

CIENCIAS Veterinarias — y Producción Animal



VERDAD, BELLEZA, PROBIIDAD



P. 5

Fermentación ruminal de vacas lecheras a pastoreo

P. 15

Descripción de adultos de *Centrocestus formosanus*

P. 24

Plaguicidas en Río Tigre y su impacto en fauna acuática

P. 32

Comparación de sistemas de producción de leche en México

P. 48

Leptospirosis en perros y serovars en México

P. 60

Alimentación para reducir metano en rumiantes

DIRECTORIO

M.V.Z. M.C. Dámaso Leonardo Anaya Alvarado
Rector de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Dr. Eduardo Arvizu Sánchez
Secretario General

Dra. Rosa Issel Acosta González
Secretaria Académica

Dr. Fernando Leal Ríos
Secretario de Investigación y Posgrado

Dr. Flaviano Benavides González
Director de la Facultad de Medicina
Veterinaria y Zootecnia "Dr. Norberto Treviño Zapata"

Ciencias Veterinarias y Producción Animal. Año: 2024, Volumen: 1, Número: 2, enero a junio. Publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, a través de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, "Dr. Norberto Treviño Zapata", Km. 5 carretera Victoria-Mante, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P; 87274 Tels. (834) 3181800 y 3181700, ext. 2506. Página web: <https://cienciasveterinariasyproduccionanimal.uat.edu.mx/> y correo electrónico: cvpafmvz@uat.edu.mx. Editor responsable: Dr. Roberto Pérez Castañeda. Reserva de Derechos al Uso exclusivo No. 04-2023-022713322900-102, ISSN electrónico: 2992 - 7501; ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Fecha de publicación de este número: 31 de enero de 2024.

Se permite la reproducción del contenido para actividades no comerciales dando los créditos correspondientes a la revista Ciencias Veterinarias y Producción Animal. Los artículos e investigaciones son responsabilidad de los autores. Todo el material publicado se almacena en el reservorio institucional.

PRÓLOGO

Es un privilegio presentar el segundo número de nuestra revista "Ciencias Veterinarias y Producción Animal". Este proyecto editorial surgió como un reflejo del compromiso de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia "Dr. Norberto Treviño Zapata" de la Universidad Autónoma de Tamaulipas por la democratización del conocimiento. La tarea fue concentrar el quehacer científico, con un enfoque que respondiera a las necesidades del sector rural, particularmente de la medicina veterinaria y zootecnia.

En esta edición encontramos una variedad de contribuciones de expertos y académicos que abarcan artículos científicos, comunicaciones cortas y artículos de revisión. Cada documento ofrece una valiosa contribución para conocer el panorama actual. Entre los temas que se comparten en este número están: la evaluación de la fermentación ruminal en vacas lecheras, la comparación de los principales sistemas de producción de leche, la leptospirosis y serovariedades en perros, las estrategias de nutrición para reducir el metano producido por rumiantes, la presencia de organoclorados en el río Tigre y finalmente, uno de los primeros trabajos morfométricos de *Centrocestus formosanus* obtenidos del bagre de canal. Los invitamos a adentrarse en los artículos de esta edición.

La comunidad científica tiene la labor de rescatar su humanismo y colocarla, como un baluarte, al servicio de la sociedad.

"Verdad, Belleza, Probidad"



MVZ MC Dámaso Leonardo Anaya Alvarado
Rector
Universidad Autónoma de Tamaulipas

COMITÉ EDITORIAL

Editor responsable

Dr. Roberto Pérez Castañeda (SNI II)
Universidad Autónoma de Tamaulipas
roperez@docentes.uat.mx

Diseño Editorial

Dr. Gerardo Noé Rosales Martínez
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Lic. Jennifer Liliann Sustaita Alvarez
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Lic. Yesica Selene Zúñiga Pérez
Universidad Autónoma de Tamaulipas

CIENCIAS VETERINARIAS

Dr. Jorge Alva Pérez
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Hugo Brígido Barrios García
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Flaviano Benavides González
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Zeferino Blanco Martínez
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. Verónica Carvajal de la Fuente
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. Ivonne Ceballos Olvera
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Ned Iván de la Cruz Hernández
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. Griselda Gaona García
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. José Octavio Merino Charrez
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Fabián Eliseo Olazarán Santibáñez
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. Madai Rosas Mejía
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Jesús Genaro Sánchez Martínez
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Leroy Soria Díaz
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Venancio Vanoye Eligio
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. María de la Luz Vázquez Saucedo
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. José Vázquez Villanueva
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
MS. Cecilia Rosales
Universidad de Tucson, Arizona
PhD. Frank Von Hippel
Universidad de Tucson, Arizona

PRODUCCIÓN ANIMAL

Dr. Gabriel Aguirre Guzmán
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. Yuridia Bautista Martínez
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Fidel Infante Rodríguez,
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Jorge Loredó Osti
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. Luz Yosahandy Peña Avelino
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. Libia Ivonne Pérez Torres
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Francisco Reyes Zepeda
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Miguel Ruiz Albarrán
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Jaime Salinas Chavira
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dra. Cecilia Carmela Zapata Campos
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
Dr. Gaspar Manuel Parra Bracamonte
Instituto Politécnico Nacional, México
Dr. Fernando Sánchez Dávila
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
Dr. Paulino Sánchez Santillán
Universidad Autónoma de Guerrero, México

COMUNICACIÓN CORTA



5 Evaluación de la fermentación ruminal en vacas lecheras en pastoreo otoñal utilizando muestras de líquido ruminal obtenidas por rumenocentesis

Evaluation of rumen fermentation in autumn grazing dairy cows using rumen fluid samples obtained by rumenocentesis

Miguel Ruiz-Albarran, Oscar A Balocchi, Fernando Wittwer, Rubén G. Pulido

15 Morfología y morfometría de adultos de *Centrocestus formosanus* (Digenea: Heterophyidae) desarrollados de metacercarias del bagre de canal, *Ictalurus punctatus*

Morphology and morphometry of adult phase of *Centrocestus formosanus* (Digenea: Heterophyidae) from metacercariae of channel catfish, *Ictalurus punctatus*

Jesús Genaro Sánchez-Martínez, Lucero Sandoval-González, Jaime Luis Rábago-Castro, Roberto Pérez-Castañeda, Lorena Garrido-Olvera, Luis García-Prieto

ARTÍCULO CIENTÍFICO

24 Determinación de plaguicidas organoclorados en el Río Tigre; Aldama, Tamaulipas y su potencial impacto a la fauna acuática

Determination of organochlorine pesticides in the Tigre River; Aldama, Tamaulipas and their potential impact on the aquatic fauna

Liduvina Vázquez-Ruiz, María de la Luz Vázquez-Sauceda, Roberto Pérez-Castañeda, Venancio Vanoye-Eligio

ARTÍCULO DE REVISIÓN



32 Principales sistemas de producción de leche de bovinos en México: recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo

Main dairy production systems in Mexico: current recompilation of productive, reproductive, and management performance

Ricardo Avilés Ruiz, Oscar Guadalupe Barrón Bravo, Abner Josué Gutiérrez Chávez, Miguel Ruiz Albarrán

48 Tendencias mundiales de la investigación de leptospirosis y serovares en perros presentes en México

Worldwide trends in leptospirosis research and serovars in dogs present in Mexico

José Osiel Jasso-Obregón, Said Hernández-Contreras, Jorge Alva-Pérez, Flaviano Benavides-González, Francisca Elizabeth Pérez-Tovar, Madai Rosas-Mejía, Francisco Reyes-Zepeda



60 Estrategias de nutrición y alimentación para reducir las emisiones de metano en rumiantes bajo sistemas pastorales: Una revisión

Nutrition and feeding strategies to reduce methane emissions in ruminants under pastoral systems: A review

Luz Yosahandy Peña-Avelino, Jorge Alva-Perez, Gerardo Noé Rosales-Matínez, Said Hernández-Contreras, Ivonne Ceballos-Olvera



Evaluación de la fermentación ruminal en vacas lecheras en pastoreo otoñal utilizando muestras de líquido ruminal obtenidas por rumenocentesis

Evaluation of rumen fermentation in autumn grazing dairy cows using rumen fluid samples obtained by rumenocentesis

Miguel Ruiz-Albarran^{1*}, Oscar A Balocchi², Fernando Wittwer³, Rubén G. Pulido⁴

RESUMEN

Para evaluar los parámetros de fermentación ruminal se prefieren técnicas menos invasivas como la rumenocentesis. Este método se utilizó para evaluar el pH, la concentración de N-NH₃ y los ácidos grasos volátiles (AGVs) en vacas lecheras. Las vacas pastorearon en dos ofertas de pradera (17 y 25 kg MS/vaca/día) y recibían ensilaje de pradera (EP) o ensilaje de maíz de planta entera (EMPE) (a razón de 6,2 kg MS/vaca/día). Los resultados mostraron que la inclusión de ensilaje de maíz en la dieta en comparación con el ensilaje de pradera provocó cambios en el pH ruminal ($p < 0.05$). Sin embargo, no hubo cambios significativos en las concentraciones de N-NH₃ y AGVs debido al efecto de la oferta de pradera o tipo de ensilaje en la dieta. En conclusión, la rumenocentesis es una técnica menos invasiva que puede utilizarse para comparar dietas de vacas lecheras. El análisis de muestras de rumen obtenidas por rumenocentesis mostró que el ensilaje de maíz disminuyó el pH ruminal con una mayor proporción de ácidos glucogénicos.

Palabras clave: AGVs, N-NH₃, pastoreo, rumen, vacas lecheras.

Autor para correspondencia: miguel.ruiz@docentes.uat.edu.mx **Fecha de recepción:** 22 de enero de 2024

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2024

Fecha de publicación: 31 de enero de 2024

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

²Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

³Instituto de Producción Animal, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

⁴Instituto de Ciencia Animal, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

ABSTRACT

To evaluate rumen parameters of fermentation, less invasive techniques such as rumenocentesis are preferred. This method was used to evaluate the pH, concentration of NH₃-N, and volatile fatty acids (VFAs) in dairy cows. The cows were grazing on two pasture allowances (17 and 25 kg MS/cow/day) and receiving either grass silage (PS) or corn silage (CS) (at a rate of 6.2 kg DM/cow/day). The results showed that including corn silage in the diet compared to grass silage caused changes in rumen pH ($p < 0.05$). However, there were no significant changes in the concentrations of NH₃-N and VFA due to the effect of the pasture supply or type of silage in the diet. In conclusion, rumenocentesis is a less invasive technique that can be used to compare diets of dairy cows. The analysis of rumen samples obtained by rumenocentesis showed that corn silage decreased rumen pH with a higher ratio of glucogenic acids.

Keywords: VFAs, N-NH₃, grazing, rumen, dairy cows.

INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, se ha considerado que el pastoreo representa uno de los métodos de manejo alimenticio más económicos para la producción de leche (Batistel et al., 2021). En vacas lecheras, el pastoreo se ha definido como el proceso de defoliación de las plantas por parte de los animales. Este proceso, involucra una serie de interacciones de ingestión, digestión, así como estímulos hormonales y metabólicos (Gregorini, 2012) que determinan la respuesta productiva en la vaca lechera. Estas interacciones influyen en el consumo de materia seca y energía de vacas lecheras y representan una limitante para la producción y composición de leche (Albarrán-Portillo et al., 2019). El consumo de materia seca y de nutrientes puede evaluarse a partir del comportamiento de ingestión y digestión que ocurren durante el proceso de pastoreo, ya que las vacas adoptan este comportamiento de acuerdo a las características físicas de las pasturas (Pérez-Prieto & Delagarde, 2013) y varios factores como el contenido de materia seca, energía, fibra detergente neutro, carbohidratos solubles y proteína cruda, que en consecuencia, generan los estímulos de los productos de la fermentación ruminal (el pH, N-NH₃ y ácidos grasos volátiles), las hormonas del hambre (greлина), la saciedad (leptina), el llenado ruminal, las consecuencias postingestivas provocadas por la composición química de los forrajes, suplementos así como el estado fisiológico y nutricional de la vaca (Gregorini, 2012).

En vacas lecheras, a través del manejo del pastoreo y la suplementación con alimentos concentrados y ensilajes, producen cambios en digestión ruminal al producir un aumento en las concentraciones de propionato y menores concentraciones de acetato y butirato, que resulta en menos energía entérica de metano y pérdidas de calor (Muñoz et al., 2010; Vargas et al., 2022). Además, la combinación del tiempo de asignación de pastura fresca y la asignación de suplementos podría usarse como estrategia para alterar la producción de leche y la excreción de N debido a sus efectos individuales sobre el consumo de materia seca (CMS) del pasto, la ingesta de nutrientes y la fermentación ruminal (Beltrán et al., 2021). Además, se ha informado que el aumento de la fermentabilidad de la dieta en vacas lecheras, que reciben distintas ofertas de pradera, puede aumentar la síntesis de proteínas microbianas en el rumen (Ruiz-Albarrán et al., 2012), esto reduce la necesidad de fuentes suplementarias de proteínas no degradables en las raciones. El aumento de la producción de proteínas microbianas podría disminuir la concentración N-NH₃ en el rumen, y el nitrógeno ureico en plasma (Sotelo et al., 2012; Wittwer, 2021) así como la excreción de nitrógeno ureico en vacas lecheras (Beltrán et al., 2021).

En períodos donde la disponibilidad de forraje es baja, el manejo de la oferta de pradera y la suplementación con concentrado y/o ensilajes son prácticas comunes para mejorar el estado nutricional y, por lo tanto, la producción de leche en pastoreo (Peyraud & Delagarde 2013). El pastoreo y la suplementación con ensilaje de pradera en el sur de Chile se caracterizan por un alto nivel de proteína cruda que es rápidamente degradable en el rumen y genera una falta de sincronía ruminal entre la energía y la proteína de la dieta, que requieren del suministro de carbohidratos fermentables, necesarios para la síntesis de proteína microbiana (Hall & Huntington, 2008). Si bien el ensilaje de pradera es el complemento más utilizado en este periodo, su calidad es muy variable, siendo el ensilaje de maíz (*Zea mays L.*) de planta entera una alternativa a utilizar. El uso de ensilaje de maíz y suplementación con concentrado se ha propuesto como una estrategia para incrementar el consumo de materia seca, energía y mayor producción de leche en vacas lecheras en pastoreo debido a una mayor ingesta de almidón (Ruiz-Albarrán et al., 2016).

Las técnicas de campo comunes para recolectar líquido ruminal y realizar la valoración de la actividad de fermentación ruminal incluyen la rumenocentesis mediante aspiración percutánea con aguja y sonda estomacal oral (Noro et al., 2013). La rumenocentesis es mejor que el uso de una sonda estomacal oral para determinar el pH del rumen, porque esta última técnica es susceptible a la contaminación salival, aumentando así el pH de la muestra (Gianessella et al., 2010).

El objetivo de este estudio fue evaluar el pH, amoníaco y ácidos grasos volátiles (AGVs) en líquido rumen obtenido mediante rumenocentesis dorsal para determinar el estado nutricional de vacas lecheras pastoreando dos ofertas de pradera y suplementadas con dos tipos de ensilaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El experimento se realizó en el predio "Vista Alegre" de la Universidad Austral de Chile (latitud 39°47'46'' y longitud 73°13'13'') en el otoño del 2011, con una duración de 63 días.

Vacas y tratamientos

Un total de dieciséis vacas lecheras multíparas de la raza Holstein-Friesian fueron empleadas en este estudio, agrupadas según producción de leche, días en leche y peso vivo. Fueron asignados aleatoriamente a cuatro tratamientos dietéticos resultantes de la combinación de dos OP (medida sobre el nivel del suelo) (17 o 25 kg MS/vaca/día) y dos tipos de ensilajes (TS) (ensilaje de pradera = EP y ensilaje de maíz = EMPE) suministrándose a una cantidad de 6.25 kg MS/vaca/día. Las vacas lecheras permanecieron en la pradera, según cada OP, por un período de 63 días. Para esta parte del estudio se empleó una submuestra de 16 vacas lecheras, cuatro vacas por tratamiento dietario. Los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Bioética para el "uso de animales en experimentación" de la Universidad Austral de Chile.

El pastoreo se realizó sobre una pastura de raigrás perenne (*Lolium perenne* L.) en una superficie total de 13.5 ha disponibles para este experimento, Las vacas permanecieron en las pasturas manejadas por un cerco eléctrico, según las ofertas de pradera y tipo de ensilaje asignado. Todos los animales tuvieron acceso a nuevas pasturas (09:00 y 17:00 horas) después de cada ordeño.

Durante el experimento, las vacas recibieron como complemento al pastoreo un ensilaje de una pradera permanente proveniente de un segundo corte de la primavera del año anterior. La pastura se cortó y luego se pre marchitó durante 24 horas antes de almacenarlo en silos bolos de 500 kg, aproximadamente. Además, las vacas recibieron EMPE con un tamaño de partícula de aproximadamente 1.0 cm, almacenado en un silo tipo pastel, apisonándose con un tractor y sellándose con un plástico negro el mismo día la elaboración del ensilaje. Todas las vacas recibieron ensilaje de pradera o maíz, según tratamiento individualmente después del ordeño (08:00 h y 16:00 h). El concentrado comprendía (% de MS) 75% de grano de maíz, 5% de grano de sorgo, 5% de grano de trigo, 10% de salvado de trigo, 5% de remolacha azucarera y se ofrecía en el ordeño. Todas las vacas recibieron 3.6 kg de MS/día de suplementación con concentrado. Una mezcla mineral (Producción Anasal Alta, ANASAC: Ca 140 g/kg, P 100 g/kg, Mg 60 g/kg, Na 40 g/kg, S 2 g/kg, Zn 5000 mg/kg, Cu 1500 mg/kg, Co 20 mg/kg, I 200 mg/kg) se ofreció con el concentrado a razón de 0.25 kg/vaca/día. Todas las vacas tuvieron acceso *ad libitum* al agua en los potreros y en la sala de ordeño.

Procedimientos experimentales

Asignación de la oferta de pradera

El área de pastoreo fue asignada, según la oferta de pradera. Se calculó diariamente sobre la base de la disponibilidad de forraje. La disponibilidad de forraje pre pastoreo y pos pastoreo se estimó a partir de 100 mediciones, se utilizó un plato medidor de altura comprimida (Ash Grove Plate Meter, Meter Hamilton, New Zeland) en cada potrero siguiendo un patrón en “W”.

Composición química de los alimentos

Las muestras de pasturas se tomaron mediante la técnica de hand-plucking a la altura similar a la que pastoreaban las vacas. Se analizó el forraje pastoreado, ensilaje y concentrado ofrecido para poder determinar materia seca (MS) (AOAC, 1985), ceniza (AOAC, 1985). Para determinar proteína cruda (PC) se obtuvo la concentración de nitrógeno y se multiplicó por el factor 6.25 (AOAC, 1985), fibra detergente ácida (ADF) (AOAC, 1985), materia orgánica digerible (MO) en base a MS (DOMD; Tilley & Terry, 1963) y fibra detergente neutra (NDF) (Van Soest et al., 1991). La energía metabolizable (EM) se estimó mediante regresión utilizando una DOMD (materia orgánica digerible/MS × 100), y se determinó *in vitro* de acuerdo con los procedimientos establecidos por Tilley & Terry (1963).

Determinación del pH, nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles

Se obtuvieron muestras de líquido ruminal mediante la técnica de rumenocentesis dorsomedial realizada a las 16:30 h en el día 42 del experimento para determinar el pH ruminal, AGVs y la concentración de amoníaco. El pH ruminal se midió inmediatamente con un electrodo de vidrio (Modelo HI 98127, Hanna Instruments Inc., Woonsocket Rhode Island, 02895, EE. UU.). La concentración en líquido ruminal de los AGVs se determinó mediante cromatografía de gases (Shimadzu GC-2010 Plus High-end GC, equipado con columna capilar GC, SGE, BP21 (FFAP), rango de temperatura (C) = 35 a 240/250, Unidad de medida = (EA). La concentración de amoníaco ruminal se determinó mediante espectrofotometría (espectrofotómetro Spectronic Genesys 5®, Milton Roy, Ivyland, PA, EE. UU) como lo describen Bal et al. (2000).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental en un arreglo factorial 2x2; dos ofertas de pradera x dos tipos de ensilaje suplementado para analizar las variables de pH, AGVs y amoníaco en rumen, utilizando un análisis de varianza bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + TE_j + OPTS_{ij} + a_i + e_{ijk}$$

donde Y_{ijkl} =variable dependiente, μ =intersección, P_i =efecto fijo de la i -ésima oferta de pradera, TE_j =efecto del j -ésimo tipo de ensilaje, $OPTS_{ij}$ =efecto de la interacción entre la oferta de pradera y el tipo de ensilaje, a_i = efecto aleatorio del i animal y e_{ijk} =efecto aleatorio residual $\sim N(0, \sigma^2)$.

RESULTADOS

Las vacas, independientemente de la oferta diaria de pradera y el tipo de ensilaje suplementado, pastorearon a una disponibilidad pre-pastoreo de 1710 kg MS/ha y el residuo de pradera pos-pastoreo fue de 1470 kg de MS/ha en los cuatro tratamientos, con un porcentaje de utilización de la pradera del 31%.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis químico proximal de las pasturas pastoreadas, se encontró $14.2 \pm 0.8\%$ de MS, $28 \pm 0.8\%$ de PC, así como el análisis de fibras de 42.7 ± 0.4 para FDN y 24.4 ± 0.5 para FDA, y energía metabolizable (EM) de 2.7 ± 0.03 Mcal, siendo los promedios muy semejantes ($p > 0.05$) entre ambas ofertas de pradera ofrecida. El ensilaje de pradera tuvo mayor concentración de proteína cruda, fibra neutro detergente y extracto etéreo ($p > 0.05$) y menos almidón en comparación con el EMPE. El alimento concentrado contenía un 83.3% de MS, 15.2% de PC y 3.14 Mcal de EM.

