leche sobre el precio pagado a productor chileno: un análisis de cointegración. *Rev Científica* 2017;XXVII(6):385-392.
33. García HLA. Estrategias de las agroindustrias lecheras latinoamericanas. Estudio comparativo ante el proceso de globalización económica. *Rev Mex Agron* 2001;5(9):263-273.
34. Acosta A, Ihle R, Cramon-Taubadel SV. Combining market structure and econometric methods for Price transmission analysis. *Food Sec* 2019;11:941-951.
35. Rojas-Juárez LA, Jaramillo-Villanueva JL, Vargas-López S, Bustamante-González Á, Guerrero-Rodríguez JDD. Transmisión vertical y horizontal de precios en el subsector ganado carne de bovino en México. *Ecosist Recur Agropecu* 2022;9(3):e3307.
36. Bakucs Z, Benedek Z, Fertő I. Spatial price transmission and trade in the European dairy sector. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics* 2019;11(2):13-20.
37. Kharin S. Price transmission analysis: The case of milk products in Russia. *AGRIS on-line Papers in Econ and Inf* 2018;10(1):15-23.

38. Lajdová Z, Bielik P. Vertical price transmission analysis: The case of milk in the Slovak dairy sector. *APSTRACT: Applied Studies in Agribusiness and Commerce* 2013;7(4-5):89-96.
39. Weldesenbet T. Asymmetric price transmission in the Slovak liquid milk market. *Agric Econ Czech* 2013;59(11):512-524.
40. Ben-Abdallah M, Fekete-Farkas M, Lakner Z. Analysis of dairy product price transmission in Hungary: A nonlinear ARDL model. *Agriculture* 2020;10(6):217.



Competitividad y ventaja comparativa de ganado bovino de carne en la Sierra Norte de Puebla, México



Lisete Abigail Rojas-Juárez ^a

José Luis Jaramillo-Villanueva ^{a*}

Samuel Vargas-López ^a

Juan Cabas-Monje ^b

^a Colegio de Postgraduados. Boulevard Forjadores de Puebla No. 205, Santiago Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, 72760, Puebla, México.

^b Universidad del Bío-Bío. Facultad de Ciencias Empresariales. Chile.

* Autor de correspondencia: jaramillo@colpos.mx

Resumen:

Los sistemas de producción de ganado bovino carne en México son social y económicamente importantes, debido a que contribuyen al desarrollo económico de los territorios por medio de la generación de empleo e ingreso. Los cambios estructurales del subsector, derivados de la integración económica de México con Estados Unidos y Canadá, han afectado la rentabilidad y competitividad de la actividad. El objetivo de este estudio fue evaluar la competitividad y las ventajas comparativas de los sistemas de producción de ganado bovino carne en la región Sierra Norte de Puebla. Con información técnica y productiva de una muestra de 116 unidades de producción ganadera se utilizó el método de la Matriz de Análisis de Política para identificar los beneficios, restricciones y oportunidades en la producción de bovinos carne. Se identificaron tres sistemas de producción: cría (79 %), engorda (13 %) y mixto (8 %). La relación de costo privado fue de 0.22, 0.45 y 0.23 para cría, engorda y mixto, respectivamente, lo que determinó alta competitividad. La relación de costo de los recursos internos fue de 0.11, 0.08 y 0.14 para cría, engorda y mixto, respectivamente; lo que implicó ventaja comparativa en los tres

sistemas. Los coeficientes de protección efectiva para cría (0.55), engorda (0.16) y mixto (0.64) indicaron que los sistemas de producción de bovino muestran desprotección. Se concluyó que los sistemas productivos son rentables para los productores y para el país, pero requieren de una política orientada a generar incentivos positivos para la producción.

Palabras clave: Ganado bovino, Protección efectiva, Rentabilidad privada, Uso de insumos.

Recibido: 17/07/2023

Aceptado: 12/02/2024

Introducción

La actividad pecuaria en México contribuye al desarrollo económico nacional, a la seguridad alimentaria y a la subsistencia de los hogares al generar empleo e ingresos^(1,2). En 2022 la producción de carne de res fue de 2'175,576 toneladas con un valor de 163'811,754 miles de pesos⁽³⁾. No obstante, esta producción no cubre la demanda nacional de carne de bovino y se complementa (8.5 %) con importaciones de Estados Unidos de América, Nicaragua y Canadá, principalmente^(4,5). Este déficit en la producción de carne de bovino en México ha sido generado por los cambios estructurales y políticas públicas adversas aplicadas al sector ganadero como consecuencia de la apertura comercial⁽⁶⁾, la privatización de empresas gubernamentales, la reducción de créditos y la eliminación de subsidios⁽⁷⁾; mismos que, durante la última década, generaron desventajas como: elevados costos de insumos, situaciones de abigeato, incrementos en los costos de transporte y limitados servicios de extensión⁽⁸⁾; mismas que lograron intensificarse con la implementación de las medidas de contención precedentes de la COVID-19^(9,10). Por lo tanto, se reconoce que, la dinámica productiva de carne de bovino por parte de los principales países importadores genera repercusiones directas hacia el subsector⁽¹¹⁾ que afectan directamente la competitividad y productividad de los productores y el poder adquisitivo de los consumidores⁽¹²⁾. En este sentido, se busca conocer la situación real de la competitividad y sus ventajas comparativas para implementar instrumentos de política que ayuden a minimizar el impacto hacia los distintos tipos de productores, especialmente de los pequeños⁽¹³⁾.

La competitividad para la ganadería bovina de carne se define como la capacidad del sector para enfrentar la competencia mundial, permanecer en los mercados externos, principalmente el de Estados Unidos, con calidad y eficiencia para producir y mantener niveles crecientes de ganancias de sus recursos, considerando factores como las

fluctuaciones de la tasa de cambio, disponibilidad de infraestructura para la comercialización y la dotación de factores productivos con bajos costos relativos^(14,15).

Existen diferentes métodos propuestos en la literatura para medir la competitividad, sin embargo, la Matriz de Análisis de Política (MAP) es una metodología robusta que anida diferentes métodos para medir la competitividad y la ventaja comparativa⁽¹⁶⁾, por lo que es ampliamente aplicada y aceptada⁽¹⁷⁻²¹⁾. Esta herramienta se basa fundamentalmente en el análisis de presupuestos a precios de mercado y a precios sociales (costo de oportunidad) determinando la competitividad y las ventajas comparativas de los sistemas productivos y de los instrumentos de política que inciden en la competitividad de los mismos⁽¹³⁾. En México, los estudios de la competitividad y de las ventajas comparativas en los distintos sectores económicos son insuficientes⁽²²⁾. Existen estudios de competitividad en la ganadería doble propósito⁽²³⁾ y de sistemas de producción de carne de bovino en corrales de engorda⁽²⁴⁾ con la metodología de la MAP presentando competitividad negativa, buena competitividad o en vías de competitividad.

Por lo anterior, resulta importante analizar las políticas comerciales que generan impacto en la competitividad de los sistemas de producción de ganado bovino para carne, regional, para identificar los patrones eficientes de producción y de precios que permitan ofrecer recomendaciones de política a los tomadores de decisiones. La hipótesis plantea que existe una desprotección del subsector bovino carne en el país y la competitividad y las ventajas comparativas son afectadas negativamente por los costos de los insumos de alimentación, factores internos y servicios técnicos de los sistemas de producción de ganado bovino carne en la Sierra Norte de Puebla. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar la competitividad y las ventajas comparativas, a partir de ingresos, costos, precios de insumos comerciables y de los factores internos, de los sistemas de producción de ganado bovino cárnico en la región Sierra Norte de Puebla.

Material y métodos

El estudio se realizó con ganaderos criadores y engordadores de becerros en siete municipios de la Sierra Norte de Puebla, México. La región está comprendida entre los paralelos 20° 34' y 20° 51' N y 97° 44' y 98° 01' O. La altitud oscila entre 60 a 940 msnm; y cuenta con un clima cálido húmedo con una precipitación pluvial de 1,400 a 2,600 mm anuales y una temperatura de 22 a 25 °C^(25,26). Para obtener los datos, se utilizó el Padrón Ganadero Nacional de la Sierra Norte de Puebla, México⁽²⁷⁾. Se aplicó un cuestionario estructurado a una muestra, seleccionada de forma aleatoria, de unidades de producción pecuaria de carne bovina, con 95 % de confiabilidad y 9 % de precisión. La muestra se distribuyó en forma proporcional entre los municipios seleccionados, los cuales reportan el mayor inventario ganadero de la región (45.5 %). Por lo tanto, se determinó una muestra de

4.4 % para Francisco Z. Mena, 6.6 % Pantepec, 4.4 % Venustiano Carranza, 6.2 % Xicotepec de Juárez, 7.1 % Jopala y 9.3 % Jalpan. El tamaño de muestra se calculó con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(p)(q)(N)(z^2)}{E^2(N - 1) + z^2(p)(q)}$$

Donde: N= población total del área de estudio de 4,453 unidades de producción, n= tamaño de la muestra, p= porcentaje estimado de variabilidad positiva: 50%, q= 100-p (variabilidad negativa), E= error o precisión de estimación permitido (9%), Z= nivel de confianza y Z de tablas= 1.96

Sustituyendo:

$$n = \frac{(0.50)(0.50)(4,453)(1.96^2)}{0.09^2(4,453 - 1) + 1.96^2(0.50)(0.50)} = 116 \text{ entrevistas}$$

La muestra final del estudio fue de 120 productores. El cuestionario registró información técnica productiva, ingresos, costos y ganancias de cada sistema de producción de bovinos (Cuadro 1). Los datos se organizaron en insumos comerciables, factores de producción, materiales diversos, insumos indirectamente comerciables y gastos diversos, todos expresados en sus unidades correspondientes para así determinar las matrices de los coeficientes técnicos del presupuesto privado. Posteriormente se especificaron los precios privados que, con base en la información obtenida, fueron los precios de mercado que recibió o pagó el productor para realizar la actividad, tanto de insumos, como productos y subproductos. Dentro de este presupuesto, el crédito de avío representó el préstamo refaccionario que los productores pueden obtener a corto plazo para la adquisición de insumos, materias primas y materiales, pago de jornales, salarios y otros gastos directos de producción de acuerdo a los montos aproximados que maneja la Financiera Nacional de Desarrollo (FIRA), reflejando así un valor de \$280,000. Y de acuerdo a la información obtenida de los productores, los bancos ofrecen una tasa promedio de 18.23 % con respecto al monto financiado. También, se obtuvieron los costos de agotamiento del ganado a precios privados considerados dentro de los factores internos, el cual incluyen los valores iniciales, vida útil de cada sistema y la recuperación anual. Finalmente, se obtuvo el presupuesto privado como resultado de multiplicar las cantidades por los precios, así como el ingreso obtenido por el total de ventas, los costos totales y las ganancias del productor.

Para el cálculo del presupuesto social, se utilizaron los coeficientes registrados inicialmente y se reemplazaron los precios privados por los precios de eficiencia económica o sociales de insumos, productos y subproductos, que son, aquellos que existirían en ausencia de intervenciones de política y distorsiones de mercado de factores y productos⁽²⁸⁾. En tal

sentido, para los insumos se consideró el maíz amarillo como componente principal del alimento balanceado, y se estimaron los costes por dosis para desparasitantes internos y para externos, respectivamente. Para ello, se consideraron los precios mundiales que se encuentran registrados en Agricultural Marketing Service⁽²⁹⁾ debidamente ajustados por costos de flete, seguro y cruce. También se determinaron los precios de frontera CIF (Cost, Insurance and Freight) para obtener los precios de paridad de importación y los precios “Free On Board” (FOB) del ganado y después se sumaron los costos por paso de puente y de transporte al centro de distribución y entrega. Para tal efecto, se consideró una tasa de cambio de equilibrio que fue determinada con base al tipo de cambio nominal de 20.1 \$/USD⁽³⁰⁾, con ajuste cambiario de 2022 tomando como año base 2018, con referencia los índices de precios al productor y al consumidor de México y EE.UU.

Para evitar que las fluctuaciones globales y las políticas exteriores distorsionaran los datos, se utilizaron valores esperados de largo plazo. Para los factores internos de la producción, la valoración económica se estimó a nivel nacional equivalente a su costo de oportunidad orientado a su mejor uso alternativo como la ovinocultura y a diferencia del presupuesto privado, el crédito de avío a corto plazo ahora consideró la tasa de interés y de inflación de México (24 % y 7.82 %)⁽³¹⁾ y Estados Unidos (4.75 % y 6.50 %)⁽³²⁾ por lo que la tasa de interés nominal paritaria fue de 14.36 %; también, dentro de este presupuesto se consideró el costo económico del agua como el equivalente al pago de una cuota fija anual para actividades ganaderas impuesta por Agua de Puebla⁽³³⁾. Por último, se determinaron los precios de paridad de importación de ganado considerando una entrada por la frontera de Texas⁽³⁴⁾, lo que representó el costo que tendría que pagar el productor para importar el ganado al centro de consumo, siendo estos, los precios económicos de los productos de la actividad.

Una vez considerados los subsidios, impuestos y las distorsiones originadas por el tipo de cambio que afectan los precios de los productos e insumos, se procedió a la multiplicación de las cantidades por los precios y así se obtuvo el presupuesto social (¹ Si se requiere más detalle sobre cálculos de los valores para el presupuesto privado o económico de los sistemas, se encuentran disponibles y se pueden consultar).

Para analizar la información resultante, se utilizó la Matriz de Análisis de Políticas (Cuadro 2), y se reemplazaron los valores obtenidos de los presupuestos anteriores; de esta manera, la primera fila mostró la rentabilidad privada (D) obtenida de la diferencia de los ingresos totales (venta de ganado y las existencias disponibles del hato total: vaquillas excedentes, vientres y sementales de desecho) y de los costos de los insumos comerciables e indirectamente comerciables, así como, de los factores internos y otros materiales o gastos diversos.

Cuadro 2: La Matriz de Análisis de Política

	Ingresos	Costos		Ganancias
		Insumos	Factores	
Precios privados	A	B	C	D ¹
Precios sociales	E	F	G	H ²
Efectos de la divergencias y política eficiente	I ³	J ⁴	K ⁵	L ⁶

¹ Ganancias privadas $D = A - B - C$; ² Ganancias sociales $H = E - F - G$; ³ Transferencia de producto $I = A - E$; ⁴ Transferencia de insumos $J = B - F$; ⁵ Transferencia de factores $K = C - G$; ⁶ Transferencia total $L = D - H = I - J - K$.

Fuente: Monkey y Pearson⁽²¹⁾.

La segunda hilera representó la rentabilidad económica (H) que se obtuvo de la diferencia entre ingresos y costos, pero evaluados a precios económicos, para que se permitiera el análisis de la ventaja comparativa y al eliminar tales efectos se calculara la rentabilidad de la actividad del país y su determinación de que la actividad pudiera competir o no, con otras regiones.

En la tercera fila se estimaron los efectos de política (I), (J), (K), (L) y para ello, se determinaron las diferencias de las evaluaciones privadas y económicas de los ingresos, costos y ganancias. Por tanto, las divergencias entre los precios privados y los precios económicos deberían explicarse por los efectos de distorsiones de política o por la existencia de mercados imperfectos.

Una vez determinada la rentabilidad privada se procedió a determinar la Relación de Costo Privado la cual consistió en obtener el cociente de los costos de los factores internos de la producción y el valor agregado en los precios privados $RCP = C / (A - B)$, para mostrar cuánto puede permitirse pagar el sistema a los factores internos y denotar si el productor es o no, competitivo.

Por otra parte, con la rentabilidad social neta que se obtuvo de cada sistema, también se calculó la Relación de Costo de los Recursos internos al dividir el costo de los factores internos valuados a precios sociales (sin subsidios) y el valor agregado económico $RCR = G / (E - F)$. Este valor indicó la diferencia entre el valor de la producción con precio internacional del producto y los costos de los insumos comerciables a precios internacionales, para determinar si el valor de los recursos internos es inferior o superior al valor de las divisas ganadas o ahorradas, y declarar si se tiene o no ventaja comparativa en la producción de bovinos carne.

Por último, para demostrar si las políticas de precios incentivan o no la producción interna de ganado bovino, se contrastaron los precios de mercado del producto con los precios

económicos (P_i/P_i^* o A/E) por medio del Coeficiente de Protección Nominal de los Productos (CPNP). También, se realizó el contraste de los insumos comerciables evaluados a precios privados y económicos a través del Coeficiente de Protección Nominal de los Insumos (CPNI) (P_j/P_j^* o B/F). Y se definió a la par otro indicador de incentivos, el Coeficiente de Protección Efectiva presentando la relación entre el valor agregado a precios privados $CPE=(A-B)/(E-F)$ y el valor agregado a precios económicos (sin subsidios). Finalmente, se calculó el Equivalente de Subsidio al Productor (ESP) como una proporción de los ingresos brutos totales a precios privados (L/A) para mostrar la transferencia neta de política.

Resultados

Sistemas de producción de bovino de carne

Como resultado, de esta investigación, se identificaron tres sistemas de producción de bovino de carne en la Sierra Norte de Puebla:

El Sistema-Cría (SC) representó 79 % de los productores enfocados a la crianza de ganado bajo el sistema de vaca-becerro, donde se promueve un manejo intermedio con espacio suficiente para llevar a cabo rotación de potreros con una capacidad promedio de 65 cabezas. Este sistema utiliza mínima complementación alimenticia y se desteta al becerro a un peso entre 160 a 180 kg.

El Sistema-Engorda (SE) es llevado a cabo por 13 % de los productores de la región. Este consiste en la compra de becerros que se someten a engorda intensiva, intermedia o lenta, (definida por los meses en que llevan a cabo el proceso de finalización, que puede ser de 6, 12 o 18 meses) para finalizarlos a 300 a 350 kg, al punto de estar listos para el mercado. Se obtuvo un inventario general de 33 cabezas promedio por productor.

El Sistema-Mixto (SM) es llevado a cabo por 8 % de los productores. Este es una combinación de los dos sistemas anteriores porque les permite manejar el ciclo de vida completo del animal en la misma unidad de producción. El sistema requiere una buena planeación de finalización de ganado y puede alcanzar un promedio de hasta 90 cabezas.

Las razas dominantes de los tres sistemas son cruza cebú con Suizo y Brahman, mismas que los productores aprovechan para maximizar su eficiencia reproductiva procurando mantener empadre continuo a través de monta natural. El alimento de los animales es a base de pasto, el cual consumen directamente de las praderas; sólo algunas unidades de producción llegan a suplementar con alimento balanceado y sales minerales, motivo por el cual la mayoría obtienen bajo incremento en el peso, ya que sólo se alimentan de pastura.

El suministro de agua es por medio de afluentes naturales (ríos, arroyos y aguajes) y no representa un costo para los productores, ya que el acceso es libre para el ganado. A efecto de controlar algunas enfermedades, el manejo sanitario se concentra principalmente en la aplicación de vacunas contra la rabia, brucelosis, carbón sintomático, edema maligno y clostridiosis, así como la desparasitación, tanto interna como externa, mediante la aplicación de dosis y baños garrapaticidas permanentes y continuos. También es necesario puntualizar que no registraron costos por energía eléctrica debido a que la actividad ganadera se desarrolla en el monte y no cuentan con dicho servicio. El concepto por combustibles fue de \$0 debido a que la venta de ganado para cría y engorda es a puerta de rancho y los acopiadores acuden directamente a las unidades de producción y asumen los costos de transporte directamente. Sin embargo, sí se consideró un costo de flete por transporte de materiales e insumos a la unidad de producción.

Rentabilidad y competitividad

La evaluación de la rentabilidad del proceso productivo determinó los principales costos de producción de los recursos y factores empleados de cada sistema (Cuadro 3). Los insumos comerciables fue el concepto de costo más alto para un kilogramo de carne para los tres sistemas de producción (SC, SE y SM) ya que conformaron el 56 y 60 % de los costos totales respectivamente, por conceptos de alimentación y medicamentos. El segundo costo en importancia de los factores internos fue la mano de obra, que representó 25, 17 y 26 % de los costos totales, para los sistemas SC, SE, y SM respectivamente. Este concepto incluyó los jornales totales por hectárea para el mantenimiento de la pradera, chapeo, la aplicación de herbicidas y fertilizantes, así como los jornales para el cuidado y manejo del hato ganadero.

Cuadro 3: Costos promedio de producción de insumos en la producción de ganado bovino carne en la Sierra Norte de Puebla, a precios privados en valores constantes

Concepto	Presupuesto privado					
	Sistema cría		Sistema engorda		Sistema mixto	
	\$	(%)	\$	(%)	\$	(%)
Insumos comerciables	476,433.3	56.1	408,558.5	59.6	680,558.8	59.6
Alimentación	461,747.3	54.4	398,709.9	58.2	661,339.6	58.0
Medicamentos	14,686.0	1.7	9,848.6	1.4	19,219.2	1.7
Factores Internos	213,044.0	25.1	116,722.0	17.0	299,444.0	26.2
Mano de obra	162,000.0	19.1	91,200.0	13.3	248,400.0	21.8
Crédito	51,044.0	6.0	25,522.0	3.7	51,044.0	4.5
Agua		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Materiales diversos	2,137.6	0.3	2,443.0	0.4	2,137.6	0.2
Insumos indirectamente comerciables	153,523.3	18.1	155,945.6	22.8	154,878.8	13.6
Pie de cría	93,869.3	11.1	123,407.4	18.0	70,368.8	6.2
Instalaciones	59,653.9	7.0	32,538.2	4.7	84,510.0	7.4
Administración y servicios	5,700.0	0.7	3,900.0	0.6	6,200.0	0.5
Ingreso Total	1'632,141.0		831,600.0		2'159,879.0	
Costo Total (excluyendo tierra)	848,700.5	100.0	685,126.1	100.0	1'141,081.6	100.0
Ganancia neta (excluyendo tierra)	783,440.5		146,473.9		1'018,797.4	

Los insumos indirectamente comerciables de los tres sistemas constituyeron 18, 23 y 14 % respectivamente, los cuales consideraron los valores de depreciación del valor del pie de cría y del becerro, así como también los costos de recuperación de equipo, activos y algunos implementos que no son comercializados internacionalmente.

El Cuadro 4 muestra que el sistema de mayor ingreso efectivo por venta de ganado fue el SC (47.9 %), seguido del SM (47.1 %), por último, el SE (17.3 %), haciendo que los SC y el SM sean los más rentables por efectuar la venta de cría y el ciclo completo de crecimiento y finalización de ganado, limitando y aprovechando algunos costos de los insumos.

Cuadro 4: Matriz de Análisis de Política de los sistemas de producción de ganado bovino cárnico en la Sierra Norte de Puebla

	Ingreso	Costos		Ganancias (utilidad neta)
		Insumos comerciables	Factores internos	
Sistema Cría				
Presupuesto privado	1'632,141	635,657 (38.9%)	215,182 (13.2%)	781,303 (47.9%)
Presupuesto social	2'426,316	604,038 (24.9%)	207,789 (8.6%)	1'614,489 (66.5%)
Divergencias	(794,175)	31,618	7,393	(833,186)
Sistema Engorda				
Presupuesto privado	831,600	568,404 (68.4%)	119,165 (14.3%)	144,031 (17.3%)
Presupuesto social	2'035,388	747,034 (36.7%)	137,268 (6.7%)	1'151,086 (56.6%)
Divergencias	(1'203,788)	(178,630)	(18,103)	(1'007,056)
Sistema Mixto				
Presupuesto privado	2'159,879	841,638 (39.0%)	301,582 (14.0%)	1'016,660 (47.1%)
Presupuesto social	2'843,329	791,749 (27.8%)	294,189 (10.3%)	1'757,391 (61.8%)
Divergencias	(683,450)	49,889	7,393	(740,731)

Los costos totales de producción (insumos comerciables y factores internos) para el SC y el SM representaron entre 52 a 53 % de los costos totales de la producción y una ganancia de 47 a 48 % por tonelada de carne producida. Sin embargo, el SE arrojó un 82.7 % de los costos totales para realizar la engorda evidenciando elevados costos de los insumos comerciables (\$568,404) y reflejando una ganancia menor a diferencia de los otros sistemas. En general, los indicadores de rentabilidad en el presupuesto privado mostraron que los productores obtienen ganancias en los tres sistemas de producción de ganado bovino de carne en la Sierra Norte de Puebla debido a la tecnología actual, los precios de mercado vigentes y las transferencias o impuestos generados por las medidas de política económica.

Para el análisis del presupuesto social, en el cual se consideraron los precios del maíz amarillo y de los medicamentos (bacterina triple, amitraz e ivermectina). El SC representó el mejor presupuesto económico a causa de que tuvo ingreso económico de 67 % (\$2'426,316), con costos de insumos comerciables del 25 %. En tanto, que para el SE tuvo costos más elevados de los insumos comerciales de 36.7 %, incluso considerando los cambios de los precios por ajuste en la tasa de cambio.

Dado lo anterior, el SE presentó transferencias negativas tanto de productos (I) y de insumos (J). Este resultado se debe a políticas distorsionadoras que provocan divergencias entre los precios observados y los precios mundiales: a) la primera política, es la aplicable al producto de la cría o becerro de engorda en México, a través de impuestos, subsidios y políticas comerciales, que se encuentran afectando la rentabilidad privada y, b) la segunda

política, se refirió a la política cambiaria social que difirió de la observada, subvaluada en -0.08 % ocasionando un tipo de cambio real de 18.57 \$/USD, política aplicada que muestra un apoyo implícito que está recibiendo el productor al ahorrar indirectamente en insumos. De esta manera, la suma de las entradas negativas de las divergencias de los insumos (J) y los factores internos (k) reflejan una transferencia neta positiva (L) al sistema.

Los resultados anteriores son confirmados con el cálculo de las Relaciones de Costo Privado y de Costo de los Recursos Internos, así como los Coeficientes de Protección. La RCP de los tres sistemas confirma que los productores son competitivos (Cuadro 5), debido a que el pago por la venta de becerro o cría, les permiten pagar el valor de los factores de producción y obtener una ganancia dado que el valor es lo más cercano a cero.

Cuadro 5: Indicadores de rentabilidad y de protección de los sistemas de producción ganado bovino carne en la Sierra Norte de Puebla

Concepto	Sistema de producción		
	Cría	Engorda	Mixto
Relación Costo Privado	0.22	0.45	0.23
Relación Costo de Recursos Internos	0.11	0.11	0.14
Equivalente de subsidio al productor	(0.51)	(1.21)	(0.34)
Coeficiente de Protección Nominal del Producto	0.67	0.41	0.76
Coeficiente de Protección Nominal de los Insumos	1.05	0.76	1.06
Coeficiente de Protección Efectiva	0.55	0.20	0.64

El SC resultó ser el más competitivo ya que de acuerdo a la relación de costo privado se acerca más a cero (0.22). En el caso del SE (0.45), como se mencionó anteriormente, las ganancias se ven afectadas por el tiempo de engorda en corral.

Respecto a la rentabilidad económica, el indicador de la RCR es similar para los sistemas cría y engorda (0.11) e indica que existen ventajas comparativas, y que la producción es rentable en el país con uso eficiente de los recursos; de este modo, el valor de los recursos internos para producir es inferior al valor de las divisas ahorradas.

El valor del Cociente de Protección Efectiva para la producción bovino de carne reafirmó que existe un desincentivo para los productores en los tres sistemas (valor <1) ocasionado por las intervenciones de política y, por lo tanto, reflejan desprotección. El Equivalente de Subsidio al Productor fue negativo para los sistemas, representando elevados costos privados con respecto a los sociales por efectos de la política económica implementada. Para los productores del SE los impuestos al ingreso bruto del productor asignados fueron del 121 % derivados de las distorsiones de las políticas y de las imperfecciones de mercado de factores internos de la producción.

Finalmente, los coeficientes de protección ratifican una desprotección a la actividad en los tres sistemas, dado que los CPNP fue menor a la unidad, indicando que las políticas originan una inhibición a la producción nacional. Particularmente el CPNI del SC y SM fue mayor a uno, indicando una protección de las políticas de precios para los insumos sólo para estos sistemas, la cual puede ser apoyada por la existencia de un subsidio indirecto que no se ve reflejado para el SE.

Discusión

Sistemas de producción de bovino de carne

La literatura disponible sobre el tema permite afirmar que los sistemas de producción de bovino de carne en la región Sierra Norte de Puebla presentan similitudes a los dos sistemas reportados en el estudio de ciclo completo y de engorda al destete en el municipio de Tizimín Yucatán⁽³⁵⁾, coincidiendo con el uso de razas cebuínas y cruza europeas, uso de pastoreo extensivo y alimentación en corral, sin embargo, su estratificación se basó en el número de vientres y carga animal. En el estudio de unidades de producción (Pymes) de la zona sur del Estado de México⁽³⁶⁾, también se identificaron tres estratos basados en la superficie ganadera, con hatos constituidos por razas Cebú, Brahman, Suizos y sus cruzamientos entre ellas y, en general, las Pymes realizaban pastoreo y suplementación complementaria.

Rentabilidad y competitividad

La participación porcentual de los costos es similar a la obtenida en un estudio de la producción de bovinos engordados en corral en Tejupilco y Amatepec, Estado de México⁽²⁴⁾, el cual estuvo constituido en primer lugar por los insumos comerciables con un 80 %, seguida por los factores internos del 10 % y el otro 10 % para el resto de los costos totales de la producción. De igual manera, en los sistemas de producción de ganado vacuno doble propósito en el municipio de Jamapa, Veracruz⁽³⁷⁾, son los costos de alimentación, sanidad y combustible los que representan más del 86 % de los costos variables, seguidos por los costos de mano de obra que cubren hasta un 60 % de los costos fijos siendo estos factores los que generan mayor impacto económico y productivo.

Para el caso del sistema cría que tuvo el mayor ingreso efectivo en comparación con el ciclo completo y finalización, en un estudio sobre el repasto de becerros en Sonora⁽³⁸⁾, se menciona que en el sistema extensivo tradicional de cría se aprovechan mejor las condiciones naturales del terreno, siempre y cuando exista una gran extensión, ya que permite el manejo adecuado de la explotación al dejar a los becerros en el agostadero una vez que son separados de la madre y les permite obtener ganancias de peso de kg/día.

En cuanto a los costos totales, en un estudio sobre modelo de producción de carne bovina en Chile se estimó que la alimentación de la recria-engorda basado en la pradera⁽³⁹⁾ constituye una fuente de alimentación efectiva y económica. Se menciona que sólo en los meses críticos de producción de la pradera o en la etapa de finalización es necesario suplementar al animal para que se genere una ganancia de peso eficiente y no se afecte la rentabilidad de los productores. Considerando esto, el porcentaje del ingreso efectivo para SE fue el menor de los tres sistemas. Este resultado es similar a la investigación de engorda de ganado vacuno bajo sistemas intensivo en Gowa⁽¹⁹⁾, semi intensivo y extensivo, donde los ingresos totales que provienen del ganado criado en mantenimiento pueden variar según el precio de venta del ganado, y cuyo precio se encuentra influenciado por la duración del periodo en mantenimiento. Esto puede explicar la diferencia de ingresos entre los productores al realizar un esquema de engorda lenta (48 %), intermedia (33 %) e intensiva (18 %) que puede afectar las ganancias.

El resultado sobre la rentabilidad de los tres sistemas es similar a hallazgos en la engorda de bovinos de carne en corral en el sur del Estado de México⁽²⁸⁾. Con base a la estratificación de tres tipos de productores se observó que por cada peso invertido se obtuvo un ingreso adicional debido al manejo eficiente de los insumos, lo que permite remunerar el total de los factores de producción y generar un valor agregado.

Para el presupuesto económico, los resultados fueron similares a los reportados en un estudio sobre ganado bovino de engorda en Bali, Indonesia⁽¹⁸⁾ en el cual el negocio resultó ser rentable, tanto a nivel privado como social. Sin embargo, en su caso, los costos de los insumos no comerciables fueron mucho más altos debido a la dependencia de insumos de producción internos.

Las transferencias negativas tanto de productos (I) como de insumos (J) que afectan la rentabilidad privada, se explica que a partir del Tratado de Libre Comercio con América del Norte se ha establecido un proceso de desgravación arancelaria y retiro de apoyos y subsidios hacia la actividad agropecuaria. Esto ha impedido que la política pública fortalezca el mercado de carne de bovino en México⁽⁵⁾.

Por otra parte, los resultados sobre la competitividad fueron menores a los encontrados en los tres estratos de ganado bovino en corral en Tejupilco⁽²⁴⁾ que comprendían el 0.51 y 0.52 de RCP, pero también determinó que los tres sistemas fueron económicamente eficientes.

La existencia de ventajas comparativas para los tres sistemas fue similar al estudio del sector de rumiantes de Malasia⁽²⁰⁾ de (0.31), por la utilización eficiente de insumos y recursos domésticos para producir el producto y en ahorrar o ganar una unidad de divisas.

Con respecto al cociente de protección efectiva, fue similar a un estudio que utilizó MAP⁽⁴⁰⁾ donde se menciona que la política pública pecuaria mexicana presenta un contexto de gobernanza débil, pues la respuesta del gobierno mexicano a partir de los años ochenta fue de eliminar y disminuir el apoyo al sector agropecuario. Sin embargo, estos resultados difirieron del estudio de Gowa⁽¹⁹⁾ cuyo CPE del negocio de la engorda de ganado fue superior a uno (1.71), mostrando que el impacto de las políticas gubernamentales brinda apoyo a las actividades productivas internas. En tanto, el ESP fue positivo (0.15) indicando que la política gubernamental provoca que las empresas de engorde incurran en costos inferiores a los costes sociales.

Concretamente, el análisis de estos resultados confirma que, para el SC, el SE y el SM son sistemas eficientes y rentables para los productores, ya que poseen ventaja comparativa y son competitivos. No obstante, aún contando con eficiencia, la política gubernamental explota la ventaja comparativa de la producción, manteniendo los precios bajos y, por ende, una actividad sin protección.

Algunas causas de desprotección de la actividad pueden deberse principalmente a falta de acompañamiento al subsector ganadero con políticas públicas, orientadas a fortalecer la producción nacional, lo que promueve la sustitución en el mercado de los bienes nacionales con productos extranjeros, en detrimento de los productores nacionales.

Conclusiones e implicaciones

En el análisis de los sistemas de producción en la región Sierra Norte de Puebla las unidades de producción de cría (SC) tuvieron la mejor rentabilidad privada. El SE presentó la mayor ventaja comparativa y el SC fue el más competitivo. La estructura de los costos de producción para un kg de carne, en los tres sistemas, los insumos comerciables (alimentos y medicamentos) concentran la mayor parte de los costos. La relación entre el valor de la producción, a precio de mercado y a precio internacional, indicó que las políticas de precios desincentivan la producción interna. Las decisiones de tipo económico orientadas a los sistemas de producción pueden mejorar su participación, en término privado y social al realizar cambios en las políticas públicas que distorsionan la eficiencia, para permitir un aumento del ingreso nacional y de los subsidios directos a la actividad.

Cuadro 1: Información técnica y productiva

Variables	Unidad de medida	Definición	Interpretación	Fórmula de cálculo
Insumos comerciables	pesos/toneladas pesos/tratamiento	Insumos necesarios para la producción de ganado que se pueden adquirir en los mercados nacionales e internacionales		(+) alimentación (+) medicamentos
Factores internos	pesos/jornada pesos pesos/m ³ pesos/equipo	Factores de producción sin cotización internacional (tierra, trabajo, capital)	Estos coeficientes muestran las cantidades que se consumen y los precios que paga el productor, tanto de insumos, como	(+) mano de obra (+) crédito (+) agua (+) materiales diversos
Insumos indirectamente comerciables	pesos/cabezas pesos/infraestructura	Insumos que no son comercializados internacionalmente como implementos y equipo rudimentario)	productos y subproductos dentro del mercado regional	(+) pie de cría (+) instalaciones
Administración y servicios	pesos/hora pesos/servicio pesos/ha	Factores sin cotización internacional necesarios para gestionar y asistir al desarrollo de la producción		(+) contadores (+) médicos veterinarios (+) fletes (+) impuestos
Ingreso total		Remuneración que se obtiene de la venta de ganado de cría, engorda lenta, intermedia e intensiva, así como en existencia o desecho	Recursos económicos que recibe el productor por la venta de ganado	(+) venta becerros a destete (+) venta engorda (+) otras ventas
Costo total	pesos	Valor total pagado de bienes y servicios necesarios para la producción	Sumatoria de todos los costos de insumos y productos para la producción	(+) insumos comerciables (+) factores internos (+) insumos indirectamente comerciables (+) administración y servicios
Ganancia		La diferencia total entre los ingresos y los costos de producción	Utilidad o beneficio económico obtenida en las unidades de producción de ganado bovino cárnico	(+) ingreso total (-) costo total

Literatura citada:

1. Figueroa D, Galicia L. Ganadería bovina con menor costo ambiental: un desafío entre lo personal y lo político. *Soc Amb* 2021;24:1-17.
2. Rodríguez DI, Anríquez G, Riveros JL. Food security and livestock: The case of Latin America and the Caribbean. *Cienc Inv Agr* 2016;43(1):5-15.
3. SIAP. Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. Información, Producción Ganadera 2022. Carne en canal. México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2022. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/ Consultado 15 Ene, 2023.
4. COMECARNE. Compendio estadístico 2022. Consejo Mexicano de la Carne. México. 2022. <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2022/> Consultado 15 Nov, 2022.
5. Montaña MIE, Avendaño RB, Ávila AA, González MD. Competitividad y el desequilibrio comercial de México en el mercado mundial de carne de bovino, 1990-2016. *Cienc Tecnol Agr* 2021;22(1):1-19.
6. Rojas JLA, Jaramillo VJL, Vargas LS, Bustamante GA, Guerrero RJ. Transmisión vertical y horizontal de precios en el sub-sector ganado carne de bovino en México. *Ecosistemas Rec Agr* 2022;9(3):1-11.
7. Málaga JE, Williams GW. La competitividad de México en la exportación de productos agrícolas. *Rev Mex Agroneg* 2010;27:295-309.
8. Sarma PK, Raha SK, Jørgensen H. An economic analysis of beef cattle fattening in selected areas of Pabna and Sirajgonj Districts. *J Bangladesh Agric Univ* 2014;12(1):127-134.
9. Ingram PB, Arce CBA. Impacto en la pandemia COVID-19 en la ganadería bovina a nivel nacional y estatal (Veracruz). *Rev Cienc Adm* 2021;2:49-62.
10. Salas C, Quintana L, Mendoza MA, Valdivia M. Distribución del ingreso laboral y la pobreza en México durante la pandemia de la Covid-19. Escenarios e impactos potenciales. *El trimestre Econ* 2020;87(348):929-962.
11. Rinconada CF, Serna HJA, Valdez RRI. Competitividad de la carne de res fresca mexicana en el mercado estadounidense, 1967-2020. *Anál Econ* 2023;38(97):129-148.
12. Hernández RIK, Merchán ADM, Miranda FJD, Morales LPA, Cala MN. Influencia del COVID-19 en las dinámicas de exportación, producción y consumo de carne vacuna en Colombia y el mundo: Una revisión monográfica. *Spei Domus* 2022;18(1):1-21.

13. Salcedo BS. Competitividad en la agricultura en América Latina y el Caribe. Matriz de análisis de política. Santiago Chile. 2007. https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/03_3_map_manual_fao.pdf.
14. Magaña MMA, Leyva MCE, Alonzo SJF, Leyva PCG. Indicadores de competitividad de la carne bovina de México en el mercado mundial. Rev Mex Cienc Pecu 2020;11(3):669-685.
15. Durán ME, Ruiz MA, Sánchez VV. Competitividad de la ganadería de doble propósito en la costa de Oaxaca, México. Rev Mex Agroneg 2018;43:77-88.
16. Monke EA, Pearson SR. The policy Analysis Matrix. Chapter 2. In: The policy analysis matrix for agricultural development. 1st ed. New York, USA. Cornell University Press; 1989.
17. Tossou BW, Chogou SK, Sossou CH. Analysis of the competitiveness of soybean production in Benin. Sci African 2023;19:e01491.
18. Bukifan M, Krisnamurthi B. The effect of policy on business competitiveness of Bali cattle farming in Kupang District, East Nusa Tenggara, Indonesia. J Management Agribusiness 2021;18(3):308-315.
19. Mohd YHH, Iwana IN, Hirawaty KN. Assessing the comparative advantage of integrated farming and feedlot production system of the ruminant sector in Malaysia: A policy analysis matrix approach. Asian J Agric Rural Develop 2020;10(1):227-238.
20. Nurlaelah S, Insani AN, Magfirah N. Level of competitiveness of cattle fattening business in Gowa Regency. IOP Conference Series: Earth Environ Sci 2020;492(1):012147.
21. Rouf AA, Daryanto A, Fariyanti A. Competitiveness of smallholder beef cattle farming in Gorontalo District, Gorontalo. Buletin Peternakan 2019;43(3):199-206.
22. Galván VE, Santos GG. Análisis de la elasticidad del precio y ventaja comparativa revelada del sector de cítricos en México. Mercados y Negocios 2019;39:87-104.
23. Durán ME, Ruiz MA, Sánchez VV. Competitividad de la ganadería de doble propósito en la costa de Oaxaca, México. Rev Mex Agroneg 2018;43:77-88.
24. Hernández MJ, Rebollar RA, Rebollar RS, Guzmán SE, Gómez TG. Análisis comparativo de la competitividad de la producción bovina en corral en Tejupilco y Amatepec, México (2009-2014). Agric Soc Des 2019;16(4):414-427.