■ Tabla 1. Composición química y suplementos ofrecidos durante todo el estudio. Los datos son presentados en % de MS.

	Oferta de pradera		Tipo de ensilaje		Concentrado
	17 kg MS	25 kg MS	EMPE	EP	
	X±DE	X±DE	X±DE	X±DE	X±DE
Materia seca (%)	13.6±3.1	14.8±4.0	30.7±1.2	28.9±3.6	86.2±1.0
Proteína Cruda (%)	27.4±2.0	28.6±1.3	7.1±0.5	15.9±3.4	14.8±7.6
Fibra detergente Neutro (%)	43.0±4.6	42.4±4.1	43.3±3.9	47.6±0.9	14.0±3.8
Fibra detergente acida (%)	24.8±2.0	24.1±1.4	24.6±2.9	30.8±0.3	4.5±1.5
Cenizas (%)	9.4±0.8	9.6±0.4	3.6±0.6	7.4±0.1	4.8±3.7
Energía Metabolizable (Mcal/kg DM)	2.75±0.01	2.75±0.03	2.76±0.13	2.71±0.01	3.14±0.21
pH			3.8±0.1	4.2±0.1	
NH ₃ -N			6.2±0.9	9.9±0.9	

pH= Potencial de Hidrogeno, NH₃= Amoníaco, X= promedio, DE desviación estándar

Los promedios de las variables de pH en líquido ruminal, las concentraciones de amoníaco y de los AGVs se muestran en la Tabla 2. El pH, las concentraciones de N-NH₃, las proporciones de propionico, butirico y la concentración total de AGVs no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$), por el contrario, la proporción de acetato y la relación A:P fue mayor significativamente ($p < 0.05$) para el pastoreo de distintas ofertas de pradera.

En relación con el tipo de ensilaje suplementado, los promedios para las variables de pH por tipo de ensilaje fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). Las concentraciones de N-NH₃, las proporciones de los principales AGVs y la concentración total de AGVs no fueron diferentes ($p > 0.05$) por el tipo de ensilaje suplementado.

Una interacción significativa ($p < 0.05$) entre la oferta de pradera y tipo de ensilaje ofrecido se reportó para la variable de la proporción de acetato y la relación A:P en muestras de líquido ruminal obtenido por rumenocentesis. Para el resto de las variables analizadas no se encontraron interacciones estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

■ Tabla 2. Promedio de pH, N-NH₃, AGVs de líquido ruminal obtenido mediante ruminocentesis en vacas lecheras en pastoreo recibiendo 17 o 25 kg de MS como oferta diaria de pradera y suplementadas con ensilaje de maíz o pradera y alimento concentrado.

Ítem	Oferta de pradera		Tipo de ensilaje		EEM	Significancia		
	17 kg MS	25 kg MS	Pradera	EMPE		OP	TE	Interacción
pH	6.14	6.06	6.35	5.85	0.06	0.457	0.001	0.245
N-NH ₃ mmol/L	27.49	21.01	25.73	22.76	4.59	0.348	0.66	0.454
Acético %	63.41	69.01	68.26	64.15	1.7	0.048	0.126	0.046
Propiónico %	18.29	16.52	16.73	18.08	0.7	0.115	0.211	0.159
Butírico %	14.77	12.3	11.88	15.19	1.31	0.221	0.112	0.157
Total AGVs mmol/L	124.22	146.21	119.06	151.38	28.3	0.598	0.443	0.181
A:P	3.49	4.27	4.18	3.58	0.296	0.03	0.081	0.040

pH= Potencial de Hidrogeno, NH₃= Amoníaco, AVGs= Ácidos Grasos Volátiles, EEM = error estándar de la media, OP = Oferta de pradera, TE = Tipo de ensilaje, EMPE = ensilaje de maíz de planta entera, A:P= Relación Acético-Propiónico.

OP= oferta de pradera. TE= tipo de ensilaje

DISCUSIÓN

En condiciones de pastoreo otoñal, las vacas expresan una conducta de pastoreo donde se ven forzadas a defoliar los estratos más bajos de las plantas, aumentando la dificultad de pastorear, disminuyendo considerablemente la tasa de consumo y aumentando el tiempo de pastoreo, debido a una importante reducción del tamaño de mordida (Pérez-Prieto et al., 2013).

La oferta de pradera asignada no afectó el valor nutritivo del forraje consumido, pero sí tuvo las características típicas de una pradera de otoño precedida de un verano seco con bajo porcentaje de materia seca, alto en energía y alto en proteína cruda. Estas son caracterizadas por pasturas en estado vegetativo de alta calidad, compuestos por hojas y tallos jóvenes con una baja presencia de material muerto en los estratos bajos de las praderas, una composición química similar a lo reportado por Keim et al. (2015) y Morales et al. (2014).

En contraste, con otras épocas del año o regiones las praderas más maduras generalmente se asocian con proporciones reducidas de hojas vivas, una digestibilidad baja de la materia orgánica (DMO) y un aumento de fibra detergente ácida (FDA) y fibra detergente neutra (FND) (Wims et al., 2010).

Evaluación del pH, amoníaco y AGV

El pH es el resultado de la fermentación de las pasturas y los suplementos, así como mantener el equilibrio de la producción, las tasas de eliminación de productos acidificantes y la capacidad amortiguadora. Se esperaba que con un bajo contenido en fibra de las praderas pastoreadas características del otoño del Sur de Chile (Keim et al., 2014) fuera un factor que promovería la dismi-

nución del pH ruminal, modificando la función del rumen. No obstante, con las características de estas pasturas y ofertas de pradera asignadas no se observaron modificaciones en el pH ruminal manteniendo un pH cercano a 6.0. Las dietas de estas vacas se caracterizaron por un alto porcentaje de forraje y un mayor porcentaje de fibra digestible consumido. La utilización de la fibra por parte del rumiante es la función más importante de los procesos microbianos del rumen. Una característica de la hidrólisis de la celulosa es que se realiza a través de una enzima bacteriana llamada celulasa, cuya acción disminuye cuando la dieta es rica en almidón, azúcares simples y otros azúcares solubles. El producto final de la hidrólisis de la celulosa es el ácido acético, pero también pueden producirse en forma indirecta ácido propiónico y ácido butírico. Bajo las condiciones experimentales de este estudio, el aumento de la oferta de pradera resultó en mayores producciones de ácido acético sin modificar la concentración total de AGVs, así como una mayor relación de A:P.

Los valores de las concentraciones totales de AGVs en todos los tratamientos fueron altos con respecto a otros estudios reportados para vacas en pastoreo otoñal y suplementadas con ensilajes de pradera, de acuerdo con lo reportado por Ruiz-Albarran et al. (2012), las mayores concentraciones de AGVs estuvieron asociados a un incremento en el consumo de materia, como fue reportado por Wilkinson et al. (2020) y el valor nutricional de los alimentos ofrecidos durante el experimento.

El ensilaje de pradera se ofrece comúnmente a las vacas lecheras durante períodos de escasez de forraje, pero otros ensilajes como el ensilaje de maíz de planta entera se han convertido en una alternativa a ensilaje de pradera (Beltrán et al., 2021). Se ha informado que el ensilaje de pradera aumenta el CMS total (Kennedy et al., 2011) y rendimiento de leche, debido a su alta proporción de hojas, una alta digestibilidad y de moderado a alto contenido de proteínas (Habib et al., 2006). Como han informado Phillips (2023) y Kennedy et al. (2011), en vacas lecheras en pastoreo la concentración de proteínas en la leche tiende a reducirse mediante la inclusión de ensilaje de pradera en la dieta. Esto podría deberse a la reducción en la ingesta total de energía o a la baja retención de nitrógeno del ensilaje de pradera, en comparación con el forraje fresco y los concentrados (Beltrán et al., 2021).

Por el contrario, ensilaje de maíz suministra más almidón y menos PC (Habib et al., 2006) en comparación con EP. Además, la EMPE ofrece una mejor fuente de carbohidratos degradables en el rumen, que pueden mejorar la utilización microbiana del N en el rumen y disminuir la cantidad de N excretado.

Se encontró una interacción entre OP X TE para el porcentaje de ácido acético, así como para la relación A:P en rumen puede ser explicada a partir de que las vacas que pastaban 17 kg MS/vaca/día y recibían EMPC produciendo una menor concentración de acético que las vacas que recibían EP. Además, estos valores podrían ser un aumento en la ingesta de energía y el suministro de almidón a partir del EM que se sincronizan con el alto contenido de proteína cruda del forraje. Por lo tanto, la suplementación con EMPE mejoró la fermentación ruminal debido a una utilización más eficiente de los nutrientes aportados por el forraje.

En este experimento, los AGVs totales y las proporciones molares de AGVs siguieron patrones normales para vacas en pastoreo que consumían forraje de pastos templados descritos por Peyraud y Delagarde (2013) y Sotelo et al. (2012).

CONCLUSIONES

La obtención de líquido ruminal mediante rumenocentesis permitió evaluar la actividad de fermentación ruminal de vacas lecheras con distintas ofertas de pradera y suplementadas con dos tipos de ensilaje ofrecido. La mayor oferta de pradera aumentó la concentración de ácido acético y la relación de ácidos cetogénicos. Por su parte, el ensilaje de maíz de planta entera disminuyó pH en líquido ruminal y la relación A:P pastoreando de menores ofertas de pradera.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce a CONICYT por otorgar una beca de doctorado al primer autor de este artículo. Este estudio fue financiado por FONDECYT N° 1100513. También se agradece a todo el personal de la Estación Experimental Vista Alegre, especialmente al señor Miguel Ortega y Erico Benavides por el cuidado de los animales en experimentación, y especialmente agradecen a la Dra Mirela Noro por apoyo en el muestreo de líquido ruminal de las vacas, así como al Dr. Ociel Muñoz por los análisis químicos de laboratorio.

CONFLICTO DE INTERÉS

Confirmamos que el manuscrito ha sido leído y aprobado por todos los autores nombrados, y que no hay otras personas que cumplan con los criterios de autoría.

REFERENCIAS

- Association of Official Analytical Chemists. (1985). *Official methods of analysis of the aoac* (13a ed.). Association of Official Analytical Chemist.
- Albarrán-Portillo, B., López-González, F., Ruiz-Albarrán, M., & Arriaga-Jordán, C. M. (2019). Respuesta productiva y económica a la suplementación con concentrados de vacas lecheras en pastoreo con alta carga animal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 855-869. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4787>
- Bal, M. A., Shaver, R. D., Jirovec, A. G., Shinnors, K. J., & Coors, J. G. (2000). Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83(6), 1264-1273. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74993-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74993-9)
- Batistel, F., de Souza, J., Vaz Pires, A., & Santos, F. A. P. (2021). Feeding grazing dairy cows with different energy sources on recovery of human-edible nutrients in milk and environmental impact. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 642265. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.642265>
- Beltrán, I., Ruiz-Albarrán, M., Von Stillfried, N., Balocchi, O., Wittwer, F., & Pulido, R. G. (2021). The timing of pasture allocation and grass silage supplementation affect pasture intake, milk production and nitrogen partitioning of dairy cows. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 19(2). <https://doi.org/10.5424/sjar/2021192-16264>
- Gianesella, M., Morgante, M., Stelletta, C., Ravarotto, L., Giudice, E., & Van Saun, R. J. (2010). Evaluating the effects of rumenocentesis on health and performance in dairy cows. *Acta Veterinaria Brno*, 79(3), 459-468. <https://doi.org/10.2754/avb201079030459>
- Gregorini, P. (2012). Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. *Animal Production Science*, 52(7), 416-430. <https://doi.org/10.1071/AN11250>

- Habib, M., Syed, J. S., & Leaver, J. D. (2006). Choice of grass or maize silages by lactating dairy cows: influence of supplementary protein, concentrate level and milk yield. *Animal Science*, 82(04), 469-477. <https://doi.org/10.1079/asc200651>.
- Hall, M. B., & Huntington, G. B. (2008). Nutrient synchrony: Sound in theory, elusive in practice. *Journal of Animal Science*, 86 (suppl. 14), E287-E292. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0516>
- Keim, J. P., López, I. F., & Balocchi, O. A. (2015). Sward herbage accumulation and nutritive value as affected by pasture renovation strategy. *Grass and Forage Science*, 70(2), 283-295. <https://doi.org/10.1111/gfs.12115>
- Keim, J. P., López, I. F., & Berthiaume, R. (2014). Nutritive value, in vitro fermentation and methane production of perennial pastures as affected by botanical composition over a growing season in the south of Chile. *Animal Production Science*, 54(5), 598. <https://doi.org/10.1071/an13026>
- Kennedy, E., Curran, J., Mayes, B., Mcevoy, M., Murphy, J. P., & Odonovan, M. (2011). Restricting dairy cow access time to pasture in early lactation: the effects on milk production, grazing behavior and dry matter intake. *Animal*, 5(11), 1805-1813. <https://doi.org/10.1017/s1751731111000826>
- McEvoy, M., Delaby, L., Murphy, J. P., Boland, T. M., & O'Donovan, M. (2010). Effect of herbage mass and allowance on sward characteristics, milk production, intake and rumen volatile fatty acid concentration. *Grass and Forage Science*, 65(3), 335-347. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00752.x>
- Morales, Á., Grob, D., Balocchi, O., & Pulido, R. (2014). Productive and metabolic response to two levels of corn silage supplementation in grazing dairy cows in early lactation during autumn. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(2), 205-212. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000200012>
- Muñoz, C., Hube, S., Morales, J. M., Yan, T., & Ungerfeld, E. M. (2015). Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livestock Science*, 175, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.001>
- Noro, M., Sepúlveda, P., Cárdenas, F., Chihuailaf, R. H., & Wittwer, F. (2013). Dorsomedial rumenocentesis: a safe procedure for collecting ruminal fluid samples from grazing dairy cows. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 45(1), 25-31. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2013000100005>
- Pérez-Prieto, L. A., & Delagarde, R. (2013). Meta-analysis of the effect of pasture allowance on pasture intake, milk production, and grazing behavior of dairy cows grazing temperate grasslands. *Journal of Dairy Science*, 96(10), 6671-6689. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6964>
- Peyraud, J. L., & Delagarde, R. (2013). Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing. *Animal*, 7 (suppl. 1), 57-67. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002394>
- Phillips, C. (2023). *The encyclopedia of animal nutrition* (2da. ed.) CABI. <https://doi.org/10.1079/9781789247282.0001>
- Ruiz-Albarrán, M., Balocchi, O. A., Noro, M., Wittwer, F., & Pulido, R. G. (2012). Effect of increasing pasture allowance and grass silage on animal performance, grazing behaviour and rumen fermentation parameters of dairy cows in early lactation during autumn. *Livestock Science*, 150(1-3), 407-413. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2012.09.023>
- Ruiz-Albarrán, M., Balocchi, O. A., Noro, M., Wittwer, F., & Pulido, R. G. (2016). Effect of the type of silage on milk yield, intake and rumen metabolism of dairy cows grazing swards with low herbage mass. *Animal Science Journal*, 87(7), 878-884. <https://doi.org/10.1111/asj.12513>
- Sotelo, J., Noro, M., Wittwer, F., Smulders, J. P., & Pulido, R. G. (2012). Evaluación de la oferta de pradera y tipo de concentrado sobre algunos parámetros ruminales en vacas lecheras en pastoreo otoñal. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 44(2), 167-172. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2012000200010>

- Tilley, J. M. A., & Terry, D. R. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*, *18*(2), 104-111. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2494.1963.TB00335.X>
- Vargas, J., Ungerfeld, E., Muñoz, C., & DiLorenzo, N. (2022). Feeding strategies to mitigate enteric methane emission from ruminants in grassland systems. *Animals*, *12*(9), 1132. <https://doi.org/10.3390/ani12091132>
- Wilkinson, J. M., Lee, M. R., Rivero, M. J., & Chamberlain, A. T. (2020). Some challenges and opportunities for grazing dairy cows on temperate pastures. *Grass and Forage Science*, *75*(1), 1-17. <https://doi.org/10.1111/gfs.12458>
- Wims, C. M., Deighton, M. H., Lewis, E., O'loughlin, B., Delaby, L., Boland, T. M., & O'donovan, M. (2010). Effect of pregrazing herbage mass on methane production, dry matter intake, and milk production of grazing dairy cows during the mid-season period. *Journal of Dairy Science*, *93*(10), 4976-4985. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3245>
- Wittwer, F. (2021). Manual de patología clínica veterinaria. Ediciones Universidad Austral de Chile.

Morfología y morfometría de adultos de *Centrocestus formosanus* (Digenea: Heterophyidae) desarrollados de metacercarias del bagre de canal, *Ictalurus punctatus*

Morphology and morphometry of adult phase of *Centrocestus formosanus* (Digenea: Heterophyidae) from metacercariae of channel catfish, *Ictalurus punctatus*

Jesús Genaro Sánchez-Martínez¹, Lucero Sandoval-González¹, Jaime Luis Rábago-Castro^{2*}, Roberto Pérez-Castañeda¹, Lorena Garrido-Olvera³, Luis García-Prieto⁴

RESUMEN

Para obtener la fase adulta del parásito *Centrocestus formosanus*, se alimentaron experimentalmente dos ratones con branquias infectadas con metacercarias de *C. formosanus* de bagre de canal, *Ictalurus punctatus* en su estadio juvenil, provenientes de una piscifactoría en Tamaulipas, México. Después de siete días, los ratones fueron sacrificados y los parásitos colectados de tubo digestivo se fijaron y conservaron en alcohol al 70%. Los parásitos se procesaron con las técnicas estándar para platelmintos. Los ejemplares obtenidos concuerdan morfológica y morfométricamente con la identificación de *C. formosanus*. El presente trabajo proporciona datos morfométricos no considerados en publicaciones previas. Además, es el primer estudio morfológico y morfométrico de adultos de *C. formosanus* obtenidos experimentalmente de metacercarias de bagre de canal.

Palabras clave: digeneos, peces, metacercarias, helmintos.

ABSTRACT

With the aim of obtaining the adult phase of *Centrocestus formosanus*, two mice were feed with juvenile *Ictalurus punctatus* (from a hatchery in Tamaulipas, Mexico) gills, which were infected with *C. formosanus* metacercariae. After seven days, mice were euthanized and parasites found in the digestive tract were fixed, and conserved in 70% alcohol. Parasites were processed with standard protocols for flatworms. The specimens obtained fit morphological and morphometrically with *Centrocestus formosanus*. In the present manuscript morphometric data not previously considered are reported. To our knowledge, this is the first study of adults of *C. formosanus* obtained experimentally of metacercariae from channel catfish.

Keywords: digenean, fish, metacercaria, helminths

Autor para correspondencia: jrabago@uat.edu.mx **Fecha de recepción:** 22 de octubre de 2023

Fecha de aceptación: 22 de enero de 2024 **Fecha de publicación:** 31 de enero de 2024

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

²Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

³Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

⁴Laboratorio de Helmintología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

INTRODUCCIÓN

Centrocestus formosanus (Nishigori, 1924) es una especie de trematodo (Heterophyidae) descrita en Asia y puede ser la causa de muerte en cultivos de peces (Arguedas et al., 2010; Boerlage et al., 2014; Mitchell et al., 2002) o de sus poblaciones silvestres (Cantu et al., 2013; Chai et al., 2012).

Los parásitos adultos de esta especie son helmintos que parasitan el intestino delgado de aves y mamíferos, y que se distribuyen por todo el mundo (Schell, 1970). Su complejo ciclo de vida incluye dos huéspedes intermediarios, siendo los caracoles los primeros huéspedes intermediarios, los peces los segundos huéspedes intermediarios (Gjurcevic et al., 2007) y algunos vertebrados, incluido el humano, como el huésped definitivo (Pinto et al., 2018).

Los digeneos tienen gran importancia debido a los efectos negativos que pueden causar en los peces cultivados y silvestres de agua dulce (Knoff et al., 2011). El daño producido por sus metacercarias se debe a la migración en los órganos blanco y a la intensidad de la infección; estas metacercarias pueden infectar sitios como las aletas, boca, cerebro, músculos, branquias y piel, induciendo una respuesta inflamatoria tisular, granulomatosis, necrosis e incluso la muerte (Paperna & Dzikowski, 2006). En el caso de *C. formosanus* es una especie altamente específica en las branquias de los peces, pudiendo causar pérdida de la superficie respiratoria (Gjurcevic et al., 2007); esto es debido a la hiperplasia del cartílago y a la hipertrofia de las células epiteliales branquiales, conduciendo muchas veces a la muerte de los peces (Mitchell et al., 2000).

Por otro lado, se han realizado varios informes de infecciones humanas por *C. formosanus* en Vietnam (Nguyen & Thanh, 2011) y Laos (Chai et al., 2013), pero el pequeño número de casos no fueron suficientes para considerarlo clínica o epidemiológicamente importante, por lo que se requieren más estudios para verificar las infecciones humanas naturales (Han et al., 2008).

En México, *C. formosanus* fue detectado por primera vez en 1985 en crías de carpa importadas de China, y el único huésped natural definitivo conocido fue la garza *Butorides striatus* (Scholz & Salgado-Maldonado, 2000). También en este país se han obtenido experimentalmente adultos de *C. formosanus* empleando pollos, patos y ratones (Arizmendi-Espinosa, 1992), y en otros países empleando ratas (Yousif et al., 2016).