25. INEGI-A. Compendio de información geográfica municipal 2010, Francisco Z. Mena. Puebla. Clave geo estadística 21064. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 2010. Consultado 12 Sep, 2022 https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21064.pdf.
26. INEGI-B. Compendio de información geográfica municipal 2010, Jalpan. Puebla. Clave geo estadística 21086. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 2010. Consultado 12 Sep, 2022. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21086.pdf
27. Padrón Ganadero Nacional. Estadística pecuaria. Bovinos. Puebla. Consultado 12 Dic, 2022. <http://www.pgn.org.mx/estadistica-rep.php>.
28. Hernández MJ, Rebollar RA, Mondragón AJ, Guzmán SE, Rebollar RS. Costos y competitividad en la producción de bovinos carne en corral en el sur del Estado de México. Invest Cienc Univ Autón Ags 2016;69:13-20.
29. USDA. Cattlemen's Livestock Auction-Dalhart, TX. AMS, Livestock, Poultry, & Grain Market News. Texas Dept of Ag Mrkt News. Agricultural Marketing Service. 2023. Consultado 17 Ene, 2023. https://www.ams.usda.gov/mnreports/ams_1953.pdf.
30. BANXICO. Tipos de cambio diarios. Sistema de Información Económica. México. 2023. Consultado 12 Ene, 2023. <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CF102§or=6&locale=es>.
31. IPC Financiera. Crédito habilitación y avío. Identidad crediticia para mexicanos. Consultado 16 Ago, 2022 <https://www.ipcfinanciera.com/productos/credito-habilitacion-y-avio>.
32. USDA. Farm Service Agency. Farm Loan Programs. Current FSA Loan Interest Rates. Consultado 10 Ago, 2022 <https://www.fsa.usda.gov/programs-and-services/farm-loan-programs/index>.
33. Agua de Puebla. Tarifas de la prestación del servicio de agua potable. Uso pecuario. México 2022. Consultado 15 Nov, 2022. <https://www.aguapuebla.mx/wp-content/uploads/TARIFAS.pdf>.
34. USDA. Texas Weekly Cattle Auction Summary. AMS Livestock, Poultry, & Grain Market News. Texas Dept of Ag Mrkt News. <https://www.texasagriculture.gov/Home/Production-Agriculture/Livestock-Export-Pens/Livestock-Facility-Fees>.

35. Gamboa-Mena JV, Magaña-Magaña MA, Rejón-Ávila M, Martínez VP. Eficiencia económica de los sistemas de producción de carne bovina en el municipio de Tizimín, Yucatán, México. *Trop Subtrop Agroecosystems* 2005;5(2):79-84.
36. Morales-Hernández JL, González-Razo FJ, Hernández J. Función de producción de la ganadería de carne en la zona sur del Estado de México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2018;9(1):1-13.
37. Gudiño ERS, Tapia SLI, Villagómez CJA. Costo de producción y rentabilidad de ganado vacuno en sistema de doble propósito en el municipio de Jamapa, Veracruz, México. *Rev Mex Agroneg* 2022;51(2022):277-288.
38. Retes LR, Moreno MS, Martín RMH, Ibarra FFA, Suárez SNE. Determinación de la rentabilidad del repasto de becerros en Sonora, ciclo 2018. *Rev Mex Agroneg* 2019;45(2019):395-405.
39. Acuña WK, Castro LA. Modelo de negocio para producción de carne bovina en una región de Chile. *Rev Acad Neg* 2019;4:61-70.
40. Álvarez-Macías A, Santos-Chávez VM. Alcances de la política pecuaria en México. El caso del Progan 2008-2013. *Estudios sociales. Rev Aliment Contemp Desarro Reg* 2019;29(53):1-26.



Dinámica estacional de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Mich.) Torr.] en Chihuahua, México: enfoque geoestadístico



Ireyli Zuluamy Iracheta-Lara ^a

Carlos Raúl Morales-Nieto ^{b*}

Gerardo Méndez-Zamora ^c

Jaime Neftalí Márquez-Godoy ^d

Federico Villarreal-Guerrero ^b

^a Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Campus 1, Av. Pascual Orozco SN, 31350 Chihuahua, Chihuahua, México.

^b Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia y Ecología, Periférico R. Almada km 1. 31000 Chihuahua, Chihuahua, México.

^c Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. General Escobedo, Nuevo León, México.

^d Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Valle de Culiacán, Culiacán, Sinaloa, México.

*Autor de correspondencia: cnieto@uach.mx

Resumen:

Los datos fenológicos observados en tierra, junto con datos satelitales, son herramientas cruciales para identificar la estación de crecimiento de la vegetación. Utilizando un enfoque geoestadístico, este estudio tuvo como objetivo determinar la dinámica estacional del pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] en Chihuahua y su relación con la variabilidad climática. Se calcularon las métricas del inicio (SOS) y del final (EOS) de la temporada de crecimiento de esta especie en el estado de Chihuahua. Además, se evaluó el

efecto de la temperatura del aire y la precipitación en la dinámica del SOS y el EOS durante los periodos 2000-2010 y 2011-2019. Los tratamientos consideraron las tres regiones ecológicas (desierto, valles centrales y sierra) y los años de registro. El estado se estudió a través de tres zonas ecológicas: desierto (D), valles centrales (CV) y sierra (S) para su comparación. El SOS y el EOS del pasto banderita en cada zona se definieron anualmente a partir de datos Landsat durante el periodo 2000-2019, basándose en la dinámica del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El SOS osciló entre mayo y junio (promedio de día juliano [doy]=174), mientras que el EOS osciló entre octubre y noviembre (promedio de día juliano [doy]=283). Se observó un retraso en el SOS en la zona D; el retraso en el crecimiento del pasto banderita en la estación primaveral puede deberse a una relativa escasez de agua, aunque la mayor temperatura en primavera facilita el cumplimiento de los requisitos térmicos para el crecimiento de la especie. Estos hallazgos sugieren que la variabilidad climática tiene un impacto significativo en la dinámica estacional del pasto banderita, lo que puede influir en las estrategias de manejo de estos ecosistemas.

Palabras clave: Geomática, Variabilidad ambiental, NDVI, Chihuahua.

Recibido: 12/09/2022

Aceptado: 30/07/2024

Introducción

La variabilidad climática, incluyendo cambios en la temperatura del aire y las precipitaciones, tiene un impacto significativo en la dinámica estacional de la vegetación. La dinámica estacional se refiere a los cambios periódicos en los procesos biológicos de las plantas a lo largo del año, influenciados por factores ambientales⁽¹⁾. Estudios recientes han demostrado que la variabilidad en las precipitaciones y las temperaturas pueden alterar significativamente los patrones de crecimiento y senescencia de las plantas^(2,3). Se subraya cómo el aumento de la temperatura global y la disminución de las precipitaciones⁽⁴⁾ ha llevado a una extensión de la temporada de crecimiento en diversas regiones, destacando la necesidad de adaptar las prácticas agrícolas a estas nuevas condiciones^(5,6).

Para el seguimiento de la vegetación, las metodologías habituales incluyen el registro de datos terrestres a nivel de especie para realizar análisis específicos de las plantas a escala local⁽⁷⁾. A nivel regional y global, los datos satelitales se utilizan para definir características y periodos de la vegetación o de los paisajes^(8,9). Tanto los datos fenológicos *in situ* como los obtenidos por satélite se utilizan habitualmente para identificar la fase de crecimiento de la vegetación a diferentes escalas. Se han desarrollado varios índices de vegetación derivados

de satélites, como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de vegetación mejorado (EVI), para extraer parámetros fenológicos de la vegetación^(10,11). El uso de los índices mencionados se ha centrado en el análisis de las diferencias espacio-temporales de los fenómenos fenológicos entre diversos biomas o zonas geográficas^(12,13).

En el estado de Chihuahua, los pastizales, incluido el pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], son fundamentales para la provisión de recursos para la ganadería y la estabilidad ecológica de la región. Investigaciones han demostrado que los cambios en los patrones, como el tiempo de floración y fructificación, son señales tempranas de los efectos de la variabilidad climática⁽¹⁴⁾. Por el contrario, en lugares donde los eventos de lluvia consecutivos ocurren esporádicamente, el aumento de la temperatura puede no tener efectos significativos en la fenología primaveral^(15,16). El aumento de las precipitaciones no ha mostrado efectos significativos en el desencadenamiento de la fase de floración en pastizales⁽¹⁷⁾, mientras que la reducción de las precipitaciones indujo un crecimiento y una floración más tempranos de las especies herbáceas en experimentos de campo⁽¹⁸⁾. Por lo tanto, el estudio de la fenología y sus relaciones con los factores climáticos serviría para adoptar estrategias adecuadas para las actividades de pastoreo, con vistas al uso sostenible de los pastizales.

En Chihuahua, la precipitación durante el 2011 fue de sólo 156 mm, lo que representa un tercio del promedio anual (es decir, 470 mm), causando enormes pérdidas económicas. Además, los eventos de heladas registrados durante el mismo periodo en el estado no fueron típicos. Estos eventos destruyeron los pastos y causaron la muerte de más de 300,000 bovinos^(19,20). Los objetivos de esta investigación fueron analizar las métricas fenológicas del inicio (SOS) y del final (EOS) de la temporada de crecimiento durante 2000-2010 y 2011-2019, que son períodos anteriores y posteriores a 2011. Los objetivos adicionales incluyeron determinar qué factor climático está involucrado en la dinámica del SOS e identificar posibles tendencias de cambio en el SOS, así como en el EOS, durante los períodos de 2000-2010 y 2011-2019. Esto permitirá evaluar si un fenómeno perturbador determina o altera las dinámicas estacionales e incide en los períodos de crecimiento de los pastizales, proporcionando información vital para su gestión sostenible en la región.

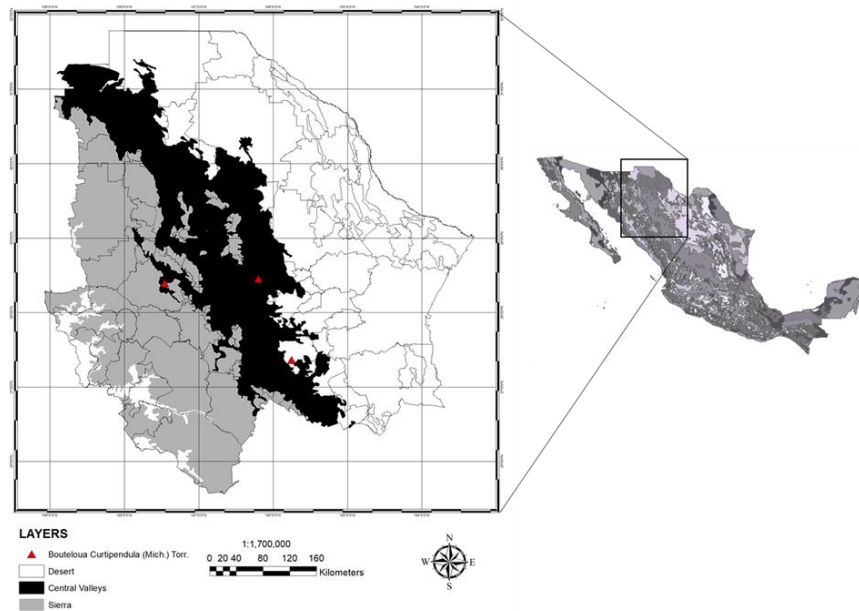
Material y métodos

Área de estudio

Para la organización de la información se decidió clasificar el estado de Chihuahua en zonas ecológicas: Desierto (D), Valles Centrales (CV) y Sierra (S) de acuerdo a las condiciones climáticas que presentan (Figura 1). La zona D tiene un clima seco y semicálido, con temperaturas máximas diarias de 40 °C o superiores en el verano y temperaturas mínimas

diarias de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menores en invierno. Por otra parte, la zona CV, tiene un clima templado de semidesértico a subhúmedo, en invierno con temperaturas mínimas diarias de hasta $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, comúnmente las temperaturas mínimas más extremas del estado. La precipitación anual oscila entre 300 y 550 mm en esta zona. Finalmente, la S tiene un clima con verano húmedo de semifrío a templado e invierno con nevadas. Las temperaturas mínimas pueden descender hasta $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que las máximas pueden alcanzar los $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. El clima responde entre otros factores a la altura sobre el nivel del mar que en promedio está a 2,400 m, llanuras rodeadas por picos que con 200 a 1,000 m por arriba del piso de la llanura⁽²¹⁾.

Figura 1: Área de estudio



Recolección de datos

Los datos de precipitación y temperatura se obtuvieron de CONAGUA⁽²²⁾ para el periodo del 2000 al 2019. Por otra parte, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) se calculó a partir de escenas obtenidas del Landsat ETM+7 y Landsat OLI8 (<https://glovis.usgs.gov/>). Además, 196 registros verificados de la presencia del pasto banderita [*Bouteloua curtispendula* (Michx.) Torr.] en cada una de las tres regiones ecológicas en que se dividió el estado.

El cálculo del NDVI (ecuación 1) se realizó en la plataforma Google Earth Engine (<http://earthengine.google.com/>). Se obtuvo información de escenas de cada 16 días para el periodo 2000-2019 a una resolución espacial de 30 m (WRS Path/Row 32/34 38/42).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Donde, NDVI es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. NIR y Red son los valores de reflectancia en los rangos infrarrojo cercano y rojo del espectro electromagnético, respectivamente.

El NDVI se obtuvo a partir de compuestos de valores máximos, eligiendo observaciones con mínima cobertura de nubes y vistas cercanas al nadir⁽²³⁾. Se aplicaron correcciones adicionales para gases atmosféricos, nubes y aerosoles⁽²⁴⁾. Se elaboraron series temporales con información valiosa del NDVI. Aunque se seleccionaron las mediciones de reflectancia de mayor calidad, es probable que las mediciones de baja calidad sigan formando parte de las series temporales debido a los períodos nublados. La eliminación de estos valores de baja calidad en las series temporales de NDVI fue de crucial importancia para obtener una métrica fenológica creíble. Por lo general, hay algunos puntos bajos secuenciales que se producen al principio y al final de la serie temporal, así como puntos bajos abruptos y extremos en la mitad del período de crecimiento. En primer lugar, se abordó la cuestión de los puntos abruptos [NDVI (t)] correspondientes a la mitad de la estación; si la diferencia entre el NDVI (t) y el NDVI (t ± 1) era mayor que (NDVImax - NDVImin)/2, entonces el NDVI (t) se sustituyó por la media del NDVI (t - 1) y el NDVI (t+1). A continuación, se suavizó toda la serie temporal con un filtro de media móvil de 9 puntos. Por último, los valores bajos al principio y al final de la serie temporal se sustituyeron por el valor medio del NDVI de marzo, cuando la mayoría de los valores del NDVI son similares al valor del NDVI del suelo desnudo, debido a la limitada presencia de vegetación en la superficie. En este caso, se asumió que los valores de NDVI durante la temporada de no crecimiento son constantes.

Análisis de la función fenológica

La función logística típica recupera la métrica fenológica durante la primavera y el otoño por separado, mientras que la función logística dual puede extraer los eventos fenológicos de primavera y otoño, simultáneamente. En este estudio, se utilizaron las ecuaciones 2 y 3 para obtener el SOS y el EOS, respectivamente⁽²⁵⁾:

$$SOS = \frac{2\ln(\sqrt{3}-\sqrt{2})}{I} + S \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$EOS = \frac{2\ln(\sqrt{3}-\sqrt{2})}{D} + E \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde, SOS y EOS denotan el día del año (doy) del inicio y del final de la estación, I y D representan las máximas pendientes ascendentes y descendentes (puntos de inflexión) en la

curva NDVI ajustada, respectivamente, mientras que S y E representan el doy cuando I y D se producen en la curva NDVI ajustada.

Análisis estadístico

Los datos de SOS y EOS se compararon al inicio y al final del periodo de estudio, en lugar de calcular las tendencias medias de múltiples píxeles de SOS y EOS. Esto se decidió para reducir los errores de cálculo. Para eliminar los efectos de los años anormales en SOS y EOS, se obtuvo primero la media global de SOS y EOS durante 2000-2010 y 2011-2019, por separado para cada serie temporal. Para inferir sobre las posibles causas de las variaciones del SOS y EOS, se obtuvieron registros de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas más cercanas al punto de muestreo⁽²⁶⁾. Los registros correspondieron a fechas anteriores al SOS y EOS y del periodo 2000-2010 y 2011-2019.

Los datos de SPD y EPD se compararon sus diferencias entre las zonas D, CV y S con un análisis de varianza univariante (ANOVA). Esto se realizó a través de un arreglo factorial 3x2, tres regiones: D, CV y S y dos periodos 2000 a 2010 y 2011 a 2019. De los 196 registros de presencia de pastizales, se seleccionó al azar una coordenada de cada zona ecológica con el fin de realizar una comparación de la vegetación en diferentes áreas y como ésta responde a cambios en las condiciones climáticas (Figura 1). Además, se realizó un análisis de correlación para evaluar la relación entre SPD y EPD con las variables climáticas de cada región y periodo.

Resultados y discusión

Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales medias (precipitación y temperatura) durante el periodo 2000-2019 mostraron que la temperatura primaveral en la zona D donde se analizó el registro del pasto banderita fue mayor que en las zonas CV y S. Mientras tanto, la precipitación de la estación primaveral fue mayor en la zona D que en las zonas CV y S.

Como se ha informado en estudios anteriores, los eventos fenológicos primaverales son particularmente sensibles a la temperatura, y el calentamiento experimentado en las últimas décadas ya ha mostrado efectos sobre la fenología, desencadenando eventos fenológicos primaverales más tempranos y extendiendo el periodo de crecimiento⁽²⁷⁾. En otoño, la zona D también fue más cálida y seca que las zonas CV y S. En las tres zonas ecológicas, el otoño es más fresco y húmedo que la primavera (Cuadro 1). Autores afirmaron⁽²⁸⁾ que el principal factor climático que afecta a la fenología de las plantas es la temperatura. También

informaron de que el aumento de la temperatura del aire afecta a la fenología y puede detectarse fácilmente en los datos fenológicos.

Cuadro 1: Condiciones medioambientales en la Sierra, Valles Centrales y Desierto

Zona ecológica	ST (°C)	SP (mm)	AT (°C)	AP (mm)
Sierra	22.27	48.56	21.6	117.2
Valles Centrales	24.42	64.52	20.7	56.76
Desierto	21.14	20.51	15.02	106.16

ST= temperatura de primavera; SP= precipitación de primavera; AT= temperatura de otoño; AP= precipitación de otoño.

Comparación general del SOS y el EOS entre zonas ecológicas

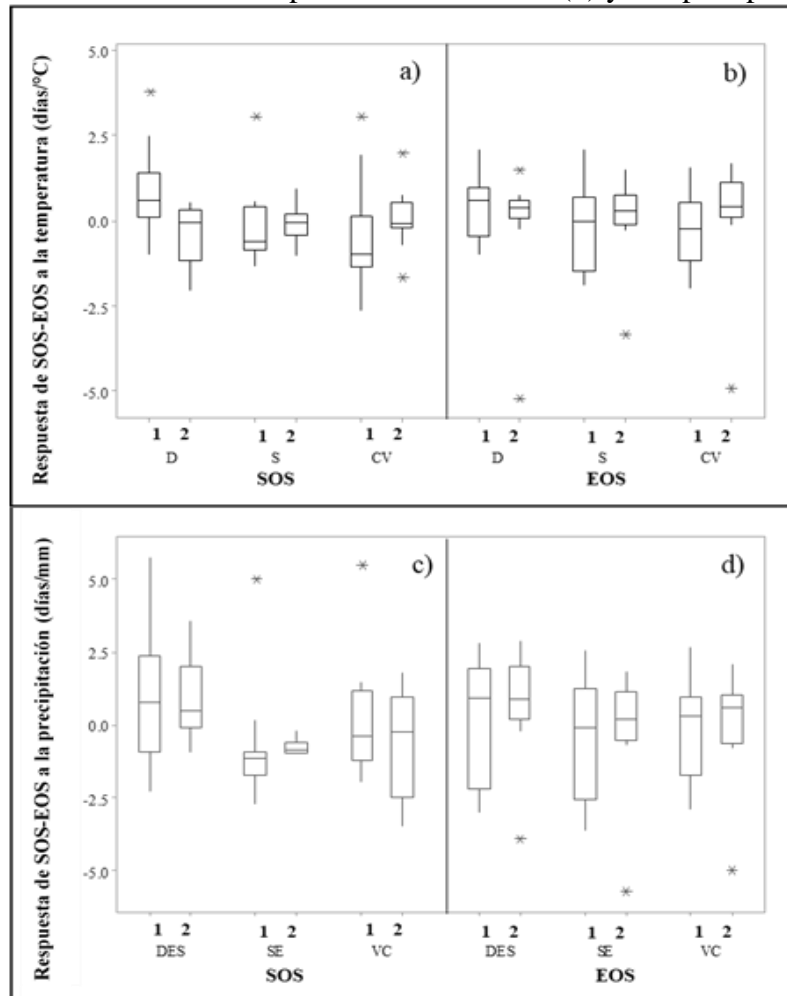
Las medias para SPD y EPD fueron en los días 174 y 283 del año, respectivamente, ubicando estos días en meses serían mayo-junio y octubre. Procurar una redacción más sucinta por ejemplo en la zona D, SPD y EPD ocurrieron en los días 172 y 265 del año, respectivamente, más temprano ($P < 0.05$) en el año en comparación a las otras dos zonas (doy 180 y 286). El SOS se produjo antes en la zona D que en las zonas CV y S. Tanto el SOS como el EOS se produjeron significativamente ($P < 0,05$) antes en la zona D (doy 172 y 265, respectivamente) que en las zonas CV (doy 180 y 286, respectivamente) y D (doy 179 y 297, respectivamente). En cuanto a las fluctuaciones anuales del SOS y el EOS, la desviación estándar (DE) media del EOS (25.47 días) fue mayor que la del SOS (18.53 días). Las mayores DE de SOS y EOS correspondieron a la zona D (21.6 y 25.15 días, respectivamente), en comparación con las zonas CV (19.5 y 25.05 días, respectivamente) y S (11.5 y 12.41 días, respectivamente). Los modelos fenológicos basados en datos satelitales indican la disponibilidad de agua como una condición ambiental determinante en el SPD en praderas norteamericanas⁽⁷⁾; mientras que la temperatura fue determinante para desencadenar eventos fenológicos primaverales en leñosas de ecosistemas templados⁽²⁹⁾ y herbáceas de los ecosistemas alpinos⁽³⁰⁾.

Tasas de respuesta del SOS y el EOS a la temperatura y la precipitación

Aunque se produjo un retraso de 0.33 días para el SOS en la zona D durante 2000-2019, el SOS se produjo 0.20 y 0.09 días antes para las zonas CV y S, respectivamente (Figura 2a). Mientras tanto, la disminución de la precipitación primaveral, que se produjo antes del inicio de la estación, provocó un retraso del SOS de 0.42, 0.24 y 0.32 días mm^{-1} para las zonas D, CV y S, respectivamente (Figura 2b). Para la zona D, la sensibilidad del SOS a la temperatura y la precipitación precedente, que se registraron antes del inicio de la estación, fue significativamente mayor que en las zonas CV y S. En otoño, las temperaturas más cálidas

retrasaron el SOS a tasas de 0.94 y 0.35 días °C⁻¹ para las zonas CV y S, respectivamente, mientras que extendieron el SOS en 0.72 días °C⁻¹ para la zona D (Figura 2c).

Figura 2: Respuesta del SOS a la temperatura antecedente (a) y a la precipitación (c), y tasas de respuesta del SOS debido a la temperatura antecedente (b) y a la precipitación (d) al EOS



1, periodo de 2000-2010; 2, periodo de 2011-2019. D= desierto; S= sierra; CV= valles centrales.

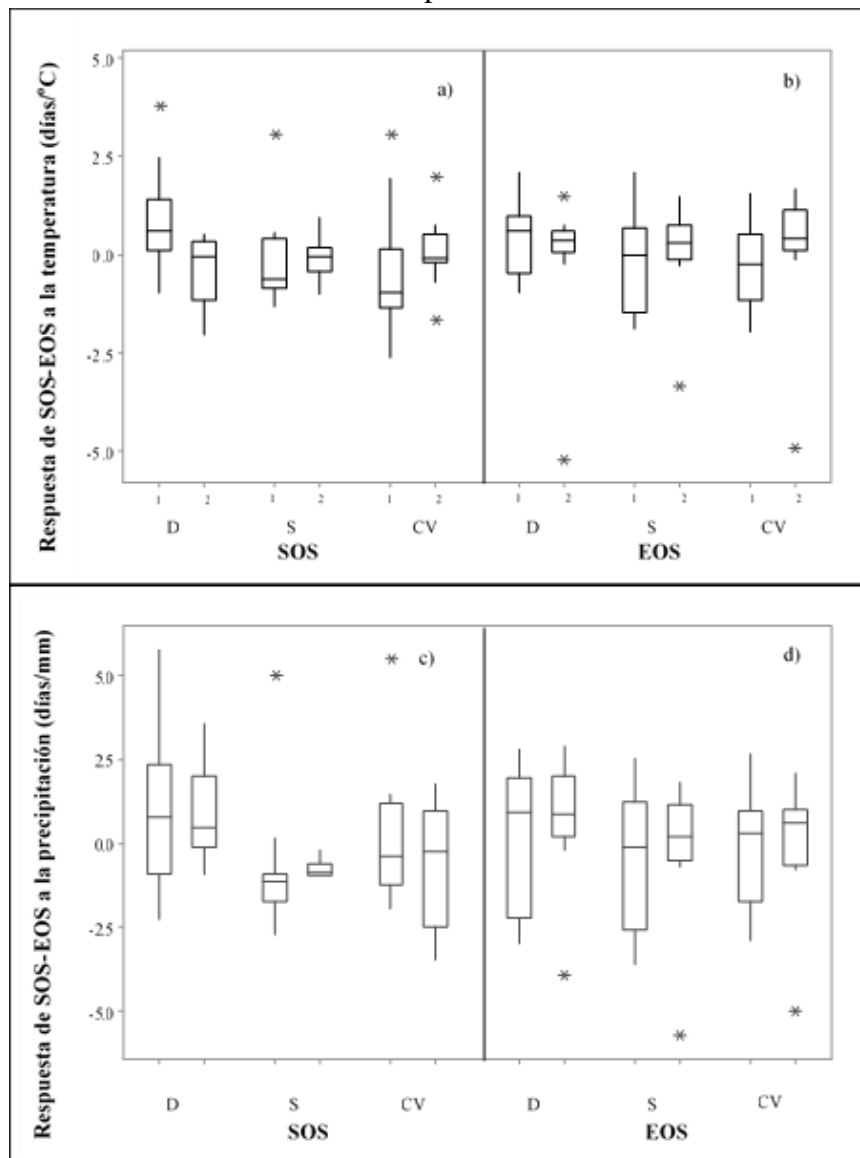
Algunos autores⁽³¹⁾ reportaron que durante 1959-1996, los eventos fenológicos de primavera de un gran número de especies se adelantaron en promedio 6.3 días, mientras que los de otoño han experimentado un retraso de 4.5 días en promedio; así, la estación de crecimiento se extendió en 10.8 días en promedio^(32,33). La reducción de las precipitaciones provocó un retraso en el EOS de 0.89, 0.02 y 0.45 días mm⁻¹ para las zonas D, CV y S, respectivamente (Figura 2d). Finalmente, la zona D mostró una sensibilidad significativamente menor a la temperatura antecedente, pero una sensibilidad significativamente mayor a la precipitación antecedente que las zonas CV y S. Los patrones fenológicos anticipados pueden alterar la distribución de los recursos vegetales del pasto banderita, tener implicaciones para los

sistemas de polinización y aumentar el tamaño, la riqueza de especies y la diversidad genética intraespecífica del banco de semillas del suelo⁽³⁴⁾.

Tendencias de cambio de SOS y EOS

Para informar de los cambios generales de SOS y EOS en las zonas ecológicas estudiadas, se comparó la media anual de SOS y EOS entre 2000-2010 y 2011-2019. Durante 2010-2019, el SOS y el EOS se retrasaron 16 ($P<0.05$) y 18 ($P<0.05$) días, respectivamente, en comparación con 2000-2019 (Figura 3).

Figura 3: Cambios generales en SOS y EOS en tres zonas ecológicas en afectación a la especie



1, periodo de 2000-2010; 2, periodo de 2011-2019. D= desierto; S= sierra; CV= valles centrales.

Los resultados del pasto banderita mostraron que la media del SOS de 2011-2019 fue 16 días más tardía ($P<0.05$) que la media del SOS de 2000-2010 para la zona D (Figura 3). Por el contrario, el SOS se adelantó 42 días para la zona CV ($P<0.05$) y 3 días para la zona S ($P<0.05$). Mientras tanto, el EOS no mostró cambios significativos ($P>0.05$) al comparar los dos períodos para las zonas CV y S. Sin embargo, se identificó un retraso significativo tanto para SOS como para EOS desde 2000-2010 hasta 2011-2019 ($P<0.05$) en la zona D. Durante 2011-2019, el SOS y el EOS se retrasaron 16 ($P<0.05$) y 18 ($P<0.05$) días respectivamente en comparación con 2000-2010.

Este estudio encontró correlaciones negativas significativas ($P<0.05$) entre el SOS y la precipitación y la temperatura precedente. Esto significa que temperaturas y precipitaciones más elevadas registradas antes del inicio de la estación pueden adelantar el inicio de la estación de crecimiento (SOS). Sin embargo, las zonas mostraron correlaciones significativas ($P<0.05$) entre el SOS y la precipitación antecedente que entre el EOS y la temperatura antecedente. Por lo tanto, la precipitación registrada en lugar de la temperatura puede controlar principalmente el inicio de la temporada de crecimiento en la mayor parte del área de estudio. Esto concuerda con los resultados de estudios anteriores basados en datos de fechas de verdeo, derivados de satélites y datos meteorológicos terrestres⁽³⁵⁾. Por otro lado, algunos estudios experimentales y de modelización de la fenología han destacado los efectos críticos de la disponibilidad de agua en la SOS en las praderas norteamericanas^(7,36) y mongolas^(2,11). Se ha informado que la temperatura es un factor clave para desencadenar los eventos fenológicos primaverales de las plantas en los ecosistemas templados⁽³⁷⁾ y de las especies herbáceas en los ecosistemas alpinos⁽³⁸⁾. El papel predominante de la temperatura en el SOS también se ha observado en los pastizales de Oriente Medio y en la meseta Tibetana⁽³⁹⁾.

Asimismo, las zonas ecológicas del área de estudio mostraron correlaciones positivas significativas ($P<0.05$) entre el EOS y la temperatura antecedente, lo que indica que la temperatura puede ser el factor más importante en la regulación de la dinámica estacional de la vegetación en los pastizales. Aunque la temperatura fue el factor dominante, la precipitación también se correlacionó positivamente con el EOS. Por tanto, unas condiciones otoñales más cálidas y húmedas podrían provocar un retraso en el proceso de senescencia de las hojas.

Comportamiento de SOS y EOS entre zonas ecológicas durante 2000-2010 y 2011-2019

El análisis factorial reveló que el día del año (doy) medio para el inicio de la temporada de crecimiento (SOS) de la especie fue de 160.55 ($P<0.05$). Los efectos significativos en el diseño factorial dependieron de la zona (D, CV, S) tanto para el SOS como para el final de

la temporada de crecimiento (EOS). El factor que causó el mayor cambio en SOS y EOS (es decir, la variabilidad en doy) fue la zona ecológica en la que crece la vegetación. La interacción entre las zonas ecológicas y los períodos de tiempo analizados influyó significativamente tanto en el SOS como en el EOS ($P < 0.005$).

Conclusiones e implicaciones

Esta investigación ha proporcionado una comprensión detallada sobre la dinámica estacional del pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] en diferentes zonas ecológicas del estado de Chihuahua, México, utilizando un enfoque geoestadístico respaldado por datos satelitales y observaciones fenológicas *in situ*. Los resultados muestran que la variabilidad climática, particularmente en temperatura y precipitación, afecta el inicio (SOS) y final (EOS) de su temporada de crecimiento. Se observó que en la zona desértica (D), el SOS ocurre antes debido a temperaturas más altas. Además, la disminución de precipitación retrasó el SOS en todas las zonas, mientras que, en otoño, las temperaturas más cálidas extendieron el EOS en la zona D. La comprensión de la dinámica estacional de esta especie es esencial para desarrollar prácticas de manejo sostenible que aseguren la resiliencia de estos ecosistemas frente al cambio climático. Los resultados obtenidos proporcionan una base científica robusta para la toma de decisiones informadas en la gestión de los recursos naturales en la región, promoviendo la sustentabilidad y la adaptación a las nuevas condiciones ambientales.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Literatura citada:


1. IPCC. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ Press; 2014.
2. Smith J, Doe J, Clark H. Temporal and spatial variability in phenological responses of grass species. *J Ecol* 2020;108(5):1234-1245.
3. Liu Q, Fu YH, Zeng Z, Huang M, Li X, Piao S. Temperature, precipitation, and insolation effects on autumn vegetation phenology in temperate China. *Glob Change Biol* 2019;25(3):644-655.

4. Sánchez, DH, Navarro-Gómez CJ, Rentería M, Rose JF, Sánchez-Navarro JR. Evolution of the groundwater system in the Chihuahua-Sacramento aquifer due to climatic and anthropogenic factors. *J Water Clim Change* 2022;13(2):645-663.
5. Jones MB, Donnelly A. Responses of Irish vegetation to future climate change. *Biol Environ Proc R Ir Acad* 2018;118(2):157-168.
6. Williams K, Clark, J. Global warming extends the growing season across ecosystems. *Environ Res Lett* 2021;16(1):14-23.
7. Schwartz MD. *Phenology: An integrative environmental science*. Berlin, Germany Springer; 2013:170-171.
8. Badeck FW, Bondeau AK, Böttcher D, Doktor W, Lucht J, Schaber S. Responses of spring phenology to climate change. *New Phytol* 2004;162:295-309.
9. Richardson AD, Keenan TF, Migliavacca M, Ryu Y, Sonnentag O, Toomey M. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agric For Meteorol* 2017;169:156-173.
10. Crimmins TM, Crimmins MA, Bertelsen C. Complex responses to climate drivers in onset of spring flowering across a semi-arid elevation gradient. *J Ecol* 2010;98:042-1051.
11. Lesica P, Kittelson P. Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland. *J Arid Environ* 2010;74:1013-1017.
12. Zhang X, Friedl MA, Schaaf CB, Strahler AH, Hodges JCF, Gao F, Reed BC, Huete A. Monitoring vegetation phenology using modis. *Remote Sens Environ* 2003;84:471-475.
13. Delbart N, Picard G, Le Toan T, Kergoat K, Quegan S, Woodward I, Dye D, Fedotova V. Spring phenology in boreal Eurasia over a nearly century time scale. *Glob Change Biol* 2008;14:603-614.
14. Stumpf F, Schneider MK, Keller A, Rentschler T, Meuli RG, Liebisch, F. Spatial monitoring of grassland management using multi-temporal satellite imagery. *Ecol Indic* 2020;113:106-121.
15. Schwartz MD. *Phenology: An integrative environmental science*. Springer 2013;1:20.


16. Piao S, Tan J, Chen A, Fu YH, Ciais P, Liu Q, Janssens IA, Vicca S, Zeng Z, Jeong SJ. Leaf onset in the Northern Hemisphere triggered by daytime temperature. *Nat Commun* 2015;6:69-81.
17. Bloor JM, Pichon P, Falcimagne R, Leadley P, Soussana JF. Effects of warming, summer drought, and CO₂ enrichment on aboveground biomass production, flowering phenology, and community structure in an upland grassland ecosystem. *Ecosystems* 2010;13:888-900.
18. Hovenden MJ, Wills KE, Vander-Schoor JK, Williams AL, Newton PC. Flowering phenology in a species-rich temperate grassland is sensitive to warming but not elevated CO₂. *New Phytol* 2008;178:815-822.
19. Zelikova TJ, Williams DG, Hoenigman R, Blumenthal DM, Morgan JA, Pendall E. Seasonality of soil moisture mediates responses of ecosystem phenology to elevated CO₂ and warming in a semi-arid grassland. *J Ecol* 2015;103:1119-1130.
20. Piazza V. Estimación satelital de la productividad primaria neta aérea de la vegetación herbácea del Caldenal [disertación doctoral]. Buenos Aires, Argentina; 2006.
21. Morales-Nieto CR, Quero-Carrillo A, Pérez-Pérez J, Hernández-Garay A, Le-Blan O. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de pasto banderita [(Michx.) Torr.] en México. *Agrociencia* 2008;42(7):767-775.
22. Breman H, De Wit C. Rangeland productivity and exploitation in the Sahel. *Science* 1983;221:1341-1347.
23. Butt B, Turner MD, Singh A, Brottem L. Use of modis NDVI to evaluate changing latitudinal gradients of rangeland phenology in sudano-sahelian West Africa. *Remote Sens Environ* 2011;115:3367-3376.
24. Arzani H, Zohdi M, Fish E, Zahedi-Amiri G, Nikkhah A, Wester D. Phenological effects on forage quality of five grass species. *J Range Management* 2004;57:624-629.
25. Gorlier A, Lonati M, Renna M, Lussiana C, Lombardi G, Battaglini L. Changes in pasture and cow milk compositions during a summer transhumance in the Western Italian Alps. *J Appl Bot Food Qual* 2013;(85):216-231.

26. Ortega-Gaucin D, Velasco I. Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. *Aqua-LAC* 2013;5(2):78-90.
27. Gonsamo A, Chen JM. Continuous observation of leaf area index at fluxnet-Canada sites. *Agric For Meteorol* 2014;189:168-174.
28. INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática 2003. Síntesis de Información Geográfica del Estado de Chihuahua, 1a.ed. Editorial INEGI. México. 2013.
29. CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Capacidad de Almacenamiento y Uso de las Principales Presas de México. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=2mapa=5>. Consultado 4 Abr, 2021.
30. Chen X, Li J, Xu L, Liu L, Ding D. Modeling green up date of dominant grass species in the inner Mongolian grassland using air temperature and precipitation data. *Int J Biometeorol* 2014;58:463-471.
31. Vermote E, Vermeulen. Atmospheric correction algorithm: Spectral reflectances (MOD09), ATBD version 4; Department of Geography, University of Maryland: College Park, MD, USA. 1999.
32. Busetto L, Colombo R, Migliavacca M, Cremonese E, Meroni M, Galvagno M, *et al.* Remote sensing of larch phenological cycle and analysis of relationships with climate in the Alpine region. *Glob Change Biol* 2010;16:2504-2517.
33. Menzel A. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int J Biometeorol* 2000;44:76-81.
34. Peñuelas J, Filella I. Responses to a warming world. *Science* 2001;294:793-795.
35. Chen X, Xu L. Phenological responses of *Ulmus pumila* (Siberian Elm) to climate change in the temperate zone of China. *Int J Biometeorol* 2012;56:695-706.
36. Chen X, An S, Inouye MD. Temperature and snowfall trigger alpine vegetation green-up on the world's roof. *Glob Change Biol* 2015;21:3635-3646.
37. Peñuelas J, Filella I. Responses to a warming world. *Science* 2001;294(3):793-795.

38. Roetzer T, Wittenzeller M, Haeckel H, Nekovar J. Phenology in central Europe—differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *Int J Biometeorol* 2000;44:60–66.
39. Walkovszky A. Changes in phenology of the locust tree (*Robinia pseudoacacia L.*) in Hungary. *Int J Biometeorol* 1998;41:155–160.



Comportamiento productivo de una asociación Mombaza-Kudzú en diferentes épocas del año



Eduardo Daniel Bolaños-Aguilar ^{a*}

Javier Francisco Enríquez-Quiroz ^b

Abraham Fragoso-Islas ^c

Roberto Omar Castañeda-Arriola ^d

Maribel Montero-Lagunes ^b

Julio César Vinay-Vadillo ^b

^a Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Huimanguillo, 86600, Huimanguillo, Tabasco, México.

^b INIFAP, Campo Experimental La Posta. Paso del Toro Medellín, Veracruz, México.

^c INIFAP, Sitio Experimental Las Margaritas. Hueytamalco, Puebla, México.

^d INIFAP, Sitio Experimental Pichucalco. Pichucalco, Chiapas, México.

*Autor de correspondencia: bolanos.eduardo@inifap.gob.mx

Resumen:

El objetivo fue evaluar el efecto de la leguminosa kudzú (*Pueraria phaseoloides*) en el rendimiento de materia seca y valor nutritivo de la pradera, y la ganancia de peso de vaquillas en pastoreo. El estudio se realizó del 19-dic-2019 al 21-jul-2020 en 4 ha en el INIFAP-Pichucalco, Chis., con 2 ha de mombaza (*Megathyrsus maximus* var. mombaza) y 2 ha de la asociación mombaza-kudzú. Cada pradera tuvo seis vaquillas en pastoreo rotacional. Se evaluó el rendimiento de materia seca, proteína, fibra detergente neutro, lignina y ganancia diaria de peso. Se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo de parcelas divididas

para rendimiento de materia seca y valor nutritivo, y un diseño completamente al azar para la ganancia de peso de los animales. El menor rendimiento de materia seca fue en la época seca con 2,963 kg ha⁻¹ para mombaza, y 3,771.5 kg ha⁻¹ para mombaza-kudzú. El mayor rendimiento fue en lluvias con 10,092 kg ha⁻¹ para mombaza y 8,977 kg para la asociación. Kudzú registró mayor rendimiento en la época de Nortes con 763.4 kg ha⁻¹ y 19.4 % de cobertura. Kudzú registró 1.7 veces más proteína que mombaza, manteniendo su concentración en 146.26 g kg⁻¹ MS durante el período de estudio mombaza-kudzú registró 31.9 g kg⁻¹ MS más proteína que mombaza, mayor fibra detergente neutro (44.3 g kg⁻¹ MS más) y lignina (8 g kg⁻¹MS más). La mayor ganancia de peso de los animales fue en nortes en la asociación con 504 g animal⁻¹día⁻¹ vs 333 g animal⁻¹ en monocultivo.

Palabras clave: *Megathyrus maximus*, *Pueraria phaseoloides*, Rendimiento de materia seca, Valor nutritivo, Producción animal, Pastoreo.