El bagre de canal, *Ictalurus punctatus* (Ictaluridae), es uno de los principales peces cultivados en México, en él se han reportado 16 especies de parásitos helmintos en el estado de Tamaulipas, incluida la fase larvaria (metacercaria) de *C. formosanus* (Rábago-Castro et al., 2011; Rosas-Valdez & Pérez-Ponce de León, 2008). Sin embargo, no hay informes confirmados de la presencia de esta especie de parásito, y menos aún que ésta se lleve a cabo mediante los adultos obtenidos experimentalmente.

Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio se dividió en dos partes: primero, identificar morfológicamente y morfométricamente las metacercarias como pertenecientes a la especie *C. formosanus* detectadas en juveniles de *Ictalurus punctatus* y, segundo, confirmar su identificación mediante la morfología y morfometría del parásito adulto, obtenido mediante la infección experimental de ratones con tejido branquial infectado con metacercarias.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Parasitología Acuática, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. El cuidado y manejo de los animales se realizó de acuerdo con los lineamientos institucionales de bioética y bienestar animal (Número de oficio CBB_19_2).

De un lote de juveniles de bagre de canal, *Ictalurus punctatus*, proveniente de un estanque de una piscifactoría en Abasolo (Tamaulipas, México) se muestrearon dos ejemplares con un promedio de longitud total de 15 cm y un peso promedio de 27 g de peso; los peces fueron examinados en la piscifactoría para confirmar la presencia de metacercarias del trematodo *C. formosanus* en sus arcos branquiales. La identificación de las metacercarias se realizó siguiendo la morfometría y morfología referida por Arizmendi-Espinosa (1992). Del mismo lote de bagres se tomó una muestra de 20 peces que fueron llevados al laboratorio señalado. En este sitio, y previa eutanasia, se examinaron dos bagres, encontrándose de 1 a 2 metacercarias por arco branquial. Los ratones fueron infectados con un protocolo basado en Han et al. (2008) con algunas modificaciones. Dos ratones adultos machos (*Mus musculus*) con un peso promedio de 35 g fueron comprados en una tienda de mascotas. Los ratones se colocaron en un acuario de vidrio y fueron alimentados con el tejido branquial infectado con metacercarias proveniente de los dos bagres examinados en el laboratorio.

A continuación, los ratones fueron alimentados *ad libitum* con alimento comercial, y suministrándoles agua. Los ratones fueron sacrificados siete días después de la infección mediante una sobredosis de éter en una cámara de eutanasia. El estómago y el intestino de los ratones se examinaron bajo un microscopio compuesto (Carl Zeiss™). Los parásitos detectados fueron recolectados y colocados en una caja de Petri con solución salina (0.8%), y se procesaron de acuerdo con Pritchard & Kruse (1982). Posteriormente, los parásitos recuperados se fijaron con una solución de alcohol-formaldehído-ácido acético (AFA) durante dos horas. Pasado este tiempo, los parásitos fueron lavados para ser almacenados en alcohol etílico al 70%.

Posteriormente, los parásitos se tiñeron con carmín bórax durante 20 minutos, se deshidrataron en una serie de alcohol etílico, se aclararon en xileno y se montaron con resina sintética. Estas muestras se examinaron microscópicamente para determinar su morfología externa y estructura interna. Los parásitos se midieron en μm utilizando un micrómetro ocular (Zeiss™, 464023-9901, CPL, W10X/18, Alemania). Se tomaron fotografías de los parásitos en un microscopio equipado con una cámara digital (Motic™). La identificación de parásitos se realizó según Arizmendi-Espinosa (1992) y Bray et al. (2008).

RESULTADOS

Se obtuvieron 14 especímenes adultos de *C. formosanus* de los dos ratones infectados. Se encontraron 12 parásitos en la primera sección del intestino delgado y dos en el estómago. *In vivo*, los parásitos son de forma ovalada a piriforme, aplanados dorsoventralmente, de color gris blanquecino, con un tegumento espinoso, presentan una vesícula excretora de color oscuro y con forma de X.

En la Tabla 1 se muestran el promedio y el rango en μm de las estructuras del parásito. Los organismos montados (Fig. 1) tienen una longitud y un ancho de 320 μm por 180 μm , respectivamente. La ventosa oral (32.25 μm de largo y 33.75 μm de ancho) está armada con una doble corona espi-

nosa, con un total de 32 espinas circumorales, ligeramente curvadas (16 espinas en cada corona) que varían en longitud de 12 a 14 µm. La boca está ubicada centralmente en la ventosa oral y se conecta con la prefaringe y la faringe (31 µm de largo por 20.25 µm de ancho).

■ Tabla 1. Morfometría de adultos de *Centrocestus formosanus* del presente estudio comparada con reportes previos. Promedio de medidas en µm y rango entre paréntesis

	Presente estudio	Pinto et al. (2015)	Pinto & de Melo (2010)	Mati et al. (2013)	Velásquez et al. (2006)	Hernández et al. (2003)	Arizmendi-Espinosa (1992)
Hospederos definitivos	Ratones	Ratones	Ratones	Ratones	Pollos	Pollos, ratas, patos, pichones, hamster	Pollo, pato, ratones
Días desde infección hasta obtención de fase adulta	7	14	15	14	24	20	
Número de espinas orales	32		32		32	32	32
Largo del cuerpo	320 (250-380)	334 (280-409)	322 (232-479)	345	350-400	232-469	248 (240-326)
Ancho del cuerpo	180 (120-230)	145 (109-177)	214 (184-279)	127-150	125-150	(106-237)	119 (101-146)
Largo de ventosa oral	32.5 (33.8-42.3)	50 (41-60)	58 (47-67)	49	37-53 ***	32-61	32 (30-37)
Ancho de ventosa oral	33.8 (24.8-42.8)	48 (43-56)	44 (33-49)	44		29-67	40 (33-48)
Largo de espinas orales	12 (12-14)*						4-8 (3-9)*
Largo de la faringe	31 (24.8-36)	36 (29-50)	30 (27-36)	34	23	21-37	30 (22-37)
Ancho de la faringe	20.3 (18-27)	21 (14-27)	21 (16-24)	20	27	26-40	22 (18-30)
Ancho del esófago	12.3 (11.3-13.5)					5-8	12 (7-22)
Largo del ciego derecho	101.3 (96.8-123.8)						102 (86-123)**
Largo del ciego izquierdo	112.5 (90-112.5)	106.6 (90-112.5)					
Largo del acetábulo	33.7 (24.7-38.3)	39 (34-45)	54 (44-60)	40	31-35	32-61	34 (30-41)
Ancho del acetábulo	36 (24.8-40.5)	44 (34-51)	48 (41-55)	37	36-38	26-53	40 (33-48)
Largo testículo derecho	56.3 (51.8-65.3)	30 (21-45)	46 (33-35)		53 ***	51-96	34 (26-48)
Ancho testículo derecho	33.8 (29.3-38.3)	48 (36-60)	77 (63-93)			26-59	32 (22-56)
Largo testículo izquierdo	60.8 (54-65.3)	39 (19-43)	43 (36-60)		48 ***	40-94	35 (20-48)
Ancho testículo izquierdo	33.8 (29.3-38.3)	49 (34-72)	77 (65-91)			29-67	39 (26-56)
Largo del ovario	15-15.8	25 (17-39)	45 (40-52)	37		34-110	30 (22-45)
Ancho del ovario	20-24.7		83 (67- 101)	27		32-80	34 (22-45)
Largo de la vesícula excretora	30 (22.5-45)						
Largo de los huevos	27 (24.8-33.8)		35 (32-37)		24-39	21-40	28 (22-43)
Ancho de los huevos	15.8 (13.5-20.3)		18 (16-20)		15-23	14-18	17 (15-22)

*Promedio de espinas internas y externas; ** promedio de ciego derecho e izquierdo; ***diámetro promedio



■ Figura 1. Ejemplar adulto de *Centrocestus formosanus* obtenido de ratones (*Mus musculus*) alimentados experimentalmente con branquias infectadas con metacercarias de *C. formosanus* en bagre de canal (*Ictalurus punctatus*). Tinción de carmín bórax. Barra 100 μm

Se continúa con un esófago corto (12.25 μm de longitud), que se divide en dos ciegos, los cuales se extienden hasta el extremo posterior del acetábulo.

El ciego derecho mide 101.25 μm de largo y el izquierdo 112.5 μm . El acetábulo se sitúa casi en la mitad del cuerpo, con 33.7 μm de largo y 36 μm de ancho. La vitelaria se encuentra desde el esófago hasta el extremo posterior del cuerpo. Presenta dos testículos opuestos, los cuales están ubicados en el extremo posterior del cuerpo y miden 56.25 μm de largo y 33.75 μm de ancho (derecho) y 60.75 μm de largo y 33.5 μm de ancho (izquierdo). El ovario (15.37 μm de largo y 22.37 μm de ancho) se encuentra entre el acetábulo y el testículo derecho. La vesícula excretora está situada entre los testículos y mide 30 μm de longitud. Los huevos son ovoides y miden 27 μm de largo por 15.75 μm de ancho.

DISCUSIÓN

Centrocestus formosanus es una de las especies de helmintos parásitos más distribuidas en peces de México (Pérez-Ponce de León et al., 2007). Dicha especie tiene el potencial de colonizar regiones geográficamente distantes (Mitchell et al., 2005). Su metacercaria ha sido encontrada en 12 estados de México (Pérez-Ponce de León et al., 2007). La identificación de las metacercarias es posible bajo microscopía óptica con base en sus estructuras, como el tamaño y número de espinas en la doble fila ubicadas en la ventosa oral y la vesícula excretora en forma de X (Arizmendi-Espinosa, 1992), pero de acuerdo con Hop et al. (2007) se logra una identificación más precisa en formas adultas, obtenidas mediante infecciones experimentales de un huésped definitivo y la obtención de estos parásitos completamente desarrollados.

El presente estudio corrobora que los ratones son un buen modelo de huésped definitivo para la etapa adulta de *C. formosanus*, como se ha reportado (Li et al., 2013; Mati et al., 2013). Una comparación de la morfometría del presente material con las reportadas en estudios previos (Tabla 1) confirma que los adultos obtenidos de los ratones infectados corresponden a *C. formosanus*. El tamaño de la ventosa oral concuerda con lo reportado en México por Arizmendi-Espinosa (1992), así como el número de espinas circumorales, que es una característica constante del parásito (Arizmendi-Espinosa, 1992).

Las medidas de la faringe en las muestras de este estudio son similares a las reportadas por otros autores (Arizmendi-Espinosa, 1992; Pinto & de Melo, 2010), así como el tamaño del acetábulo (Arizmendi-Espinosa, 1992). Los testículos fueron ligeramente más largos que los reportados por Arizmendi-Espinosa (1992). Por el contrario, las medidas de ovario en las muestras de este estudio son menores que las reportadas por Arizmendi-Espinosa (1992) y Pinto & de Melo (2010), posiblemente también debido a las diferencias en el tiempo post-infección, siete días en este estudio y quince días en el de Pinto & de Melo (2010).

En este trabajo, agregamos dos nuevas mediciones no reportadas previamente: la longitud del ciego izquierdo y la longitud de la vesícula excretora (Tabla 1). Varios factores pueden producir diferencias en la morfometría parasitaria, por ejemplo, el sistema inmune de los hospederos. A este respecto, Pinto et al. (2015) obtuvieron diferencias significativas en el largo y ancho del cuerpo, largo y ancho de testículos y ovarios, y en el número de óvulos en *C. formosanus*, provenientes de ratones inmunosuprimidos con corticosteroides (Pinto et al., 2015). Asimismo, Arizmendi-Espinosa (1992) utilizó *Gallus gallus* y *Anas* sp. con una edad de tres días como huéspedes definitivos, los cuales aún presentan un sistema inmunológico poco desarrollado.

Dado que las infecciones con este parásito pueden provocar la muerte de los peces (Mitchell et al., 2000), el seguimiento de los peces cultivados debe ser constante, así como los procedimientos de cuarentena aplicados cuando se transportan bagres juveniles. En México, existen varios reportes de *C. formosanus* en peces (Aguilar-Aguilar et al., 2009; Scholz & Salgado-Maldonado, 2000), pero sólo en uno de ellos se confirmó la identificación a través de la obtención de la fase adulta en un huésped definitivo (Arizmendi-Espinosa, 1992).

CONCLUSIONES

A nivel de campo y laboratorio, usualmente solo se realiza un diagnóstico de la infección de *C. formosanus* mediante el examen del tejido branquial de los peces. Sin embargo, mediante la infección experimental en un modelo animal, por ejemplo ratones, como en el presente bioensayo, se confirma la identificación de este parásito, mediante el estudio de las estructuras y la morfometría de su fase adulta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Comité de Sanidad Acuícola de Tamaulipas A.C. por su apoyo en el transporte de los peces.

REFERENCIAS

- Aguilar-Aguilar, R., Martínez-Aquino, A., Pérez-Rodríguez, R., Pérez-Ponce-de-León, G. (2009). Digenea, Heterophyidae, *Centrocestus formosanus* (Nishigori, 1924) metacercariae: Distribution extension for Mexico, new state record, and geographic distribution map. *Check List* 5 (2), 357-359. <https://doi.org/10.15560/5.2.357>
- Arguedas, C. D., Dolz, G., Romero-Zúñiga, J. J., Jiménez-Rocha, A. E., & León-Alán, D. (2010). *Centrocestus formosanus* (Opisthorchiida: Heterophyidae) as a cause of death in gray tilapia fry *Oreochromis niloticus* (Perciforme: Cichlidae) in the dry Pacific of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 58, 1453-1465.
- Arizmendi-Espinosa, M. A. (1992). Descripción de algunas etapas larvarias y de la fase adulta de *Centrocestus formosanus* de Tezontepec de Aldama, Hidalgo. *Anales Instituto de Biología. UNAM, Serie Zoología*, 63 (1), 1-11.
- Boerlage, A. S., Graat, E. A. M., Verreth, J. A., & De Jong, M. C. M. (2014). Transmission of fish-borne zoonotic trematodes (Heterophyidae) to common carp (*Cyprinus carpio*) is independent of density of fish and trematodes. *Journal of Helminthology*, 88, 183–188. <https://doi.org/10.1017/S0022149X12000910>
- Bray, R. A., Gibson, D. I., & Jones, A. (Eds.) (2008): *Keys to the Trematoda Vol. 3*. CAB International and Natural History Museum.
- Cantu, V., Brandt, T. M., & Arsuffi, T. L. (2013). An evaluation of three sampling methods to monitor a digenetic trematode *Centrocestus formosanus* in a spring-fed ecosystem. *Parasitology*, 140, 814-820. <https://doi.org/10.1017/S0031182013000085>
- Chai, J. Y., De, N. V., & Sohn, W. M. (2012). Foodborne trematode metacercariae in fish from Northern Vietnam and their adults recovered from experimental hamsters. *Korean Journal of Parasitology*, 50, 317-325. <https://doi.org/10.3347/kjp.2012.50.4.317>
- Chai, J. Y., Sohn, W. M., Yong, T. S., Eom, K. S., Min, D. Y., Lee, M. Y., Lim, H., Insisiengmay, B., Phommasack, B., & Rim, H. J. (2013). *Centrocestus formosanus* (Heterophyidae): human infections and the infection source in Lao PDR. *Journal of Parasitology*, 99, 531-536. <https://doi.org/10.1645/12-37.1>
- Gjurcevic, E., Petrincic, Z., Kozaric, Z., Kuzir, S., Kantura, V. G., Vucemilo, M., & Dzaja, P. (2007). Metacercariae of *Centrocestus formosanus* in goldfish (*Carassius auratus* L.) imported into Croatia. *Helminthologia*, 44, 214-216. <https://doi.org/10.2478/s11687-007-0034-4>
- Han, E. T., Shin E. H., Phommakorn S., Sengvilaykham B., Kim J. L., Rim, H. J., & Chai, J. Y. (2008). *Centrocestus formosanus* (Digenea: Heterophyidae) encysted in the freshwater fish, *Puntius brevis*, from Lao PDR. *Korean Journal of Parasitology*, 46 (1), 49–53. <https://doi.org/10.3347/kjp.2008.46.1.49>
- Hernández, L. E., Díaz, M. T., & Bashirullah, A. D. (2003). Description of different developmental stages of *Centrocestus formosanus* (Nishigori, 1924) (Digenea: Heterophyidae). *Revista Científica, FCV-LUZ*, XIII (4):285-292.
- Hop, N. T., De, N.V., Murrell, D., & Dalsgaard, A. (2007). Occurrence and species distribution of fish borne zoonotic trematodes in wastewater-fed aquaculture in northern Vietnam. *Tropical Medicine & International Health*, 12, 66-72. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2007.01943.x>
- Knoff, M., Pinto, R. M., Clemente S. C. D., Fonseca, M. C. G., & Gomes, D. C. (2011). *Diphyllbothrium latum* and *Diphyllbothrium* sp. as the agents of Diphyllbothriasis in Brazil: morphological analysis and of two new case reports. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, 33, 159-164.
- Li, M. H., Huang, H. I., Chen, P. L., Huang, C. H., Chen, Y. H., & Ooi, H. K. (2013). *Metagonimus*

- yokogawai*: metacercariae survey in fishes and its development to adult worms in various rodents. *Parasitology Research*, 112, 1647-1653. <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3320-8>
- Mati, V. L. T., Pinto, H. A., & de Melo, A. L. (2013). Experimental infections of Swiss and AKR/J mice with *Centrocestus formosanus* (Trematoda: Heterophyidae). *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 55, 133-136. <https://doi.org/10.1590/S0036-46652013000200013>
- Mitchell, A. J., Goodwin, A. E., Salmon, M. J., & Brandt, T. M. (2002). Experimental infection of an exotic heterophyid trematode, *Centrocestus formosanus*, in four aquaculture fishes. *North American Journal of Aquaculture*, 64, 55-59. [https://doi.org/10.1577/1548-8454\(2002\)064<0055:EIOAEH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8454(2002)064<0055:EIOAEH>2.0.CO;2)
- Mitchell, A. J., Overstreet, R. M., Goodwin, A. E., & Brandt, T. M. (2005). Spread of an exotic fish-gill trematode: A far-reaching and complex problem. *Fisheries*, 30, 11-16.
- Mitchell, A. J., Salmon, M. J., Huffman, D. G., Goodwin, A. E., & Brandt, T. M. (2000). Prevalence and pathogenicity of a heterophyid trematode infecting the gills of an endangered fish, the fountain darter, in two central Texas spring-fed rivers. *Journal of Aquatic Animal Health*, 12, 283-289. [http://dx.doi.org/10.1577/1548-8667\(2000\)012%3C0283:PAPOAH%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8667(2000)012%3C0283:PAPOAH%3E2.0.CO;2)
- Nguyen, V. D., & Thanh, H. L. (2011). Human infections of fish-borne trematodes in Vietnam: Prevalence and molecular specific identification at an endemic commune in Nam Dinh province. *Experimental Parasitology*, 129, 355-361. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2011.09.005>
- Paperna, I., & Dzikowski, R. (2006). Digenea (Phylum Platyhelminthes). En: P.T.K. Woo (Ed.) *Fish Diseases and Disorders, Protozoan and Metazoan Infections Vol. 1.* (pp. 355-390.). CAB International.
- Pérez-Ponce de León, G., García-Prieto, L., & Mendoza-Garfias, B. (2007). Trematode parasites (Platyhelminthes) of wildlife vertebrates in Mexico. *Zootaxa*, 1534, 1-247. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1534.1.1>
- Pinto, H. A., & de Melo, A. L. (2010) *Melanoides tuberculata* (Mollusca:Thiaridae) as an intermediate host of *Centrocestus formosanus* (Trematoda: Heterophyidae) in Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 52, 207-210. <https://doi.org/10.1590/S0036-46652010000400008>
- Pinto, H. A., Mati, V. L. T., & de Melo, A. L. (2015). Experimental centrocestiasis: Worm burden, morphology and fecundity of *Centrocestus formosanus* (Trematoda: Heterophyidae) in dexamethasone immunosuppressed mice. *Parasitology International*, 64, 236-239. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2015.02.002>
- Pinto, H. A., Gonçalves, N. Q., López-Hernandez, D., Pulido-Murillo, E. A., & de Melo, A. L. (2018). The life cycle of a zoonotic parasite reassessed: Experimental infection of *Melanoides tuberculata* (Mollusca: Thiaridae) with *Centrocestus formosanus* (Trematoda: Heterophyidae). *PloS one*, 13(4), e0194161. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194161>
- Pritchard, M. H., & Kruse, G. O. W. (1982). *The Collection and Preservation of Animal Parasites.* University of Nebraska Press.
- Rábago-Castro, J. L., Sánchez-Martínez, J. G., Loredó-Osti, J., Gómez-Flores, R., Tamez-Guerra, P., & Ramírez-Pfeiffer, C. (2011). Temporal and spatial variations of ectoparasites on cage-reared channel catfish, *Ictalurus punctatus*, in Tamaulipas, Mexico. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42, 406-411. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00480.x>
- Rosas-Valdez, R., & Pérez-Ponce de León, G. (2008). Composición taxonómica de los helmintos parásitos de ictalúridos y heptaptéridos (Osteichthyes: Siluriformes) de México, con una hipótesis de homología biogeográfica primaria. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79, 473-499.
- Schell S. C. (1970). *The Trematodes.* W. M. C. Brown Company Publishers.
- Scholz, T., & Salgado-Maldonado, G. (2000). The introduction and dispersal of *Centrocestus*

formosanus (Nishigori, 1924) (Digenea: Heterophyidae) in Mexico: A review. *American Midland Naturalist*, 143, 185-200. [http://dx.doi.org/10.1674/0003-0031\(2000\)143%5b0185:TIADOC%5d2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1674/0003-0031(2000)143%5b0185:TIADOC%5d2.0.CO;2)