Recibido: 23/05/2023

Aceptado: 27/08/2024

Introducción

La producción estacional de forraje es el principal problema para el aprovechamiento eficiente de las gramíneas forrajeras por el animal en pastoreo. En las zonas tropicales, las praderas son la base del alimento de los bovinos para la producción de carne, leche o becerros, pero presentan marcada estacionalidad de producción de biomasa por las variaciones del clima durante el año. La mayor parte de la producción de los pastos ocurre durante la época de lluvias caracterizada por temperaturas altas en los meses de junio a septiembre, posteriormente, se reduce la producción forrajera conforme avanzan los meses⁽¹⁾. Se tienen registros de la reducción del rendimiento de forraje de hasta cuatro veces menos en la época seca del año (mediados de marzo a mediados de junio) con respecto a la época de lluvias⁽²⁾. Lo anterior provoca cambios en la disponibilidad de forraje, y en la capacidad de carga animal de las praderas durante el año. Otro problema con la estacionalidad es que plantas forrajeras de una misma edad pueden presentar un valor nutritivo diferente dependiendo de la época del año en la que se encuentre, lo que induce a variaciones en la producción animal⁽³⁾.

Estrategias diferentes se han evaluado para el manejo de la distribución estacional de la producción de forrajes. Una de ellas es el uso de praderas asociadas, en la que normalmente se considera el uso de leguminosas asociadas con gramíneas⁽⁴⁾. En suelos de baja fertilidad, al evaluarse el rendimiento de materia seca (RMS) y concentración de proteína en una pradera de *Brachiaria humidicola* en monocultivo y asociada a la leguminosa *Arachis pintoi*,

se observó que durante la época seca del año ambas praderas tuvieron el menor rendimiento del año, pero la asociación registró mayor RMS con 0.8 t ha^{-1} más con respecto a la pradera en monocultivo⁽¹⁾. También observaron que el pasto humidicola de la asociación registró 19.21 g kg^{-1} de MS más proteína que el humidicola en monocultivo. Esta disminución del RMS de la pradera asociada, y la mayor concentración de proteína de la gramínea de la asociación había sido reportada anteriormente⁽⁵⁾ en las mismas condiciones ambientales, al estudiarse una asociación humidicola-*Stylosantes guianensis*. Aun cuando es conocido que las leguminosas forrajeras presentan mayor concentración de proteína (y minerales) que las gramíneas⁽⁶⁾, investigaciones anteriores muestran que las leguminosas también benefician con nitrógeno a las gramíneas acompañantes, el cual es tomado de la atmósfera y fijado al suelo por bacterias que se encuentran en los nódulos de las raíces de estas especies⁽⁷⁾.

La disminución del RMS o la mayor estabilidad de producción de una asociación gramínea-leguminosa se debe a la diversidad genética de las especies que componen la asociación, ya que al asociarse especies distintas presentan cambios morfológicos a corto plazo, dándole a la pradera mayor estabilidad en el tiempo^(8,9). Debido mayor contenido de proteína y la mayor estabilidad del RMS, las asociaciones gramínea-leguminosas pueden mejorar la nutrición y producción animal en pastoreo⁽¹⁰⁾. Al respecto, se ha observado que el ganado joven valoriza mejor las asociaciones gramínea-leguminosa, al registrarse mayores ganancias de peso diario en novillos (602 g día^{-1}) que en vacas (573 g) al pastorear *Andropogon gayanus* asociado a *Stylosanthes capitata*⁽¹¹⁾. El efecto de la época del año en los cambios de peso, no fueron medidos. Estudios de producción animal en pastoreo de praderas asociadas gramínea-leguminosa en condiciones tropicales, siguen siendo limitados. Se tiene la hipótesis de que las leguminosas forrajeras mejoran la estabilidad de la producción de biomasa de la pradera y la disponibilidad de proteína para el ganado. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto de las leguminosas en el rendimiento de materia seca y composición química de la pradera, y en la ganancia de peso de los animales en pastoreo, en diferentes épocas del año.

Material y métodos

Condiciones ambientales y praderas evaluadas

El estudio se realizó en el Sitio Experimental “Pichucalco” perteneciente al INIFAP y ubicado en Pichucalco, Chiapas. El suelo fue de textura franco, alto en materia orgánica (3.59 %), en Fe (83 ppm), en Zn (5.05 ppm), Mn (39.4 ppm) en Cu (6.37 ppm) y bajo en Al (3.93 ppm) y Mg (164 ppm) con densidad aparente de 1.2 g cm^{-3} y pH ligeramente ácido (6.0). En los meses de junio a agosto 2018, sobre una superficie de 4 ha se eliminó la vegetación secundaria a través del corte con machete y quema del material cortado. En agosto de ese mismo año se eliminó la gramínea invasora *Paspalum virgatum* con herbicida glifosato

[N-(phosphonomethyl) glycine] aplicando 1 kg de ingrediente activo por hectárea. Una vez eliminadas las malezas, en el mes de septiembre se procedió a la siembra por semilla botánica de dos tipos de pradera: pradera en monocultivo (*Megathyrus maximus* var. mombaza) y pradera asociada gramínea-leguminosa (*mombaza-Pueraria phaseoloides*). La siembra fue por semilla botánica, tanto para la gramínea como para la leguminosa. Dado que era un terreno con lomeríos, la siembra de las dos praderas se realizó a espeque a 50 cm entre golpe y golpe (con aproximadamente 5 cm de profundidad) sobre una línea trazada con hilo de henequén, y a 1 m entre líneas.

Se utilizaron 2 ha para cada pradera. La pradera en monocultivo se sembró a una dosis de 7 kg ha⁻¹ de semilla comercial. En la pradera asociada la dosis de siembra de mombaza fue de 6 kg ha⁻¹ y del kudzú de 3 kg ha⁻¹ y la gramínea se sembró mezclada con la leguminosa. En el mes de octubre se tuvo el ataque de hormigas a las semillas de ambas praderas, las semillas fueron acarreadas fuera del área de estudio afectando fuertemente el establecimiento. Por ello, se resembraron las praderas en el mes de noviembre, impregnando las semillas con un insecticida en polvo organofosforado/piretroide. No hubo fertilización. Tanto la pradera en monocultivo como la asociada quedaron establecidas en junio 2019. Los datos de clima prevalecientes durante el período de estudio se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Datos promedio de clima durante el período de estudio en tres épocas del año

	Época del año		
	Nortes (2019 y 2020)	Seca (2020)	Lluvias (2020)
Período comprendido	Nov-Feb	Mar-May	Jun-Jul
Lluvia acumulada, mm	580	250	450
Lluvia promedio mensual, mm	145	84	225
Temperatura máxima, °C	27	34	34
Temperatura mínima, °C	19	24	24

Nota: Las temperaturas máximas y mínimas son promedios de la época del año.

Durante los meses de julio a septiembre 2019, se procedió a la delimitación perimetral de la totalidad del área experimental y a la separación de los dos tipos de pradera con alambre de púas utilizando cuatro hilos, formando de esta manera dos parcelas de 2 ha cada una; una parcela para la pradera en monocultivo (mombaza), y una parcela para la pradera asociada (mombaza+kudzú). Durante los meses de octubre y noviembre cada tipo de pradera se dividió en cuatro poteros, para efectos de realizar un pastoreo rotacional dentro de cada tipo de pradera, con cercos eléctricos mediante dos hilos por cerco, y con postes distanciados cada 10 m.

Manejo de los animales

En total se seleccionaron 12 becerras de la raza Brahman (*Bos indicus*) de 9 meses de edad en promedio, las cuales se dividieron en dos grupos homogéneos de 6 animales, cada grupo se asignó aleatoriamente a una de las dos parcelas. Cada becerro fue considerada una repetición. El grupo 1 promedió $206 \text{ kg} \pm 22 \text{ kg}$ y fue asignado a la parcela de la asociación mombaza-kudzú, y el grupo 2 promedió $210 \text{ kg} \pm 25 \text{ kg}$ y se asignó a la parcela de mombaza en monocultivo. Del 9 al 18 de diciembre se realizó un pastoreo de adaptación de los animales. La evaluación inició el 19 de diciembre 2019 y finalizó el 21 de julio 2020. El pastoreo fue rotacional y consistió en 14 días de ocupación por 42 días de descanso, y se pesó a los animales al término de cada ciclo de pastoreo; esto es, cada 42 días. Debido a fallas de la báscula electrónica ganadera, el primer pesaje se realizó 48 días después de iniciado el estudio.

Variables de respuesta

La toma de peso de los animales cubrió la parte final de la época de nortes (febrero-marzo), la época seca (marzo a mayo) e inicios de la época de lluvias (finales de mayo-junio). La toma de muestras de forraje disponible de cada tratamiento se realizó cada 42 días a la entrada de los animales a cada uno de los potreros que conformaban las praderas; es decir, al término de cada ciclo de pastoreo. De esta manera, el forraje disponible, después de un reposo de la pradera de 42 días, se determinó mediante el método del m^2 ⁽¹²⁾, el cual consiste en cortar el forraje dentro de cuatro cuadros de acero de 1.0 m^2 cada uno, asignados aleatoriamente en cada uno de los potreros de la pradera de mombaza en monocultivo, como en cada uno de los potreros de la asociación. De esta manera, para las cosechas (o toma de muestras) de ambos tipos de praderas se utilizaron cuatro repeticiones, esto significó la toma de cuatro repeticiones por tratamiento en las fechas del 19 de diciembre 2019, 23 de enero y 28 de febrero 2020 para la época de nortes, 4 de abril y 10 de mayo para la época seca, y 15 de junio y 21 de julio para la época de lluvias.

La toma de muestras consistió en cosechar toda la biomasa o materia verde (MV) dentro de cada cuadro con cortes a 15 cm sobre el nivel del suelo para ambas praderas. Cuando el m^2 cubría plantas individuales de kudzú, éstas eran cosechadas a 7 cm del nivel del suelo. En forma paralela a la toma de muestras mencionadas, en la pradera asociada también se tomaron muestras adicionales de kudzú para su evaluación individual en rendimiento, composición química y su proporción en la pradera asociada. El material vegetal cosechado se pesaba en báscula electrónica portátil con capacidad de $10 \pm 0.001 \text{ kg}$. Para determinar el rendimiento de materia seca (RMS, kg ha^{-1}) de cada potrero, se separaron submuestras de 300 g de MV, se secaron en estufas de aire forzado a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 48 h. De esta manera, el rendimiento de materia seca disponible (RMS) se calculó con base en el rendimiento en materia seca de los

300 g de MV así como en el rendimiento de materia verde total de 1 m², extrapolado a una hectárea. Para la determinación del rendimiento de MS (kg ha⁻¹) o proporción de la leguminosa en la biomasa total, se utilizó una segunda submuestra de 200 g, la cual se separó en sus componentes gramínea y leguminosa. La proporción de la leguminosa (%) en la biomasa total, se obtuvo dividiendo el peso seco de la leguminosa por el peso seco de la biomasa total (gramínea + leguminosa).

Las concentraciones (g kg⁻¹MS) de proteína, de fibra detergente neutro (FDN) y de lignina, se determinaron solo en tres fechas de muestreo (19 de diciembre 2019, 10 de mayo y 21 de julio 2020) representativas de cada época del año, estando formadas las muestras por hojas y tallos. Estas determinaciones se cuantificaron de las muestras secas de 300 g de MV, que fueron previamente molidas a un tamaño de partícula de 1 mm en un Molino Wiley. La concentración de proteína se determinó por el método de Kjeldhal⁽¹³⁾, multiplicando el contenido de N por el factor de conversión 6.25. La FDN se determinó empleando sulfato lauril sódico a pH neutro⁽¹⁴⁾.

Análisis estadístico

El análisis de varianza aplicado para determinar el forraje disponible y el valor nutritivo y ganancia de peso de las becerras fue con base en el programa GLM del SAS⁽¹⁵⁾. El efecto de fecha de cosecha, tipo de pradera y de la interacción fecha × RMS, se analizaron en un diseño completamente al azar en arreglo de parcelas divididas; la parcela grande fue la fecha de cosecha, y la parcela chica el tipo de pradera. Para el estudio de la composición química se analizó una fecha representativa en ambos tratamientos y por cada una de las tres épocas del año. De esta manera, las fechas analizadas para composición química fueron el 19 de enero, 10 de mayo y 21 de julio 2020 con respecto a las épocas de nortes, seca y lluvias. La comparación entre medias fue por el método de Tukey ($P \leq 0.05$). La ganancia de peso de las becerras se analizó separadamente bajo un diseño completamente al azar con seis repeticiones, en el que se analizaron los efectos de los tratamientos (tipos de pradera) sobre la ganancia diaria promedio. Los animales fueron utilizados como repeticiones, con comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Las condiciones climáticas durante el período de pastoreo variaron de manera importante. La lluvia total acumulada en la época de nortes fue 330 mm mayor que en la época seca y 130 mm mayor que en la época de lluvias; sin embargo, la temperatura promedio fue mayor y semejante en la época seca y de lluvias, mientras que la temperatura promedio en nortes fue de 6 °C menos que en el período seco y de lluvias (Cuadro 1).

Rendimiento de materia seca disponible (RMS)

Se presentan datos de RMS de mombaza en monocultivo, de la asociación mombaza-kudzú y de kudzú por separado. Hubo interacción ($P \leq 0.05$) fecha de cosecha \times tipo de pradera para el RMS disponible (Cuadro 2). El patrón cronológico del RMS disponible fue similar en ambos tipos de pradera a través del período de evaluación.

Cuadro 2: Cuadros medios para el rendimiento de materia seca disponible de las praderas (RMS), de la leguminosa, de la pradera asociada, y composición química del forraje disponible, a la edad de rebrote de 42 días después del pastoreo, cosechado en siete fechas diferentes y en dos tipos de praderas

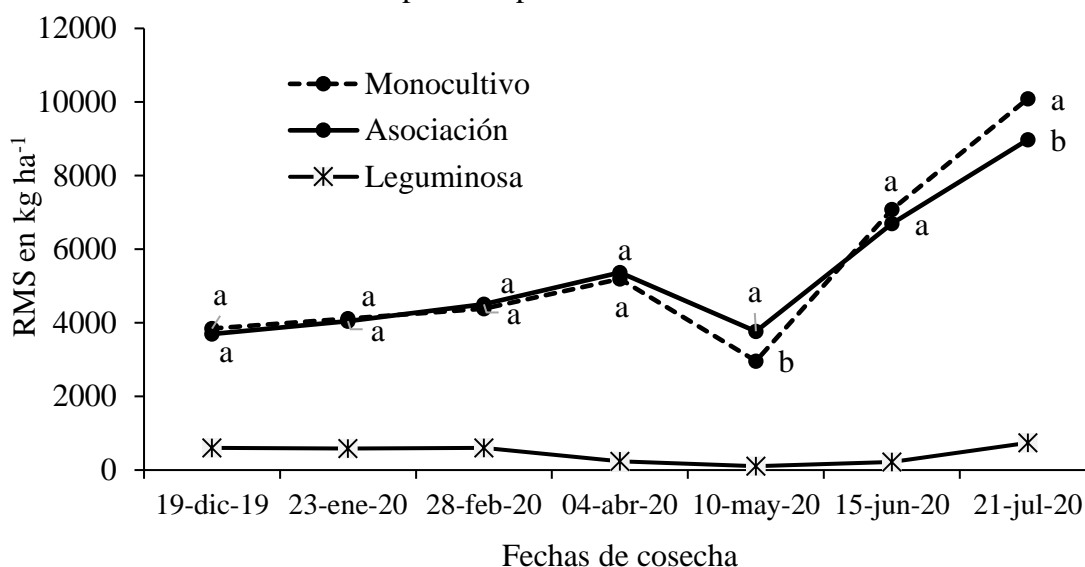
Variables medidas	Media	Fecha (F)	Pradera (P)	F x P
RMS, kg ha ⁻¹	5337.07	383 x 10 ⁵ NS	107 x 10 ³ ***	685 x 10 ³ *
Leguminosa, kg ha ⁻¹	660.12	156 x 10 ³ ***	-----	-----
GL		6	1	6
Proteína, g kg ⁻¹ MS	98.75	2975.9***	4585.6***	635.4**
FDN, g kg ⁻¹ MS	716.42	43.44 NS	8831.2***	805.72*
Lignina, g kg ⁻¹ MS	52.87	610.33***	11.20 NS	162.00 NS
GL				

FDN= fibra detergente neutro. GL= grados de libertad. *, **, *** Nivel de significancia al 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente. NS= no significativo.

Del 19 de diciembre al 4 de abril y en la cosecha del 15 de junio, no hubo diferencias ($P > 0.05$) en la disponibilidad del RMS entre ambos tipos de pradera (Figura 1), con rendimientos de MS promedio de 3,769, 4,079, 4,444 y 5,279 kg ha⁻¹, con respecto a las fechas 19-dic-19, 23-ene-20, 28-feb-20 y 04-abr-20, y con un rendimiento de 6,885 kg ha⁻¹ para la fecha del 15 de junio.

Las diferencias en RMS entre los dos tipos de pradera se dieron en la época seca (en la cosecha del 10 de mayo), y en la época de lluvias (cosecha del 21 de julio). Durante la época seca, la asociación mombaza-kudzú fue la pradera con mayor RMS, con un valor de 3,771 vs 2,963 kg de MS ha⁻¹ de la pradera constituida por mombaza (Figura 1). Al comparar una pradera asociada *Brachiaria humidicola*-*Arachis pintoi* vs *B. humidicola* en monocultivo, se observó que la pradera asociada fue más estable por registrar mayor RMS que la pradera en monocultivo en la época seca del año, en suelos muy ácidos (pH de 4.6) de baja fertilidad⁽¹⁾.

Figura 1: Rendimiento de materia seca (RMS) de una pradera de mombaza en monocultivo, mombaza en asociación con kudzú, y de kudzú por separado, a la edad de rebrote de 42 días después del pastoreo en diferentes fechas de muestreo



^{ab} Letras diferentes dentro de una fecha indica diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

La mayor estabilidad de producción de las praderas asociadas en épocas de difícil crecimiento para la planta ya había sido también observada en otros estudios^(16,17). Esta estabilidad de producción de la asociación, estuvo explicada anteriormente⁽⁹⁾, demostrándose que la diversidad de especies en una pradera regula su productividad y estabilidad por la inducción de efectos complementarios. Por otra parte, la fijación de nitrógeno al suelo por la leguminosa, pudo haber sido aprovechada por la gramínea y de esta manera obtener un mayor RMS que cuando está en monocultivo⁽¹⁸⁾. En la época de lluvias, particularmente en la cosecha del 21 de julio los RMS se invirtieron, ahora la pradera en monocultivo registró el mayor rendimiento con 1,115 kg ha⁻¹ más, que la registrada en la pradera asociada (Figura 1). Resultados semejantes fueron reportados con anterioridad⁽⁵⁾, en el que se registró, en una pradera de *Brachiaria humidicola* en monocultivo, 1,200 kg ha⁻¹ más de producción de MS que en la asociación *B. humidicola-Stylosanthes guianensis* en la época de lluvias.

Al observar la conducta del RMS entre fechas de cosecha, se registran cambios a lo largo del período de estudio para los dos tipos de pradera (Cuadro 3). En una primera etapa se registra una estabilidad en el RMS en ambos tipos de pradera del 19-dic-19 al 04-abr-20 por no observarse diferencias ($P > 0.05$) en RMS entre fechas de cosecha en este período. Posteriormente, este patrón del RMS disponible incluyó una declinación al pasar del mes de abril a mayo (época seca del año), lo que coincidió con una disminución en más de 300 mm de precipitación acumulada, en ambos tipos de pradera. La pradera en monocultivo disminuyó el RMS en 2,232 kg ha⁻¹ al pasar del 4 de abril al 10 de mayo (período de 42 días), mientras que en este mismo período la pradera asociada registró una menor disminución con

1,593 kg ha⁻¹. Lo anterior significó una tasa de reducción del RMS de 53 kg ha⁻¹día⁻¹ para la pradera en monocultivo, y de solo 38 kg para la pradera asociada. Este mayor RMS de la asociación en la época seca coincide con otro estudio⁽¹⁹⁾ en el que se observó mayor rendimiento en la época seca cuando se utilizan mezclas de gramíneas con leguminosas. Al término de la época seca, en particular del 10-mayo-20 al 21-jul-20 (época de lluvias) la pradera en monocultivo registró el mayor aumento del RMS, incrementándose en 7,129 kg ha⁻¹, siendo en este mismo período el incremento menor para la pradera asociada, con un registro de 5,206 kg ha⁻¹ de MS. Este incremento coincidió con un aumento en 200 mm más de lluvia acumulada, con respecto a la lluvia acumulada de la época seca.

Cuadro 3: Forraje disponible (MS) en dos tipos de pradera, forraje disponible de la leguminosa en la pradera asociada proteína, fibra detergente neutro (FDN) y lignina del forraje disponible sobre siete fechas de cosecha

Tipo de pradera	Fechas de muestreo	Forraje disponible (kg MS ha ⁻¹)	Leguminosa (kgMS ha ⁻¹)	Composición química (g kg ⁻¹ MS)		
				Proteína	FDN	Lignina
Mombaza en monocultivo	19-dic-2019	3843.3 ^c		80.4 ^b	704.3 ^a	60.8 ^a
	23-ene-2020	4111.3 ^{cde}		-----	-----	-----
	28-feb-2020	4385.5 ^{cd}		-----	-----	-----
	04-abr-2020	5195.0 ^c		-----	-----	-----
	10-may-2020	2963.0 ^e		96.7 ^a	691.8 ^a	41.2 ^b
	15-jun-2020	7076.5 ^b		-----	-----	-----
	21-jul-2020	10092.0 ^a		71.2 ^c	686.7 ^a	43.7 ^b
Media	5380.8		82.7	694.2	48.6	
Mombaza asociada a kudzú	19-dic-2019	3695.8 ^d	773.8 (21) ^a	121.8 ^b	722.3 ^a	67.8 ^a
	23-ene-2020	4047.3 ^d	788.2 (20) ^a	-----	-----	-----
	28-feb-2020	4503.0 ^{dc}	728.3 (17) ^{ab}	-----	-----	-----
	04-abr-2020	5364.3 ^c	561.1 (11) ^{bc}	-----	-----	-----
	10-may-2020	3771.5 ^d	335.1 (9) ^d	142.7 ^a	744.6 ^a	49.4 ^b
	15-jun-2020	6694.3 ^b	519.0 (8) ^{dc}	-----	-----	-----
	21-jul-2020	8977.0 ^a	915.2 (11) ^a	79.53 ^c	748.73 ^a	54.16
Media	5293.2	660.10	114.7	738.5	57.1	

Números entre paréntesis la proporción de la leguminosa, calculada en base a las muestras cosechadas, en la pradera asociada medida en porcentaje.

^{abcd} Promedios con letra diferente dentro de una columna por tipo de pradera, son diferentes estadísticamente ($P \leq 0.05$).

El kudzú, presente en la pradera asociada, mantuvo un bajo RMS, lo que significó en una baja proporción de esta leguminosa dentro de la pradera, a través de las diferentes fechas de cosecha (Cuadro 3). En los meses con temperaturas mínimas y con humedad ambiental favorable (19-dic-19 al 28-feb-20) el kudzú registró los mayores RMS promediando 763.4 kg ha⁻¹, lo que significó un 19.4 % del rendimiento de la pradera. Esta proporción tuvo una declinación considerable durante el período seco del año, disminuyendo su RMS a 335 kg ha⁻¹ (9 %) al pasar del 28 de febrero al 10 de mayo. Posteriormente, al final del estudio (mes

de julio) y durante la época de lluvias, el RMS del kudzú aumentó a 915 kg ha^{-1} pero mantuvo su proporción en la pradera en 11.0 % dado al elevado aumento en biomasa de la pradera (mombaza + kudzú) la cual pasó de $3,771.5 \text{ kg ha}^{-1}$, en el período seco, a $8,977 \text{ kg MS ha}^{-1}$ al final del estudio (época lluviosa). Resultados semejantes, en cuanto el rendimiento de la leguminosa, fueron reportados con antelación⁽²⁰⁾, mencionando un aumento en tres veces más del kudzú al pasar de la época seca a la época de lluvias; sin embargo, el pasto mombaza (planta C4), expresó el potencial que tiene para convertir, con mayor eficiencia, los fotoasimilados en biomasa cuando se encuentra en condiciones favorables de humedad, en comparación con el kudzú (C3).

Composición química

Hubo interacción fecha de cosecha x tipo de pradera para la concentración de proteína y FDN, excepto para la concentración de lignina (Cuadro 2). En proteína, la interacción fue originada en la época de lluvias (21-jul-20) al no haber diferencias entre los dos tipos de praderas en concentración de proteína, promediando ambas praderas 75 g kg^{-1} de MS. Por el contrario, tanto en la época de nortes (19-dic-19) como en la época seca (10-mayo-20), la concentración de proteína fue mayor en la pradera asociada registrando 41 y 40 g kg^{-1} de MS más proteína que la pradera en monocultivo, en dichos períodos respectivamente (Figura 2). La pradera mombaza-kudzú registró una mayor concentración de proteína, como resultado de que kudzú tuvo 1.7 veces más proteína que el pasto mombaza, manteniendo esta leguminosa una alta concentración de proteína a lo largo del estudio, con un promedio de 146.2 g kg^{-1} de MS (Cuadro 4).

Entre fechas de cosecha, las variaciones en concentración de proteína fueron diferentes tanto en la pradera en monocultivo como asociada (Cuadro 3). Ambas praderas registraron las mayores concentraciones en la época seca (10-mayo-20), y las menores en la época de lluvias (21-jul-20). En la pradera en monocultivo se registraron valores promedio de 16 y 25 g kg^{-1} MS más de proteína en la época seca que en nortes y lluvias, respectivamente. La disminución de proteína en los dos tipos de pradera en el período lluvioso del año, posiblemente se debió a su mayor crecimiento de la planta inducido por las mayores precipitaciones, lo que ocasionó una dilución de proteína con el aumento en biomasa de la pradera. Este fenómeno de dilución de la proteína ha sido explicado en pastos tropicales⁽²¹⁾, y consiste en la disminución de la concentración de proteína por unidad de materia seca acumulada en la planta durante su crecimiento.

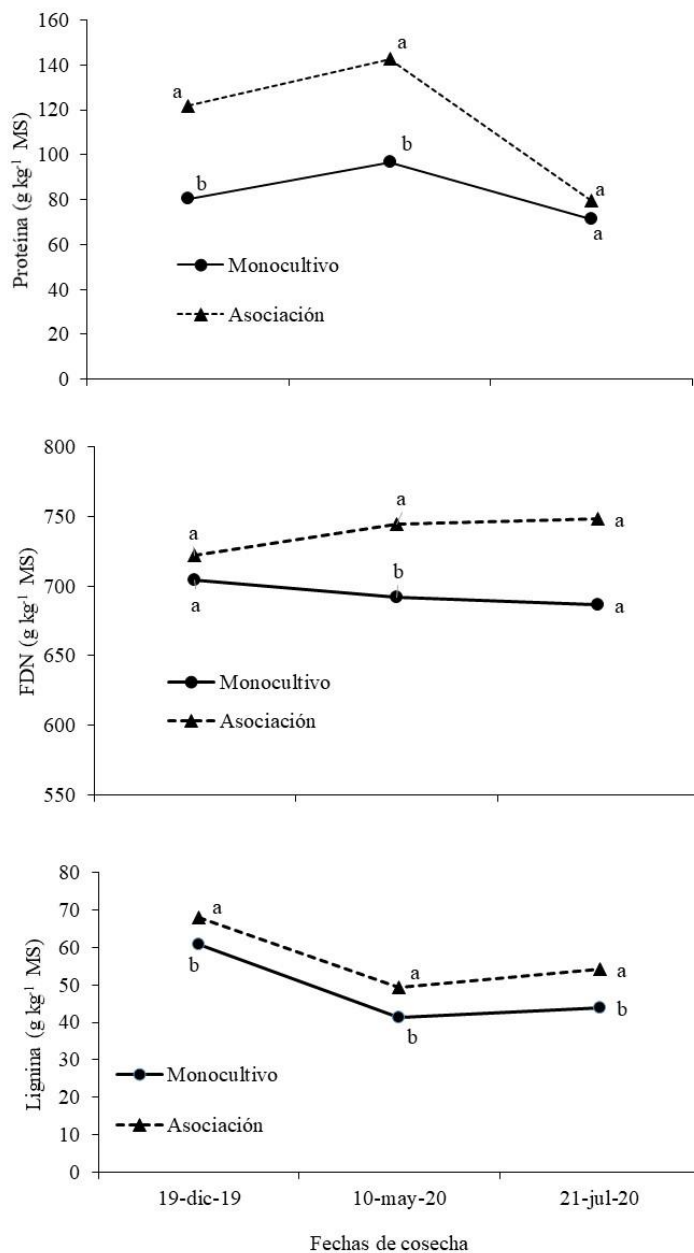
La interacción fecha de cosecha x tipo de pradera para la FDN (Cuadro 2) se registró en la época seca del año (10-mayo-20), por presentar mayor concentración la pradera asociada y no haber diferencias entre ambas praderas en las dos épocas del año restantes. En la época seca la pradera asociada registró 52.8 g kg^{-1} de MS más FDN que en la pradera en

monocultivo. En las épocas de nortes y lluvias, no hubo diferencias en concentración de FDN entre los dos tipos de pradera, registrándose valores promedio de 713.3 y 717.3 g kg⁻¹ de MS para el 19-dic-19 y 21-jul-20, respectivamente (Figura 2). Entre fechas de cosecha o épocas del año, tanto la pradera de mombaza en monocultivo como asociada con kudzú, la concentración de FDN no registró cambios (Cuadro 3). A lo largo del período de estudio la pradera en monocultivo promedió 694.2 g kg⁻¹ de MS y la pradera asociada 738.5 g de FDN.

Dada la ausencia de interacción fecha de cosecha × tipo de pradera para la concentración de lignina (Cuadro 2), las mayores concentraciones a lo largo del período de estudio se registraron en la pradera de mombaza-kudzú (Figura 2). Esta pradera asociada registró 7.0, 8.2 y 10 g kg⁻¹ de MS más lignina que la pradera en monocultivo para la época de nortes, seca y de lluvias, respectivamente. La mayor concentración de lignina en la pradera asociada es el resultado de la alta concentración de lignina registrada en kudzú, registrando un valor promedio de las tres épocas del año de 89.5 g kg⁻¹ de MS (Cuadro 4). Estos altos valores de lignina coinciden con otro estudio⁽²²⁾ en donde se evaluó el valor nutritivo del kudzú a diferentes edades para consumo animal, teniéndose como resultado que a los 40 días de edad el kudzú registraba concentraciones promedio de 90 g kg⁻¹ de MS, siendo menor la concentración de lignina antes de los 40 días.

Variaciones en concentración de lignina entre fechas de muestreo se observaron en ambos tipos de pradera. Tanto en la pradera en monocultivo como en asociación, la concentración de lignina fue mayor en nortes, y fue semejante en las épocas seca y de lluvias (Cuadro 3). Esta mayor concentración en nortes, se debió a la favorable disponibilidad de agua en el suelo lo que probablemente propició un aumento en el número de tallos de las plantas, pero con lento crecimiento por las temperaturas mínimas durante esta época. Los tallos con lento crecimiento aceleran el proceso de lignificación de los órganos vegetativos⁽²³⁾. La pradera en monocultivo registró 18.3 g kg⁻¹ de MS más de lignina en nortes con respecto al valor promedio (42.4 g) de las épocas seca y de lluvias. Además, la pradera asociada registró 16 g más de lignina en nortes que el promedio (51.7 g) registrado en las épocas seca y de lluvias.

Figura 2: Concentración de proteína, fibra detergente neutro (FDN), y lignina de una pradera de mombaza en monocultivo, y de la asociación mombaza + kudzú, a la edad de rebrote de 42 días después del pastoreo en tres fechas de muestreo, representativas de las épocas de nortes (19-dic-19), seca (10-may-20) y lluvias (21-jul-20).



Letras diferentes dentro de una fecha, indican diferencias estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Cuadro 4: Proteína cruda, fibra detergente neutro (FDN) y lignina del kudzú de la asociación, a la edad de rebrote de 42 días en tres fechas de cosecha diferentes

Fechas de muestreo	Proteína	FDN g kg⁻¹ MS	Lignina
19 de diciembre 2019	152.4 ^a	667.7 ^{ab}	89.4 ^a
10 de mayo 2020	144.9 ^b	663.5 ^b	88.6 ^a
21 de julio 2020	141.4 ^b	679.7 ^a	90.4 ^a
Media	146.2	670.3	89.5
	GL	Cuadrados medios	
Fecha de cosecha	2	93.65**	210.68*
			2.44 NS

GL= grados de libertad.

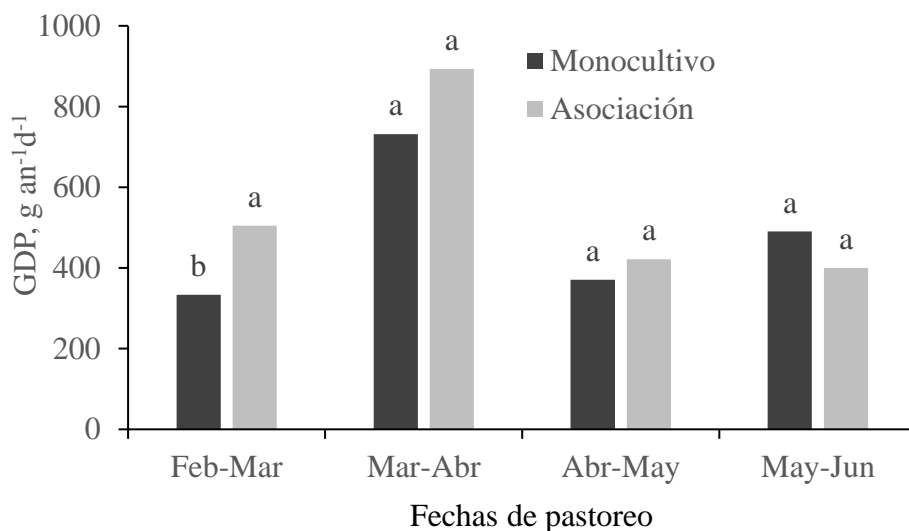
^{ab} Promedios con letra distinta dentro de una columna son diferentes ($P \leq 0.05$); *, **, *** Nivel de significancia al 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente. NS= no significativo.

Ganancia diaria de peso del animal (GDP)

Los cambios en valor nutritivo y en rendimiento de forraje disponible con el progreso de las épocas del año fue reflejado en la GDP de las becerras en pastoreo (Figura 3). En el ciclo de pastoreo febrero-marzo la GDP fue diferente ($P \leq 0.05$) entre los dos tipos de pradera, registrándose ganancias de 333 y 504 g animal⁻¹ día⁻¹ para las praderas en monocultivo y en asociación, respectivamente. En el siguiente ciclo de pastoreo, en los meses de marzo a abril, no hubo diferencias en ganancia de peso ($P > 0.05$), pero el promedio de ambas praderas fue alto con 813 g animal⁻¹ día⁻¹. En los dos ciclos posteriores abril-mayo y mayo-junio la GDP declinó en 416 y 367 g animal⁻¹ día⁻¹, respectivamente y en promedio de los dos tipos de pradera. Esta variabilidad fue atribuida a diferencias en calidad del forraje, principalmente. De marzo a principios de mayo, las praderas registraron un incremento en concentración de proteína, y una disminución en la concentración de lignina (Cuadro 3). Este aumento en los valores de la composición química posiblemente fue producto del aumento de temperatura y la disponibilidad favorable de humedad del suelo sobre todo en marzo y abril, ya que, en estas zonas, los suelos aún mantienen suficiente humedad hasta el mes de abril, lo que pudo inducir al aumento de rebrotes o formación de nuevas plantas jóvenes con mayor valor nutritivo. En el ciclo mayo-junio, a pesar del incremento elevado de la producción de forraje, gracias al aumento de la precipitación pluvial (200 mm más que en ciclo anterior; Cuadro 1), las becerras mantuvieron una baja GDP (445 g animal⁻¹ día⁻¹). Esto se relacionó con un decremento en la concentración de proteína (Figura 3), y un aumento en la FDN (Cuadro 4). Con estos cambios en la composición química de la pradera, puede deducirse que la mayor producción de forraje ocurrida en este último ciclo de pastoreo, estuvo compuesta principalmente por tallos; es decir, por una disminución en la relación hoja/tallo, como se ha observado en otros estudios^(24,25). Pero también, pudo ser una consecuencia del empobrecimiento en proporción de la leguminosa en la pradera con el avance del tiempo. Solo en el primer ciclo de pastoreo (época de nortes), la pradera mombaza-kudzú registró la

mayor GDP de las becerras con un valor de 171 g día⁻¹ más que las que pastoreaban la pradera de mombaza en monocultivo. Esto se debió al mayor RMS de kudzú registrado en el mes de febrero (728.4 kg ha⁻¹), que en abril (561 kg) o mayo (335 kg). En los ciclos restantes no hubo diferencias en GDP entre los dos tipos de pradera (Figura 3). La ganancia total promedio por animal para la pradera asociada fue de 80.26 kg vs 70.08 kg de la pradera en monocultivo; sin embargo, esta diferencia no fue importante ($P>0.05$).

Figura 3: Ganancia diaria de peso (GDP) de becerras pastoreando mombaza en monocultivo y asociado con kudzú en cuatro fechas de pastoreo



Conclusiones e implicaciones

La asociación mombaza-kudzú registró mayor estabilidad de producción de materia seca a lo largo del período experimental y mayor concentración de proteína con respecto a la pradera de mombaza en monocultivo durante la época de nortes y en la época seca, no así en la época de lluvias. La concentración de fibra detergente neutro fue semejante en nortes y en lluvias entre los dos tipos de pradera, y la concentración de lignina se mantuvo superior en la asociación en las tres épocas del año. Los resultados favorables en rendimiento y concentración de proteína de la pradera asociada se reflejaron en la mayor ganancia diaria de peso de los animales al término de la época de nortes (febrero-marzo).

Agradecimientos


Los autores agradecen al INIFAP por su apoyo financiero, a través de recursos fiscales, para el desarrollo del proyecto “Potencial forrajero y producción animal en pastoreo en praderas asociadas gramínea-leguminosa en el trópico de México”, del cual surgió la presente investigación.

Literatura citada:


1. Pardo-Aguilar N, Bolaños-Aguilar ED, Lagunes-Espinoza LC, Enríquez-Quiroz JF, Fragoso-Islas A. Efecto de una asociación pasto-leguminosa en el rendimiento de materia seca y concentración de proteína de la pradera fertilizada con fósforo. *Agro Product* 2020;13(7):53-60.
2. Reyes-Purata A, Bolaños-Aguilar ED, Hernández-Sánchez D, Aranda-Ibañez EM, Izquierdo-Reyes F. Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos del pasto *Brachiaria humidicola*. *Rev Univ y Cienc* 2009;25(3):213-224.
3. Mayberry DA, Hatcher S, Cowley F. New skills, networks and challenges: the changing face of animal production science in Australia. *Anim Prod Sci* 2021;(61):201-207.
4. García A, Hernández A, Quero A, Guerrero J, Ayala W, Zaragoza J, Trejo C. Persistencia de *Dactylis glomerata* L. solo y asociado con *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. *Rev Mex Cienc Agríc* 2017;7(4):885-889.
5. Domínguez-Pérez D, Bolaños-Aguilar ED, Lagunes-Espinoza LC, Salgado-García S, Ramos-Juárez J, Guerrero-Rodríguez JD. Rendimiento de materia seca y concentración de fósforo de una asociación *Brachiaria humidicola*-*Stylosanthes guianensis*. *Rev Mex Cienc Agríc* 2017;8(8):1705-1717.
6. Lüscher A, Mueller-Harver I, Soussana JF, Rees RM, Peyraud JL. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass Forage Sci* 2014;(69):206-228.
7. Yates RJ, Harrison RJ, Loi A, Steel EJ, Edwards TS, Nutt BJ, Porqueddu C, Gresta F, Howieson JG. Sourcing *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* strains from Mediterranean centers of origin to optimize nitrogen fixation in forage legumes grown on acid soils. *Grass Forage Sci* 2021;76(1):33-43.
8. Zuppinger-Dingley D, Schmid B, Petermann JS, Yadav V, De Deyn GB, Flynn DFB. Selection for niche differentiation in plant communities increases biodiversity effects. *Nature* 2014;515(7525):108-111.
9. Prieto I, Violle C, Barre P, Durand JL, Ghesquiere M, Litrico I. Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands. *Nat Plants* 2015;(10):1038.
10. Olivera Y, Machado R, Ramírez F, Castañeda L. Evaluación del establecimiento de una colección de accesiones de *Brachiaria brizantha* asociadas con *Stylosanthes guianensis* CIAT-184. *Pastos y Forrajes* 2012;(35):153-164.