- Velásquez, L. E., Bedoya, J. C., Areiza, A., & Vélez, I. (2006). Primer registro de *Centrocestus formosanus* (Digenea: Heterophyidae) en Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 77, 119-121.
- Yousif, F., Ayoub, M., Tadros, M., & El Bardicy, S. (2016). The first record of *Centrocestus formosanus* (Nishigori, 1924) (Digenea: Heterophyidae) in Egypt. *Experimental Parasitology*, 168, 56-654. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2016.06.007>



Determinación de plaguicidas organoclorados en el Río Tigre; Aldama, Tamaulipas y su potencial impacto a la fauna acuática

Determination of organochlorine pesticides in the Tigre River; Aldama, Tamaulipas and their potential impact on the aquatic fauna

Liduvina Vázquez-Ruiz^{1*}, María de la Luz Vázquez-Sauceda¹, Roberto Pérez-Castañeda¹, Venancio Vanoye-Eligio¹

RESUMEN

Los plaguicidas organoclorados (OCs) son químicos utilizados para combatir vectores de enfermedades o en cultivos para prevenir plagas, pero afectan ecosistemas y su uso ha sido prohibido en México y en el mundo. En este estudio se determinó la presencia de OCs en el Río Tigre, municipio de Aldama, Tamaulipas, mediante cromatografía de gases en muestras de agua del poblado Morón, Tamaulipas en 2015. Se elaboró un mapa de los tipos de vegetación y actividades productivas aledañas al sitio de muestreo. Se evaluaron diferencias de la concentración media entre los distintos OCs encontrados. Se detectaron siete OCs (dicloran, endosulfán I y II, lindano, aldrín, dieldrín, y epóxido de heptacloro) en el sitio de muestreo. No se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ellos. Se discuten los potenciales impactos a la fauna acuática del ecosistema estuarino que tienen los niveles de plaguicidas encontrados en el Río Tigre.

Palabras clave: contaminación, agua, organoclorados, fauna

ABSTRACT

Organochlorine pesticides (OCs) are chemicals used to combat disease vectors or on crops to prevent pests, but they affect ecosystems and their use has been banned in México and worldwide. In this study, the presence of OCs in the Tigre River, municipality of Aldama, Tamaulipas, was determined by gas chromatography in water samples from the town of Morón, Tamaulipas, in 2015. A map of vegetation types and productive activities near the sampling site was created. Differences in the mean concentration between the different OCs found were evaluated. Seven OCs (dichloran, endosulfan I and II, lindane, aldrin, dieldrin, and heptachlor epoxide) were detected at the sampling site with no significant differences between their concentrations. The potential impacts on the aquatic fauna of the estuarine ecosystem caused by the pesticides found in the Tigre River are discussed.

Keywords: contamination, water, organochlorine, wildlife

Autor para correspondencia: lvruiz@uat.edu.mx **Fecha de recepción:** 28 de junio de 2023

Fecha de aceptación: 30 de enero de 2024

Fecha de publicación: 31 de enero de 2024

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas organoclorados (OCs) son químicos utilizados para combatir vectores de enfermedades o en cultivos para prevenir plagas, sin embargo, son compuestos sintéticos altamente persistentes en el ambiente, debido a su composición química, representando una amenaza para la salud pública y para la mayoría de las formas de vida (Sierra-Cortés et al., 2019). Los OCs pueden provocar alteraciones del ADN o de los cromosomas, en el embrión y sobre una gran variedad de funciones metabólicas y de reproducción. Por ello, los OCs fueron prohibidos en el mundo, aunque en muchos países se siguen empleando sin ningún control (Zaragoza-Bastida et al., 2016). En México fueron utilizados para aumentar la producción agrícola y satisfacer los requerimientos de calidad de los alimentos para su exportación (Uzcátegui et al., 2011) pero, a raíz del descubrimiento de las consecuencias provocadas al ambiente, su uso ha sido prohibido paulatinamente. En 1982, se prohibió el aldrín, endrín y mirex; en 1992 el heptacloro y dieldrín; para el 2004 de acuerdo con la CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas), se restringió el uso del dicloro difenil tricloroetano (DDT), lindano, metoxicloro, dicofol y pentaclorofenol, mientras que el endosulfán sólo está permitido para uso agrícola e industrial (CICOP-LAFEST, 2004).

Se han realizado pocos estudios sobre los OCs presentes en cuerpos de agua; sin embargo, en Tamaulipas no se han desarrollado investigaciones sobre las concentraciones de plaguicidas OCs en agua, considerando el daño que causan al ambiente, por lo que es importante su estudio para conocer las concentraciones en las que se encuentran presentes. Derivado de lo anterior, se planteó determinar los plaguicidas OCs presentes en el Río Tigre, municipio de Aldama, Tamaulipas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio de Aldama se ubica en la parte sur del estado de Tamaulipas. El río Tigre es un cuerpo de agua que atraviesa la cabecera municipal, en el cual se ubicó el sitio de muestreo en un punto aledaño al poblado Morón para la recolección de muestras de agua (Fig. 1).

Se colectaron las muestras de agua a 15 cm de profundidad en el segundo semestre del año 2015, tomando una muestra por mes con un intervalo de 30 días aproximadamente (mayo-octubre) en el sitio de estudio, dando un total de seis muestras. Cada una de ellas se colocó en frascos ámbar con un volumen de 1000 ml, con tapa de teflón. Todas las muestras se analizaron en el laboratorio como lo marca la normatividad PROY-NMX-AA-071-SCFI-08. La presencia de OCs se determinó por cromatografía de gases con un detector de captura de electrones (Hewlett Packard Modelo 5890 A, Palo Alto. EUA) en el laboratorio GISENALAB acreditado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación A.C.). Se aplicó un ANOVA de una vía para evaluar las diferencias con respecto a las concentraciones promedio de los distintos OCs, transformando previamente los datos con raíz cuarta para cumplir con los supuestos de normalidad y homoscedasticidad.

Finalmente se elaboró un mapa geográfico con el sitio de muestreo incorporando la información de vegetación del INEGI serie V para la determinación de los tipos de vegetación o actividades productivas alrededor del sitio de muestreo.

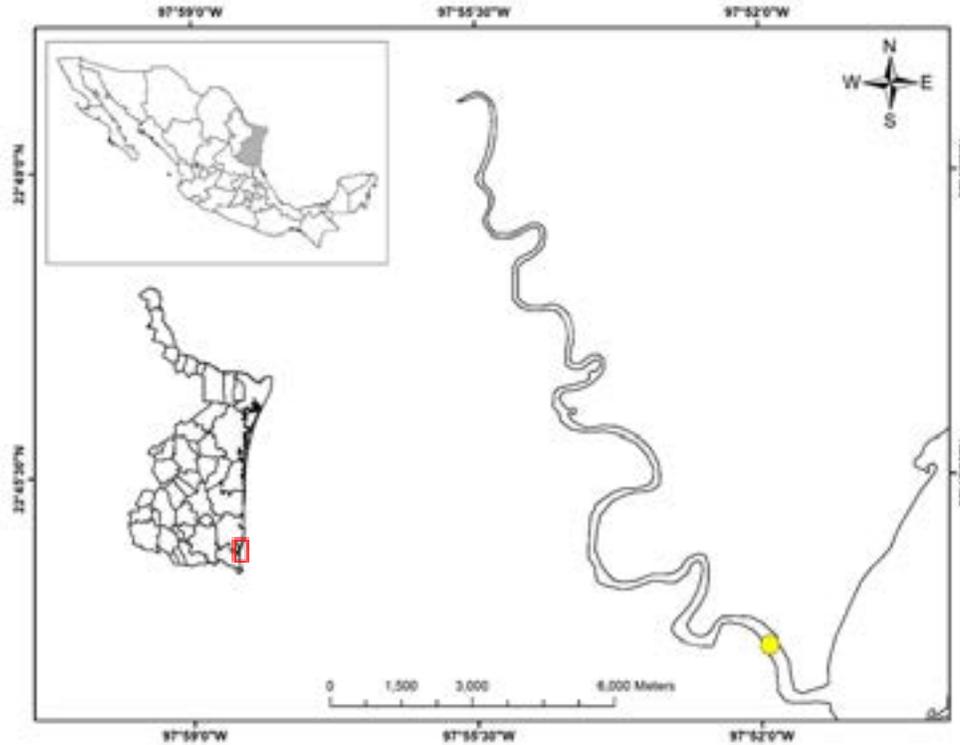


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio mostrando el sitio El Morón donde se recolectaron las muestras de agua para detección de plaguicidas OCs.

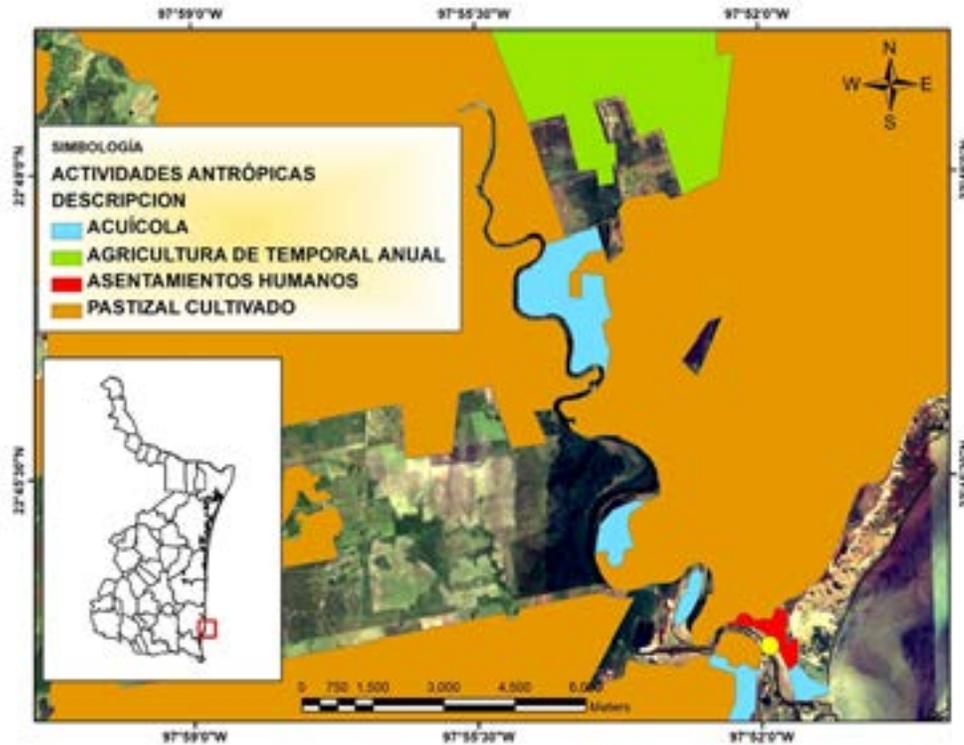
RESULTADOS

Se detectaron siete OCs (dicloran, endosulfán I y II, lindano, aldrín, dieldrín, y epóxido de heptacloro) en las muestras de agua del sitio de muestreo tomadas para el segundo semestre del año 2015 (Tabla 1). No se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) de las concentraciones promedio entre los distintos OCs.