11. Ramírez-Restrepo CA, Vera RR. Bodyweight performance estimated carcass traits and methane emissions of beef-cattle categories grazing *Andropogon gayanus*, *Melinis minutiflora* and *Stylosanthes capitata* mixed swards and *Brachiaria humidicola* pasture. Anim Prod Sci 2019;(59):729-740.
12. Toledo JM, Schutze-Kraft R. Metodología para evaluación agronómica de pastos tropicales. Toledo JM (Ed.). Manual para la evaluación agronómica. Cali, Colombia. CIAT; 1982:91-110.
13. Horwitz W, Latimer GW. Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition, Association of official Analytical Chemistry International. Gaithersburg, Maryland, USA; 2005.
14. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant; LTTIECA and London: Comstock Publishing Associates, Cornell University Press; 1994.
15. SAS Institute. User's Guide: Statistics, version 9.3. SAS Inst. Inc. Cary, N. C. USA; 2010
16. Sleugh B, Moore KJ, George R, Brummer EC. Binary legume-grass mixture improve forage yield, quality and seasonal distribution. Agron J 2000;92(1):24-29.
17. Tilman D, Reich PB, Knops JMH. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. Nature 2006;(441):629-632.
18. Rasmussen J, Soegaard K, Pirhofer-Walzl EJ. N₂-fixation and residual N effect of four legumes species and four companion grass species. Eur J Agron 2012;36(1):66-74.
19. Portillo LPA, Meneses HB, Lagos BE, Duter EN, Castro RE. Valor nutritivo de mezclas forrajeras en épocas seca y de lluvias en Nariño, Colombia. Agron Mesoam 2021;32(2):556-572.
20. García-Ferrer L, Bolaños-Aguilar ED, Ramos-Juárez J, Osorio-Arce M, Lagunes-Espinoza LC. Rendimiento y valor nutritivo de leguminosas forrajeras en dos épocas del año y cuatro edades de rebrote. Rev Mex Cienc Pecu 2015;6(4):453-468.
21. Juárez-Hernández J, Bolaños-Aguilar ED, Vargas-Villamil LM, Medina S, Martínez-Hernández PA. Curvas de la dilución de la proteína en genotipos del pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. Rev Cub Cienc Agríc 2011;45(3):321-331.
22. Akoutey AM, Kpodekon T, Bannelier C, Gidenne T. Nutritive value of sun-dried *Pueraria phaseoloides* for rabbits under tropical conditions. World Rabbit Sci 2012; (20):209-213.
23. Borrás L, Maddonni GA, Otegui ME. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. Field Crops Res 2003;(82):13-26.

24. Bolaños-Aguilar ED, Émile JC. Efecto de la distancia entre surcos y densidad de siembra en el rendimiento y calidad del forraje de sorgo. *Rev Mex Cienc Pecu* 2013;4(2):161-176.
25. Wade RN, Seed P, McLaren E, Wood E, Christin PA, Thompson K, Rees M, Osborne CP. The morphogenesis of fast growth in plants. *New Phytologist* 2020;228(4):1306-1315.



Características de las curvas de lactación en ovejas y factores que influyen en su variación: Revisión



Gabriela Castillo-Hernández ^a

Ana Erika Ochoa-Alfaro ^b

Manuel Antonio Ochoa-Cordero ^c

Jorge Alonso Maldonado Jáquez ^d

Glaforo Torres-Hernández ^{a*}

^a Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Programa de Ganadería. 56264, Montecillo, Edo. de México. México.

^b Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Química. San Luis Potosí. México.

^c Iniciativa Privada. San Luis Potosí. México.

^d Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Laguna. Coahuila. México.

* Autor de correspondencia: glathe@colpos.mx

Resumen:

Los programas de mejoramiento genético de las razas de ovejas lecheras han respondido a una creciente demanda y popularidad del mercado, especialmente para quesos elaborados con leche de oveja. Estos derivados de la leche son una fuente importante de sustancias bioactivas para la salud humana. Por lo tanto, el conocimiento de la producción de leche (PRODL) es muy importante y los factores que influyen en su variación. El patrón típico de la PRODL durante el período que una oveja está lactando se conoce como curva de lactación (CL), y éstas pueden ser típicas (CLT) o atípicas (CLA). Las CLT se caracterizan por alcanzar

una PRODL máxima (pico de lactación, PL) a los pocos días después del parto, y posteriormente disminuye gradualmente hasta llegar al final de la lactación, o secado. Las CLA son aquellas que muestran alguna desviación del patrón normal. Es importante conocer la representación gráfica del comportamiento de la lactación, ya que, además de predecir la PRODL, permite identificar problemas de salud y alimentación, así como la posibilidad de seleccionar hembras que sobresalen en la PRODL. La persistencia de la lactación (PER) se ha definido como la tasa de disminución en la PRODL después de que se alcanzó el PL, y es muy deseable que las ovejas tengan una alta PER. Se han desarrollado modelos matemáticos para el estudio de las CL y PER. Existen factores genéticos y ambientales que influyen en las CL.

Palabras clave: Razas de ovinos, Producción de leche, Curvas típicas, Pico de lactación, Persistencia.

Recibido: 11/09/2023

Aceptado: 30/07/2024

Introducción

En los últimos 150 años la selección genética y las mejoras en el manejo han llevado a mejorar las razas de ovinos para producción de leche (PRODL), respondiendo a una creciente demanda y popularidad del mercado, especialmente para quesos elaborados con leche de oveja⁽¹⁾. En la actualidad se estima que existen 1,000 millones de ovejas en el mundo⁽²⁾, donde las principales áreas de cría se ubican dentro de las latitudes 35-55 grados norte en Europa y Asia, así como entre 30 y 45 grados sur en América del Sur, Australia y Nueva Zelanda⁽³⁾. Los productos derivados de la leche de oveja, como quesos, requesón, yogurt, etc., constituyen la dieta típica de los productores⁽⁴⁾ y son una fuente importante de sustancias bioactivas que benefician la salud humana⁽⁵⁾. Se han descrito alrededor de 1,500 razas de ovinos y, de éstas, por su fin zootécnico (leche), solamente 180 se identifican como razas de ordeño, aun cuando muchas son razas locales utilizadas para producción de carne, lana y leche, donde la leche no es el producto de interés principal⁽⁶⁾. Las razas de ovejas lecheras más importantes en el mundo son: East Friesian⁽⁷⁾, Lacaune⁽⁸⁾, Chios⁽⁹⁾, Sarda⁽¹⁰⁾, y Manchega⁽¹¹⁾, entre otras.

El nivel productivo de la oveja es la característica económica más importante en el rebaño, debido a que representa información utilizada en la estimación de índices biológicos que faciliten las decisiones de selección en programas de mejora genética⁽¹²⁾. Por tanto, uno de los criterios más importantes para evaluar la productividad de las hembras es la PRODL, ya

que afecta de manera directa la eficiencia del sistema de producción y tiene efectos muy importantes en la rentabilidad de la granja⁽¹³⁾. Por lo anterior, el conocimiento del comportamiento de la curva de lactación (CL) es muy importante, ya que permitirá planear de manera adecuada los programas de manejo general y de mejoramiento genético. El objetivo de la presente revisión es describir las características principales de las CL y mencionar qué factores influyen en su variación. En esta revisión se han incluido estudios realizados en ovejas; no obstante, la gran mayoría de los estudios en la literatura científica que abordan este tema están enfocados a describir las CL en bovinos lecheros.

Definición de curva de lactación

La PRODL durante el periodo de lactación en mamíferos y rumiantes domésticos es el resultado de procesos fisiológicos desarrollados por células especializadas de la glándula mamaria, las cuales sintetizan y secretan compuestos orgánicos e inorgánicos a través de filtración sanguínea activa y pasiva⁽¹⁴⁾. La PRODL comienza cuando la gestación está por concluir mediante la expansión del tejido de la glándula mamaria, y finaliza cuando el volumen de la glándula mamaria disminuye, debido a la regresión secretora que finaliza con el cese de la lactación, o secado⁽¹⁵⁾. Todos estos mecanismos fisiológicos dan como resultado un patrón típico de PRODL a lo largo del tiempo conocido como “curva de lactación” (CL), que se puede definir como la representación gráfica del periodo de tiempo en que tiene lugar la PRODL, aunque también se expresa como una función fisiológica continua que describe la secreción de leche con el transcurso del tiempo⁽¹⁶⁾. Según el criterio de algunos autores⁽¹⁷⁾, y tomando como ejemplo las ovejas lecheras Assaf, la lactación se puede dividir en tres periodos: lactación temprana, la cual considera el periodo del parto hasta el mes 2, lactación media, que abarca del mes 3 al 7, y lactación tardía, a partir del mes 8 y hasta el secado.

Importancia de conocer las curvas de lactación

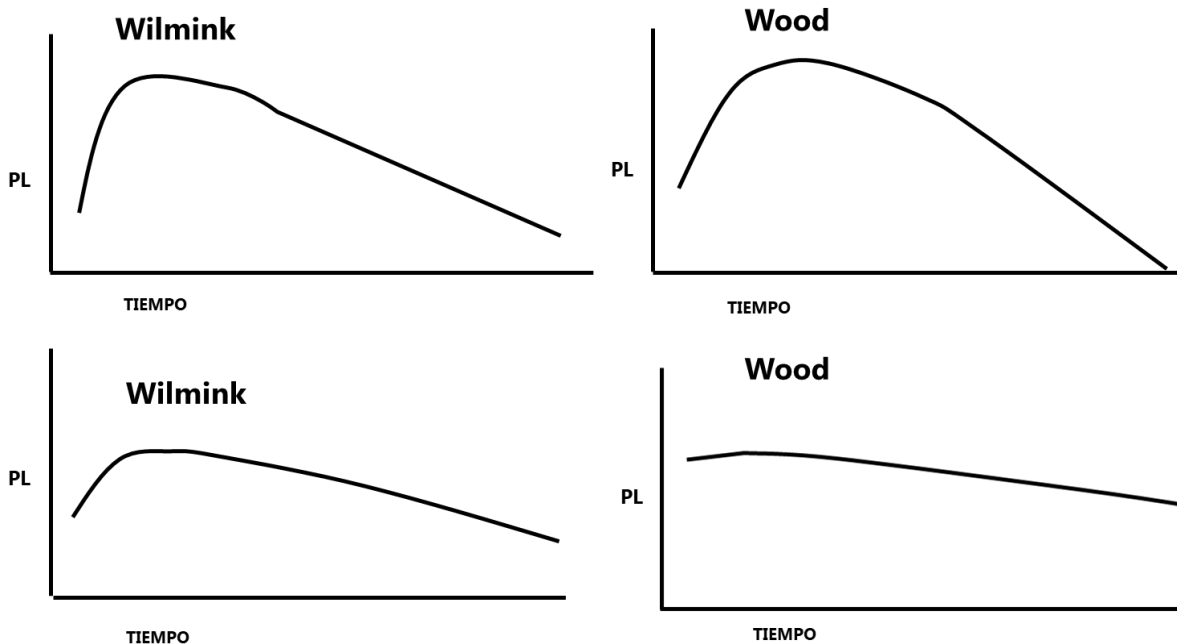
El conocimiento de una CL permite predecir la producción total de leche⁽¹⁸⁾, las características propias de la curva (tratadas más adelante) y, finalmente, el desempeño futuro de los animales reproductores (bovinos, ovinos, caprinos), o de su progenie⁽¹⁹⁾. Además, al entender el comportamiento de la forma de las CL, es posible tomar decisiones en el rebaño sobre aspectos como nutrición, sanidad y administración. Sobre todo, es útil para identificar y seleccionar ovejas superiores en PRODL, lo cual hace de estas curvas un conocimiento valioso para los productores⁽²⁰⁾.

Tipos de curvas de lactación

Por su forma, existen dos tipos de CL: típicas (CLT) y atípicas⁽²¹⁾ (CLA). Una CLT llega a su producción máxima de leche (pico de producción, pico de lactación, PL) a los pocos días

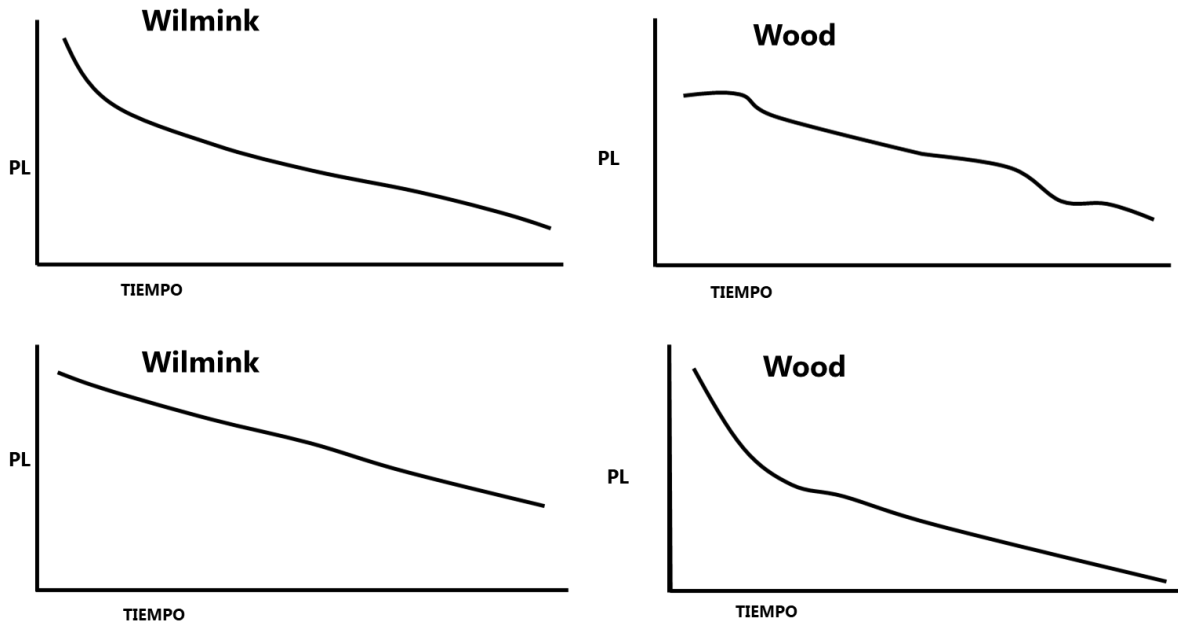
después del parto (2-6 semanas), y posteriormente muestra una disminución constante hasta llegar a la etapa del secado, o final de la lactación⁽²²⁾. El patrón típico de una CL (Figura 1) es regular y continuo, y constituye la expresión de los mecanismos fisiológicos a partir del inicio de la PRODL⁽²³⁾. Una CLA es aquella representada por ligeras desviaciones de la CLT; por ejemplo, debido a la presencia o ausencia de un punto de inflexión en la parte decreciente de la lactación; otras decrecen de manera continua y carecen del PL⁽²⁴⁾, tal como se muestra en la Figura 2, y son representadas por desviaciones del patrón regular, lo que se puede atribuir a varios factores como la nutrición, el estado de salud del animal, y perturbaciones ambientales⁽²³⁾. Por ejemplo, en el modelo de Wood⁽²⁵⁾, una característica que diferencia las CLT de las CLA consiste en que los parámetros “b” y “c” son positivos en las CLT, mientras que en las CLA estos parámetros son negativos⁽²⁶⁾.

Figura 1: Esquematación de curvas de lactación típicas, de acuerdo con los modelos de Wilmink y Wood



Adaptado de Palacios Espinosa *et al*⁽²¹⁾

Figura 2: Esquematación de curvas de lactación atípicas, de acuerdo con los modelos de Wilmink y Wood



Adaptado de Palacios Espinosa *et al*⁽²¹⁾

Las CLT (normales) se caracterizan por tener un número determinado de parámetros, dependiendo de la función matemática y su relación con características como: el inicio de la PRODL, el PL y la persistencia (PER). Siguiendo con el modelo de Wood⁽²⁵⁾, los parámetros que describen la curva son “a”, “b” y “c”. El parámetro “a” está relacionado con la PRODL inicial después del parto, “b” significa el aumento temprano de la PRODL hasta alcanzar el PL, y “c” describe la tasa de disminución en la PRODL hasta el secado⁽²⁷⁾.

Etapas (fases) de una curva de lactación

Las etapas típicas de una CL son: un aumento gradual inicial a partir del parto, hasta llegar a un punto de producción máxima de leche que representa el PL, que ocurre dentro de los primeros días posteriores al parto (o días en leche), generalmente en el rango entre 2 y 6 semanas y que es, además, un criterio utilizado en la selección de hembras reproductoras⁽²⁸⁾. Posteriormente inicia la fase decreciente hasta llegar al cese de la PRODL, o secado del animal, en donde la PRODL es mínima. El secado, en razas de ovejas lecheras como la East Friesian, generalmente se lleva a cabo entre 180 y 210 días, y en casos excepcionales puede llegar hasta 260 días⁽²⁹⁾. Debe tenerse mucho cuidado con el método utilizado para llevar a cabo el secado del animal, debido a la posibilidad de que se presenten infecciones en la glándula mamaria, como mastitis^(30,31). El secado puede ser abrupto: suspender el ordeño en

un día determinado, o bien, gradual: reducir la frecuencia del ordeño en días, o semanas⁽³²⁾. En vacas lecheras se han recomendado algunas prácticas de manejo para llevar a cabo el secado^(33,34), las que también podrían ponerse en práctica en ovejas. Al final se tiene una CL que representa, de manera gráfica, la PRODL total, misma que se puede estimar a partir del área bajo la curva, definida como la cantidad total de leche producida durante toda la lactación y que está determinada por la forma de la curva⁽³⁵⁾.

Modelos de curvas de lactación

Los primeros modelos matemáticos para caracterizar CL fueron desarrollados en estudios de vacas lecheras; sin embargo, varios de estos también se han utilizado para caracterizar CL de ovejas y cabras. Estos modelos se clasifican en a) empíricos y, b) mecanicistas. En relación a la lactación, los modelos empíricos están basados en datos reales de PRODL; por ejemplo, registros del día de prueba, mientras que los modelos mecanicistas se basan en la biología de la lactación; por ejemplo, el crecimiento y regresión de la glándula mamaria, o el flujo de nutrientes⁽³⁶⁾. Dicho de otra manera, la teoría del modelo empírico se refiere al nivel de la realidad en la que se expresa el fenómeno considerado, mientras que el mecanicista se caracteriza por un supuesto teórico más profundo⁽³⁷⁾. Describir y discutir estos modelos no es un objetivo de la presente revisión. Por tanto, y sólo para fines ilustrativos, en los Cuadros 1 y 2 se muestran ejemplos de modelos empíricos y mecanicistas, respectivamente.

Cuadro 1: Ejemplos de modelos empíricos y sus parámetros utilizados en curvas de lactación de ovejas, expresados en función del tiempo (t)

Modelo	Parámetros	Autor(es)
$Y = ae^{-bt}$	2	Brody <i>et al.</i> (1923)
$Y_t = at^b \exp(-ct)$	3	Wood (1967)
$Y_t = a - bt - a \exp(-ct)$	3	Cobby & Le Du (1978)
$Y_t = at^{bc} \exp(-ct)$	3	Dhanoa (1981)
$Y_t = a + bt + c \exp(-wt)$	4	Wilmink (1987)
$Y_t = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3 \log(1/t) + a_4 \log(1/t)^2$	5	Ali & Schaeffer (1987)
$Y_t = \sum [a_1 b_1 [1 - \tanh^2(b_1(t - c_1))]]$	3 por fase	Grossman & Koops (1988)

$Y_t = \exp(a + bt + ct^2 + d/t)$	4	Morant & Gnanasakthy (1989)
$Y_t = a_1 b_1 (\tanh^2(b_1(t - c_1))) + a_2 b_2 (1 - \tanh^2(b_2(t - c_2)))$	6	Gipson & Grossman (1989)
$Y_t = at^{b \exp(-ct)}$	3	Cappio-Borlino <i>et al.</i> (1995)
$Y_t = t/a + bt + ct^2$	3	Nelder (1996)
$Y_t = \sum_{i=1}^n \alpha_i P_j$	5	Brotherstone <i>et al.</i> (2000)

Adaptado de Bilgin *et al.*⁽³⁸⁾ y Macciotta *et al.*⁽³⁷⁾

Cuadro 2: Ejemplos de modelos mecanicistas y sus parámetros utilizados en curvas de lactación de ovejas

Modelo	Parámetros	Autor(es)
$\int_0^{t_L} R_M(t) dt.$	14	Neal & Thornley (1983)
$dY/dt = a \{ \exp[-\exp(G_0 - bt)] \} [\exp(-ct)]$	4	Emmans & Fisher (1986)
$Y_t = a \exp^{[b(1-\exp(-ct))/c - dt]}$	4	Dijkstra <i>et al.</i> (1997)
$Y_t = a \{ 1/[1+(1-b)/b \exp^{-cn}] - 1/[1+(1-d)/d \exp^{-gn}] \}$	5	Pollot (2000)
$I = SE^L (de^{-k_2 t} + I_6 e^{w_6 t} + I_7 e^{w_7 t})$	8	Vetharanim <i>et al.</i> (2003)

Fuente: Neal & Thornley⁽³⁹⁾, Friggens *et al.*⁽⁴⁰⁾, Adediran *et al.*⁽⁴¹⁾, Vetharanim *et al.*⁽⁴²⁾.

Para llevar a cabo programas de mejoramiento genético de la CL se requiere conocer la magnitud de la varianza genética aditiva de los parámetros de las CL. Con base en lo anterior, se han llevado a cabo algunos estudios en ovejas para estimar la heredabilidad (h^2) de los parámetros de la CL. Pollot y Gootwine⁽⁴³⁾ encontraron en ovejas mejoradas Awassi valores bajos de la varianza genética aditiva para el PL y día en que ocurre el PL (DPL), resultando valores de h^2 de 0.11 para PL y de 0.032 para DPL, explicando los autores que estos resultados indican que factores ambientales ejercen un efecto mayor en la manifestación de estos parámetros. En los EEUU, un grupo de investigadores⁽²⁰⁾ analizó primeras lactaciones

de cruza de ovejas Dorset, Romanov, Targhee, Rideau Arcott, Polypay, Booroola Merino, Suffolk, Rambouillet, Finnsheep y East Friesian para investigar la variación genética de parámetros de la CL usando un análisis Bayesiano del modelo de Wood⁽²⁵⁾. Los valores obtenidos de h^2 de los parámetros “a”, “b”, y “c” fueron 0.35, 0.35, y 0.27, respectivamente, por lo que estos autores concluyeron que parte de la variación en curvas de lactación entre ovejas es heredable. En otro estudio con ovejas Yankasa⁽⁴⁴⁾, y también con el modelo de Wood⁽²⁵⁾ se encontraron valores de h^2 de 1.4, 0.3, y 0.2, en los parámetros “a”, “b”, y “c”, respectivamente. Con respecto al valor irregular del parámetro “a”, estos autores explicaron que dicho valor pudo estar sujeto a grandes errores de muestreo y, además, sobrestimado, debido a la participación de efectos genéticos no aditivos. Revisando la magnitud de los estimadores de h^2 en los anteriores estudios, se infiere que, en virtud a que se encuentran en el rango bajo-medio, se podría esperar una respuesta positiva a la selección de CL en ovejas.

Persistencia de la lactación

Una fase de la lactación estrechamente relacionada con la CL es lo que se conoce como “persistencia de la lactación” (o de la producción de leche, PER), que inicialmente se definió como “la tasa de secreción láctea que indica el valor inicial al parto y su cambio con el avance de la lactación”⁽⁴⁵⁾, y cuya primer medida numérica fue dada, en bovinos, como un porcentaje de la PRODL en el mes previo”. Posteriormente, se definió como⁽⁴⁶⁾: “una función del aplanamiento de la CL”; es decir, una hembra tiene mayor PER cuanto más aplanada sea su CL. Un año más tarde se publicó en la literatura otra definición⁽⁴⁷⁾: “la capacidad de mantener el nivel de PRODL durante la lactación” y que se puede extender a los componentes de la leche, entre los que se encuentran la grasa y proteína. Finalmente, con otro enfoque⁽⁴⁸⁾, se dijo que la PER es: “la tasa de disminución en la PRODL después de haber alcanzado el PL”.

La mayor parte de la información sobre PER de la lactación, en especial modelos matemáticos, proviene de especies mayores, en particular de bovinos lecheros⁽³⁷⁾. Sin embargo, en estudios con ovejas lecheras, la PER se ha estudiado con el mismo enfoque del ganado vacuno lechero^(49,50). Bajo este escenario, la PER tiene un impacto importante en bovinos lecheros, ya que tiene beneficios tanto en los costos de alimentación⁽⁵¹⁾, como en aspectos reproductivos⁽⁵²⁾. Por lo tanto, la tendencia actual en la PRODL en bovinos es mejorar la PER y extenderla, en lugar de incrementar la PRODL en el PL⁽⁵³⁾, lo que se aplica también a ovejas y cabras.

Modelos de persistencia de la lactación

Para medir la PER se han propuesto diferentes criterios⁽³⁵⁾, lo que involucra el uso de diferentes modelos matemáticos. Sin embargo, al igual que en el caso de los modelos de CL, describir y discutir modelos de PER no es un objetivo de esta revisión. Por tanto, para fines

ilustrativos, en el Cuadro 3 se muestran algunos modelos matemáticos que se han planteado en bovinos, de acuerdo a la definición de PER.

Cuadro 3: Algunos modelos matemáticos y sus parámetros para medir persistencia de la lactación en vacas lecheras

Modelo de persistencia	Referencia
$P = (3 + 4 + 5th\ months\ yield) - (7 + 8 + 9th\ months\ yield) / 12$ $P = Total\ yield\ (sum\ of\ 7\ months) / milk\ yield\ of\ last\ 3\ months$	Ludwin (1942)
$P = \sum (\gamma_i - S_i) \times (d_i - d_0)$	Cole & VanRaden (2006)
$P = EBV_{290} - EBV_{90}$	Cobuci <i>et al.</i> (2007)
$P = \sum_{i=61}^{300} EBV - 240 \times EBV_{60}$	Harder <i>et al.</i> (2006)
$P = \sum_{i=61}^{305} EBV - 245 \times EBV_{60}$ $P = (milk_{270} / milk_{90}) \times 100$	DeRoos <i>et al.</i> (2001)
$P = (milk_{225} / milk_{45}) \times 100$ $P = \left(\sum_{i=1}^{150} milk / maximum\ milk\ yield \right) \times 100$	Weller <i>et al.</i> (2006)
$P = 305\ day\ milk\ yield / the\ first\ 50\ day\ milk\ yield$	Yilmaz & Koc (2013)
$P = maximum\ milk\ yield / average\ milk\ yield$	Atashi <i>et al.</i> (2006)
$P = EBV_{280} / EBV_{65}$ $P = \sum_{i=66}^{280} EBV / \sum_{i=5}^{65} EBV$	Togashi & Lin (2004)
$P = ((EBV_{280} - EBV_{60}) + Y_{280}) / Y_{60} * 100$	Mostert <i>et al.</i> (2008)
$P = \sum_{i=61}^{280} milk_{280} - milk_{60}$	Jamrozik <i>et al.</i> (1997)

$P = 1/55 \sum_{i=255}^{i=350} \text{milk yield}_i - 1/21 \sum_{i=50}^{i=70} \text{milk yield}_i$	Kistemaker (2003)
$P = \sum_{i=101}^{200} \text{milk} / \sum_{i=1}^{100} \text{milk} \quad P = \sum_{i=201}^{305} \text{milk} / \sum_{i=1}^{100} \text{milk}$ $P = \sum_{i=1}^{100} \text{milk} / (\text{MAX} \sum_{i=1}^{100} \text{milk} \times 200)$	Johansson & Hansson (1940)
$P = \sum_{DIM=60}^{279} D_{DIM} - D_{280} \quad P = EBV_{280} - EBV_{60}$	Jakobsen <i>et al.</i> (2002)
$P = -(b + 1)1n c$	Wood (1970)
$P = 100 (1 + 2\gamma_i)$	Kamidi (2005)

Fuente: Torshizi *et al.*⁽⁵⁴⁾

Como en el caso de las CL, también se han llevado a cabo estudios en ovejas para estimar la h^2 de la PER, aunque para este parámetro, en menor número en comparación con vacas lecheras. Para estimar la h^2 de la PER, un grupo de investigadores en Grecia⁽⁵⁵⁾ utilizó ovejas lecheras Sfakia utilizando los métodos PLM2:PLM1 (PRODL mes 2:PRODL mes 1), PLM3:PLM1 (PRODL mes 3:PRODL mes 1), PLM4:PLM1 (PRODL mes 4:PRODL mes 1), MA (medida de la disminución de la PRODL de una oveja relativa al nivel de PRODL en la lactación temprana, en porcentaje), y CV (medida asociada con la variación de las PRODL de una oveja en el día de prueba, en porcentaje), con resultados, respectivamente, de 0.26, 0.16, 0.14, 0.24, y 0.28. En un estudio con ovejas Awassi mejoradas⁽⁴³⁾ se estimó la h^2 de la PER, medida como la pérdida de PRODL diaria existente entre DPL y el final de la lactación, obteniendo así un valor de 0.11. Kominakis *et al.*⁽⁵⁶⁾ estimaron la h^2 de la PER en ovejas lecheras Boutsiko de Grecia, para lo cual utilizaron tres medidas de PER: $\hat{\beta}$ (mide la tasa de declinación de PRODL posterior al PL de una oveja, en kg/día), además de las medidas MA y CV (ya descritas), habiendo obtenido valores de 0.15, 0.10, y 0.13, para las medidas $\hat{\beta}$, MA, y CV, respectivamente. Al igual que con las CL, los estimadores de h^2 de la PER están en el rango bajo-medio, lo que es alentador para utilizarse en programas de selección para mejorar la PER en ovejas.

Factores que afectan la curva de lactación

Genéticos

El comportamiento de la lactación está determinado en gran parte por el genotipo del

individuo; es decir, la forma de la CL está determinada genéticamente⁽⁵⁷⁾. Un grupo de investigadores⁽⁵⁸⁾ utilizó un modelo matemático mecanicista en el proceso de secreción de la leche, basado en la teoría fisiológica de la glándula mamaria, en donde la salida del modelo puede ser una función monoexponencial o biexponencial. Utilizando 64 ovejas lecheras Sarda, la función biexponencial ajustó CL regulares ($R^2=0.87$), mientras que la monoexponencial ajustó CL decaídas ($R^2=0.80$). Los autores concluyeron que el dimorfismo de la CL no fue debido a factores ambientales (nivel de producción, tipo de nacimiento y estado de salud de la ubre), pero sí tuvo una influencia genética.

En un estudio en el que se utilizaron cruces entre varias razas de ovejas lecheras se investigó⁽²⁰⁾ la variación genética en las características de las CL usando una jerarquía Bayesiana de tres etapas: 1) se utilizó el modelo de Wood, 2) se describió la variación entre ovejas, y 3) se incluyeron las distribuciones *a priori* de todos los parámetros desconocidos. Los resultados indicaron que parte de la variación de las CL entre ovejas es heredable. Por otra parte, las correlaciones genéticas fueron negligibles, lo que sugirió que existe suficiente campo para modificar las CL por vía genética.

En ovejas Araucanas y Romney Marsh se analizó PRODL⁽⁵⁹⁾, caracterizando también sus CL y relacionando la PRODL con el crecimiento de sus corderos. Las CL en ambas razas fueron típicas; sin embargo, la PRODL en las ovejas Araucanas tuvo una fase ascendente hasta el día 30, con una producción máxima de 2.18 L día⁻¹, mientras que las ovejas Romney Marsh alcanzaron el PL el día 20 de lactación, con una PRODL máxima de 2.47 L día⁻¹.

Komprej *et al*⁽⁶⁰⁾ analizaron las CL para la PRODL diaria, y contenido de grasa y proteína en ovejas lecheras Bovec, Bovec mejorada e Istria Pramenka, estimadas con un modelo animal de repetibilidad con registros de los días de prueba. La forma de las CL para la producción diaria de leche en ovejas Bovec y Bovec mejorada ajustó bien (51.35 %) a la curva general de lactación de las ovejas lecheras. En las ovejas Istrián Pramenka la forma de la CL fue más o menos atípica, con un pico de producción menor y una PRODL diaria decreciente durante casi toda la lactación. Las formas de las CL para los contenidos de grasa y proteína fueron opuestas a las de las CL para la PRODL diaria en las tres razas.

Para analizar la PRODL y las características de la CL, se analizaron⁽⁶¹⁾ 863 registros semanales de PRODL de 70 lactaciones de seis grupos genéticos de ovejas: East Friesian (EF), Criollo (Cr), 1/2 EF x 1/2 Cr, 3/4 EF x 1/4 Cr, 1/2 Suffolk x 1/2 Cr, y Corriedale (C). Se utilizó la función de Wood (WD) para estimar la PRODL total observada (PLT^{obs}) y estimada a los 180 días (PLT^{180}), pico de lactación (PL), tiempo al pico de lactación (TPL), y PER. El grupo genético influyó de forma significativa ($P<0.05$) en la PLT^{obs} , PLT^{180} , PL y parámetro “b” del modelo de Wood, con valores superiores en las ovejas 1/2 EF x 1/2 Cr. En todos los casos, las CL fueron típicas, aunque con diferentes grados de PER. Los autores concluyeron que las diferencias en el desempeño productivo debidas al grupo genético pueden estar asociadas con la capacidad de adaptación de las ovejas EF a las condiciones climáticas locales.

Ambientales

Antes de abordar los resultados encontrados en la literatura en relación con este tipo de factores, un grupo de investigadores⁽³⁷⁾ en bovinos lecheros, indicó que los modelos lineales mixtos representan una herramienta matemática adecuada para la evaluación de efectos ambientales, siendo capaces de tomar en cuenta factores que podrían afectar cada registro del día de prueba de manera diferente. Estos autores presentaron la estructura básica de estos modelos de la manera siguiente: $y = \text{HTD} + F + \text{DIM} + L + e$; donde y : PRODL diaria; HTD: interacción entre el hato y la fecha de la prueba que toma en cuenta los efectos peculiares de una fecha específica; F : factor fijo (estación de parto, región de producción, número de parto); DIM: efecto fijo de los días en los grupos de PRODL, cuyas soluciones de cuadrados mínimos permiten generar curvas de lactación corregidas por otros efectos incluidos en el modelo; L : efecto aleatorio individual de la vaca (oveja, cabra) asociado a un componente de varianza (σ^2_L); e : efecto residual aleatorio asociado al componente de varianza σ^2_L .

En un estudio con ovejas lecheras Sarda⁽⁶²⁾ se obtuvieron CL estimadas y predichas por edad al parto, además de efectos estacionales para rendimientos de leche, grasa y proteína. Las tendencias de los efectos estacionales mostraron un pico de primavera para la PRODL, leche, grasa, y rendimiento de proteína. Los efectos estacionales en el contenido de grasa fueron muy irregulares, mientras que para el contenido de proteína fueron pequeños y constantes en el tiempo. Las CL predichas mostraron un efecto creciente de la edad al parto en todas las variables. De estos resultados, los autores concluyeron que la tendencia de los efectos estacionales en las producciones de leche dentro de rebaño-año podría ser una herramienta importante para mejorar las técnicas de manejo.

Utilizando ovejas lecheras Sarda con diferentes niveles de producción (en gramos), tipo de parto y salud de la ubre, se probó una versión no lineal modificada⁽⁶³⁾ del modelo de Wood ($y = at^{b \exp(-ct)}$). Los resultados mostraron que la versión modificada del modelo (" a "=702.3+56.2, " b "=1.29±0.09, " c "=0.133±0.013) ajustó muy bien la CL ($R^2 = 0.905$; desviación estándar residual= 145.3) con pocas iteraciones requeridas para la convergencia (<5). La producción de leche, el nivel de producción y el tipo de parto influyeron en todos los parámetros, mientras que la salud de la ubre solamente influyó en el parámetro " a ".

En un estudio con ovejas lecheras Comisana⁽⁶⁴⁾ se ajustaron datos de PRODL con el modelo de Wood y se evaluó el efecto de factores ambientales en los parámetros de la CL. Hubo una fuerte influencia de la interacción número de parto x estación de parto en los parámetros de la lactación. Las CL para las ovejas paridas en invierno tuvieron un PL más alto que las ovejas paridas en otoño. El número de parto se correlacionó positivamente con la producción al pico y negativamente con el DPL y la PER. El tipo de parto no influyó significativamente en la forma de la CL.

Con ovejas lecheras Valle del Belice se utilizaron⁽⁶⁵⁾ modelos de días de prueba para estimar la CL y analizar factores ambientales en la PRODL y en los porcentajes de grasa y proteína.

Se analizaron tres rebaños y en cada uno se formaron dos grupos de ovejas, de los cuales un grupo no recibió complemento alimenticio alguno, mientras que el otro grupo recibió 500 g día⁻¹ de un concentrado comercial. El número de parto afectó la CL para la PRODL, que fue menor y más plana para las ovejas primerizas; los efectos en los contenidos de grasa y proteína fueron más pequeños. La época de parto afectó a todas las variables. La productividad estacional tuvo el mayor efecto en la composición de la leche, lo que resultó en un desequilibrio entre porcentajes de grasas y proteínas. Los efectos de rebaño y complementación alimenticia afectaron sólo la CL para la PRODL.

En México se llevó a cabo un estudio⁽⁶⁶⁾ con ovejas lecheras cruzadas provenientes de cuatro granjas comerciales para investigar factores ambientales que influyen los parámetros de la CL, usando el modelo aditivo de Pollot de 5 parámetros. Las ovejas cruzadas fueron la progenie de East Friesian como línea paterna, y de Suffolk, Pelibuey, Blackbelly y Hampshire como línea materna. Los parámetros estimados fueron el potencial máximo de secreción de leche (MSmax), la tasa relativa de disminución en el número de células (DR), y la proporción de células del parénquima muertas al parto. Se analizaron los efectos de tipo de nacimiento, número de parto, rebaño, y época de parto en la producción total de leche (TMY), longitud de la lactación y parámetros estimados del modelo de Pollot. El rebaño tuvo un efecto significativo ($P<0.05$) en la mayoría de las variables analizadas, la TMY fue mayor ($P<0.05$) en lactaciones de parto doble que de parto simple. Las ovejas de primer parto tuvieron menor TMY que las de cuarto parto ($P<0.01$).

Así mismo, con el objetivo de caracterizar la CL de ovejas de la población lechera sintética búlgara, considerando la PRODL del día de prueba y el número de parto, se analizaron⁽⁶⁷⁾ registros de PRODL del rebaño del Instituto Agrícola-Shumen, durante el período 2009-2019. Para esto, se utilizó un modelo lineal mixto, en donde la hipótesis analítica incluyó los efectos de año y mes de lactación, número de parto, tipo de parto, día de prueba (relacionado con la CL), período de amamantamiento, efecto permanente de los cambios ambientales, valor genético del animal, y efectos ambientales residuales. Se encontró una curva típica, relativamente plana, que varió según el día de la prueba y el número de parto.

Factores climáticos como temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación son elementos ambientales que tienen influencia en el bienestar y estrés de los animales⁽⁶⁸⁾ y, además, pueden afectar diversos aspectos productivos como crecimiento, reproducción, y PRODL en rumiantes⁽⁶⁹⁾. En un estudio con ovejas lecheras Churra⁽⁷⁰⁾ estos mismos factores, además de la precipitación, afectaron la producción total y la calidad de la leche, lo cual tiene influencia directa en la CL.

En la región del Mediterráneo, se llevó a cabo un estudio⁽⁷¹⁾ para investigar el efecto del estrés calórico en la PRODL de ovejas Valle del Belice. Los resultados indicaron que hubo

un efecto antagónico entre PRODL y el estrés calórico, ya que la selección para incrementar la PROD redujo la tolerancia al calor.

Resultados similares al estudio anterior se encontraron en vacas lecheras de dos regiones de los EE.UU.⁽⁷²⁾, ya que la selección para incrementar la PRODL permaneció constante hasta cierto punto (umbral), y posteriormente tuvo un comportamiento decreciente lineal, al incrementarse el valor del índice de temperatura-humedad (THI), diseñado para medir el estrés calórico.

También se ha encontrado que el estrés por frío también tiene un efecto importante en la PRODL. En un estudio con ovejas lecheras Manchega del Mediterráneo⁽⁷³⁾ se analizó el efecto de exposición a condiciones climática adversas (exposición a calor y frío) en la PRODL para medir la capacidad de termo-tolerancia de las ovejas, así como el grado de disminución en la PRODL, fuera de la zona de confort térmico. Los resultados mostraron que el estrés por frío tuvo un efecto negativo mayor en la PRODL, en comparación con el estrés por calor.

Conclusiones e implicaciones

Una curva de lactación es la representación gráfica del comportamiento del nivel de producción de leche individual, o de un grupo de individuos, en la lactación. El conocimiento de una curva de lactación es de suma importancia, ya que permite predecir la producción total de leche, tomar decisiones en aspectos de nutrición, sanidad y administración de la granja, pero, sobre todo, permite identificar las hembras superiores en producción de leche para utilizarlas en el rebaño como reproductoras. Atendiendo a su forma, las curvas de lactación pueden ser típicas (normales) y atípicas. La persistencia de la lactación es una fase estrechamente ligada a la curva de lactación y representa la tasa de disminución en la producción de leche después de haber alcanzado el pico de lactación. Se han desarrollado modelos matemáticos para caracterizar curvas de lactación y estudiar la persistencia de la lactación, la mayor parte en bovinos, aunque varios también se han utilizado en ovejas. Para propósitos de selección, tanto de la curva de lactación como de la persistencia, las estimaciones de la heredabilidad reportadas en ovejas muestran valores que están en un rango bajo-medio, lo que da confianza para esperar respuestas positivas en programas de mejoramiento genético, los que al diseñarse deberán tener objetivos claros y bien definidos, además de utilizar la metodología idónea del programa, con base en las características propias de las variables a medir, de la población animal y del ambiente, y finalmente considerar la posible influencia de factores genéticos y ambientales en la respuesta de los ovinos a las curvas de lactación. La escasa información sobre curvas de lactancia en ovejas indica la necesidad de llevar a cabo más investigación en esta especie, no sólo en ovejas de razas lecheras, sino también en ovejas de razas productoras de carne, ya que la habilidad materna

para producción de leche influye de manera significativa en el crecimiento predestete y supervivencia de las crías, e impacta directamente en la rentabilidad del sistema de producción.

Agradecimientos

Se agradece al CONAHCYT (México) por la beca para estudios de Doctorado en Ciencias del primer autor (GCH). Este artículo pertenece a la LGAC: “Innovación Tecnológica y Seguridad Alimentaria en Ganadería”.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Literatura citada:

1. Haenlein GFW, Wendorff WL. Sheep Milk. In: handbook of milk of non-bovine mammals. Chapter 3: Young W. Park GFH. Haenlein, and William L. Wendorff, editors. Blackwell Publishers; 2006:137-194. <https://doi.org/10.1002/9780470999738.ch7>.
2. FAOSTAT. Producción de ovinos en el mundo. 2020. Consultado 31 Ago, 2022. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QL/visualize>.
3. Morris ST. Overview of sheep production systems. In: Ferguson D, Lee C, Fisher A, ediytors. Advances in sheep welfare; 1st. ed. Duxford, United Kingdom. Woodhead Publishing; 2017:19-35. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00983-2>.
4. Pulina G, Milán MJ, Lavín MP, Theodoridis A, Morin E, Capote J, *et al.* Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors. *J Dairy Sci* 2018;101(8):6715-6729. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14015>.
5. Flis Z, Molik E. Importance of bioactive substances in sheep’s milk in human health. *Int J Mol Sci* 2021;22(9):4364. <https://doi.org/10.3390/ijms22094364>.
6. Thomas DL, Haenlein GFW. Sheep Milk. 3.1 Production of sheep milk. In: Handbook of milk of non-bovine mammals. Young W. Park GFH Haenlein, and William L Wendorff, editors. John Wiley & Sons Ltd; 2017:181-209. <https://doi.org/10.1002/9780470999738.ch7>.
7. Hamann H, Horstick A, Wessels A, Distl O. Estimation of genetic parameters for test day milk production, somatic cell score and litter size at birth in East Friesian ewes. *Livest Prod Sci* 2004;87(2-3):153-160. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.09.015>.

8. Barillet F, Marie C, Jacquin M., Lagriffoul G, Astruc JM. The French Lacaune dairy sheep breed: use in France and abroad in the last 40 years. *Livest Prod Sci* 2001;71(1):17-29. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00237-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00237-8).
9. Gelasakis AI, Arsenos G, Valergakis GE, Oikonomou G, Kiossis E, Fthenakis GC. Study of factors affecting udder traits and assessment of their interrelationships with milking efficiency in Chios breed ewes. *Small Ruminant Res* 2012;103(2-3):232-239. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.045>.
10. Sanna SR, Carta A, Casu S. Genotype by environment interaction for milk yield in Sarda dairy sheep. *J Anim Breed Genet* 2002;119:190-199. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2002.00337.x>.
11. Ramón M, Legarra A, Ugarte E, Garde JJ, Pérez-Guzmán MD. Economic weights for major milk constituents of Manchega dairy ewes. *J Dairy Sci* 2010;93(7):3303-3309. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2787>.
12. Pérez-Álvarez JG, Rodríguez-Almeida FA, Domínguez-Viveros J. Genetic parameter estimates for productivity of the Katahdin and Hampshire ewe and its components. *J Anim Sci* 2016;94(5):836-848. <https://doi.org/10.2527/jam2016-1715>.
13. Bayril T, Akdemir F, Baran MS, Orhan C, Yildirim IH, Yildiz AŞ, Çelik R. Effects of lamb sex, parity, and birth type on milk yield, lactation length, and milk components in Zom ewes raised under semi-intensive conditions. *South African J Anim Sci* 2023; 53(2):185-196. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v53i2.05>.
14. Akers RM. *Lactation and the mammary gland*. Wiley-Blackwell; 2016.
15. Lérias JR, Hernández-Castellano LE, Suárez-Trujillo A, Castro N, Poulis A, Almeida AM. The mammary gland in small ruminants: major morphological and functional events underlying milk production—a review. *J Dairy Res* 2014;81(3):304-318. <https://doi.org/10.1017/S0022029914000235>.
16. Dongre VB, Gandhi RS, Avtar S, Atul G. A brief review on lactation curve models for predicting milk yield and different factors affecting lactation curve in dairy cattle. *Int J Agric Res Review* 2011;1(1): 6-15.
17. Abecia JA, García A, Castillo L, Palacios C. The effects of weather on milk production in dairy sheep vary by month of lambing and lactation phase. *J Anim Behav Biometeorol* 2017;5(2):56-63. <http://dx.doi.org/10.26667/2318-1265jabb.v5n2p56-63>.
18. Wood PDP. A note on the estimation of total lactation yield from production on a single day. *Anim Prod* 1974;19(3):393-396. <https://doi.org/10.1017/S0003356100022972>.

19. Yépez-Ruidías H, Rúa-Bustamante CV, Idárraga-Idárraga Y, Arboleda-Zapata E, Calvo Cardona SJ, Montoya Atehortúa A, *et al.* Estimación de las curvas de lactancia y producción de leche de cabras del departamento de Antioquia, usando controles lecheros quincenales y mensuales. *Rev CES Med Vet Zoot* 2010;5(2):30-35.
20. Chang YM, Rekaya R, Gianola D, Thomas DL. Genetic variation of lactation curves in dairy sheep: A Bayesian analysis of Wood's function. *Livest Prod Sci* 2001;71(2-3):241-251. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00185-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00185-3).
21. Palacios-Espinosa A, González-Peña Fundora D, Guerra-Iglesias D, Espinoza-Villavicencio JL, Ortega-Pérez R, Guillén-Trujillo A, *et al.* Curvas de lactancia individuales en vacas Siboney de Cuba. *Rev Mex Cienc Pecu* 2016;7(1):15-28. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?>
22. Ángeles-Hernández JC, Aranda-Aguirre E, Muñoz-Benítez AL, Chay-Canul AJ, Albarrán-Portillo B, Pollott GE, *et al.* Physiology of milk production and modelling of the lactation curve. *CAB Reviews* 2021;60(056):1-22. doi: 10.1079/PAVSNR202116056.
23. Macciotta NPP, Dimauro C, Steri R, Cappio-Borlino A. Mathematical modelling of goat lactation curves. In: *Dairy goats feeding and nutrition*. Cannas A, Pulina G, Dias Francesconi AH, editors. CABI International 2008:31-46.
24. Druet T, Jaffrézic F, Boichard D, Ducrocq V. Modeling lactation curves and estimation of genetic parameters for first lactation test-day records of French Holstein cows. *J Dairy Sci* 2003;86(7):2480-2490. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73842-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73842-9).
25. Wood PDP. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 1967;216:164-165. <https://doi.org/10.1038/216164a0>.
26. Shimizu H, Umrod S. An application of the weighted regression procedure for constructing the lactation curve in dairy cattle. *Jap J Zootech Sci* 1976;47(12):733-738.
27. Waheed A, Khan MS. Lactation curve of Beetal goats in Pakistan. *Arch Anim Breed* 2013;56(1):892-898. <https://doi.org/10.7482/0003-9438-56-089>.
28. Aytekin I, Boztepe S. The key to successful dairy cattle: days in milk (DIM). *Selcuk J Agric Food Sci* 2017;31(3):184-188. doi:10.15316/SJAFS.2017.53.
29. Fahmy MH, Shrestha JNB. Dairy Animals/Sheep Breeds. In: *Encyclopedia of dairy sciences*. Roginski, H, editor. Academic Press. 2002: 598-613. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227235-8/00112-7>.

30. Chaffer M, Leitner G, Zamir S, Winkler M, Glickman A, Ziv N, Saran A. Efficacy of dry-off treatment in sheep. *Small Ruminant Res* 2003;47(1):11-16. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00194-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00194-3).
31. Petridis IG, Mavrogianni VS, Fragkou IA, Gougoulis DA, Tzora A, Fotou K, *et al.* Effects of drying-off procedure of ewes' udder in subsequent mammary infection and development of mastitis. *Small Ruminant Res* 2013;110(2-3):128-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.11.020>.
32. Sougaris S, Brozos CN, Petridou E, Papadopoulos T, Kiossis E. Abrupt and gradual drying-off procedure and intramammary dry treatment: Impact on udder health status of Chios breed dairy sheep. *J Hellenic Vet Med Soc* 2022;73(2):4031-4040. <https://doi.org/10.12681/jhvms.26304>.
33. Vilar MJ, Rajala-Schultz PJ. Dry-off and dairy cow udder health and welfare: Effects of different milk cessation methods. *The Veterinary J* 2020;262:105503 <http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105503>.
34. Persson-Waller K, Landin H, Nyman AK. Herd routines and veterinary advice related to drying-off and the dry period of dairy cows. *Dairy* 2022;3(2):377-399. <https://doi.org/10.3390/dairy3020029>.
35. Grossman M, Hartz SM, Koops WJ. Persistency of lactation yield: A novel approach. *J Dairy Sci* 1999;82(10):2192-2197. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(99\)75464-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(99)75464-0).
36. Grossman M, Koops WJ. Modeling extended lactation curves of dairy cattle: A biological basis for the multiphasic approach. *J Dairy Sci* 2003;86(3):988-998. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73682-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73682-0).
37. Macciota NPP, Dimauro C, Rassu SPG, Steri R, Pulina G. The mathematical description of the lactation curves in dairy cattle. *Italian J Anim Sci* 2016;10:4. <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e51>.
38. Bilgin OC, Esenbuga N, Davis ME. Comparison of models for describing the lactation curve of Awassi, Morkaraman and Tushin sheep. *Arch Anim Breed* 2010;53(4):447-456. <https://doi.org/10.5194/aab-53-447-2010>.
39. Neal HDSC, Thornley JHM. The lactation curve in cattle: a mathematical model of the mammary gland. *J Agric Sci Camb* 1983;101:389-400. <http://dx.doi.org/10.1017/S00218596000337710>.
40. Friggens NC, Emmans GC, Veerkamp RF. On the use of simple ratios between lactation curve coefficients to describe parity effects on milk production. *Livest Prod Sci* 1999;62(1):1-13. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00110-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00110-4).

41. Adediran SA, Ratkowusky DA, Donaghy DJ, Malau-Aduli AEO. Comparative evaluation of a new lactation curve model for pasture-based Holstein-Friesian dairy cows. *J Dairy Sci* 2012;95:5344-5356. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4663>.
42. Vetharaniam I, Davis SR, Upsdell M, Kolver ES, Pleasants AB. Modeling the effect of energy status on mammary gland growth and lactation. *J Dairy Sci* 2003;86(10):3148-3156. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73916-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73916-2).
43. Pollott GE, Gootwine E. A genetic analysis of complete lactation milk production in Improved Awassi sheep. *Livest Prod Sci* 2004;71:37-47. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00239-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00239-1).
44. Afolayan RA, Abubakar BY, Dim NI, Osinowo OA. Inheritance of growth and lactation parameters in Yankasa sheep. *Nigerian J Anim Prod* 2001;28(1):9-13.
45. Gaines WL. Measures of persistency of lactation. *J Agric Res* 1927;34(4):373-383.
46. Sturtevant EL. Influence of distance from calving on milk yield. *N.Y. State Agr Expt Sta Ann Rept* 1887;5:26-28.
47. Gengler N. Use of mixed models to appreciate the persistency of yields during the lactation of milk cows [Ph.D. Diss]. Gembloux, Belgium: Faculté Univ Sci Agron. 1995.
48. Gengler N. Persistency of lactation yields: a review. *Interbull Bulletin* 1996;12:87-96.
49. Cole JB, Null DJ. Genetic evaluation of lactation persistency for five breeds of dairy cattle. *J Dairy Sci* 2009;92(5):2248-2258. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1825>.
50. Gutiérrez JP, Legaz E, Goyache F. Genetic parameters affecting 180-days standardised milk yield, test-day milk yield and lactation length in Spanish Assaf (Assaf. E) dairy sheep. *Small Ruminant Res* 2007;70(2-3):233-238. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.03.009>.
51. Dekkers JCM, Ten Hag, JH, Weersink A. Economic aspects of persistency of lactation in dairy cattle. *Livest Prod Sci* 1998;53:237-252. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00124-3).
52. Dobson H, Smith RF, Royal MD, Knight CH, Sheldon IM. The high producing dairy cow and its reproductive performance. *Reprod Dom Anim* 2007;42(Suppl 2):17-23. <https://doi.org/10.1111%2Fj.1439-0531.2007.00906.x>.
53. Schutz MM, Hansen LB, Steuernagel GR, Kuck AL. Variation of milk, fat, protein, and somatic cells for dairy cattle. *J Dairy Sci* 1990;73:484-493. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78696-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78696-1).

54. Torshizi ME, Mashhadi MH, Farhangfar H. Different aspects of lactation persistency in dairy cows. *Indian J Anim Sci* 2019;89(6):607-614. <https://doi.org/10.56093/ijans.v89i6.91098>.
55. Kominakis AP, Volanis M, Rogdakis E. 1999. Genetic and phenotypic parameters of milk yield in Sfakia sheep. In: Proc 15th Scient Meet Hellenic Zootech Soc Chania, Greece. November 3-5, 1999.
56. Kominakis AP, Rogdakis E, Koutsotolis K. Genetic aspects of persistency of milk yield in Boutsico dairy sheep. *Asian-Aust J Anim Sci* 2002;15(3):315-320. <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.315>.
57. Bonnier G. Is the shape of the lactation curve genetically determined?. *Hereditas* 1935;10:199-213.
58. Cappio-Borlino A, Macciotta NPP, Pulina G. The shape of Sarda ewe lactation curve analysed by a compartmental model. *Livest Prod Sci* 1997;51(1-3):89-96. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00102-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00102-4).
59. Millanao I, Herdener N, Parada D, Sepúlveda N. Producción de leche, curvas de lactancia y crecimiento de sus corderos, en dos razas de ovejas en la región de la Araucanía, Chile. APPA – ALPA, Cusco, Perú. *Sitio Argentino de Producción Animal* 2007;1-4.
60. Komprej A, Gorjanc G, Kompan D, Kovač M. Lactation curves for milk yield, fat, and protein content in Slovenian dairy sheep. *Czech J Anim Sci* 2012;57(5):231-239. doi: 10.17221/5921-CJAS.
61. Ángeles-Hernández JC, Guerrero-Loredo A, Solís-Guzmán DA, Ramírez-Pérez AH, Ángeles-Campos S, González-Ronquillo M. Efecto del grupo genético sobre las características de la curva de lactación ovina. *Ecosist Rec Agrop* 2018;5(14):327-333. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1425>.
62. Carta A, Sanna SR, Casu S. Estimating lactation curves and seasonal effects for milk, fat and protein in Sarda dairy sheep with a test day model. *Livest Prod Sci* 1995;44:37-44. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00051-L](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)00051-L).
63. Cappio-Borlino A, Pulina G, Rossi G. A non-linear modification of Wood's equation fitted to lactation curves of Sardinian dairy ewes. *Small Ruminant Res* 1995;18(1):75-79. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(95\)00713-U](https://doi.org/10.1016/0921-4488(95)00713-U).
64. Portolano B, Spatafora F, Bono G, Margiotta S, Todaro M, Ortoleva V, *et al.* Application of the Wood model to lactation curves of Comisana sheep. *Small Ruminant Res* 1997;24(1):7-13. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(95\)00842-X](https://doi.org/10.1016/0921-4488(95)00842-X).

65. Cappio-Borlino A, Portolano B, Todaro M, Macciotta NPP, Giaccone P, Pulina G. Lactation curves of Valle del Belice dairy ewes for yields of milk, fat, and protein estimated with test day models. *J Dairy Sci* 1997;80(11):3023-3029. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76269-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76269-6).
66. Ángeles-Hernández JC, Pollot G, Albarrán-Portillo B, Ramírez-Pérez AH, Lizarazo-Chaparro A, Castelán-Ortega OA, *et al*. The application of a mechanistic model to analyze the factors that affect the lactation curve parameters of dairy sheep in Mexico. *Small Ruminant Res* 2018;164:58-63. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.05.003>
67. Stancheva N, Angelova T, Yordanova D, Krastanov J. Lactation curve of the sheep from Bulgarian dairy synthetic population. *Trad Mod Vet Med* 2021;6(2):64-71. doi: 10.5281/zenodo.5741398.
68. Naskar S, Gowane GR, Chopra A, Paswan C, Prince LLL. Chapter 13: Genetic adaptability of livestock to environmental stresses. In: Sejian V, *et al*, editors. *Environmental stress and amelioration in livestock production*. Springer Berlin Heidelberg;2012:317-378. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7-13>.
69. Silanikove N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci* 2000;67:1-18. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7).
70. González-Ronquillo M, Abecia JA, Gómez R, Palacios C. Effects of weather and other factors on milk production in the Churra dairy sheep breed. *J Anim Behav Biometeorol* 2021;9:2125. <https://doi.org/10.31893/jabb.21025>.
71. Finocchiaro R, van Kaam JBCHM, Portolano B. Effect of weather conditions on somatic cell score in Sicilian Valle del Belice ewes. *Ital J Anim Sci* 2007;6(Suppl. 1):130-132. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.130>.
72. Bohmanova J, Misztal I, Cole JB. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J Dairy Sci* 2007;90:1947-1956. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>.
73. Ramón M, Díaz C, Pérez-Guzmán MD, Carabaño MJ. Effects of exposure to adverse climatic conditions on production in Manchega dairy sheep. *J Dairy Sci* 2016;99(7):5764-5779. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10909>.



Capacidad de carga del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus*) en el noreste de México



Fernando Isaac Gastelum Mendoza ^a

Fernando Noel González Saldívar ^a

Eloy Alejandro Lozano Cavazos ^b

José Isidro Uvalle Saucedo ^a

Guillermo Romero Figueroa ^c

Enrique de Jesús Ruíz Mondragón ^c

César Martín Cantú Ayala ^{a*}

^a Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, 67700 Nuevo León, México.

^b Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

^c Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias, Ensenada, Baja California, México.

*Autor de correspondencia: cantu.ayala.cesar@gmail.com

Resumen:

El venado cola blanca se distribuye en los matorrales desérticos de México y representa una importancia ecológica y económica. El conocimiento sobre la producción de forraje en su hábitat es fundamental para diseñar planes de manejo. El objetivo fue evaluar la producción de biomasa aérea en un matorral desértico micrófilo y la capacidad de carga (K) del venado cola blanca para que sirva de referencia en el manejo extensivo de esta especie en el municipio de Monclova, Coahuila, al norte de México. La investigación se realizó en la

Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre “Rancho San Juan”, desde octubre de 2018 a agosto de 2019. Para estimar la producción en los estratos alto, medio y bajo, se empleó el método de Adelaide. La estimación de K se basó en el modelo de Holechek. Se calculó una producción promedio de 621.19 kg MS ha⁻¹. El estrato medio contribuyó con la mayor producción (377.77 ± 73.92 kg MS ha⁻¹), y el estrato alto presentó la menor (37.59 ± 23.59 kg MS ha⁻¹). Se registró la mayor producción en verano y otoño, con valores de 744.35 y 607.93 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Se estimó K en 4.94 ha por venado anualmente, equivalente a 209 venados en una superficie de 1,030 ha. Sin embargo, mediante un censo aéreo en octubre de 2020, se estimó una densidad de 1.77 ha por venado o 582 venados en las mismas 1,030 ha. Aunque este análisis sugiere un sobreuso del hábitat, se observa que, el mejoramiento del hábitat puede mantener el crecimiento poblacional de venados.

Palabras clave: Biomasa aérea, Densidad, Matorral desértico micrófilo, Método de Adelaide, Modelo de Holechek.

Recibido: 13/05/2024

Aceptado: 28/06/2024

El manejo sostenible del hábitat del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus*) implica la evaluación de su capacidad de carga (K). Este parámetro, intrínseco a las condiciones del hábitat, se define como la cantidad de animales que el agostadero puede sostener por unidad de superficie sin causar deterioro en la comunidad vegetal u otros recursos⁽¹⁾. Además, es útil para identificar las fluctuaciones en la producción y calidad del forraje natural⁽²⁾. Este valor varía constantemente en tiempo y espacio, influenciado por factores denso-independientes como la disponibilidad de alimento, agua, cobertura y espacio utilizables, así como por factores denso-dependientes relacionados con el aumento del número de animales por unidad de área⁽³⁾.

Aunque existen diversos modelos para estimar K, aquellos que incorporan la producción de forraje ofrecen valores útiles como guía de manejo para los propietarios de agostaderos en el norte de México^(1,3). La consideración de las tendencias en la producción de biomasa vegetal, la cual se define como la cantidad de materia orgánica por unidad de superficie que se utiliza como fuente de energía por los herbívoros⁽¹⁾, y la utilización del forraje en el concepto de K es significativa: un descenso en la producción del forraje para el venado indica que la densidad de animales está superando la capacidad de carga⁽⁴⁾. A diferencia del clima, la disponibilidad y producción de forraje son elementos del hábitat que se pueden influir mediante técnicas de mejoramiento de hábitat. Sin embargo, Fulbright y Ortega⁽³⁾ indican

que, es importante considerar que los resultados de estos modelos deben considerarse como estimaciones aproximadas. Además, es recomendable llevar a cabo estimaciones específicas para determinar K en cada región donde se manejen poblaciones de venado cola blanca y evitar generalizar los resultados hacia otras regiones y tipos de ecosistemas⁽⁴⁾. Esto se debe principalmente a las variaciones en las condiciones de producción de forraje en cada región.

Además, la densidad poblacional de venado cola blanca varía geográficamente. Por ejemplo, la Meseta de Edwards en Texas, Estados Unidos de América, ostenta la mayor densidad de venado cola blanca en el mundo, con más de 0.45 venados ha⁻¹⁽³⁾. En contraste, parte de las regiones de High Plains y Rolling Plains mantienen menos de 0.15 venados ha⁻¹. Además, la densidad de venados en las regiones de Cross Timbers y South Texas Plains se sitúa entre 0.15 y 0.30 venados ha⁻¹⁽³⁾. Aunque el venado cola blanca estuvo al borde de la extinción durante la década de 1970 debido a la cacería furtiva y la degradación del hábitat, se estima que, la densidad poblacional en el norte de México oscila entre 0.10 y 0.20 venados ha⁻¹⁽⁵⁾.

En México, Navarro *et al*⁽⁶⁾ informan una densidad de 0.03 venados ha⁻¹ en la Sierra El Laurel, en Tlachichila, Zacatecas. En la Reserva de la Biosfera La Michilía, Durango, Gallina⁽⁷⁾ estimó K en 0.22 venados ha⁻¹. Para un bosque tropical seco en Jalisco, Mandujano⁽⁸⁾ estima este valor en un rango de 0.16 a 0.18 venados ha⁻¹, mientras que, en la región de la mixteca, Villarreal-Espino⁽⁹⁾ la estimó en 0.10 venados ha⁻¹. Aunque el venado cola blanca es una de las especies de herbívoros más estudiadas en Norteamérica, resulta esencial llevar a cabo estas evaluaciones en cada zona donde se practique el manejo extensivo de la especie. Esto es relevante en hábitats fragmentados, debido a que, el valor de K está influenciado por el tamaño y la conectividad de los fragmentos conservados de hábitat⁽⁸⁾.

La capacidad de carga basada en la producción forrajera proporciona los fundamentos conceptuales más prácticos para el manejo extensivo de venados, dado que la cantidad de forraje disponible influye directamente en las tendencias de la población^(6,9). Es por estos motivos que el presente estudio tuvo como objetivo estimar la producción estacional de forraje en un matorral desértico micrófilo en el este de Coahuila, México y calcular el valor de K asociado con el venado cola blanca con el fin de que, esta información sea considerada en los planes de manejo y estrategias de conservación del hábitat de esta especie en el noreste de México.

Para llevar a cabo este estudio, se seleccionó la Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) Rancho San Juan (26° 49' 31.11" N, 101° 01' 57.77" O), localizada en el municipio de Monclova, Coahuila, al norte de México. Esta área se encuentra a una distancia de 38 km en línea recta al este de la cabecera municipal y a 43 km al oeste del municipio de Candela. Los tipos de vegetación predominantes en esta zona son el matorral desértico micrófilo y el matorral desértico rosetófilo, con la presencia de asociaciones de pastizal mediano abierto⁽¹⁰⁾. El clima es seco (BS₀hw), con una temperatura promedio de

21°C. La precipitación anual, varía de 200 mm a 900 mm. La elevación oscila entre 600 y 1,000 msnm⁽¹¹⁾. Dentro de esta UMA, se lleva a cabo el manejo extensivo de una población de venado cola blanca texano en un área que abarca 1,030 ha.

Para estimar los valores de K, se evaluó la producción de forraje, expresada en durante las cuatro estaciones del año: otoño (octubre 2018), invierno (febrero 2019), primavera (mayo 2019) y verano (agosto 2019). La producción de forraje se expresó como la cantidad de biomasa aérea por estrato vegetal mediante la aplicación del Método de Adelaide⁽¹²⁾. Para ello, se cuantificó la producción en el estrato alto (superior a 1.5 m de altura) y en el medio (menor a 1.5 m de altura) en un total de 18 parcelas, abarcando 50 m² y 25 m², respectivamente. Este método consistió en seleccionar una unidad representativa de cada planta por especie en las parcelas, teniendo en cuenta su forma y densidad foliar, para estimar el número de unidades de cada ejemplar y especie muestreada. Sin embargo, para el estrato bajo compuesto por pastos y herbáceas, se optó por realizar la cosecha total en 18 parcelas de 1 m², de acuerdo con la metodología propuesta por Chávez⁽¹³⁾. Las muestras de biomasa de pastos y herbáceas, así como las unidades de referencia, se colocaron en bolsas de papel, fueron etiquetadas y sometidas al proceso de secado en un horno tipo INOX. 120VAC. de 60HZ. a 75 °C hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente, las muestras se pesaron utilizando una balanza ENTRIS 8201-1S para obtener el peso seco. Estos datos se utilizaron para calcular la producción de biomasa mediante la ecuación proporcionada por Foroughbakhch *et al*⁽¹²⁾:

$$Bt = Ps * ni$$

Donde: Bt= biomasa aérea total en kg MS ha⁻¹; Ps= peso seco de cada una de las muestras de mano; ni= número de repeticiones de la especie i dentro de las parcelas.

Las diferencias en la producción de biomasa estacional se calcularon mediante la prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis ($\alpha \leq 0.05$) en la plataforma R Studio⁽¹⁴⁾.

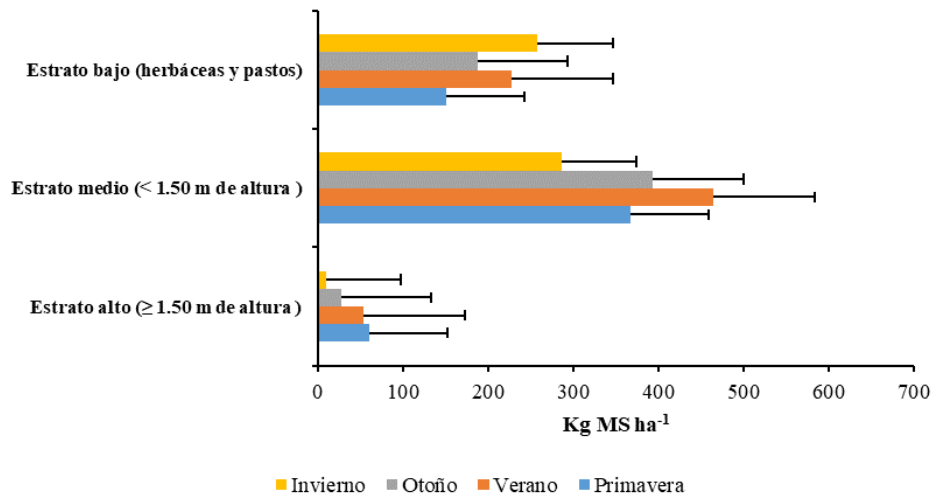
Conociendo la producción de forraje, se calculó la capacidad de carga; la cual, se expresó en número de animales por hectárea al año (venados ha⁻¹). Se decidió considerar únicamente el 25 % de la producción total de biomasa del área, ya que este valor conservador permite realizar una estimación sostenible de la carga animal, con el propósito de mantener una producción de forraje estable a largo plazo⁽¹⁾. Asimismo, se consideró la superficie del área de estudio, la biomasa disponible, el peso vivo del venado y el porcentaje de consumo diario de materia seca, con base a la ecuación descrita por Holechek *et al*⁽¹⁾:

$$K = \frac{PV \times CDMS \times CP}{PMS \times 0.25}$$

Donde: K= capacidad de carga (venados ha⁻¹); PV= peso vivo del animal (kg); CDMS= consumo diario de materia seca (3 % del peso vivo del animal); CP= ciclo de pastoreo (365 días); PMS= producción de materia seca (kg ha⁻¹); 0.25= porcentaje de utilización del forraje (25 %).

La aplicación de esta metodología permitió establecer que el matorral desértico micrófilo anualmente produce un promedio de 2,484.77 kg MS ha⁻¹. Es importante destacar que la producción de biomasa promedio por estación se estimó en 621.20 ± 85.08 kg MS ha⁻¹. Durante el verano y el otoño, se observó un mayor aporte de biomasa (744.36 ± 44.20 kg y 607.93 ± 57.77 kg, respectivamente), mientras que, en invierno se registró la menor producción 553.36 ± 50.12 kg (Figura 1). Es relevante notar que esta producción es relativamente baja en comparación con estudios anteriores en el estado de Tamaulipas⁽¹⁵⁾ que informaron 1,501 ± 492.35 kg MS ha⁻¹ por estación, así como en Zacatecas⁽⁶⁾ con 929.2 ± 401.64 kg.

Figura 1: Producción de biomasa aérea de acuerdo con el estrato vegetal y la estación del año en la UMA Rancho San Juan, municipio de Monclova, Coahuila, México



Las líneas verticales sobre las barras indican el error estándar.

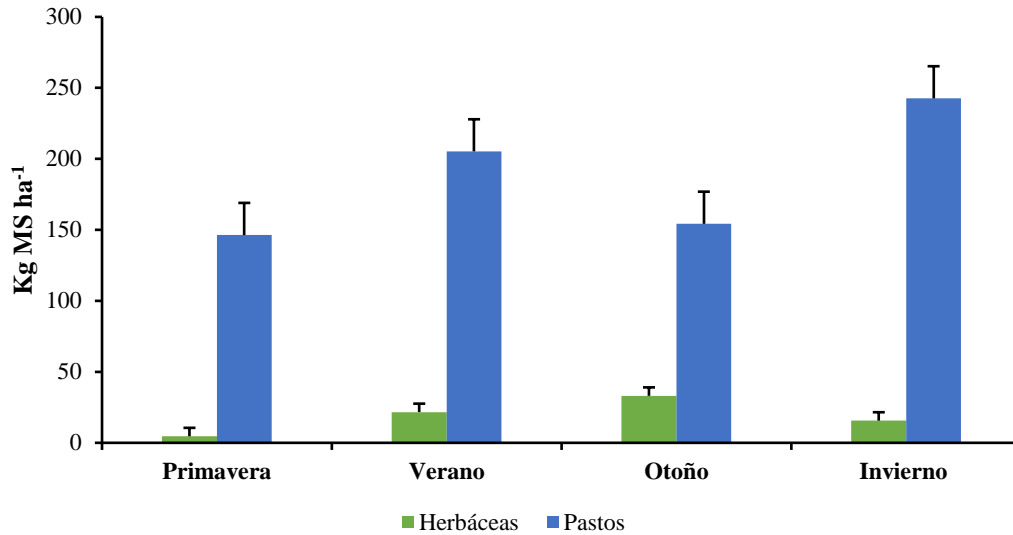
La producción de biomasa del hábitat desempeña una función en el desarrollo de los venados y, por tanto, esta baja producción tiene un impacto directo en la capacidad de carga del matorral. Se ha documentado que un venado adulto requiere un consumo diario de biomasa que oscila entre el 2 % y el 4 % de su peso corporal (60 kg en promedio para un animal adulto y 0.13 unidad animal)^(3,4,16). Sin embargo, este requerimiento varía en función de diversos factores, como el estado fisiológico, la edad del venado, el valor nutricional de las plantas disponibles, la composición de las especies forrajeras y la distribución espacial del forraje⁽¹⁷⁾.

Kie *et al*⁽¹⁶⁾ señalan que el peso corporal de los machos adultos aumenta rápidamente durante la primavera, lo que incrementa su consumo de forraje. Aunque coincide con la estación de menor disponibilidad de forraje natural (Figura 1), las estrategias de suplementación alimentaria en la UMA mantienen la población de venados estable durante esta época del año. Este programa alimentario implica la instalación de 39 comederos artificiales, con el propósito de complementar la dieta y la nutrición natural del venado cola blanca durante las épocas críticas del año, que abarcan desde la primera quincena de marzo hasta finales de octubre. Estos períodos se caracterizan por la escasez de las especies preferidas por esta especie. En los comederos, los venados tienen libre acceso al alimento, que consiste en pellets con un 18 % de proteína cruda (PC), además de semillas de algodón. Estos alimentos, en conjunto, promueven la ganancia de músculo, el desarrollo de las astas y la producción de leche⁽⁴⁾.

Las variaciones estacionales en la producción de biomasa aérea que se observaron en este estudio (Figura 1) coinciden con las fluctuaciones estacionales en el consumo de forraje por parte de los venados, como se ha reportado en el sur de Texas. En esta región, se ha observado una disminución en el consumo de forraje durante el verano, seguida de un aumento en otoño y, finalmente, un descenso en el consumo de forraje durante el invierno⁽¹⁸⁾.

En cuanto a la contribución de los diferentes estratos del matorral, se encontró que, el estrato medio fue el principal aportante de biomasa aérea en las cuatro estaciones del año, destacándose el verano con la mayor cantidad (Figura 1; 1,858.52 kg MS ha⁻¹). Esto se debió principalmente a la precipitación registrada en julio, que alcanzó los 80 mm en el área. Por otro lado, se estimó que los pastos y herbáceas produjeron la mayor cantidad de biomasa aérea durante el invierno (Figura 2; 1,032.70 kg MS ha⁻¹). En contraste, el estrato alto presentó la contribución menor, con una cantidad menor o igual a 250 kg (Figura 1).

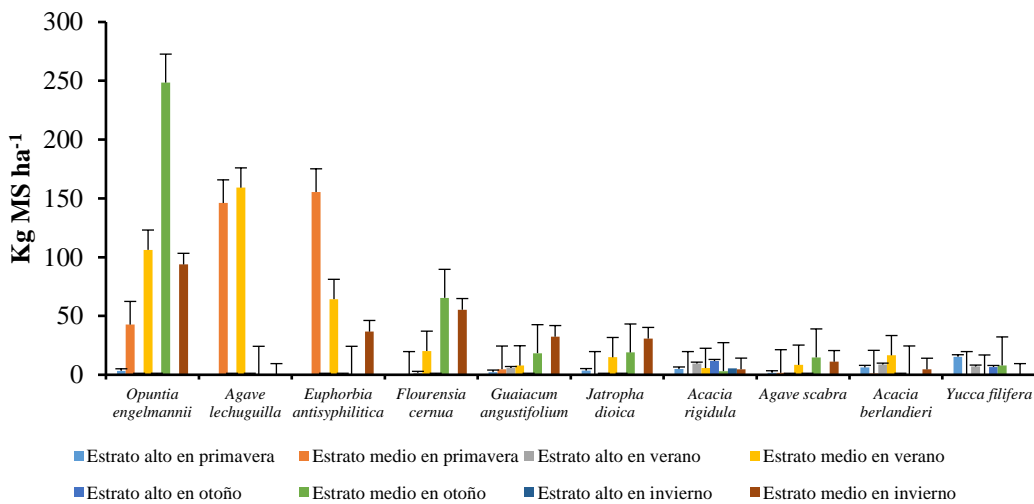
Figura 2: Producción estacional de materia seca de pastos y herbáceas en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México



Las líneas verticales sobre las barras indican el error estándar.

Durante la primavera, se destacaron las especies *Euphorbia antisiphilitica* y *Agave lechuguilla* como las de mayor aporte de biomasa (Figura 3). A pesar de esto, es importante señalar que representaron solamente el 3.86 % de la dieta del venado cola blanca en esta estación⁽¹⁹⁾. En contraste, *Opuntia engelmannii*, una especie forrajera importante para el venado cola blanca en el noreste de México^(4,19), se posicionó entre las diez especies con una mayor producción de biomasa en primavera. Por otro lado, *Eysenhardtia texana*, una planta forrajera, tuvo el menor aporte de biomasa en esta estación, totalizando 0.06 kg MS ha⁻¹.

Figura 3: Especies con el mayor aporte de biomasa estacional del estrato alto y medio en la UMA Rancho San Juan, Monclova, Coahuila, México



Las líneas verticales sobre las barras indican el error estándar.

En verano, las especies *A. lechuguilla* y *O. engelmannii* se destacaron nuevamente al contribuir con la mayor cantidad de biomasa (Figura 3; 265.35 kg MS ha⁻¹). Sin embargo, en esta estación, el porcentaje de *O. engelmannii* en la dieta del venado fue relativamente bajo, con un 4.29 %⁽¹⁹⁾. En contraste, *Acacia rigidula*, otra especie forrajera importante en verano (12.57 %)⁽¹⁹⁾, no exhibió una producción de biomasa particularmente alta.

En otoño e invierno, *O. engelmannii* sobresalió como una especie que contribuyó a la producción total de biomasa, representando el 40.87 % (248.49 kg MS ha⁻¹) y el 16.95 % (93.80 kg), respectivamente (Figura 3). Durante el otoño, esta especie fue importante en la dieta del venado cola blanca, constituyendo el 15.40 % de su alimentación⁽¹⁹⁾. Por otro lado, a pesar de su importancia como forraje en otoño⁽⁴⁾, *A. rigidula* contribuyó solo con el 2.44 % (14.85 kg MS ha⁻¹) de la producción total de biomasa en esta estación. Del mismo modo, en invierno, *O. engelmannii* representó el 14.90 % de la dieta del venado⁽¹⁹⁾. Contrariamente, *Leucophyllum frutescens*, que contribuyó con el 10.61 % de la dieta^(19,20), aportó únicamente el 0.01 % (3.07 kg MS ha⁻¹) de la producción de biomasa en esta estación.

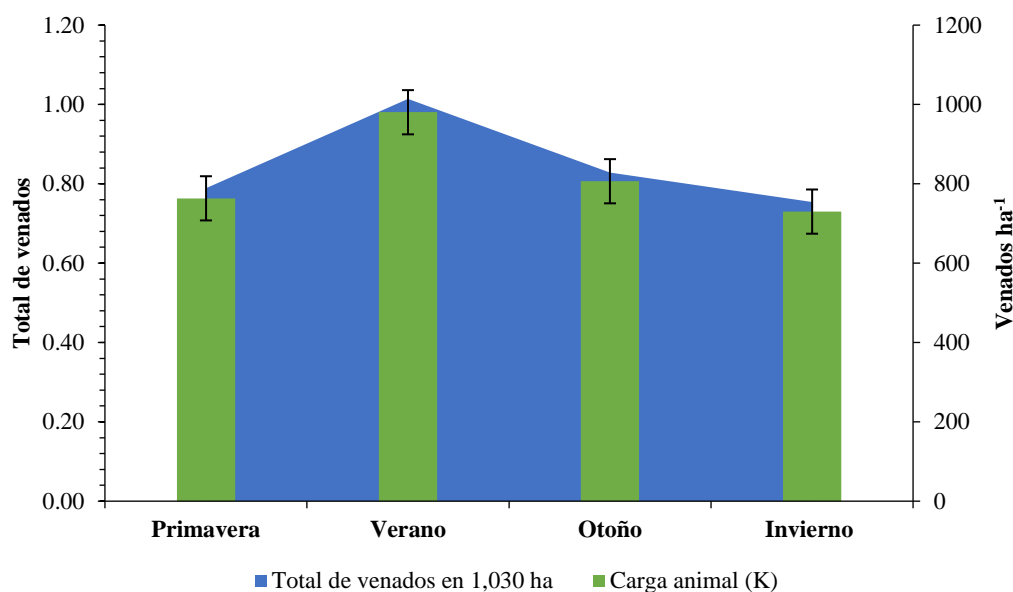
El venado cola blanca muestra una preferencia marcada por el consumo de hojas y tallos de arbustos que poseen un mayor contenido de proteína y relativamente bajos niveles de fibra y lignina⁽⁴⁾. En este contexto, el matorral se destaca como una fuente principal de biomasa de arbustos a lo largo del año (Figura 1), siendo su mayor contribución durante el verano, cuando los venados experimentan una mayor demanda de forraje debido a la producción de alimento para los cervatos⁽³⁾. Por otro lado, la producción de herbáceas y pastos también desempeña un papel esencial, ya que, el venado las consume cuando se enfrenta a la competencia por alimento⁽⁴⁾. Cabe destacar que, aunque *Acacia berlandieri* y *A. rigidula*, plantas preferidas por el venado^(4,19,20), forman parte del matorral, su producción promedio de biomasa estacional (18.79 ± 15.13 kg MS ha⁻¹) en relación con la producción promedio de biomasa aérea por estación (621 ± 85.08 kg MS ha⁻¹) no alcanza niveles altos (< 5.5 %).

Por el contrario, los pastos con un contenido elevado de lignina y un bajo porcentaje de digestibilidad^(1,4), muestran una producción promedio de biomasa aérea más elevada (187.11 ± 45.28 kg MS ha⁻¹) por estación, representando hasta 43.84 % de la producción total de biomasa durante el invierno (Figura 2).

La evaluación de la producción de biomasa aérea se utilizó como base teórica para estimar la capacidad de carga del venado cola blanca. En este contexto, se calculó en 0.2 (± 0.15) venados ha⁻¹, que representa un total de 209 venados en una extensión de 1,030 ha (Figura 4). Asimismo, durante la primavera e invierno, se observó una capacidad de carga mayor, alcanzando valores de 0.76 y 0.73 venados ha⁻¹, respectivamente. Un muestreo aéreo poblacional realizado en octubre de 2020 en transectos paralelos de longitud variable orientados de norte a sur, a una distancia de 200 m entre uno y otro, estimó una densidad de 0.57 venados ha⁻¹ o 582 venados en 1,030 ha. Esto indica que la densidad actual de venados

supera la capacidad de carga del hábitat. A pesar de que el suministro de agua y alimento en forma de pellets y semillas de algodón ha permitido el crecimiento de la población por encima de K , se ha documentado un consumo significativo de pastos, lo cual podría señalar un sobreuso del forraje⁽³⁾. Además, especies clave en la dieta, como *A. rigidula* y *A. berlandieri*, no contribuyeron considerablemente a la producción de biomasa en comparación con los pastos.

Figura 4: Variación en los valores de capacidad de carga del venado cola blanca en la UMA Rancho San Juan, municipio de Monclova, Coahuila, México



Las líneas sobre las barras indican el error estándar.

Estos resultados contrastan con lo que reportan Navarro *et al*⁽⁶⁾, quienes identificaron una capacidad de carga de 0.03 venados ha^{-1} en la Sierra El Laurel, en Tlachichila, Zacatecas. En la Reserva de la Biosfera La Michilía, Durango⁽⁷⁾ se estimó una capacidad de carga de 0.22 venados ha^{-1} . En un bosque tropical seco en Jalisco⁽⁸⁾ se calculó una capacidad de carga de entre 0.16 y 0.18 venados ha^{-1} , mientras que, en la región de la Mixteca⁽⁹⁾ se estimó en 0.10 venados ha^{-1} . En ambas regiones, la densidad de población de venados se encuentra por debajo de la capacidad de carga.

Es importante destacar que los métodos de muestreo pueden introducir errores en las estimaciones de la capacidad de carga basadas en la biomasa de forraje. Por ejemplo, los esquemas de muestreo a menudo no consideran los patrones de pastoreo de los herbívoros⁽²¹⁾. Además, el valor de uso permitido del forraje (25 %; se considera un valor de estimación de K conservadora, porque no permite sobrestimar el número de animales por unidad de área que el hábitat puede sostener de manera sostenible)^(22,23), no considera pérdidas debidas al pisoteo, la contaminación del forraje por heces, roedores e insectos. En un estudio realizado

en Utah, Estados Unidos de América, se registraron pérdidas por pisoteo del 23 % del forraje disponible⁽⁵⁾. Asimismo, en pastizales del desierto, pequeños mamíferos pueden consumir hasta el 20 % del forraje disponible para herbívoros grandes⁽⁴⁾.

Fulbright y Ortega⁽³⁾, mencionan que, las estimaciones sobre capacidad de carga deben ser consideradas como aproximaciones y pueden ser útiles como indicadores para orientar decisiones de manejo del hábitat del venado cola blanca. Dichas decisiones deben basarse en las tendencias temporales de la capacidad de carga, y si se detecta una disminución de ésta, podría indicar la necesidad de reducir la densidad de venados⁽²⁴⁾. Como se mencionó, la relación entre la producción de forraje de especies forrajeras y el valor nutricional del forraje también puede refinar las estimaciones de la capacidad de carga, lo que se recomienda realizar de forma anual.

Se concluye que las estimaciones sobre la capacidad de carga animal y la producción de biomasa aérea resultan valiosas para el manejo extensivo de las poblaciones de venado cola blanca en el noreste de México. La producción de forraje varía según el estrato vegetal y la estación del año, siendo el estrato medio durante el verano y otoño el que muestra los valores más altos. En términos generales, la capacidad de carga animal fue mayor en comparación con otros estudios realizados en México. A pesar de que la densidad poblacional supera la capacidad de carga del ecosistema, las estrategias de suplementación alimentaria pueden estar actuando como medios de amortiguamiento, previniendo el sobreuso del forraje y evitando la disminución de la población. No obstante, se recomienda que estudios futuros evalúen de manera específica el uso y la importancia del alimento peletizado y las fuentes de agua artificiales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ing. Gerardo Benavides Pape, propietario del Rancho San Juan, por su colaboración y apoyo en la realización de este trabajo. Además, queremos reconocer el valioso respaldo brindado por su equipo operativo, en particular al Ing. Vladimir Lara Ramírez. También, extendemos nuestro agradecimiento al personal técnico de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en especial al Ing. Leonel Reséndiz Dávila y al Dr. Eduardo Estrada Castellón.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Literatura citada:

1. Holechek JL, Pieper RD, Herbel CH. Range management: principles and practices. 4th. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall; 2001.

2. Gastelum-Mendoza FI, Estrada-Castillón EA, Cantú-Ayala CM, González-Saldívar FN, Serna-Lagunes R, Salazar-Ortíz J. Methodologies for estimating wildlife habitat quality: review and examples. *Agroproductividad* 2020;13(6):37–42.
3. Fulbright TE, Ortega JA. White-tailed deer habitat: ecology and management in rangelands. Texas A&M University Pres. College Station, TX, USA; 2006.
4. Ramírez-Lozano RG. Alimentación del venado cola blanca: biología y ecología nutricional. Facultad de Ciencias Biológicas, Alimentos-Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México; 2012.
5. Villarreal JG. Venado cola blanca (manejo y aprovechamiento cinegético). Unión Ganadera Regional de Nuevo León. Impresora Monterrey. Monterrey, NL., México; 2000.
6. Navarro JA, Olmos G, Palacio J, Clemente F, Vital C. Dieta, población y capacidad de carga del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en dos condiciones de hábitat en Tlachichila, Zacatecas, México. *Agroproductividad* 2018;11(6):15–23.
7. Gallina SA. White-tailed deer and cattle diets in La Michilía, Durango, Mexico. *J Range Management* 1993;46(6):487–492.
8. Mandujano S. Precipitación, capacidad de carga y potencial de uso de los ungulados en un bosque tropical seco. En Espinosa ME, Lorenzo C, editores. *Avances Mastozoológicos* (637-660). Vol. 2. AMMAC, México, DF; 2008.
9. Villarreal-Espino O. El venado cola blanca en la mixteca poblana: conceptos y métodos para su conservación y manejo. Fundación Produce Puebla, Puebla, México; 2006.
10. Miranda F, Hernández X E. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 1963;(28,29):179.
11. García E. Modificaciones al régimen de clasificación climática de Köppen, México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF., México; 1988.
12. Foroughbakhch R, Reyes G, Alvarado MA, Hernández J, Rocha A. Use of quantitative methods to determine leaf biomass on 15 woody shrub species in northeastern Mexico. *For Ecol Manage* 2005;216(1-3):359–366.
13. Chávez GO. Determinación de la calidad del hábitat, dieta y calidad de forraje para tres especies de cérvidos en Montemorelos, Nuevo León. [tesis Maestría]. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de Méx., México; 2000.

14. RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. (Online) RStudio, Inc. Boston, MA, USA; 2016.
15. Olguín C, González F, Cantú C, Rocha L, Uvalle J, Marmolejo J. Competencia alimentaria entre el venado cola blanca y tres herbívoros exóticos en el noreste de Tamaulipas, México. *Rev Mex Cienc Forest* 2017;8(42):7–27.
16. Kie JG, White M, Drawe D. Condition parameters of white-tailed deer in Texas. *J Wildl Manag* 1983;47(3):583–594.
17. Stocker M, Gilbert FF. Vegetation and deer habitat relations in southern Ontario: application of habitat classification to white-tailed deer. *J Appl Ecol* 1977;14(2):433–444.
18. Wheaton C, Brown RD. Feed intake and digestive efficiency of South Texas white-tailed deer. *J Wildl Manag* 1983;(47):442–450.
19. Gastelum-Mendoza FI, González-Saldívar FN, Cantú-Ayala CM, Uvalle-Sauceda JI, Guerrero-Cárdenas I, Lozano-Cavazos EA. Forage diversity and selection in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus Texanus* MEARNNS) in Coahuila, Mexico. *Agroproductividad* 2023;16(1): 97–107.
20. Lozano-Cavazos EA, Gastelum-Mendoza FI, Reséndiz-Dávila L, Romero-Figueroa G, González-Saldívar FN, Uvalle-Sauceda JI. Composición de la dieta del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus texanus* Mearns) identificada en contenido ruminal en Coahuila, México. *Agroproductividad* 2020;13(6):49–54.
21. Krausman PR. Introduction to wildlife management: the basics. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall; 2002.
22. Granados D, Tarango L, Olmos G, Palacio J, Clemente F. Disponibilidad de forraje del venado cola blanca *Odocoileus virginianus thomasi* (Artiodactyla: Cervidae) en un campo experimental de Campeche, México. *Rev Biol Trop* 2014;62(2):699–710.
23. Barrera-Salazar A, Mandujano S, Villarreal O, Jiménez-García D. Classification of vegetation types in the habitat of white-tailed deer in a location of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, Mexico. *Trop Conserv Sci* 2015;8(2):547–563.
24. Gallina SA, Mandujano S, Villarreal O. Monitoreo y manejo del venado cola blanca: conceptos y métodos. México: Instituto de Ecología; 2014.



Manejo del pasto elefante de riego intercalado con leguminosas en la región semiárida



Jéssica Daisy do Vale Bezerra ^a

João Virgínio Emerenciano Neto ^{ab*}

Tamiris da Cruz da Silva ^a

Patrick Bezerra Fernandes ^c

Stela Antas Urbano ^b

Felipe Pontes Teixeira das Chagas ^b

Gelson dos Santos Difante ^d

Marcone Geraldo Costa ^b

Antonio Leandro Chaves Gurgel ^e

Francisco Israel Lopes Sousa ^b

Rodrigo da Silva Santos ^a

Ana Beatriz Graciano da Costa ^a

^a Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina, PE, Brazil.

^b Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba, RN, Brazil.

^c Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano. Rio Verde, GO, Brazil.

^d Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS, Brazil.

^e Universidade Federal do Piauí. Bom Jesus, PI, Brazil.

* Autor de correspondencia: jv.em.neto@gmail.com

Resumen:

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la producción y composición química del pasto elefante (*Pennisetum purpureum* sin. *Cenchrus purpureus* cv. Mott) intercalado con *Cajanus cajan* (Mandarim y Fava Larga) y *Stylosanthes guianensis* (Bela) en comparación con su cultivo en monocultivo bajo manejo de riego en la región semiárida. El experimento se llevó a cabo en el Campus de Ciencias Agrícolas de la Universidad Federal del Valle de São Francisco, Petrolina, Brasil. El experimento consistió en los siguientes tratamientos: pasto elefante intercalado con cada leguminosa y dos tipos de monocultivo, uno con fertilización nitrogenada (200 kg ha^{-1}) y el otro sin ella. Las leguminosas ayudaron a mejorar la calidad del dosel forrajero, con altos niveles de proteína cruda. La fertilización nitrogenada aumentó la masa de forraje producido por el pasto elefante. El análisis acumulativo de todos los cortes mostró que el cultivo intercalado de elefante con el cultivar Bela logró el mayor rendimiento, con 13.49 Mg ha^{-1} , debido principalmente al aumento en la población de Bela, que demostró ser superior a las otras leguminosas a lo largo de los cortes. Con base en los resultados, se recomienda el cultivo intercalado de elefante con el cultivar Bela como la estrategia más efectiva para maximizar la producción de forraje en la región semiárida.

Palabras clave: *Cajanus*, Stylo, Pasto, Masa forrajera, Proteína cruda.

Received: 05/08/2024

Accepted: 09/09/2024

Las regiones semiáridas sufren de estacionalidad en la producción de forraje causada por la escasez de agua y las lluvias irregulares⁽¹⁾. Además, los suelos de esta región exhiben poca materia orgánica, lo que reduce la fracción de nutrientes esenciales y la humedad del suelo⁽²⁾, agravando la producción de alimentos para la nutrición de los rumiantes domésticos. Otro punto de atención es el número reducido de recursos forrajeros nativos con plasticidad fenotípica para esta región.

Para superar esta situación, es crucial introducir plantas forrajeras cultivadas. Una opción prometedora es el pasto elefante (*Pennisetum purpureum* sin. *Cenchrus purpureus*). Al sumar todos los cortes para evaluar el rendimiento de forraje, se pueden obtener hasta 40 Mg ha^{-1} de masa de forraje⁽³⁾. Otra ventaja es su versatilidad, que puede ser utilizada como alimento fresco o conservado para animales^(4,5).

Sin embargo, el pasto elefante es muy exigente en su manejo de fertilización, ya que exhibe el máximo potencial de producción cuando se proporcionan entre 100 y 200 kg ha^{-1} de fertilización nitrogenada^(3,6). Por lo tanto, el mantenimiento de este pasto puede ser costoso

para el sistema de producción. A pesar de esto, existe una estrategia que se puede adoptar para reducir los costos de su mantenimiento: la introducción de leguminosas forrajeras provenientes de climas tropicales, ya que este tipo de forraje puede aumentar el nitrógeno en el suelo en 120 a 150 kg ha⁻¹ año⁻¹(7), reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos, además de promover la sostenibilidad en el sistema de producción.

La introducción de leguminosas forrajeras, además de mejorar la composición química del suelo, influirá positivamente en otros parámetros agronómicos, tal como observan Rezende *et al*(8). Al intercalar el guandú (*Cajanus cajan*) con el pasto Paiaguás (*Urochloa brizantha*, cv. BRS Paiaguás) en la región brasileña del Cerrado, encontraron que esa estrategia de cultivo impulsó la eficiencia del uso de macronutrientes en el pasto, generando aumentos en el rendimiento de forraje(8). En la misma región, Epifanio *et al*(9) observaron que intercalar *Stylosanthes* con dos cultivares de *Urochloa brizantha* (pasto Piatã y pasto Paiaguás) promovió aumentos en los valores de masa de forraje de las gramíneas, así como mejoras en la composición química del forraje producido.

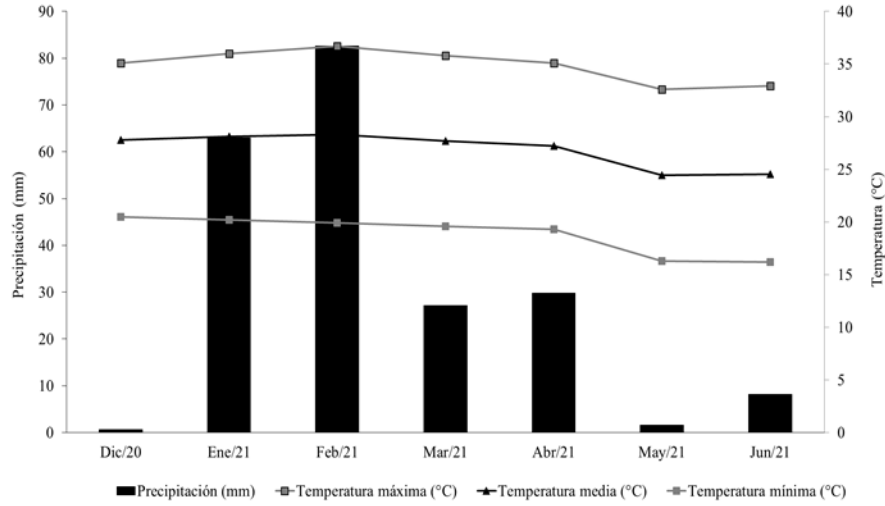
Con base en los beneficios que brindan las leguminosas forrajeras en los sistemas antes mencionados, se formuló la siguiente hipótesis: las leguminosas forrajeras (*Cajanus cajan* y *Stylosanthes*) de clima tropical, al intercalarse con el pasto elefante, promoverán aumentos en el rendimiento de forraje en comparación con el monocultivo de pasto. Además, el cultivo intercalado tendrá un impacto positivo en la composición química del forraje producido en la región semiárida.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la disponibilidad de forraje y la composición química del pasto elefante intercalada con leguminosas forrajeras, en comparación con el monocultivo manejado con riego en la región semiárida.

El experimento se llevó a cabo en el área experimental del Campus de Ciencias Agrícolas de la Universidad Federal del Valle de São Francisco (UNIVASF), en Petrolina, Brasil (09°23'55" S, 40°30'03" O, altitud de 391 m). El experimento comenzó en diciembre de 2020 y finalizó en junio de 2021.

El clima de la región es semiárido, con precipitaciones concentradas en el verano, escasas precipitaciones anuales (435 mm), altas tasas de evapotranspiración potencial (1,520.9 mm) y un importante déficit hídrico a lo largo del año. Los datos meteorológicos para el período estudiado (Figura 1) fueron monitoreados por la estación meteorológica UNIVASF, ubicada aproximadamente a 50 m del área experimental.

Figura 1: Precipitaciones y temperaturas medias, máximas y mínimas durante el periodo experimental



El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro bloques (repetición) y cinco sistemas de cultivo asociados a cuatro cortes. Los tratamientos fueron: pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum., cv. Mott) intercalado con el cultivar Mandarin (*Cajanus cajan*, cultivar Mandarin); pasto elefante intercalado con Fava Larga (*Cajanus cajan*, cv. Fava Larga); hierba elefante intercalada con Bela (*Stylosanthes guianensis*, cv. Bela); pasto elefante en monocultivo con fertilización nitrogenada ($200 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$); pasto elefante en monocultivo sin fertilización.

El suelo de la zona se clasifica como Argisol Amarillo, de textura arenosa/media⁽¹⁰⁾. Para la caracterización química del suelo, se recolectaron muestras en la capa de suelo de 0-20 cm en puntos aleatorios de la zona. Estas se enviaron para su análisis en el laboratorio con el fin de determinar los parámetros químicos. Con base en los resultados del análisis, no hubo necesidad de corregir la acidez activa del suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1: Características químicas del suelo en la capa de 0-20 cm

pH	MO	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	SB	CIC	V
	g kg^{-1}	mg dm^{-3}	cmol dm^{-3}								%
6.80	8.80	31.0	0.07	2.30	0.60	0.04	0.00	0.33	2.98	3.31	90

pH= acidez activa; MO= materia orgánica, P= fósforo, K= potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Na= sodio, Al= aluminio, H+Al= acidez potencial, SB= suma de bases, CIC= capacidad de intercambio catiónico, V= saturación de bases.

El pasto elefante se estableció en marzo de 2018 utilizando esquejes horizontales en surcos de 20 cm de profundidad y espaciados 100 cm entre sí. Las leguminosas se sembraron en octubre de 2020 entre las hileras de hierba elefante en un sistema de hoyos con un espacio de

20 cm entre hoyos. Se sembraron cinco semillas por hoyo para los cultivares de guandú (Mandarim y Fava Larga). Para el stylo (Bela), se sembraron 0.5 gramos de semilla por hoyo. El área de las parcelas fue de 2 x 5 m (10 m²).

Los cortes de evaluación se realizaron a intervalos de 45 días, totalizando cuatro cortes en 6 meses. El riego se realizó mediante riego por goteo, con dos hileras por bloque dispuestas a 0.5 m del borde y 1.0 m entre hileras, con un caudal promedio de 1.3 L h⁻¹, aplicando una profundidad de agua promedio de 6.5 mm h⁻¹. El turno de riego fue de 24 h, cuatro horas seguidas, cinco días a la semana.

Las evaluaciones de morfogénesis se llevaron a cabo en tres macollos de hierba elefante en cada unidad experimental, comenzando siete días después de cada corte, con un intervalo de 7 días entre evaluaciones. Cada macollo se marcó con una cinta de color y se seleccionaron nuevos macollos en cada corte.

Los datos recolectados fueron el número de hojas vivas (expandidas y en expansión), el número de hojas senescentes y muertas por conteo manual, la longitud del pseudotallo (tallos + lígula) desde la base del suelo hasta la lígula de la última hoja expandida, y la longitud de la lámina foliar (expandida y en expansión), desde la lígula hasta el ápice de la lámina foliar.

Los datos recolectados se utilizaron para estimar la tasa de aparición foliar (TAF, hoja macollo día⁻¹) - la diferencia entre el número de hojas finales e iniciales dividida por el intervalo de días entre mediciones; la tasa de elongación foliar (TEF, cm macollos día⁻¹) - calculada como la diferencia entre las sumas de las longitudes de hoja final e inicial (expandidas y en expansión) divididas entre el intervalo de días entre mediciones; tasa de elongación del tallo (TET, cm macollo día⁻¹) - calculado como la diferencia entre la longitud final e inicial del tallo dividida por el intervalo de días entre mediciones; vida útil de la hoja (VUH, días) - el intervalo desde la emergencia de las hojas hasta el 50 % de senescencia; y el filocrono (Fil, días) siendo el inverso de TAF.

Para analizar las características estructurales, primero se midió la densidad poblacional de macollos (DPM, m²) mediante conteo manual en tres puntos diferentes de un área conocida (cuadrante de 0.25 m²), y se recolectaron seis macollos cercanos al suelo de cada unidad experimental. En los macollos se midió: número de hojas vivas (NHV, hojas macollo⁻¹) mediante conteo manual y longitud final de la hoja (LFH, cm) desde la base de la lígula hasta el final de la lámina foliar utilizando una regla graduada.

Para las evaluaciones de altura, se midió la altura del dosel (AD, cm) del pasto elefante y la altura de la planta (AP, cm) de las leguminosas utilizando un palo graduado en centímetros en tres puntos representativos de cada parcela. La AD correspondió a la altura media de la

curvatura de las hojas alrededor del palo desde el nivel del suelo. La AP correspondió a la yema apical de la rama más alta.

La altura de corte adoptada para el pasto fue cercana al suelo, mientras que para los cultivares de leguminosas, fue a 20 cm del suelo. Todo el material contenido en las hileras centrales (5 m²) de la parcela se recolectó y pesó para cuantificar el peso verde. A partir de esto, se tomó una submuestra de aproximadamente 1 kg para cada cultivar para determinar la masa seca y separarla en fracciones de lámina foliar, tallo y material senescente.

Después de la separación, los componentes se colocaron en un horno de circulación forzada a 55 °C durante 72 h. Una vez obtenido el peso seco, se calculó el contenido de materia seca (MS) y se determinó la masa de forraje (MF, kg ha⁻¹) y componentes botánicos: masa de forraje foliar (MFF, kg ha⁻¹); masa de forraje del tallo (MFTA, kg ha⁻¹); masa de forraje de material muerto (MFM, kg ha⁻¹); relación entre la masa de forraje y la masa de forraje del tallo (F:TA). Durante el periodo experimental se realizaron cuatro cortes, por lo que al final de la recolección de datos se sumaron los cuatro ciclos para cuantificar la producción de los sistemas evaluados (Mg ha⁻¹).

La composición química del forraje se evaluó en toda la planta obtenida por corte y secado en horno de circulación forzada durante 72 h. Después del secado, se molieron en un molino, se identificaron y se sometieron a análisis en el Laboratorio de Nutrición Animal Multiusuario de la Escuela Agrícola de Jundiá, Unidad Académica Especializada en Ciencias Agrícolas de la Universidad Federal de Rio Grande do Norte. Las muestras se evaluaron para materia seca (MS), proteína cruda (PC, g kg⁻¹), cenizas (g kg⁻¹), fibra detergente neutro (FDN, g kg⁻¹), fibra detergente ácido (FDA, g kg⁻¹) y lignina (g kg⁻¹). Todos los análisis siguieron las recomendaciones de Detmann *et al*⁽¹¹⁾.

Los datos se analizaron utilizando tres modelos: el modelo I ($Y_{ijk} = \mu + G_i + B_k + e_{ijk}$) se utilizó para analizar las características de la hierba elefante; el modelo II ($Y_{ijk} = \mu + L_i + B_k + e_{ijk}$) se utilizó para analizar las características relacionadas con las leguminosas forrajeras; el modelo III ($Y_{ijk} = \mu + A_i + B_k + e_{ijk}$) se utilizó para analizar la producción de masa de forraje durante el período experimental.

Los parámetros del modelo están representados por: Y_{ijk} representa la característica evaluada; μ la constante del modelo; G_i el efecto del sistema de cultivo (pasto elefante + Mandarin, Hierba elefante + Fava Larga, Hierba elefante + Bela, Hierba elefante con fertilizante, Hierba elefante sin fertilizante); B_k el efecto del bloque (I, II, III, IV); L_i el efecto de las leguminosas forrajeras (Mandarin, Fava Larga y Bela); A_i representa el efecto acumulativo de los cultivos intercalados y los monocultivos; e_{ijk} el error aleatorio observado en cada modelo.

Los factores de los sistemas de cultivo y las plantas leguminosas forrajeras se consideraron efectos fijos, mientras que el bloque se consideró como un efecto aleatorio. A continuación, se realizaron análisis de modelos mixtos utilizando el paquete *lme4*⁽¹²⁾. Las medias se calcularon por mínimos cuadrados utilizando el paquete *emmeans*⁽¹³⁾, y cuando se observó un efecto estadísticamente significativo ($P < 0.05$), las medias se compararon utilizando la prueba de Tukey. Todos los análisis se realizaron con el software R⁽¹⁴⁾.

La condición con fertilizante generó los valores más altos de LFH y TET en comparación con los otros sistemas evaluados (Cuadro 2). No hubo efecto del sistema de cultivo para las otras características. Por lo tanto, para el pasto elefante, los valores promedio obtenidos fueron los siguientes: TAF de 0.166 hoja macollo día⁻¹, TEF de 7.05 cm macollo día⁻¹, Fil de 6.78 día, VUH de 57.54 día, NHV de 8.65 hojas macollo⁻¹ y DPM de 194 m².

Cuadro 2: Morfogénesis y estructura del macollo de la hierba elefante en diferentes sistemas de cultivo

Sistemas de cultivo	TAF (hoja macollo día ⁻¹)	TEF (cm macollo día ⁻¹)	TET (cm macollo día ⁻¹)	Fil (días)	VUH (días)	NHV (hojas macollo ⁻¹)	LFH (cm)	DPM (m ²)
Pasto								
elefante +	0.168 ^a	6.86 ^a	0.172 ^{ab}	6.96 ^a	56.20 ^a	8.34 ^a	40.10 ^{ab}	185.10 ^a
Mandarim								
Pasto								
elefante +	0.164 ^a	6.96 ^a	0.149 ^b	6.79 ^a	59.30 ^a	8.88 ^a	40.50 ^{ab}	184.70 ^a
Fava Larga								
Pasto								
elefante +	0.159 ^a	6.29 ^a	0.143 ^b	7.03 ^a	58.30 ^a	8.44 ^a	37.40 ^b	196.50 ^a
Bela								
Pasto								
elefante con fertilizante	0.178 ^a	8.37 ^a	0.206 ^a	6.16 ^a	54.30 ^a	8.92 ^a	44.30 ^a	204.70 ^a
Pasto								
elefante sin fertilizante	0.160 ^a	6.76 ^a	0.139 ^b	6.99 ^a	59.60 ^a	8.67 ^a	39.20 ^{ab}	197.30 ^a
EEM	0.004	0.376	0.011	0.205	1.50	0.099	0.870	7.50
Valor <i>P</i>	0.375	0.060	0.001	0.424	0.546	0.209	<0.001	0.292

TAF= tasa de aparición foliar; TEF= tasa de elongación foliar; TET= tasa de elongación del tallo; Fil= filocrono; VUH= vida útil de las hojas; NHV= número de hojas vivas; LFH= longitud final de la hoja; DPM= densidad poblacional de macollos. Valor *P*= probabilidad de efecto significativo. EEM= Error estándar de la media.

^{ab} Las medias seguidas de letras minúsculas distintas en columnas difieren según la prueba de Tukey.

Al verificar la AD, MF, MFF, MFTA y MFM el pasto elefante, el escenario con fertilización generó los valores más altos (Cuadro 3). Los sistemas de cultivo no tuvieron efecto sobre F:TA, con un valor promedio de 2.98.

Cuadro 3: Características estructurales y botánicas del pasto elefante en diferentes sistemas de cultivo

Sistemas de cultivo	AD (cm)	MF (kg ha ⁻¹)	MFF (kg ha ⁻¹)	MFTA (kg ha ⁻¹)	MFM (kg ha ⁻¹)	F:TA
Pasto elefante + Mandarin	39.10 ^b	1238 ^c	832 ^c	355 ^b	51.10 ^b	2.94 ^a
Pasto elefante + Fava Larga	37.50 ^b	1333 ^{bc}	901 ^{bc}	380 ^b	51.60 ^b	2.97 ^a
Pasto elefante + Bela	40.30 ^b	1227 ^c	828 ^c	345 ^b	53.90 ^b	3.16 ^a
Pasto elefante con fertilizante	45.50 ^a	2209 ^a	1475 ^a	651 ^a	83.30 ^a	2.79 ^a
Pasto elefante sin fertilizante	40.20 ^b	1681 ^b	1125 ^b	484 ^{ab}	71.80 ^{ab}	3.03 ^a
EEM	0.757	80.93	46.08	35.02	4.94	0.136
Valor <i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.452

AD= altura del dosel; MF= masa de forraje; MFF= masa de forraje foliar; MFTA= masa de forraje del tallo; MFM= masa de forraje de material muerto; F:TA= relación entre la masa de forraje y la masa de forraje del tallo. Valor *P*: probabilidad de efecto significativo. EEM: Error estándar de la media.

^{abc} Las medias seguidas de letras minúsculas distintas en columnas difieren según la prueba de Tukey.

Los cultivares Mandarin y Fava Larga presentaron los valores más altos de AP, mientras que los cultivares Bela presentaron valores altos de MFF, DP y MFTA (Cuadro 4). Los sistemas de cultivo no afectaron la MFF, con un valor promedio de 1,041 kg ha⁻¹.

Cuadro 4: Características estructurales y botánicas de leguminosas forrajeras intercaladas con pasto elefante

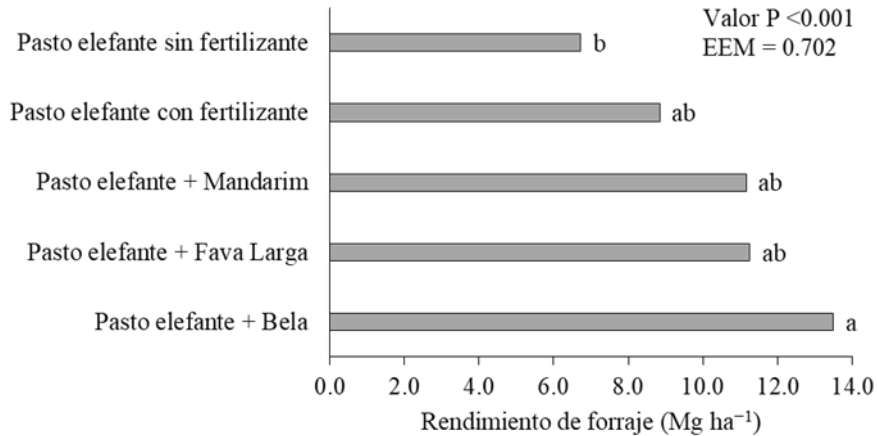
Sistemas de cultivo	AP (cm)	DP (m ²)	MF (kg ha ⁻¹)	MFF (kg ha ⁻¹)	MFTA (kg ha ⁻¹)
Pasto elefante + Mandarinim	104.90 ^a	6.99 ^b	1551 ^b	987 ^a	564 ^b
Pasto elefante + Fava Larga	98.90 ^a	6.87 ^b	1482 ^b	983 ^a	499 ^b
Pasto elefante + Bela	55.00 ^b	59.77 ^a	2145 ^a	1153 ^a	991 ^a
EEM	4.27	0.279	121.56	56.42	3,70
Valor <i>P</i>	<0.001	<0.001	0.008	0.268	<0.001

AP= altura de la planta; DP= densidad de plantas; MF= masa de forraje; MFF= masa de forraje foliar; MFTA= masa de forraje del tallo. Valor *P*: probabilidad de efecto significativo. EEM: Error estándar de la media.

^{ab} Las medias seguidas de letras minúsculas distintas en columnas difieren según la prueba de Tukey.

Los sistemas de cultivo afectaron el rendimiento de forraje (Figura 2), donde se puede observar que el cultivo intercalado de pasto elefante con el cultivar Bela tuvo la mayor producción acumulada (13.49 Mg ha⁻¹). Cuando no se aplicó fertilización, el pasto elefante en monocultivo generó el menor rendimiento, con un valor de 6.72 Mg ha⁻¹.

Figura 2: Rendimiento de forraje obtenido en los sistemas de cultivo durante el periodo de evaluación. Las letras minúsculas en las columnas difieren según la prueba de Tukey



Valor *P*: probabilidad de efecto significativo. SEM: error estándar de la media.

El valor más alto de cenizas se observa cuando el pasto elefante se intercala con el cultivar Bela (Cuadro 5). En cuanto a las demás características químicas del pasto en los diferentes sistemas de cultivo, los promedios fueron 73.10 g kg⁻¹ de PC, 676.20 g kg⁻¹ de FDN, 374.80 g kg⁻¹ de FDA, y 62.12 g kg⁻¹ de lignina. Los cultivares Mandarinim y Fava Larga presentaron los valores más altos de PC, FDA y lignina. Por otro lado, hubo aumentos en los valores de

cenizas para el cultivar Bela. La mayor concentración de FDN se encontró en el cultivar Mandarin.

Al analizar la morfogénesis y las características estructurales de la hierba elefante, como TAF, TEF, Fil, VUH y DPM, el cultivar evaluado (Hierba elefante - Mott) en la región semiárida muestra una plasticidad fenotípica notable, lo que le permite integrarse de manera efectiva con diferentes recursos forrajeros. Esta adaptabilidad es muy ventajosa, ya que amplía significativamente las oportunidades de diversificación en la producción de forraje. En diferentes contextos climáticos y edafológicos, como lo encontraron Silva *et al*⁽¹⁵⁾ y Seibt *et al*⁽¹⁶⁾, la hierba elefante ha demostrado su capacidad para coexistir con otras leguminosas forrajeras, como el maní forrajero (*Arachis pintoi*), el trébol hoja de flecha (*Trifolium vesiculosum*) y las alas de paloma asiáticas (*Clitoria ternatea*).

La LFH es una característica del dosel que refleja la ganancia de área foliar⁽¹⁷⁾. En el caso de la hierba elefante, se observó que la mayor longitud de hoja se logró en condiciones de monocultivo y con fertilización química nitrogenada. En este manejo, la ausencia de otras especies forrajeras que pudieran restringir la dinámica del área foliar permitió un aumento en el tamaño de las hojas. Además, el suministro de fertilizante nitrogenado químico garantiza la disponibilidad inmediata de este nutriente, optimizando la dinámica del área foliar⁽¹⁸⁾ y TET⁽¹⁹⁾, justificando los mayores valores de MF, MFF y MFTA en el monocultivo.

Como mencionaron algunos investigadores^(20,21), el NHV es un rasgo predeterminado genéticamente. Por lo tanto, los macollos mantienen un número constante de hojas en condiciones ideales sin estreses que puedan inhibir el potencial de la planta. Incluso en el manejo de monocultivos sin fertilización nitrogenada, cuando el suelo tiene buenos parámetros de fertilidad (Cuadro 1), es posible crear un ambiente propicio para expresar este patrón constante en el NHV. Igualmente, la medición de NHV observada es similar a los resultados de otros autores⁽²²⁾, quienes obtuvieron un valor de 8.58 hojas macollo⁻¹ en hierba elefante, cultivar Pioneiro (*Pennisetum purpureum* Schum., cv. Pioneiro).

Al sumar la MF del pasto elefante y leguminosas, se puede observar que el potencial del monocultivo es limitado, ya que el cultivo intercalado de hierba elefante y Bela tuvo la mayor producción de forraje (Figura 2). En la literatura, se reporta que el cultivo intercalado entre diferentes recursos forrajeros promueve aumentos en la eficiencia de la utilización de los recursos abióticos, lo que resulta en aumentos en la producción de plantas (grano y biomasa) y en la eficiencia de la utilización del suelo⁽²³⁾.

Este aumento en la producción solo se puede lograr seleccionando cuidadosamente los recursos forrajeros que componen el cultivo intercalado, por lo que, al seleccionar las plantas forrajeras para formar este sistema de producción, la decisión debe basarse en varios

parámetros agronómicos. En el caso del cultivar Bela, a pesar de tener la AP más baja, hubo una DP más alta en comparación con los cultivares de guandú, lo que permitió que el cultivar stylo aumentara su MF.

Esto demuestra que este cultivar puede ser una buena opción para la producción de forraje en la región semiárida cuando se intercala con hierba elefante. Otra ventaja del uso de stylo en cultivos intercalados con gramíneas es el efecto residual positivo en el suelo. Incluso si esta leguminosa desaparece de la zona, el aumento de nitrógeno y materia orgánica asegura la producción de forraje en futuros cultivos⁽²⁴⁾.

Las gramíneas de climas tropicales presentan naturalmente una menor fracción proteica en la composición de la MF, siendo común que este grupo de plantas en fase vegetativa exhiba un valor de PC que oscila entre 72.43 g kg⁻¹ y 119.30 g kg⁻¹^(25,26). Por otro lado, se observan altos valores de FDN y FDA en la composición química de MS de pasturas de clima tropical^(27,28,29).

Valores más altos de FDN y FDA generan un recurso forrajero, un factor limitante potencial para el consumo de forraje cuando se proporciona a los animales. Además, los aumentos en las fracciones fibrosas y de lignina se asocian con forrajes con altas fracciones de MFTA en el dosel forrajero, impactando en una baja relación F:TA⁽³⁰⁾.

En un estudio de Lima *et al*⁽³¹⁾, diferentes genotipos de hierba elefante mostraron valores de F:TA que variaron de 0.95 a 1.43 cuando el forraje se cosechó 56 días después del rebrote del corte anterior. En el manejo de corte adoptado para hierba elefante intercalada y monocultivos en la región semiárida, se observó una mejor relación F:TA cuando el corte se realizó a una altura de 20 cm sobre el suelo, reduciendo la participación del tallo en MF. Estos resultados indican que esta estrategia de manejo fue adecuada para la cosecha de hierba elefante en los diferentes sistemas de cultivo evaluados.

Se espera que las leguminosas tengan un mayor contenido de PC en su composición, lo que permite producir un alimento de mejor calidad para la nutrición animal. Ligoski *et al*⁽³²⁾ encontraron que el cultivo intercalado de guandú (*Cajanus cajan*, cv. Super N) con pasto Xaraés (*Urochloa brizantha*, cv. BRS Xaraés) y maíz (*Zea mays*) no solo tuvo un mayor contenido de proteína en comparación con el monocultivo de maíz, sino que también resultó en un forraje que contribuye a menores tasas de emisión de metano.

El cultivo intercalado del cultivar Bela con la hierba elefante aumentó las fracciones de cenizas para el pasto y la leguminosa. Prado *et al*⁽³³⁾ observaron que el cultivo intercalado del cultivar Bela con pasto de Guinea Tamani (*Megathyrus maximus*, cv. BRS Tamani) produjo MF con valores de cenizas más altos que los monocultivos. La introducción de leguminosas

forrajeras a través del cultivo intercalado con otros recursos forrajeros impacta directamente en la composición química del suelo, donde esta forma de cultivo promueve aumentos en la biodisponibilidad de nutrientes esenciales. Como resultado, las gramíneas de este tipo de cultivo se desarrollan en un ambiente que permite una mayor absorción de nutrientes para la parte aérea, lo que altera la composición mineral del forraje producido^(8,34).

Se recomienda intercalar el pasto elefante con el cultivar Bela, ya que resultó en aumentos significativos en la producción total de forraje, lo que pone de manifiesto el potencial de este sistema de cultivo para optimizar la producción de forraje en la región semiárida.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado en parte por la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES – Código de Finanzas 001) y el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq). Agradecemos a UNIVASF y UFRN por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Cuadro 5: Composición química de la hierba elefante y las leguminosas forrajeras (g kg⁻¹)

Sistemas de cultivo	*Pasto elefante					*Leguminosas forrajeras				
	PC	Ceniza	FDN	FDA	Lignina	PC	Ceniza	FDN	FDA	Lignina
Hierba elefante + Mandarin	74.60 ^a	124.00 ^{ab}	681 ^a	381 ^a	61.40 ^a	168 ^a	45.40 ^b	616 ^a	434 ^a	178.0 ^a
Hierba elefante + Fava Larga	76.20 ^a	124.00 ^{ab}	669 ^a	371 ^a	58.50 ^a	165 ^a	38.8 ^c	611 ^{ab}	430 ^a	178.90 ^a
Hierba elefante + Bela	72.70 ^a	135.00 ^a	673 ^a	370 ^a	62.30 ^a	147 ^b	77.20 ^a	557 ^b	357 ^b	99.30 ^b
Hierba elefante con fertilizante	71.10 ^a	112.00 ^b	683 ^a	375 ^a	67.60 ^a	-	-	-	-	-
Hierba elefante sin fertilizante	70.90 ^a	118.00 ^{ab}	675 ^a	377 ^a	60.80 ^a	-	-	-	-	-
EEM	0.743	2.59	6.40	3.34	1.79	6.58	3.65	10.02	11.95	8.31
Valor <i>P</i>	0.108	0.010	0.894	0.250	0.371	<0.001	<0.001	0.006	<0.001	<0.001

* Valores expresados con respecto a la materia seca. PC= proteína cruda, FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido. Valor *P*: probabilidad de efecto significativo. EEM: Error estándar de la media.

^{abc} Las medias seguidas de letras minúsculas distintas en columnas difieren según la prueba de Tukey.

Literatura citada:

1. Pereira GF, Emerenciano Neto JV, Difante GS, Assis LCS, Lima PO. Morphogenic and structural characteristics of tropical forage grasses managed under different regrowth periods in the Brazilian semi-arid region. *Semina: Ciênc Agrár* 2019;40(1):283.
2. Costa ABG, Difante GS, Campelo BAM, Gurgel ALC, Costa CM, Theodoro GF, *et al.* Morphogenetic, structural and production traits of Marandu grass under nitrogen rates in Neo soil. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2021;73:658-664.
3. Oliveira LE, Oliveira FH, Silva GG, Bezerra MGS, Morais ÉG, Bezerra GF, *et al.* Nitrogen and phosphorus fertilizer application to Elephant grass (*Cenchrus purpureus* syn. *Pennisetum purpureum*) cultivar 'Cameroon' in an arenosol in Rio Grande do Norte, Brazil. *Trop Grassl Forrajes Trop* 2022;10(3):280-287.
4. Figueiredo MRP, Teixeira ACB, Bittencourt LL, Moreira GR, Ribeiro AJ, Silva FSG, *et al.* Elephant grass silage with addition of regional by-products. *Acta Sci Anim Sci* 2022;44.
5. Islam MR, Garcia SC, Islam MA, Bashar MK, Roy A, Roy BK, Sarker NR, Clark CEF. Ruminant production from napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum): A review. *Animals (Basel)* 2024;14:467.
6. Bueno AM, Andrade AF, Viçosi KA, Flores RA, Sette CR, Cunha TQG, Santos GG. Does nitrogen application improve elephant grass yield and energetic characteristics of biofuels? *Bioenerg Res* 2021;14:774-784.
7. Boddey RM, Casagrande DR, Homem BGC, Alves BJR. Forage legumes in grass pastures in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: A review. *Grass Forage Sci* 2020;75:1-15.
8. Rezende PR, Rodrigues LM, Backes C, Teodoro AG, Santos AJM, Fernandes PB, Giongo PR, Ribon AA, Bessa SV. Productivity and nutrient extraction by Paiaguás palisadegrass submitted to doses of nitrogen in single cultivation and intercropped with pigeon pea. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2022;74:1151-1160.
9. Epifanio PS, Costa KAP, Severiano EC, Souza WF, Teixeira DAA, Silva JT, Aquino MM. Productive and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* cultivars intercropped with *Stylosanthes* cv. Campo Grande in different forage systems. *Crop Pasture Sci* 2019;70:718-729.
10. Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbrera JF, Coelho MR, *et al.* Sistema brasileiro de classificação de solos. 5th ed. Brasília: Embrapa CNPS; 2018.
11. Detmann E, Souza MA, Valadares Filho SC. Métodos para análise de alimentos – INCT - Ciência animal. Visconde do Rio Branco: Suprema; 2012.

12. Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S. Fitting linear mixed-Effects models using lme4. J Stat Softw 2015;67:1-48.
13. Lenth R, Singmann H, Love J, Buerkner P, Herve M. Emmeans: estimated marginal means, aka least-squares means. R Package Version 1.4.8. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
14. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.
15. Silva PH, Santos MV, Mello AC, Silva TBS, Neto DES, da Silva VJ, Dubeux Jr JCB, Coelho JJ, Souza EJO, Cunha MV. Agronomic responses and herbage nutritive value of elephant grass (*Cenchrus purpureus*) genotypes grown as monocrops and mixed with butterfly pea (*Clitoria ternatea*). Crop Pasture Sci 2023;74:1210-1222.
16. Seibt DC, Olivo CJ, Alessio V, Sauter CP, Bratz VF, Aguirre PF. Forage mass and nutritional value of elephant grass intercropped with forage legumes. Rev Ceres 2021;68:429-440.
17. Fernandes PB, Barbosa RA, Morais MG, Medeiros-Neto C, Gurgel ALC, Costa CM, Costa ABG, Santana JCS, Silva MGP, Difante GS. Evaluation and reparametrization of mathematical models for prediction of the leaf area of *Megathyrus maximus* cv. BRS Zuri. Trop Grassl Forrajes Trop 2020;8:214-219.
18. Euclides VPB, Montagner DB, Araújo AR, Pereira MA, Difante GS, Araújo IMM, Barbosa LF, Barbosa RA, Gurgel ALC. Biological and economic responses to increasing nitrogen rates in Mombaça guinea grass pastures. Sci Rep 2022;12:1937.
19. Rodrigues LF, Santos AC, Junior OS, Santos JGD, Faria AFG, Coelho BPL. Morphogenic and structural characteristics of Marandu grass cultivated under grazing management and nitrogen fertilization. Semina: Ciênc Agrár 2019;40(5Supl1):2331-2340.
20. Lemaire G, Agnusdei M. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: Lemaire G, Hodgson J, Moraes A, et al. editors. Grassland ecophysiology and grazing ecology. Wallingford: CAB International; 2000:265-288.
21. Difante GS, Nascimento Junior DD, Da Silva SC, Euclides VPB, Montagner DB, Silveira MCT, Pena KS. Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu submetido a combinações de alturas e intervalos de corte. Rev Bras Zootec 2011;40:955-963.
22. Sales ECJ, Saraiva CRS, Reis ST, Rocha Júnior VR, Pires DAA, Vitor CMT. Morphogenesis and productivity of Pioneiro elephant grass under different residual heights and light interceptions. Acta Sci Anim Sci 2014;36:137-143.
23. Chapagain T, Riseman A. Intercropping wheat and beans: effects on agronomic performance and land productivity. Crop Sci 2014;54:2285-2293.

24. Menezes RC, Alves EB, Casagrande DR, Lara MAS, Evangelista AR, Bernardes TF. Xaraés palisadegrass remains productive after the disappearance of stylo in tropical legume-grass pasture. *Sci Agric* 2015;72(6):484-488.
25. Ferreira EA, Abreu JG, Martinez JC, Braz TGS, Ferreira DP. Cutting ages of elephant grass for chopped hay production. *Pesqui Agropecu Trop* 2018;48(3):245-253.
26. Coca FOCG, Gomes ENO, Junges L, Itavo LCV, Nonato LM, Gomes FK, Itavo CCBF, Difante GS, Dias AM. Protodioscin content, degradation kinetics, and *in vitro* digestibility of Marandu palisadegrass hay as were affected by cutting interval of the canopy. *Trop Anim Sci J* 2022;45:299-307.
27. Euclides VPB, Macedo MCM, Valle CBD, Difante GDS, Barbosa RA, Cacere ER. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. *Pesqui Agropecu Bras* 2009;44:98-106.
28. Rodrigues JG, Difante GS, Ítavo LCV, Pereira MG, Gurgel ALC, Costa ABG, Vêras ELL, Monteiro GOA, Dias AM, Ítavo CCBF. Forage Accumulation and Nutritional Characteristics of *Brachiaria* Cultivars Grown in a Semi-arid Environment. *Trop Anim Sci J* 2023;46:85-96.
29. Costa RRGF, Costa KAP, Souza WF, Epifanio PS, Santos CB, Silva JT, Oliveira SS. Production and quality of silages pearl millet and paiaguas palisadegrass in monocropping and intercropping in different forage systems. *Biosci J* 2018;34:957-967.
30. Brâncio PA, Euclides VPB, Nascimento Júnior D, Fonseca DM, Almeida RG, Macedo MCM, Barbosa RA. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo: disponibilidade de forragem, altura do resíduo pós-pastejo e participação de folhas, colmos e material morto. *Rev Bras Zootec* 2003;32:55-63.
31. Lima ES, Silva JFC, Vásquez HM, Araújo SAC, Lista FN, Costa DPB. Produção de matéria seca e proteína bruta e relação folha/colmo de genótipos de capim-elefante aos 56 dias de rebrota. *Rev Bras Zootec* 2007;36:1518-1523.
32. Ligoski B, Gonçalves LF, Claudio FL, Alves EM, Krüger AM, Bizzuti BE, Lima PMT, Abdalla AL, Paim TP. Silage of intercropping corn, palisade grass, and pigeon pea increases protein content and reduces *in vitro* methane production. *Agronomy* 2020;10:1784.
33. Prado LG, Costa KAP, Silva LM, Costa AC, Severiano EC, Costa JVCP, Habermann E, Silva JAG. Silages of sorghum, Tamani guinea grass, and *Stylosanthes* in an integrated system: production and quality. *Front Sustain Food Syst* 2023;7:1-15.
34. Silva LM, Costa KAP, Oliveira KJ, Costa AC, Silva JAG, Costa JVCP, *et al.* Fermentation dynamics and quality of maize silage with Pigeon pea. *Sem Ci Agr* 2023;44:567-584.



Evaluación *in vitro* de una fuente de nitrato protegido para rumiantes: efecto sobre la degradación de la materia seca y producción de metano



María Elizabeth Rendón-Correa ^a

Sandra Lucia Posada-Ochoa ^a

Jaime Ricardo Rosero-Noguera ^{a*}

^a Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias – GRICA Calle 70 No. 52 – 21, Apartado aéreo 1226. Colombia.

*Autor de correspondencia: jaime.rosero@udea.edu.co

Resumen:

El objetivo fue evaluar un método para reducir la tasa de liberación del nitrato de calcio en un ambiente de fermentación ruminal simulado, y determinar su efecto sobre la degradación de la materia seca y la producción de metano. En el experimento *in vitro* se usó pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*, *Hochst ex Chiov*) (KK) como alimento base y la adición de nitrato protegido (NP), nitrato libre (NL) y urea (KU) al ambiente de fermentación. La cantidad de nitrato adicionado correspondió al 3 % de la materia seca incubada. Los datos se analizaron con medidas repetidas en el tiempo considerando como efectos fijos el tratamiento y el tiempo y como factor aleatorio el animal donador del inóculo ruminal. Después de 24 h de incubación, el NL y el NP redujeron la degradación de la materia seca en 11.4 y 15 %, respectivamente. La adición de nitratos redujo significativamente la producción de metano. La diferencia en las tasas de producción de metano expresadas en ml/g de materia seca degradada entre los tratamientos NL (21.0) y NP (31.2) a las 48 h de incubación, indican menor tasa de liberación del nitrato como consecuencia del método de protección empleado. Los resultados de este ensayo muestran que la inclusión de nitratos protegidos en niveles correspondientes al 3 % de la materia seca incubada pueden llegar a reducir en un 53 % la producción de metano.

Palabras clave: Aditivos, Metano, Nitrato encapsulado.

Recibido: 20/01/2023

Aceptado: 03/09/2024

Entre los gases de efecto invernadero (GEI) originados por la actividad humana, el metano (CH_4) es el gas emitido en mayor cuantía después del dióxido de carbono (CO_2). Si bien el CH_4 permanece en la atmósfera durante un período más corto de tiempo y se emite en cantidades menores, su potencial de calentamiento global es entre 25 a 34 veces mayor que el del CO_2 ⁽¹⁾. Las emisiones de CH_4 entérico representan el 30 % de las emisiones mundiales de este gas. Debido a que el CH_4 es un contaminante climático de vida corta, la reducción de las emisiones de CH_4 entérico pueden ayudar a mitigar el cambio climático dentro de nuestro actual tiempo de vida⁽²⁾.

En los rumiantes, la producción de CH_4 ocurre durante la fermentación entérica de la materia orgánica, debido a la necesidad de remover el hidrógeno del rumen para mantener un bajo potencial redox en el sitio de la fermentación. El nitrato (NO_3^-), un aceptor de electrones, se ha estudiado como una vía potencial para direccionar los equivalentes reducidos lejos de la metanogénesis; presentándose como una ruta disipadora de hidrógenos con utilidad para el animal y el medio ambiente⁽³⁾. En el rumen el NO_3^- es reducido a nitrito (NO_2^-) ($\text{NO}_3^- + \text{H}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$) y éste al ion amonio (NH_4^+) ($\text{NO}_2^- + 3\text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$), proceso que captura cuatro moles de hidrógeno por mol de NO_3^- reducido⁽⁴⁾. La reducción de NO_3^- a NO_2^- tiene un $\Delta G = -130$ kJ y de NO_2^- a NH_4^+ , presenta un $\Delta G = -371$ kJ, los cuales son energéticamente más favorables que la producción de metano ($\Delta G = -67$ KJ)⁽⁵⁾. La reducción de NO_2^- a NH_4^+ es un paso lento, debido a la baja producción de la enzima nitrito-reductasa de los microorganismos ruminales, lo que puede conducir a un aumento en los nitritos a nivel ruminal. Estos nitritos atraviesan la pared ruminal y pasan a la circulación sanguínea uniéndose a la hemoglobina y formando metahemoglobina, afectando el transporte de oxígeno en la sangre; lo que finalmente podría provocar la muerte por hipoxia⁽⁶⁾. Considerando que el suministro del NO_3^- puro puede presentar riesgos para la salud del animal, se han realizado varios trabajos con NO_3^- encapsulado para liberarlo lentamente a los microorganismos ruminales y disminuir su potencial efecto tóxico^(7,8,9). El objetivo de este trabajo fue evaluar un método para reducir la tasa de liberación del nitrato de calcio en un ambiente de fermentación ruminal simulado, y determinando su efecto sobre la degradación de la materia seca y la producción de metano.

El experimento se realizó en el laboratorio Nutrilab-Grica en la Sede de Investigación Universitaria (SIU) de la Universidad de Antioquia - Colombia.

Una muestra de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*, Hochst ex Chiov) de 45 días de rebrote se colectó en la hacienda “La Montaña” localizada en el municipio de San Pedro de los milagros (Antioquia – Colombia) a una altura de 2,470 msnm y una temperatura media de 16 °C, correspondiendo a una zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo.

La muestra de pasto se secó parcialmente en horno de ventilación forzada a 60 °C por 72 h, molida a través de un tamiz de 1 mm y almacenada para su posterior análisis químico. Sobre la muestra parcialmente seca de pasto se determinaron las concentraciones de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y cenizas⁽¹⁰⁾. Las proporciones de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinaron como describe Van Soest *et al*⁽¹⁰⁾. El Cuadro 1 presenta la composición química del pasto kikuyo.

Cuadro 1: Composición química del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*)

Composición química	Valor
Materia seca (MS), %	23.5
Proteína cruda, % MS	20.6
Fibra en detergente neutro, % MS	57.2
Fibra en detergente ácido, % MS	30.3
Cenizas, % MS	11.5

La fuente de NO³⁻ empleada fue nitrato de calcio (CALCINIT, 15.5-0-0, YARA, Bogotá, Col.). La protección del NO³⁻ se realizó con el uso de un jabón, producido artesanalmente a partir de la saponificación de un aceite de soya comercial con hidróxido de sodio (NaOH, Merck N° 106462).

Los tratamientos evaluados fueron pasto kikuyo incubado como tratamiento testigo (KK), pasto kikuyo + nitrato sin protección (NL), pasto kikuyo + nitrato protegido (NP) y pasto Kikuyo + urea (KU). Los tratamientos con NO³⁻ se ajustaron para aportar 3 % de nitrato/g MS incubada. El tratamiento con urea se incluyó como testigo control, para evidenciar el efecto que tendría la adición de nitrógeno sobre la degradación de la materia seca y la producción de CH₄.

El contenido de nitrógeno presente en los aditivos se determinó por el método Kjeldahl⁽¹⁰⁾; para urea 48.1, nitrato sin protección 13.0 y nitrato protegido 3.9.

El líquido ruminal para la incubación *in vitro* se obtuvo de tres vacas Holstein adultas no lactantes, provistas de cánula ruminal de una etapa descrito por Castillo y Hernández⁽¹¹⁾. Los animales donadores se manejaron en un sistema de pastoreo rotacional con pasto kikuyo, libre acceso a agua fresca y suplemento mineral. El líquido ruminal se colectó en horas de la mañana (0600) y se transportó al laboratorio en recipientes térmicos previamente

climatizados con agua a 39 °C. El líquido ruminal fue gaseado con CO₂ y filtrado a través de cuatro capas de algodón y conservado en un baño maría a 39 °C para el proceso de inoculación.

Un día antes del inicio del experimento, una solución buffer se preparó de acuerdo con lo descrito por McDougall⁽¹²⁾. Esta solución se mezcló con cada uno de los inóculos colectados en una proporción 9:1 (buffer: inóculo). Una muestra de 0.5 g de pasto kikuyo y los aditivos a evaluar se pesaron y dispuestos en frascos de vidrio con capacidad de 100 ml. Posteriormente, un volumen de 50 ml de la solución buffer-inóculo se adicionó a cada frasco; durante el proceso continuamente se gaseó con CO₂ para garantizar condiciones de anaerobiosis y se procedió a su sellado con tapones de caucho. Los frascos sellados se mantuvieron en estufa de ventilación forzada a 39 °C y se retiraron del proceso de incubación en los horarios de 24 y 48 h posteriores a la incubación para determinar la degradación de la MS y la producción de CH₄.

En total se incubaron 60 frascos: 48 frascos con sustrato e inóculo (4 tratamientos * 3 repeticiones/ tratamiento * 2 horarios de lectura * 2 replicas/ horario) y 12 frascos correspondientes a los blancos (2 horarios de lectura* 3 inóculos * 2 blancos por horario). Los blancos son frascos con solución buffer e inóculo sin sustrato ni aditivo, cuya función es corregir la producción de gases y degradación de la MS generado por el inóculo.

La producción total de gases se midió a las 24 y 48 h de incubación a través de la medición de la presión generada en cada frasco con el uso de un transductor digital (Ashcroft 2089QG-Precision Digital Test Gauges, USA) descrito por Posada *et al*⁽¹³⁾. Posterior a la medición se tomó una muestra de gas para determinar la concentración de gas CH₄. Se utilizó una válvula de tres salidas. La primera salida se conectó a una aguja (0.6 mm), la segunda conectada al transductor de presión y la tercera a una jeringa plástica que sirvió para la extracción de la muestra de gas. La aguja acoplada a la válvula se insertó a través de la tapa de caucho para la medición de la presión, y posteriormente los gases acumulados en la parte superior del frasco se retiraron con el uso de la jeringa hasta el punto de que la presión registrada en el transductor alcanzó el valor de cero. El gas colectado en la jeringa se almacenó en bolsas de poliolefina coextruida tipo Clear Flex (Baxter, USA). Luego de finalizar la toma de muestras, se procedió con la medición de las concentraciones de CH₄ por cromatografía gaseosa. Una submuestra de 100 µl de gas se tomó de cada bolsa con la ayuda de una jeringa para ser inyectada en un cromatógrafo de gases Thermo Trace GC Ultra (Thermo Scientific, USA). La producción de CH₄ se estableció como el producto del volumen total de gas registrado en el tiempo de incubación (24 y 48 h) y la concentración de CH₄ determinada en la muestra por cromatografía de gases.

Después del muestreo de gas en cada horario de medición se abrieron los frascos para medir la materia seca degradada (MSD), determinada por diferencia de peso entre la MS incubada (MSI) y el residuo después de su incubación. Para determinar la MSD por gravimetría, el contenido de cada frasco se filtró a través de crisoles de vidrio (porosidad 1, 100 - 160 μm) con ayuda de una bomba de vacío. El conjunto crisol-residuo se secó en estufa de ventilación forzada a 60 °C por 48 h y posteriormente pesado. Luego de descontar el peso del crisol se obtuvo el valor de la MS degradada como la diferencia entre la MS del residuo y la MS del blanco, todo esto dividido entre el valor de la MS inicialmente incubada⁽¹⁴⁾. La fracción líquida de cada frasco de incubación se preservó con la adición de ácido sulfúrico (98 % v/v) gota a gota hasta lograr un pH promedio de 2; cada muestra se centrifugó a 4,000 rpm por 10 min y finalmente se tomó una submuestra de 1.5 ml de sobrenadante para la medición de los ácidos grasos volátiles (AGV), (acético, propiónico y butírico), por cromatografía gaseosa. La fracción líquida restante se utilizó para determinar las concentraciones de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) por el método de Kjeldahl⁽¹⁰⁾.

El efecto de los tratamientos sobre la producción de gases, CH₄ y degradación de la MS se analizaron con un modelo de medidas repetidas en el tiempo, usando el procedimiento PROC MIXED de SAS⁽¹⁵⁾ donde los efectos fijos correspondieron al tratamiento y el tiempo (horarios), y el efecto aleatorio a la fuente de inóculo ruminal (animal). La comparación de medias se realizó con la prueba Tukey - Kramer ($P < 0.05$). Las diferencias entre tratamientos con respecto a la producción de AGV y N-NH₃ a las 24 h se midieron con un modelo completamente aleatorizado, empleando el procedimiento GLM de SAS⁽¹⁵⁾. Las diferencias entre medias se determinaron con la prueba de comparaciones múltiples de Duncan ($P < 0.05$).

El efecto del NO₃⁻ sobre la MSD, producción de gases y producción de CH₄ *in vitro* en los intervalos de medición de 0 a 24 h y 0 a 48 h se presentan en el Cuadro 2. Los tratamientos con NO₃⁻ presentaron una reducción en la degradación de la MS a las 24 h de incubación. El NP provocó una reducción en la DMS del 24 % en tanto que la reducción ocasionada por el NL fue del 18 % cuando comparados con el tratamiento control (KK). A las 48 h de incubación no se presentaron diferencias estadísticas ($P > 0.05$) entre tratamientos. Cuando la DMS se expresó en términos porcentuales, claramente los tratamientos que incluyeron nitratos presentan menores degradaciones a las 24 y 48 h de incubación ($P < 0.01$) que el tratamiento KK. La comparación en los tratamientos KU y KK, evidencia que la adición de urea al ambiente de fermentación no tuvo efecto sobre DMS y la producción de CH₄, indicando que el aporte de nitrógeno en el tratamiento control (KK) fue el suficiente para mantener la actividad microbiana durante el proceso de incubación.

Cuadro 2: Efecto del nitrato con y sin protección sobre la producción total de gas, producción de metano y la materia seca degradada (MSD) en dos horarios de fermentación *in vitro*

Variable	Horario	Tratamientos				Efectos		
		KK	NL	NP	KU	T	Ti	Tx Ti
MSD, g	0 a 24 h	0.266 ^a	0.218 ^{bc}	0.202 ^c	0.248 ^{ab}	0.01	0.01	0.03
	0 a 48 h	0.271	0.27	0.267	0.30			
MSD, %	0 a 24 h	55.5 ^{ab}	49.2 ^{bc}	47.0 ^c	56.1 ^a	0.01	0.01	0.33
	0 a 48 h	64.6 ^{ab}	58.5 ^b	60.5 ^b	67.9 ^a			
Producción de gas, ml	0 a 24 h	46.9 ^a	35.2 ^{ab}	23.4 ^b	45.1 ^a	0.01	0.01	0.01
	0 a 48 h	84.2 ^a	57.1 ^b	60.1 ^b	84.4 ^a			
Producción de gas, ml/g de MSD	0 a 24 h	177.8 ^a	161.0 ^{ab}	115.3 ^b	181.5 ^a	0.01	0.01	0.01
	0 a 48 h	313.8 ^a	211.2 ^c	225.6 ^b	279.7 ^{ab}			
Metano, ml	0 a 24 h	8.2 ^a	2.6 ^b	1.6 ^b	7.8 ^a	0.01	0.01	0.01
	0 a 48 h	17.7 ^a	5.7 ^b	8.3 ^b	16.35 ^a			
Metano, ml/100 ml de gas	0 a 24 h	17.5 ^a	7.4 ^b	6.8 ^b	17.2 ^a	0.01	0.01	0.05
	0 a 48 h	21.0 ^a	9.7 ^b	13.8 ^b	19.4 ^a			
Metano, ml/g de MSD	0 a 24 h	30.9 ^a	12.0 ^b	7.8 ^b	31.2 ^a	0.01	0.01	0.01
	0 a 48 h	66.0 ^a	21.0 ^b	31.2 ^b	54.2 ^a			

KK= kikuyo (*Cenchrus clandestinus*); NL= kikuyo + nitrato libre; NP= kikuyo + nitrato protegido; KU= kikuyo + urea; T= efecto del tratamiento; Ti= efecto del horario de incubación; TxTi= efecto de la interacción entre el tratamiento y el horario de incubación.

^{abc} Medias de tratamientos con diferente letra en la misma fila presentan diferencias ($P < 0.05$).

La producción total de gas se redujo significativamente ($P < 0.001$) con el tratamiento NP a las 24 h de incubación, en comparación con los tratamientos KK y KU. Transcurridas 48 h de incubación *in vitro*, los tratamientos NP y NL disminuyeron en promedio un 30 % la producción total de gas con relación a los tratamientos KK y KU ($P < 0.05$). Cuando se expresó el volumen de gas en ml/g MSD, el tratamiento NP produjo un 35 % y 28 % menos de gas que el KK durante las 24 y 48 h *in vitro*.

Los tratamientos NL y NP redujeron en 68 y 80 % la producción total de CH₄ con respecto al KK ($P < 0.05$) a las 24 h. Finalizadas las 48 h el tratamiento NL mantiene un 68 % de reducción en el volumen de CH₄ y NP alcanza una disminución del 53 % con respecto al tratamiento KK.

El Cuadro 3, se presenta el efecto de la adición de NO₃⁻ protegido y sin protección sobre la producción de AGV y nitrógeno amoniacal (N-NH₃) en un sistema de fermentación *in vitro*. La producción de AGV y N-NH₃ no fue afectada por la adición de NO₃⁻ o urea al ambiente de fermentación ($P > 0.05$).

Cuadro 3: Efecto del nitrato con y sin protección sobre la producción de ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal (N-NH₃) a las 24 horas de fermentación *in vitro*

Variables	Tratamientos				Valor de P
	KK	NL	NP	KU	
Acético, mmol/L	62.9	58.9	76.7	98.2	0.29
Propiónico, mmol/L	16.9	14.5	12.3	20.3	0.44
Butírico, mmol/L	8.5	7.7	7.1	8.5	0.20
N-NH ₃ , mg/L	14.0	10.5	10.5	11.7	0.69

KK= kikuyo (*Cenchrus clandestinus*); NL= kikuyo + nitrato libre; NP= kikuyo + nitrato protegido; KU= kikuyo + urea.

La disminución en la MSD presentada con el NP pudo ser consecuencia del jabón empleado para la protección. Existen evidencias de que el jabón de soya presenta una alta disociación en medios con pH cercanos a 6.5⁽¹⁶⁾. Esta característica del jabón de soya quizá podría producir un incremento en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, lo cuales deprimen significativamente la digestibilidad de la pared celular⁽¹⁷⁾. De haberse presentado una alta disociación del jabón, se favorece la velocidad de liberación del NO³⁻, lo que también pudo disminuir la MSD. Por lo tanto, con el NP se pudo presentar un efecto aditivo de los ácidos grasos insaturados y el NO²⁻ en la reducción de la MSD. Por otra parte, en los tratamientos NL y NP se pudo reducir la MSD por el efecto tóxico de los nitritos (NO²⁻), los cuales generan la inhibición del crecimiento y la abundancia de metanógenos y otras bacterias importantes como *F. succinogenes* y *R. flavefaciens* en la degradación de la materia seca en rumen^(18,19).

La mitigación en la producción de CH₄ por la inclusión de NO³⁻ *in vitro* ha sido reportada previamente^(8,20,21). En el presente estudio, la utilización de una dosis del 3 % de NO³⁻, con el tratamiento de NL, redujo en 68 % la producción de CH₄ /g MSD durante las 48 h de incubación. La reducción observada con NL en la producción de CH₄ pudo deberse a la alta capacidad reductora del NO³⁻ en medio anaerobio^(22,23). El NO³⁻ se comporta como un sumidero alternativo de hidrógeno en rumen, a través de su reducción hasta NH₄⁺, proceso energéticamente más favorable ($\Delta G = -501$ kJ) que la reducción de CO₂ a CH₄ ($\Delta G = -67$ KJ)⁽⁵⁾. Además, el NO²⁻, proveniente de la reducción del NO³⁻ pudo haber ejercido un efecto tóxico sobre la población de metanógenos y algunas bacterias celulolíticas^(19,23) como se mencionó, lo que pudo favorecer la tendencia en la reducción de la MSD.

Con el NP se alcanzó un porcentaje de reducción del 74 % en la producción de CH₄ en ml/g de MSD, afectando la degradación de la MS en 21 %, a las 24 h en comparación con el tratamiento control (KK). Natael *et al*⁽¹⁸⁾, evaluando una dosis similar de NP (3 % de la MS incubada), en una dieta 80:20 (forraje: concentrado) encontraron una reducción del 10 % en la producción de CH₄ durante el mismo tiempo de incubación, sin afectar la degradación de la materia orgánica incubada. Con una inclusión del 15 % de NP en 24 horas *in vitro*, Lee *et*

al⁽⁸⁾ obtuvieron una reducción del 45 % en el volumen de CH₄ producido con respecto al control.

El propósito de usar NP es disminuir la velocidad de disolución del NO³⁻, para favorecer el crecimiento de bacterias reductoras de NO³⁻ y NO²⁻ que aceleren la formación de NH⁴⁺ ⁽⁸⁾. El incremento en este tipo de bacterias favorece la velocidad de reducción de NO³⁻ a NO²⁻ y a su vez de NO²⁻ a NH⁴⁺ lo que implicaría una disminución en el riesgo de toxicidad que representa el NO²⁻ tanto para los microorganismos ruminales como para el animal hospedero. Teóricamente, la reducción de 0.015 g de NO³⁻ debería disminuir 5.32 ml de CH₄^(24,25), pero con NP se obtuvo una reducción total de 9.4 ml de CH₄, lo que corresponde a un 76 % más de lo esperado. Este comportamiento posiblemente se presentó por un efecto factorial de los ácidos grasos poliinsaturados provenientes de la disociación del jabón y el NO²⁻, proveniente de la reducción del NO³⁻, sobre la disminución en la MSD, lo que finalmente favoreció la reducción en la producción de CH₄ *in vitro*. La disociación del jabón elaborado con aceite de soya quizá favoreció la reducción en la producción de CH₄, como lo sucedido en otro trabajo⁽²⁶⁾, donde encontraron una fuerte correlación entre el alto grado de instauración del aceite de soya y la reducción significativa en el número de metanógenos y densidad de protozoos en rumen. Esta correlación favoreció la reducción en la producción de CH₄ en un 60 % con respecto al control en 36 h *in vitro*. Machmüller⁽²⁷⁾ en un análisis realizado a ocho experimentos *in vitro* y cuatro *in vivo* acerca del potencial de los ácidos grasos de cadena media sobre la producción de CH₄, reportó una disminución significativa en el número de metanógenos y una reducción hasta del 40 % en la liberación de CH₄ con el uso de aceite de soya.

En el presente trabajo no se observaron diferencias significativas ($P>0.05$) en el perfil de fermentación por el uso de NO³⁻, sin embargo, sí se presentó una diferencia numérica del 28 % en la producción de ácido propiónico con el NL y del 40 % con NP, en comparación con el tratamiento con urea (Cuadro 3). La adición de NO³⁻ en rumen puede disminuir la producción de CH₄ y a la vez de propionato, ya que, reduce la disponibilidad de hidrógenos, debido a que muchas bacterias reductoras de NO³⁻ pueden usarlos como sustrato⁽²⁸⁾, por lo tanto, esto puede generar competencia no solo con la metanogénesis, sino también con la propiogénesis⁽²⁹⁾. Se ha descrito⁽¹⁸⁾ que la inclusión de NO³⁻ protegido a razón del 3 % de la MS incubada en una dieta 80:20 (concentrado: forraje) dio una reducción lineal en la producción de ácido propiónico y un aumento en la de acético. Contrario a esto Lund *et al*⁽³⁰⁾, reportan que la producción de AGV no se afectó estadísticamente por la adición de NO³⁻ en ninguna de las concentraciones empleadas (6.66, 13.3 y 20 g/kg MS).

La concentración de N-NH₃ a las 24 h de incubación no presentó variaciones entre tratamientos. Contrario a lo encontrado en otros estudios^(8,26), donde las dietas con urea presentaron un incremento en la concentración de N-NH₃ en comparación con los tratamientos que contenían NL y NP. La razón para que el tratamiento KU no presenta un

aumento significativo en la concentración de NH_3 , transcurridas 24 h, puede ser debido a que aunque la urea es una fuente de nitrógeno altamente disponible, ésta se hidroliza rápidamente a NH_3 y es utilizada por los microorganismos ruminales para su crecimiento y desarrollo durante las tres primeras horas de incubación⁽³¹⁾, disminuyendo así los niveles de NH_3 e incrementando posiblemente la población bacteriana y la actividad fermentativa, comportamiento que coincide con el aumento en la MSD observado con el tratamiento KU. El hecho de que no se presentaran diferencias en la concentración de N- NH_3 entre los tratamientos NL y NP con respecto al control puede ser por el tipo de metabolismo presentado por el NO^{3-} . En el rumen el NO^{3-} se metaboliza principalmente por reducción asimilatoria hasta NH_3 pero dependiendo del equilibrio de las actividades enzimáticas, se puede formar óxido nitroso (N_2O) a través de la desnitrificación. Debido a que el inóculo ruminal utilizado en el actual estudio se obtuvo de animales no adaptados al NO^{3-} , es posible que el NO^{2-} se haya acumulado en el sistema y en lugar de reducirse a NH_3 se haya desviado a la vía de denitrificación, convirtiendo NO^{2-} a N_2O , principal fuente de N_2O en condiciones anaeróbicas⁽³²⁾. Con una inclusión de 2 y 2.5 % de NO^{3-} en el total de la MS incubada por 24 h, Welty *et al*⁽³³⁾, observaron que el NO^{3-} tuvo un efecto mínimo sobre la concentración de NH_3 , el cual solo registró un incremento significativo una hora después de iniciar el ensayo *in vitro*, y el resto del tiempo los valores descendieron y permanecieron bajos durante la incubación.

Los resultados de este ensayo *in vitro* muestran que la inclusión de nitratos protegidos en niveles correspondientes al 3 % de la materia seca incubada pueden llegar a reducir en un 53 % la producción de metano después de 48 h de incubación *in vitro*. El uso de jabones con aceite de soya como método de protección del nitrato debe ser considerado con más detalle, una vez que la disociación del jabón en pH cercanos a 6.5, favorece la liberación de ácidos grasos insaturados, pudiendo alterar la dinámica de fermentación y degradación del alimento en el rumen.

Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación – Minciencias de la República de Colombia por la financiación de este trabajo a través del proyecto 66737 (convocatoria 836-2019).

Literatura citada:

1. IPCC. Climate Change 2013: The physical science basis. Inter-governmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge Univ Press, New York, USA. 2013. https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf.

2. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Soluciones ganaderas para el cambio climático. 2018. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4c38936f-8175-4752-bb66-32710168079e/content>.
3. Lee C, Beauchemin KA. A review of feeding supplementary nitrate to ruminant animals: nitrate toxicity, methane emissions, and production performance. *Can J Anim Sci* 2014;94(4):557-570.
4. Hino T, Asanuma N. Suppression of ruminal methanogenesis by decreasing the substrates available to methanogenic bacteria. *CAB Reviews. Perspect Agric Vet Sci Nutr Nat Resour* 2003;73:1R-8R.
5. Ungerfeld EM, Kohn RA. The role of thermodynamics in the control of ruminal fermentation. *Ruminant Physiol* 2006;55-85.
6. Bruning-Fann CS, Kaneene JB. The effects of nitrate, nitrite, and N-nitroso compounds on animal health. *Vet Hum Toxicol* 1993;35(3):237-253.
7. Lee C, Araujo RC, Koenig KM, Beauchemin KA. Effects of encapsulated nitrate on enteric methane production and nitrogen and energy utilization in beef heifers. *J Anim Sci* 2015;93(5):2391-2404.
8. Lee C, Araujo R, Koenig KM, Beauchemin KA. *In situ* and *in vitro* evaluations of a slow-release form of nitrate for ruminants: Nitrate release rate, rumen nitrate metabolism and the production of methane, hydrogen, and nitrous oxide. *Anim Feed Sci Technol* 2017;231:97-106.
9. Mamvura CI, Cho S, Mbiriri DT, Lee HG, Choi NJ. Effect of encapsulating nitrate in sesame gum on *in vitro* rumen fermentation parameters. *J Anim Sci* 2014;27(11):1577-1583.
10. AOAC. Official Methods of Analysis. 18th ed. Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists. 2005.
11. Castillo C, Hernández J. Ruminal fistulation and cannulation: A necessary procedure for the advancement of biotechnological research in ruminants. *J Anim* 2021;11(7):1870.
12. McDougall EI. Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochem J* 1948;43(1):99-109.
13. Posada SL, Rosero-Noguera R, Bolívar D. Relación entre presión y volumen para la implementación de la técnica *in vitro* de producción de gases en Medellín, Colombia. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2006;19(4):407-414.

14. Posada SL, Ramírez-Agudelo JF, Rosero-Noguera R. Producción de metano y digestibilidad de mezclas kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) - papa (*Solanum tuberosum*). Rev Agron Mesoam 2014;25(1):141-150.
15. SAS Inst. Inc. 2019. http://www.sas.com/en_us/software/university-edition.html.
16. Sukhija PS, Palmquist DL. Dissociation of calcium soaps of long-chain fatty acids in rumen fluid. J Dairy Sci 1990;73(7):1784–1787.
17. Jenkins TC, Palmquist DL. Effect of added fat and calcium on *in vitro* formation of insoluble fatty acid soaps and cell wall digestibility. J Anim Sci 1982;55(4):957–963.
18. Natel AS, Abdalla AL, de Araujo RC, McManus C, Paim T, de Abdalla FAL, *et al.* Encapsulated nitrate replacing soybean meal changes *in vitro* ruminal fermentation and methane production in diets differing in concentrate to forage ratio. J Anim Sci 2019;90(10):1350–1361.
19. Zhao L, Meng Q, Li Y, Wu H, Huo Y, Zhang X, Zhou Z. Nitrate decreases ruminal methane production with slight changes to ruminal methanogen composition of nitrate-adapted steers. BMC Microbiol 2018;18:21.
20. Zhou Z, Yu Z, Meng Q. Effects of nitrate on methane production, fermentation, and microbial populations in *in vitro* ruminal cultures. Bioresour Technol 2012;103(1):173–179.
21. Hulshof RB, Berndt A, Gerrits WJ, Dijkstra J, van Zijderveld SM, Newbold JR, Perdok HB. Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane-based diets. J Anim Sci 2012;90(7):2317–2323.
22. Leng R. Interactions between microbial consortia in biofilms: A paradigm shift in rumen microbial ecology and enteric methane mitigation. Anim Pros Sci 2014;54:519-543.
23. Zhou Z, Meng Q, Yu Z. Effects of methanogenic inhibitors on methane production and abundances of methanogens and cellulolytic bacteria in *in vitro* ruminal cultures. Appl Environ Microbiol 2011;77(8): 2634–2639.
24. Lin M, Schaefer DM, Zhao GQ, Meng QX. Effects of nitrate adaptation by rumen inocula donors and substrate fiber proportion on *in vitro* nitrate disappearance, methanogenesis, and rumen fermentation acid. J Anim 2013;7(7):1099–1105.
25. Patra A, Yu Z. Effects of adaptation of *in vitro* rumen culture to garlic oil, nitrate, and saponin and their combinations on methanogenesis, fermentation, and abundances and diversity of microbial populations. Front Microbiol 2015;6:1434.

26. Wang M, Wang R, Yang S, Deng JP, Tang SX, Tan ZL. Effects of three methane mitigation agents on parameters of kinetics of total and hydrogen gas production, ruminal fermentation and hydrogen balance using *in vitro* technique. *J Anim Sci* 2016;87(2):224-232.
27. Machmuller A. Medium-chain fatty acids and their potential to reduce methanogenesis in domestic ruminants. *Agric Ecosyst Environ* 2006;112(2):107-114.
28. Zumft WG. The biological role of nitric oxide in bacteria. *Arch Microbiol* 1993;160(4):253-264.
29. van Zijderveld SM, Gerrits WJ, Apajalahti JA, Newbold JR, Dijkstra J, Leng RA, Perdok, HB. Nitrate and sulfate: Effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. *J Dairy Sci* 2010;93(12):5856-5866.
30. Lund P, Dahl R, Yang H, Hellwing A, Cao B, Weisbjerg M. The acute effect of addition of nitrate on *in vitro* and *in vivo* methane emission in dairy cows. *Anim Prod Sci* 2014;54(9):1432-1435.
31. Leng R, Emeritus D. The potential of feeding nitrate to reduce enteric methane production in ruminants. A report to the department of climate change, Canberra, Australia. 2008.
32. Kaspar HF, Tiedje JM. Dissimilatory reduction of nitrate and nitrite in the bovine rumen: nitrous oxide production and effect of acetylene. *Appl Environ Microbiol* 1981;41(3):705-709.
33. Welty CM, Wenner BA, Wagner BK, Roman-Garcia Y, Plank JE, Meller RA, *et al.* Rumen microbial responses to supplemental nitrate. II. Potential interactions with live yeast culture on the prokaryotic community and methanogenesis in continuous culture. *J Dairy Sci* 2019;102(3):2217-2231.



Color, humedad y contenido polínico de mieles del ecosistema manglar de la costa de Tabasco, México



Hugo Alvarado-Díaz ^a

Juan Manuel Zaldívar-Cruz ^{a*}

Ángel Sol-Sánchez ^a

Said Cadena-Villegas ^a

Jorge Ismael Tucuch Haas ^b

Rocío Guadalupe Acosta-Pech ^a

^a Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina S/N Km. 3, 86500 Tabasco, México.

^b Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP, Mocochará, Yucatán, México.

* Autor de correspondencia: zaldivar@colpos.mx

Resumen:

Las características físicas de las mieles son atributos importantes para los consumidores al momento de elegir una miel sobre otra; debido a esto, conocer estos parámetros y su origen botánico son fundamentales para determinar su calidad y precio. En el presente estudio se determinó el color, humedad y contenido polínico en las mieles colectadas en la zona de manglares en la costa del estado de Tabasco, México. Se colectaron 17 muestras y se determinó su color, contenido de humedad y se eligió una muestra de cada localidad para realizar un análisis melisopolinológico. Se encontraron cinco colores de miel con valores desde 12 hasta 120 mm Pfund, siendo ámbar extra claro y blanco los colores predominantes. En relación con el contenido de humedad, se tuvieron muestras con valores de 18 a 23 %, de los cuales el 53 % de éstas cumplen con el límite (20 %) establecido en la normatividad; finalmente todas las muestras resultaron multiflorales siendo las Fabaceae, Poaceae y

Asteraceae las familias botánicas más importantes. En conclusión, en los manglares de la costa de Tabasco, México, se producen mieles multiflorales de tonos claros, en donde predominan las de color ámbar extra claro y blanco, con un contenido de humedad entre el 18 y 23 %, por lo que estas mieles podrían ser aptas para incursionar en mercados más especializados si se asegura una humedad de 20 % como máximo.

Palabras clave: Ecosistema, Brix, Manglares, Polen, Miel.

Recibido: 04/04/2023

Aceptado: 22/02/2024

La miel es un producto natural que las abejas producen a partir del néctar de las flores, secreciones de partes vivas de plantas, o bien, de excreciones de insectos succionadores de plantas que quedan sobre las mismas, y que las abejas recogen, combinan con sustancias específicas propias, depositan, deshidratan y almacenan en el panal para que se madure y añeje⁽¹⁾. Este proceso le confiere a la miel propiedades únicas, que definen sus características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas⁽²⁾.

El estudio de las propiedades organolépticas y el origen botánico de las mieles han sido importantes en los últimos años, ya que su análisis brinda valor agregado comercial y permite conocer la interacción de *Apis mellifera* con las plantas⁽³⁾, facilitando su caracterización, ya que estos parámetros son determinantes para los consumidores al momento de elegir una miel⁽⁴⁾. El color de la miel está determinado por su origen botánico, la composición del néctar de la flor de procedencia, el proceso de extracción, temperatura, tiempo y condiciones de almacenamiento⁽²⁾. Aunque el origen geográfico, las condiciones climáticas, condiciones del suelo de la planta de origen, la exposición a la luz, el tratamiento térmico y procesos de cristalización, así como el contenido de minerales, antioxidantes y azúcares, también influyen en este atributo^(5,6).

En los últimos años se han incrementado los reportes que relacionan el color de la miel con la presencia de fitoquímicos como el ácido ascórbico, compuestos fenólicos, aminoácidos, enzimas, tocoferoles, carotenoides y flavonoides, siendo las mieles de color oscuro las que poseen mayor contenido de pigmentos con mayor potencial antioxidante^(7,8). En la determinación de color, la técnica Pfund es de las más utilizadas debido a su caracterización rápida, económica y sencilla; ésta clasifica a las mieles en siete tonalidades del color ámbar (blanco agua, extra blanco, blanco, ámbar extra claro, ámbar claro, ámbar y oscuro)^(6,9). En México, el estudio del color en las mieles ha permitido conocer que este atributo varía de un mes a otro, demostrando el cambio en los recursos florales a lo largo del año, siendo las

mieles más claras, las que proceden de los meses de mayor flujo de néctar (octubre-noviembre)⁽¹⁰⁾. Así mismo, se ha encontrado una fuerte correlación entre la actividad antioxidante y el color, siendo las mieles oscuras las de mayor capacidad⁽¹¹⁾; similar a lo reportado en mieles de Tabasco⁽¹²⁾, donde estas presentan colores ámbar extra claro y ámbar claro⁽¹³⁾. Otro de los factores fundamentales en las características fisicoquímicas de las mieles, es el contenido polínico⁽²⁾ ya que éste, al distinguirse por su alto contenido de proteínas, vitaminas, minerales, carotenos, xantofilas, fenoles y antioxidantes, entre otros; resulta determinante su análisis para evaluar la calidad de la miel y origen botánico⁽¹⁴⁾.

El estado de Tabasco cuenta con diversas áreas geográficas que ofrecen un importante potencial apícola, donde el manglar es uno de los ecosistemas que puede ser aprovechado, ya que en él se puede obtener una miel dulce y perfumada hasta con un toque salado y amargo⁽¹⁵⁾. De acuerdo a la CONABIO⁽¹⁶⁾ Tabasco cuenta con 49,225 ha de manglar, donde el mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle negro (*Avicennia germinans* L.) y mangle blanco (*Laguncularia racemosa* L.) son las especies de mayor presencia, desarrollándose sobre suelos Solonchak e histosoles generalmente ricos en materia orgánica y nutrientes⁽¹⁷⁾. Estos manglares se distribuyen en los municipios de Huimanguillo, Cárdenas, Comalcalco, Jalpa de Méndez, Paraíso y Centla, donde ofrecen importantes beneficios ambientales y socioeconómicos, desarrollándose como sistemas productivos importantes⁽¹⁸⁾. Debido a que existen vacíos de información en investigaciones que documenten y caractericen las mieles producidas en estos ecosistemas, se determinó el color, humedad y contenido polínico en mieles de la zona de manglar en la costa del estado de Tabasco y se describen sus características con la finalidad de clasificarlas de acuerdo con estos parámetros.

Las mieles se colectaron de julio a septiembre del 2022, mediante un muestreo aleatorio, considerando para ello, a los apicultores del Padrón de Apicultores registrados en la Delegación de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del estado de Tabasco que se encuentran ubicados en las zonas de manglar, así como la disponibilidad de los mismos para colaborar en el presente estudio. El manglar en la costa del Estado se ubica aproximadamente entre las coordenadas 18° 00' 31" y 18° 38' 53" N y 92° 25' 26" y 94° 07' 40" O; que limita al norte con el Golfo de México; al sur con el Plan Chontalpa, al este con los ríos San Pedro y San Pablo y al oeste con el Río Tonalá.

Las muestras se almacenaron en envases de plástico translúcidos de 500 ml, se etiquetaron de acuerdo con su origen geográfico y se trasladaron al Laboratorio de Alimentos del Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco para su análisis. El color se determinó mediante un colorímetro marca Hanna, modelo C 221 con lecturas directas en mm Pfund. El equipo se calibró usando glicerina como blanco de referencia y se tomaron las lecturas por triplicado. La clasificación de las mieles se realizó de acuerdo con la NOM-004⁽¹⁹⁾, que las clasifica según los valores de mm Pfund como, blanco agua (0-8), extra blanco (9-16), blanco (17-

34), ámbar extra claro (35-50), ámbar claro (51-84), ámbar (85-114) y oscuro (115-140). El porcentaje de humedad se midió por triplicado usando un refractómetro digital marca ATAGO Honey Moisture (12~30 %) PAL-22S. Con los datos obtenidos, se realizó un análisis descriptivo de las variables cualitativas de interés (color y humedad), utilizando el software estadístico R Core Team⁽²⁰⁾.

Para la caracterización polínica se eligió una muestra de cada localidad (10 en total) de las cuales se tomó 50 g de cada una y se analizaron mediante el método melisopalinológico descrito por la NOM-004⁽¹⁹⁾. La identificación de los granos polínicos se realizó por comparación, con ayuda de claves polínicas de la Colección de Referencia del Laboratorio de Palinología del CIATEJ (Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.) y artículos científicos especializados⁽²¹⁻²⁹⁾. Las mieles se caracterizaron como "monoflorales" cuando su composición presentó una especie de polen con porcentaje ≥ 45 % o multiflorales con varias especies de polen presentes, subclasificándose en: (a) oligoflorales dominadas por dos o más taxones de una familia de plantas con 16 al 44 %, (b) biflorales, con dos taxones relevantes de diferentes familias botánicas presentes del 16 al 44 % y (c) estrictamente multiflorales, con tres o más taxones de diferentes familias con porcentajes ≥ 10 %. Finalmente se identificó las familias polínicas más importantes con base a su dominancia en cada muestra.

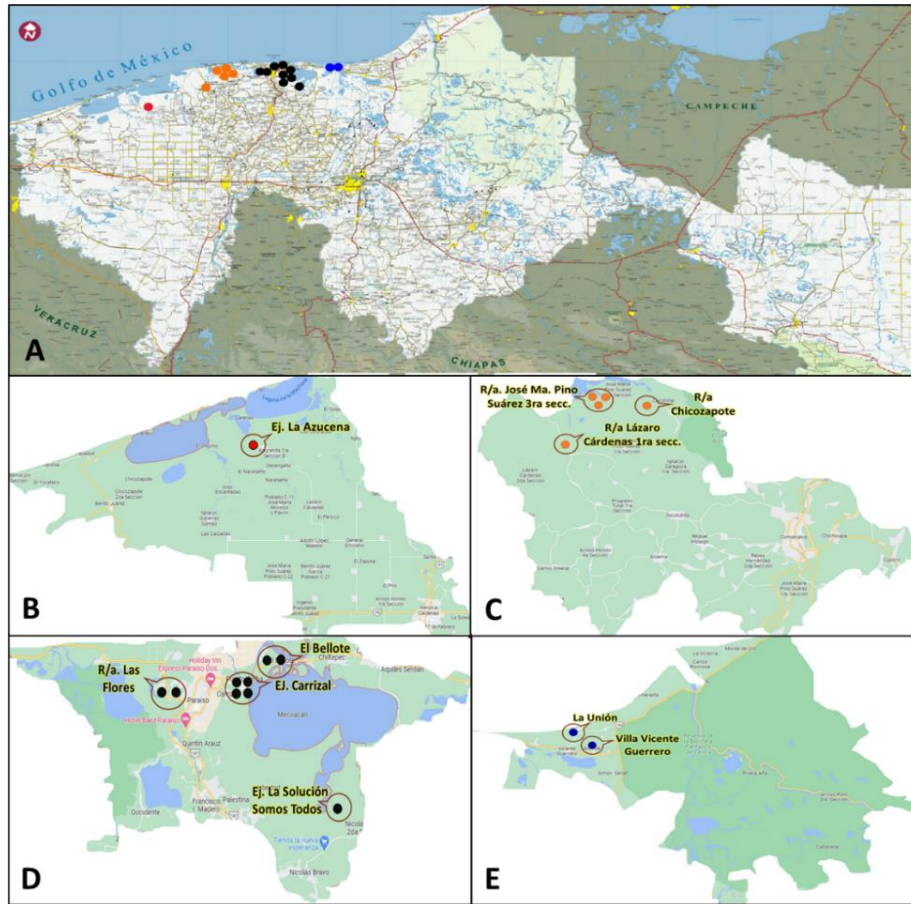
Para la determinación de color y humedad se colectaron 17 muestras en los municipios de Paraíso, Comalcalco, Centla y Cárdenas; las localidades de procedencia y en porcentaje de muestras por municipio se reporta en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Número de muestras de miel colectadas, porcentaje por municipio y localidades de origen

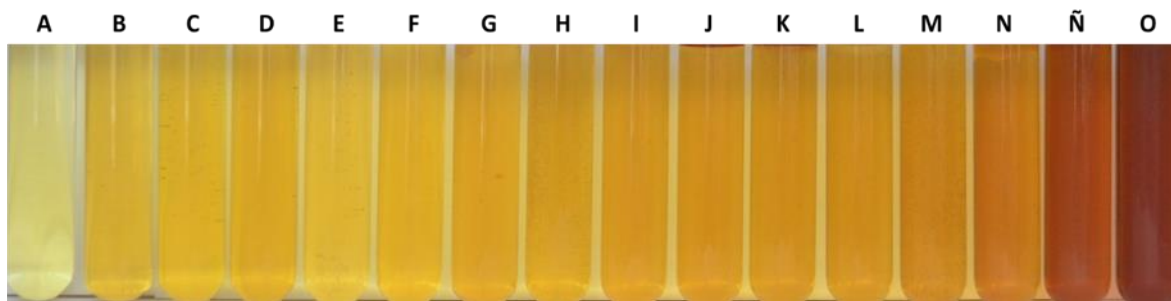
Municipio	No. de muestras	Porcentaje	Localidades
Paraíso	9	53	R/a. las Flores 1ra sección., Ejido Carrizal Puerto Ceiba, El Bellote, Ejido La Solución Somos Todos.
Comalcalco	5	29	R/a. Lázaro Cárdenas 1ra sección, R/a. José Ma. Pino Suárez 3ra sección, R/a. Chicozapote.
Centla	2	12	La Unión, Villa Vicente Guerrero.
Cárdenas	1	6	Ejido la Azucena 2da sección.

En la Figura 1 se muestra la ubicación de las localidades donde fueron colectadas las muestras de miel, así como los municipios de procedencia.

Figura 1: A) Ubicación de las localidades donde se colectaron las muestras de miel en la costa del estado de Tabasco (Modificado de SOTOP, 2019), B) Cárdenas, C) Comalcalco, D) Paraíso, E) Centla.



De acuerdo con los valores de mm Pfund en las mieles analizadas, se encontraron colores ámbar extra claro (47 % de las muestras), blanco (29 %), ámbar claro (12 %), ámbar (6 %) y oscuro (6 %), similar a lo reportado para mieles multiflorales de Guerrero, México; donde la variedad de tonos se atribuye a la diversidad de plantas nectarpoliníferas y a los metabolitos que éstas contienen⁽¹¹⁾, procedentes de la composición florística del ecosistema que se modifica en todo el año⁽¹⁰⁾. En la Figura 2 se muestran las tonalidades de las mieles colectadas: color blanco (A, B, C, D, E), ámbar extra claro, (F, G, H, I, J, K, L, M), ámbar claro (N, Ñ), ámbar (O) y oscuro (P).

Figura 2: Colores de las mieles colectadas en la zona de manglares del estado de Tabasco.

El tono más claro se presentó en una miel de color blanco (12 ± 0.6 mm Pfund), mientras que la de mayor tonalidad fue para una miel de color oscuro (120 ± 1.2 mm Pfund) procedentes de Paraíso como se muestra en el Cuadro 2. Estos valores son similares a los reportados en mieles de Perú, donde se encontró que el color de las mieles varió, desde ámbar extra claro (44 mm Pfund) hasta oscuro (107 mm Pfund), atribuyendo esta variación a las melonaidinas (pigmentos generados en la reacción de Maillard), que también fueron encontradas en mieles claras, ámbar claras y oscuras de Polonia, siendo estos los que establecen las diferencias entre una miel clara y otra oscura^(30,31).

Los tonos claros son característicos de mieles de mangle negro (*A. germinans*)⁽³²⁾, acompañados de sabores dulces y amargos hasta un poco saladas⁽³³⁾. En Tabasco se han reportado mieles de color ámbar extra claro y ámbar claro (46 a 68 mm Pfund) de diferentes zonas geográficas⁽¹³⁾. Estos tonos claros se han relacionado con un contenido mineral bajo, sabores suaves y aromas sutiles, mientras que los tonos oscuros se relacionan con sabores y aromas fuertes, alto contenido de pigmentos, antioxidantes y minerales⁽¹⁰⁾. Por lo que el color de la miel puede ser usado como un indicador de ciertos compuestos fitoquímicos^(11,33,34).

Cuadro 2: Color y humedad de las muestras de miel colectadas en la zona de manglares del estado de Tabasco

Muestra	mm Pfund (Media ± DE)	Color⁽¹⁶⁾	Humedad, % (Media ± DE)
A	12 ± 0.6	Blanco	19.8 ± 0.2
B	21 ± 0.0	Blanco	19.6 ± 0.1
C	28 ± 0.0	Blanco	20.4 ± 0.2
D	32 ± 0.0	Blanco	19.3 ± 0.2
E	32 ± 1.2	Blanco	21.3 ± 0.3
F	38 ± 0.0	Ámbar extra claro	21.9 ± 0.2
G	40 ± 0.6	Ámbar extra claro	20.2 ± 0.5
H	42 ± 5.2	Ámbar extra claro	22.8 ± 0.1
I	45 ± 0.0	Ámbar extra claro	18.6 ± 0.1
J	45 ± 1.0	Ámbar extra claro	19.3 ± 0.2
K	46 ± 6.4	Ámbar extra claro	20.5 ± 0.3
L	48 ± 5.5	Ámbar extra claro	20.5 ± 0.1
M	49 ± 3.1	Ámbar extra claro	20.8 ± 0.1
N	57 ± 9.8	Ámbar claro	19.1 ± 0.5
Ñ	76 ± 9.0	Ámbar claro	19.6 ± 0.1
O	114 ± 0.6	Ámbar	18.9 ± 0.1
P	120 ± 1.2	Oscuro	18.9 ± 0.2

Las mieles analizadas presentaron una humedad promedio de 20.1 %, sin embargo el 47.1 % de éstas (Cuadro 2), no cumplen con lo establecido por la NOM-004⁽¹⁹⁾ y el Codex Alimentarius⁽¹⁾ (20 % máximo para mieles de *Apis mellifera*). Los valores más altos fueron para las muestras H, F y E (22.8 ± 0.1, 21.9 ± 0.2 y 21.3 ± 0.3 % respectivamente), lo que podrían indicar que éstas fueron cosechadas de panales sin opercular⁽³⁰⁾, ocasionando una corta vida de anaquel por problemas de fermentación⁽³⁵⁾. La variabilidad en el contenido de humedad (18.6 ± 0.1 a 22.8 ± 0.1) de las muestras, podría estar influenciado por la humedad del néctar de la fuente floral y las condiciones del ambiente, ya que, además de que las mieles son biflorales y multiflorales (Cuadro 3), éstas proceden de la cosecha de primavera 2022, por lo que el aumento de las temperaturas y el inicio de las lluvias en junio⁽³⁶⁾, incrementa la humedad relativa del ambiente y por lo tanto la del néctar de la fuente floral⁽²⁾.

En relación a los tonos claros de las mieles que producen los apicultores de esta zona, el 59 % de ellos menciona que esta característica genera desconfianza en los consumidores locales, por lo que han recurrido a mezclarlas con mieles más oscuras de otros apiarios, zonas o temporadas; sin embargo, es importante conservar las características originales de éstas, ya que cada tipo de miel tiene su mercado y precio, por lo que estas mieles podrían ser aptas

para los mercados como Estados Unidos en donde éstas son preferidas⁽³⁷⁾. Por lo mencionado, aun cuando representa más trabajo para los apicultores, es importante mantener separadas las mieles de diferentes apiarios, colmenas, y microrregiones, permitiendo una amplia variedad de tonalidades y propiedades físicas, químicas y microbiológicas, orientándose a mercados más especializados y exigentes^(10,38). Aunado a esto, se deben garantizar las buenas prácticas apícolas para evitar los tonos oscuros generados por malas prácticas apícolas como el calentamiento^(5,14).

El análisis melisopalinológico permitió identificar 34 tipos polínicos, pertenecientes a 7 familias de plantas; ninguna de las muestras fue considerada monofloral (con algún taxón dominante $\geq 45\%$), por lo que, todas las muestras resultaron multiflorales (Cuadro 3), de las cuales la muestra H y M fueron subclasificadas como biflorales donde las familias botánicas Fabaceae, Poaceae y Asteraceae fueron las más importantes (16 al 44 %), finalmente la muestra P fue subclasificada como multifloral estricta con tres taxas de diferentes familias botánicas donde las Myrtaceae, Fabaceae y Sapindaceae presentaron porcentajes $\geq 10\%$.

Cuadro 3: Clasificación polínica de las mieles recolectadas en la zona de manglares del estado de Tabasco

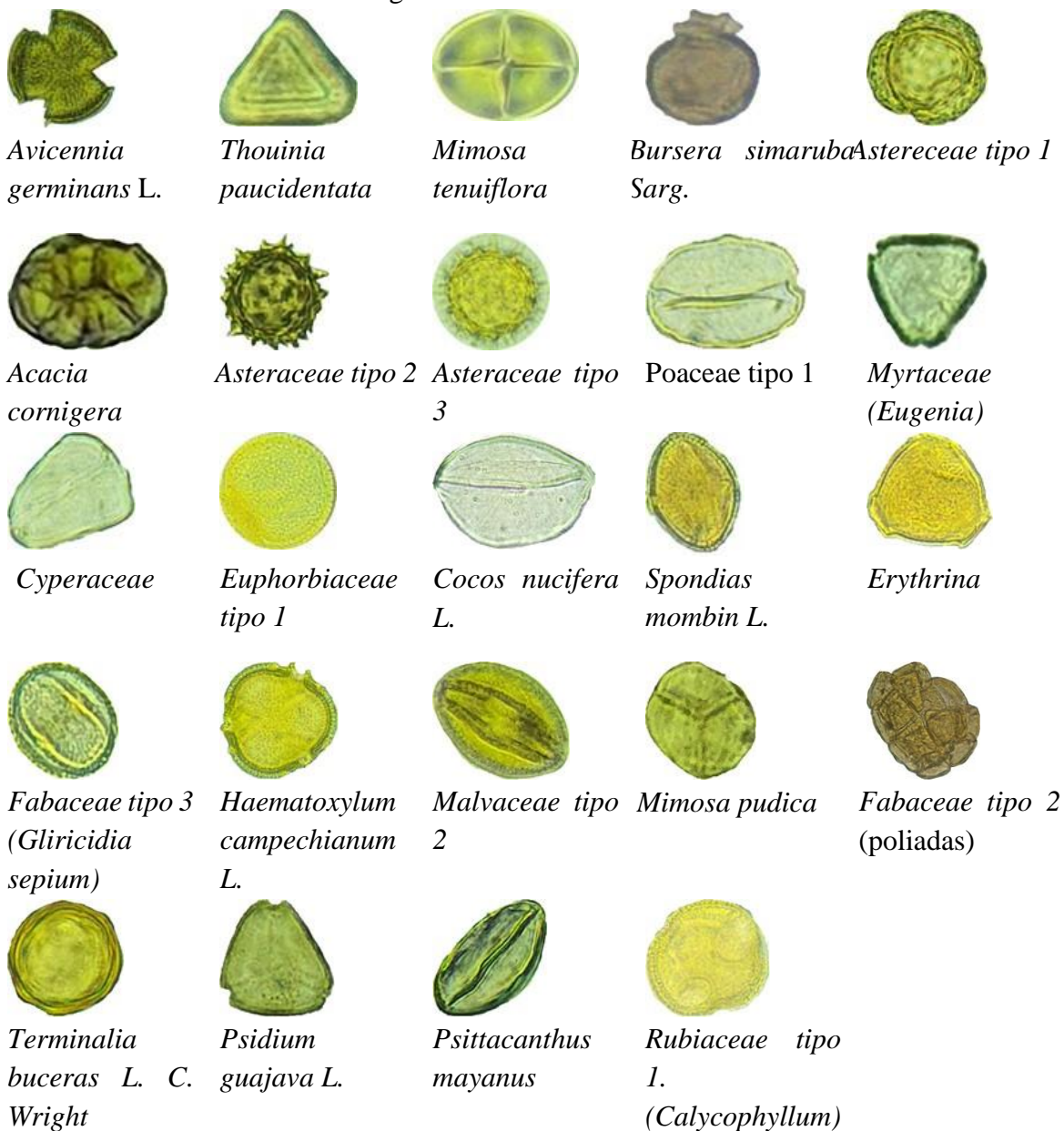
Municipio	Muestra	Localidad	Clasificación polínica	Familias polínicas
Paraíso	A	El Bellote	Multifloral	-
	E	Ejido Carrizal Puerto Ceiba	Multifloral	-
	H	R/a. Las Flores 1ra sección	Bifloral	Fabaceae, Poaceae
	P	Ejido La Solución Todos	Multifloral estricta	Myrtaceae, Fabaceae y Sapindaceae
Comalcalco	I	R/a. Lázaro Cárdenas 1ra sección	Multifloral	-
	K	R/a. José Ma. Pino Suárez 3ra sección	N/ID	-
	N	R/a. Chicozapote	Multifloral	-
Centla	M	La Unión	Bifloral	Poaceae y Asteraceae
	O	Villa Vicente Guerrero	Multifloral	-
Cárdenas	C	Ejido la Azucena 2da sección	N/ID	-

N/ID= no identificados debido a su bajo contenido polínico.

En Paraíso se encontraron muestras multiflorales que fueron subclasificadas como bifloral y otra multifloral estricta (Cuadro 3), lo que difiere de lo reportado en investigaciones anteriores para mieles de este municipio⁽²⁶⁾ donde se identificó dos muestras monoflorales de *Cocos nucifera* y *Mimosa albida* respectivamente, aunque también se encontró una muestra bifloral siendo *C. nucifera* y *Psidium guajava* las especies polínicas importantes. En Comalcalco y Cárdenas, se encontraron mieles que fueron clasificadas como multiflorales, mientras que para el municipio de Centla se encontró una muestra bifloral donde las Poaceae y Asteraceae fueron las familias botánicas importantes (16 al 45 %). En el caso de las muestras K y C, no contuvieron suficientes partículas de polen para determinar su frecuencia, por lo que no pudieron ser clasificadas. En la Figura 3 se muestran algunos de los tipos polínicos identificados en las muestras analizadas.

El polen de mangle negro se presentó en siete muestras procedentes de los cuatro municipios, encontrándose como polen secundario en la muestra E (26.6 %) que es una miel de color blanco de Paraíso, así como en la muestra N (17 %) de color ámbar claro procedentes de Comalcalco. No se encontró polen de otras especies de mangle, lo que podría ser atribuido a la abundancia de flores de otras especies de plantas en la zona y temporada, ya que las abejas tienden a discriminar y seleccionar las flores por color, olor o por tipo de polen. Debido a esto se hace necesario realizar estudios que permitan identificar dichos gránulos en las cosechas de otras temporadas.

Figura 3: Tipos polínicos encontrados en las muestras de miel recolectadas en la zona de manglares del estado de Tabasco



De acuerdo con la diversidad total de palinomorfos encontrados en las mieles colectadas de los manglares de la costa, se encontraron nueve taxas importantes, considerando su presencia en las mieles en un porcentaje ≥ 10 %, siendo las más representativas *Poaceae* tipo 1 (*Poaceae*), *Asteraceae* tipo 1 (*Asteraceae*), *Eugenia* (*Myrtaceae*), *Avicennia germinans* L. (*Acanthaceae*), *Mimosa tenuiflora* (*Fabaceae*), *Mimosa albida* Humb. & Bonpl. Ex Willd. (*Fabaceae*), *Bursera simaruba* Sarg. (*Burseraceae*), *Thouinia paucidentata* Radlk.

(Sapindaceae) y *Lonchocarpus punctatus* Kunth (Fabaceae). En estudios anteriores se han identificado taxas importantes en estas zonas, tales como como *Acanthaceae*, *Poaceae* y *Fabaceae*, entre otras⁽²⁶⁾.

En conclusión, las mieles colectadas en la zona de manglares de la costa de Tabasco y procedentes de la cosecha de primavera 2022, son mieles multiflorales de tonos claros en donde predominan las de color ámbar extra claro y blanco, con un contenido de humedad promedio de 20.1 % (entre los 18 y 23 %), por lo que estas mieles podrían ser aptas para incursionar en mercados más especializados, si se cumple con el contenido de humedad establecido por la normatividad para garantizar su calidad desde su producción hasta su consumo. Así mismo, aunque no podrían ser consideradas polínicamente como mieles de mangle, sí se encontraron granos de polen de mangle negro en el 70 % de las muestras analizadas, y como polen secundario en 2 de ellas, por lo que el manglar es un ecosistema que se puede considerar importante para la producción apícola en la zona.

Literatura citada:

1. Codex Alimentarius. Norma para la miel CXS 12–1981. Adoptada en 1981. Revisada en 1987 y 2001. Enmendada en 2019. 2019. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B12-1981%252FCXS_012s.pdf. Consultado 7 Mar, 2023.
2. Campo-Barrera OI, Hincapié-Llanos GA. Factores que determinan las propiedades fisicoquímicas de la miel de abejas: Revisión Sistemática de Literatura. *Rev Mutis* 2023;13(1):1-28.
3. Baena-Díaz F, Chevez E, Ruiz DMF, Porter-Bolland L. *Apis mellifera* en México: producción de miel, flora melífera y aspectos de polinización. Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu* 2022;13(2):525-548.
4. Luna-Rivera I, Paz-Calderón Y, Flores-Castillo LA. Comercialización de miel en Huajuapán de León: Desafíos y oportunidades. *NOVUN* 2020;1(10):124-146.
5. Vegh R, Puter D, Vaskó A, Csóka M, Mednyanszky Z. Examination of the nutrient content and color characteristics of honey and pollen samples. *J Food Invest* 2022;68(1):3793-3806.
6. Bodor Z, Benedek C, Urbin A, Szabo A, Sipos L. Color of honey: can we trust the Pfund scale? – An alternative graphical tool covering the whole visible spectra. *LWT-Food Sci Technol* 2021;149:1-9.

7. López-Velasco DS, Sosa-Montes E, Pro-Martínez A, González-Cerón F, Vargas-Galicia AJ. Efecto antioxidante de la miel de abeja sobre la carne de conejo almacenada en refrigeración. *Ciencia UAT* 2021;5(2):135-143.
8. Roy S, Mandal S. Color intensity and antioxidative capacity of four natural monofloral honey from Malda, India. *Asian J Pharm Clin Res* 2019;12(9):111-115.
9. Hasnul HMH, Jern KP, Thiviyathan VA, Hoon TSG, Sing LY, Jing LH, *et al.* The amber-colored liquid: A review on the color standards, methods of detection, issues and recommendations. *Sensors* 2021;21:38.
10. Quintero-Domínguez R, Reyes-Carrillo JL, De la Cruz-Larios L, González-Eguiarte DR. Bee honey color variation throughout the year in Huejotitán, Jalisco, México. *Sust Agri Food Environ Res* 2018;6(3):1-9.
11. Mendoza-Bacilio CI, Epifanio-Gómez R, Yam-Puc A, Ávila-Caballero LP, Palemón-Alberto F, Torres-Guzmán F, Bello-Martínez J. Color influence on phenolic compounds and bioactive properties of honey from Guerrero, Mexico. *SANUS* 2022;24(2):5-11.
12. Balcázar-Cruz L, Valadez-Villarreal A, López-Naranjo JI, Ochoa-Flores AA, Rodríguez-Blanco L, López-Hernández E. Relación del contenido de flavonoides y color en miel de abeja (*Apis mellifera*) originaria del estado de Tabasco, México. *Investig Desarro Cienc Tecnol Aliment* 2019;4:818-825.
13. López-González MM, Moo-Huchín VM, Sauri-Duch E, Zaldívar Cruz JM. Determinación del color de las mieles tabasqueñas. Cetzal-Ix W, *et al.* editores. *Agreosistemas tropicales: Conservación de recursos naturales y seguridad alimentaria.* México. Tecnológico Nacional de México 2019;97-103.
14. Ormeño-Luna J, Santander-Riuz WE. Dominancia cromática de carga de polen corbicular y mieles colectadas por *Apis mellifera* L. en el Bajo Mayo, San Martín. *Rev Agrotec Amaz* 2023;3(1):11.
15. Cunill FJM, Nettel HA, Tovilla HC. Manglares entre el mar y la tierra prometida. *Ecofronteras* 2018;22(63):22-25.
16. CONABIO. (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). Actualización de la cartografía del Sistema de Monitoreo de los Manglares de México 2020. México. 2021. <https://www.gob.mx/conabio/prensa/el-sistema-de-monitoreo-de-los-manglares-de-mexico-presenta-nueva-cartografia-de-la-distribucion-de-manglares-en-2020-262804?idiom=es>. Consultado 7 Mar, 2023.

17. Domínguez-Domínguez M, Zavala-Cruz J, Rincón-Ramírez JA, Martínez-Zurimendi P. Management strategies for the conservation, restoration and utilization of mangroves in Southeastern Mexico. *Wetland* 2019;39:907-919.
18. Domínguez-Domínguez M, Martínez-Zurimendi P. Beneficios ambientales, usos forestales maderables y no maderables del manglar en la planicie costera. En: Cruz AA, Cruz MJ, Valero PJ, Rodríguez RFP, Daniela ME, Mata ZEE, Palma LDJ. La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. México, CONABIO. 2019;243-247.
19. NOM-004-SAG/GAN. Producción de miel y especificaciones. 2018 https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5592435&fecha=29/04/2020#gsc.tab=0 Consultado 7 Mar, 2023.
20. RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. 2020. <http://www.rstudio.com> Consultado 7 de marzo, 2023.
21. Souza DRH, De Jesús SV, Magalhães e Silva FH, Dias SM. Floristic characterization and pollen morphology of plants visited by *Apis mellifera* L. in caatinga areas in Bahia, Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 2023;37:1-21. <https://doi.org/10.1590/1677-941X-ABB-2022-0264>.
22. Briceño-Santiago CI, Cano-Sosa J, Ramos-Díaz AL, Noriega-Trejo R, Couoh-May DI. Estudio de la flora presente en apiarios de tres municipios en el estado de Yucatán, México. *Polibotánica* 2022;53:13-34. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.53.2>
23. Reis HS, Araújo SO, Lima LCL, Silva FHM, Diogo IJS, Saba MD. Qualitative analysis of *Apis mellifera* L. honey in an ecotone area in the Bahian semiarid. *Sci Plena* 2021;17(5):1-18. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.051502>.
24. Villanueva-Gutiérrez R, Moguel-Ordóñez YB, Echazarreta-González CM, Arana-López G. Monofloral honeys in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Grana* 2009;48:214-223. <https://doi.org/10.1080/00173130902929203>.
25. Ramos-Díaz A, Noriega-Trejo R, Sánchez-Contreras A, San Román-Ávila D, Góngora-Chin R, Rodríguez-Buenfil I. Catálogo de los principales tipos polínicos encontrados en las mieles producidas en la península de Yucatán. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) Unidad Sureste, Mérida, Yucatán, México. 2015;110.
26. Castellanos-Potenciano BP, Ramírez-Arriaga E, Zaldívar-Cruz JM. Análisis del contenido polínico de mieles producidas por *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) en el estado de Tabasco, México. *Acta Zool Mex (n.s.)*. 2012;28(1):13-36. ISSN 0065-1737.

27. Reyes-Carrillo JL, Muñoz-Soto R, Cano-Ríos P, Eischen FA, Blanco-Contreras E. Atlas del polen de la Comarca Lagunera, México. México DF; Guzmán Editores: 2009.
28. Martínez-Hernández E, Cuadriello-Aguilar JI, Téllez-Valdez O, Ramírez-Arriaga E, Sosa-Nájera MS, Melchor-Sánchez JEM, *et al.* Atlas de las plantas y el polen utilizados por las cinco especies principales de abejas productoras de miel en la región del Tacaná, Chiapas, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, México DF. 1993:105.
29. Palacios CHR, Ludlow-Wiechers B, Villanueva GR. Flora palinológica de la reserva de la biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Chetumal, Quintana Roo, México. 1991:321.
30. Coronado JMF, Ormeño LJ, Barrera LM, Castillo DT. Caracteres fisicoquímicos en mieles del ecosistema del Bajo Mayo, región San Martín Perú. *Arnaldia* 2019;26(2):607-622.
31. Starowicz M, Ostaszyk A, Zieliński H. The relationship between the browning index, total phenolics, color, and antioxidant activity of Polish-originated honey samples. *Foods* 2021;10:1-12.
32. Carnejo EM, González AM. Clasificación de mieles uniflorales cubanas a partir de sus propiedades físico-químicas. *Rev CENIC* 2005;36(Esp):7.
33. González CR, Toledo NB, May CMI. Culturas y territorios: un mundo en una gota de miel. *Ecofronteras* 2021;25(73):14-17.
34. Al-Farsi M, Al-Amri A, Al-Hadhrami A, Al-Belushi S. Color, flavonoids, phenolics and antioxidants of Omani honey. *Heliyon* 2018;4(10):1-14.
35. Grajales-Conesa P, Velázquez-Aguilar JM, Ricón-Rabanales M, Sánchez-Guillén D. Caracterización físico-química de mieles de *Apis mellifera* de tres paisajes forestales de Chiapas. *Quehacer Científico de Chiapas* 2013;8(2):12-17.
36. INECC. (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). Visión estatal: Vulnerabilidad, riesgos y peligros Tabasco. 2021. [https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Vulnerabilidad/V_27.html#:~:text=Climatolog%C3%ADa%20estatal,es%20septiembre%20\(360.6%20mm\)](https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Vulnerabilidad/V_27.html#:~:text=Climatolog%C3%ADa%20estatal,es%20septiembre%20(360.6%20mm).). Consultado 7 Ene, 2024.
37. Dulce EV. Estrategia de inserción internacional de la miel de abeja en el mercado de Estados Unidos. *Rev Agrotec Amaz* 2023;3(1):13.

38. Molaveisi M, Beigbabaei A, Akbari E, Shahidi NM, Mohamadi M. Kinetics of temperature effect on antioxidant activity, phenolic compounds and color of Iranian jujube honey. *Heliyon* 2019;5(1):e01129.

CONTENIDO CONTENTS

ARTÍCULOS / ARTICLES

	Pags.
Momento de la suplementación sobre carga animal y producción de leche por hectárea de vacas Holstein en pastoreo The effects of supplementation timing on stocking rate and milk production per hectare in grazing Holstein dairy cows Citlali Anais Castro Jaime, Rodolfo Ramírez Valverde, Juan Andrés Burgueño Ferreira, Jacinto Efrén Ramírez Bribiesca, Luis Alberto Miranda Romero, Ricardo Daniel Améndola Massiotti.....	762
Respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de ovinos alimentados con niveles crecientes de frutos secos triturados de Acacia farnesiana Productive response, carcass traits, and meat quality of sheep fed with increasing levels of crushed dry fruits of Acacia farnesiana Miguel Ángel Zarza-Albarrán, Agustín Olmedo-Juárez, Pedro Mendoza- de Gives, Jaime Ancelmo- Mondragón, Javier Arece-García, Francisca Aviles-Nova, Benito Albarrán-Portillo, Rolando Rojo-Rubio.....	778
Modelo de predicción para la extensión de la vida productiva en registros censurados de ganado Holstein de México Prediction model for productive life extension in censored records of Holstein cattle from Mexico Sandra Giovanna Núñez-Soto, Adriana García-Ruiz, Hugo Oswaldo Toledo Alvarado, Felipe de Jesús Ruiz-López.....	800
Evaluación antihelmíntica in vitro de curcumina contra huevos y larvas de aislados de Haemonchus contortus con distinta susceptibilidad a ivermectina In vitro anthelmintic evaluation of curcumin against the eggs and larvae of three Haemonchus contortus isolates with different susceptibility to ivermectin Lisandro Alberto Encalada-Mena, Raquel López-Arellano, María Eugenia López-Arellano, María Gabriela Mancilla-Montelongo, Carlos Alfredo Sandoval-Castro, Agustín Olmedo-Juárez, Juan Felipe de Jesús Torres-Acosta.....	811
Effect of spent coffee grounds aqueous extract as an antioxidant in raw pork patties during refrigerated storage Efecto del extracto acuoso de granos de café gastado como antioxidante en hamburguesas de cerdo crudas durante el almacenamiento refrigerado Juan Luis Murillo Hernández, Rey David Vargas Sánchez, Brisa del Mar Torres Martínez, Nelson Huerta Leidenz, Gastón Ramón Torrescano Urrutia, Armida Sánchez Escalante.....	833
Prevalence and diversity of zoonotic intestinal parasites in household dogs in urban areas of the Colombian Caribbean Prevalencia y diversidad de parásitos intestinales zoonóticos en perros domésticos en un área urbana en el Caribe colombiano Luz Adriana Sarmiento-Rubiano, Yina García Toscano, Julieannie Paola Ruiz, Lucena Delgado Soraca, Alfonso Bettin Martínez, Jimmy Becerra Enriquez.....	848
Transmisión espacial y vertical de los precios de leche del mercado internacional a mercados regionales y nacional de México Spatial and vertical transmission of milk prices from the international market to Mexico's regional and national markets Benigna González Ortiz, José Luis Jaramillo Villanueva, Samuel Vargas López, Ángel Bustamante González, Juan de Dios Guerrero Rodríguez, Vinicio Horacio Santoyo Cortés.....	861
Competitividad y ventaja comparativa de ganado bovino de carne en la Sierra Norte de Puebla, México Competitiveness and comparative advantage in beef cattle production in the Sierra Norte of Puebla, Mexico Lissete Abigail Rojas-Juárez, José Luis Jaramillo-Villanueva, Samuel Vargas-López, Juan Cabas- Monje.....	879
Dinámica estacional de pasto banderita [Bouteloua curtipendula (Mich.) Torr.] en Chihuahua, México: enfoque geoestadístico Seasonal dynamics of sideoats grama [Bouteloua curtipendula (Mich.) Torr.] in Chihuahua, Mexico: a geostatistical approach Ireyli Zuluamy Iracheta-Lara, Carlos Raúl Morales-Nieto, Gerardo Méndez-Zamora, Jaime Neftalí Márquez-Godoy, Federico Villarreal-Guerrero.....	898
Comportamiento productivo de una asociación Mombaza-Kudzú en diferentes épocas del año Productive behavior of a Mombasa-Kudzu association at different times of the year Eduardo Daniel Bolaños-Aguilar, Javier Francisco Enriquez-Quiroz, Abraham Fragoso-Islas, Roberto Omar Castañeda-Arriola, Maribel Montero-Lagunes, Julio César Vinay-Vadillo.....	913
REVISIONES DE LITERATURA / REVIEWS	
Características de las curvas de lactación en ovejas y factores que influyen en su variación: Revisión Characteristics of lactation curves in ewes and factors influencing their variation: A review Gabriela Castillo-Hernández, Ana Erika Ochoa-Alfaro, Manuel Antonio Ochoa-Cordero, Jorge Alonso Maldonado Jáquez, Glafiro Torres-Hernández.....	930
NOTAS DE INVESTIGACIÓN / TECHNICAL NOTES	
Capacidad de carga del venado cola blanca (Odocoileus virginianus texanus) en el noreste de México Carrying capacity of white-tailed deer (Odocoileus virginianus texanus) in northeast Mexico Fernando Isaac Gastelum Mendoza, Fernando Noel González Saldívar, Eloy Alejandro Lozano Cavazos, José Isidro Uvalle Saucedo, Guillermo Romero Figueroa, Enrique de Jesús Ruiz Mondragón, César Martín Cantú Ayala.....	951
The management of irrigated elephant grass intercropped with legumes in the semi-arid region Manejo del pasto elefante de riego intercalado con leguminosas en la región semiárida Jéssica Daisy do Vale Bezerra, João Virgínio Emerenciano Neto, Tamiris da Cruz da Silva, Patrick Bezerra Fernandes, Stela Antas Urbano, Felipe Pontes Teixeira das Chagas, Gelson dos Santos Difante, Marcene Geraldo Costa, Antonio Leandro Chaves Gurgel, Francisco Israel Lopes Sousa, Rodrigo da Silva Santos, Ana Beatriz Graciano da Costa.....	963
Evaluación in vitro de una fuente de nitrato protegido para rumiantes: efecto sobre la degradación de la materia seca y producción de metano In vitro evaluation of a protected ruminant nitrate source: effect on dry matter degradation and methane production María Elizabeth Rendón-Correa, Sandra Lucía Posada-Ochoa, Jaime Ricardo Rosero-Noguera.....	979
Color, humedad y contenido polínico de mieles del ecosistema manglar de la costa de Tabasco, México Color, moisture, and pollen content of honeys from the mangrove ecosystem of the coast of Tabasco, Mexico Hugo Alvarado-Díaz, Juan Manuel Zaldívar-Cruz, Ángel Sol-Sánchez, Said Cadena-Villegas, Jorge Ismael Tucuch Haas, Rocío Guadalupe Acosta-Pech.....	991