El mapa geográfico muestra una mayor actividad ganadera en la zona desarrollada en el pastizal cultivado, seguida por la agricultura, acuicultura y finalmente asentamientos humanos (Fig. 2).

Tabla 2. Promedio (\pm desviación estándar) de las concentraciones de OCs determinadas para el sitio El Morón del Río Tigre, Aldama, Tamaulipas.

Ocs	Concentración ($\mu\text{g/ml}$)
Aldrín	0.341 ± 0.17
Dieldrín	0.381 ± 0.17
Endosulfán I	0.305 ± 0.20
Epóxido de heptacloro	0.379 ± 0.13
Dicloran	0.376 ± 0.15
Y-BHC (lindano)	0.363 ± 0.14
Endosulfán II	0.336 ± 0.14



■ Figura 2. Ubicación de las distintas actividades antrópicas que se desarrollan en las zonas adyacentes al Río Tigre, municipio de Aldama, Tamaulipas.

DISCUSIÓN

Los plaguicidas OCs se encuentran en los diferentes ecosistemas debido al uso que tienen por parte del hombre para combatir diferentes vectores y beneficiar principalmente las producciones agropecuarias (Sierra-Cortés et al., 2019). A nivel mundial los OCs se encuentran prohibidos por el daño que ocasionan a los ecosistemas y principalmente al humano (Albert & Benítez, 2005). Sin embargo, en México algunos de ellos están permitidos para su uso, otros están restringidos y unos más prohibidos (CICOPLAFEST, 2004).

En esta investigación, de los siete OCs detectados mediante la técnica de cromatografía de gases, el endosulfán I, II, lindano y dicloran están permitidos con restricciones para su uso en México, ya que la persistencia en el ambiente es de semanas en el caso de estos cuatro OCs. (CICOPLAFEST, 2004; EPA, 1980a, 1980b). El endosulfán I y II se utilizan para cultivos de alfalfa, algodón, apio, berenjena, brócoli, cafeto, calabacita, calabaza, cártamo, caña de azúcar, cebada, chabacano, chícharo, chile, ciruelo, col, durazno, fresa, jitomate, papa, maíz, fríjol y otros más (CICOPLAFEST, 2004). El lindano se utiliza principalmente para los cultivos de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo, además de ser empleado para combatir plagas de piojos (CICOPLAFEST, 2004; Linares-Mazariegos, 2007). El dicloran se utiliza en cultivos de crisantemo, geranio, jitomate y rosál (Linares-Mazariegos, 2007).

Los OCs aldrín, dieldrín y epóxido de heptacloro están prohibidos debido a su persistencia en el ambiente que van de 5, 7 y 4 años respectivamente (CICOPLAFEST, 2004; EPA, 1980c, 1980d).

El aldrín y el dieldrín son utilizados en cultivos de maíz y algodón, mientras que el epóxido de heptacloro es el producto obtenido de la degradación del heptacloro que fue utilizado en otros años para el control de termitas en cultivos de algodón (CICOPLAFEST, 2004; EPA, 1980a, 1980d; Linares-Mazariegos, 2007). Es importante señalar que algunos de los siete OCs detectados en el área de estudio corresponden a plaguicidas prohibidos en México, desde hace aproximadamente 25 años, esto sugiere que han seguido utilizándose en ciertas zonas de la región al no encontrarse diferencias significativas entre los permitidos y los prohibidos.

El Río Tigre presenta actividades antropogénicas en la mayoría de su extensión como la acuícola, agricultura de temporada o anual, asentamientos humanos y pastizales inducidos. Esto propicia la entrada de OCs al cuerpo de agua durante todo el año. Los principales cultivos que se llevan a cabo en esta zona son sorgo de grano, cebolla, chile verde y en menor escala calabaza, cártamo, frijol, limón, maíz grano, melón, naranja, pastos, sábila, sorgo forrajero verde, tomate rojo y tomate verde (Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2011; INEGI, 2009). Debido a lo anterior, es posible considerar que en estos cultivos se empleen los OCs detectados en el presente estudio, tales como aldrín, dieldrín, endosulfán I y II, dicloran y lindano. En el caso del epóxido de heptacloro y del lindano, debido a que se utilizan para combatir plagas de termitas e infecciones de piojos (CICOPLAFEST, 2004; EPA, 1980d; Linares-Mazariegos, 2007), es probable su uso en la ganadería practicada en la zona, así como su uso en el asentamiento humano del poblado El Morón.

La NOM-127-SSA1-1994 de México establece que los límites permisibles de aldrín, dieldrín, epóxido de heptacloro, lindano y endosulfán en agua ($\mu\text{g/ml}$) son 0.0003, 0.002, 0.0005, 0.002 y 0.0087, respectivamente. Sin embargo, las concentraciones promedio de estos OCs observadas en el presente trabajo rebasaron el límite permisible. Otros trabajos de investigación, realizados en México sobre OCs en agua, también han detectado concentraciones que rebasan los límites permisibles (Hernández & Hansen, 2011; Islas & García, 2008; Montes-Nava, 2008).

Potencial impacto a la fauna acuática

En el caso de los límites permisibles para la protección a la vida acuática en aguas costeras, la Ley Federal de Derechos establece valores ($\mu\text{g/ml}$) para el aldrín 7.4, lindano 0.2, dieldrín 0.9 endosulfán I y II 0.03 y epóxido de heptacloro 0.5 (CONAGUA, 2015). Las concentraciones observadas en el presente estudio rebasan los límites permisibles (Tabla 1) para los OCs lindano, endosulfán I y II. De los tres OCs, el lindano es el que tiene mayor persistencia en el ambiente, hasta por dos años, ocasionando que el crecimiento y la salud de los organismos acuáticos se vea afectada. Se han reportado estudios en camarón expuesto a concentraciones similares a las observadas en el presente estudio, que muestran cambios en la osmorregulación y en los procesos enzimáticos con daños principalmente respiratorios al deteriorar las branquias (Galindo-Reyes & Fossato, 1999). Además, se ha demostrado que ocasionan afectaciones en el hígado y riñón (Ortiz, 2003). Otros estudios encontraron que el lindano causa alteraciones en los niveles de testosterona y vitelogenina en camarones juveniles. Huang y Chen (2004) encontraron que los niveles de testosterona y estrógenos fueron reducidos en machos y hembras juveniles, respectivamente, a pesar de no obtener diferencias significativas con respecto del grupo control utilizando concentraciones entre 0.1 a 1 $\mu\text{g/ml}$.

Para el endosulfán I y II, estudios recientes indican que concentraciones por encima del límite permisible ocasionan daños en la fauna acuática en branquias y riñón, además de haber detectado concentraciones en músculo de peces (Sathishkumar, 2021). Castro-Castro et al. (2005) mencionan

que el endosulfán en crustáceos y moluscos disminuyen los aminoácidos libres en la hemolinfa e inhiben la Na-K-ATPasa branquial, ocasionando daños en la osmorregulación y en la respiración. En el área de estudio existe explotación pesquera de camarones y peces, así como de ostión (Periódico Oficial del Estado, 2013); por lo tanto, en caso de que algunos plaguicidas se encuentren en concentraciones que afecten la fauna acuática que habita en este ecosistema estuarino, se esperaría a su vez que la producción pesquera basada en esas especies de fauna también se vean afectadas. De hecho, se han realizado estudios donde se extrapolan resultados experimentales de la exposición de camarones a los pesticidas, evaluando el potencial riesgo de disminución de sus poblaciones silvestres (Moe et al., 2019). Asimismo, se ha documentado la disminución de sobrevivencia de algunos grupos taxonómicos de fauna estuarina en función de la cantidad de plaguicidas (Anderson et al., 2014), por lo que es evidente su potencial afectación a la fauna acuática.

Por otro lado, en el área de estudio existen 800 hectáreas de cultivo de camarón que utilizan el agua del ecosistema estuarino (Periódico Oficial del Estado, 2013), y en consecuencia una eventual contaminación por plaguicidas en el ecosistema estuarino tendría también afectaciones a los camarones cultivados.

Se ha demostrado que los OCs son bioacumulables y pueden llegar a estar presentes en el humano al consumir peces y mariscos que habitan en áreas con presencia de estos (Rodríguez, 2017). Por esta razón, es importante continuar con estudios de la zona con tejidos de la fauna acuática más representativa para el consumo humano, esto permitirá conocer la situación actual de la fauna acuática y de las poblaciones aledañas de humanos.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que el Río Tigre tiene presencia de plaguicidas organoclorados (OCs), entre ellos el aldrín, dieldrín, endosulfán I y II, epóxido de heptacloro, dicloran y lindano, los cuales se encuentran prohibidos en México el aldrín, dieldrín y epóxido de heptacloro, mientras que tienen uso permitido con restricciones el lindano, endosulfán I y II y como uso permitido para agricultura e industria el dicloran.

Las concentraciones obtenidas en este estudio rebasan los límites permisibles para México en el agua y para la protección de la vida acuática lo rebasan el lindano, endosulfán I y II; además, al no detectarse diferencias significativas entre las concentraciones de los siete OCs se sugiere que en el tiempo de muestreo y previo a este, pudo existir una fuente antropogénica.

A pesar de haber determinado la presencia de plaguicidas OCs en el Río Tigre en el agua, es importante realizar estudios a futuro para determinar la concentración de éstos en el tejido de organismos que habitan en este ecosistema para poder analizar la bioacumulación y el posible riesgo hacia los consumidores de dichos organismos, así como la relación entre las concentraciones de OCs en el tejido como en el sedimento.

Además, sería conveniente establecer un monitoreo de seguimiento que permita determinar las variaciones futuras en las concentraciones de los plaguicidas en el cuerpo de agua.

REFERENCIAS

- Albert, L. A., & Benítez, J. A. (2005). Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros. En A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot & C. Agraz-Hernández (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias*. (2a ed., pp. 157-176). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Anderson, B., Phillips, B., Hunt, J., Siegler, K., Voorhees, J., Smalling, K., Kuivila, K., Hamilton, M., Ranasinghe, J. A., & Tjeerdema, R. (2014). Impacts of pesticides in a Central California estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 1801-1814. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3494-7>
- Castro-Castro, V., Siu-Rodas, Y., González-Huerta, L. V., & Sokolov, M. Y. (2005). Efecto tóxico de DDT y endosulfan en postlarvas de camarón blanco, *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) de Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 53(1-2), 141-151.
- CICOPLAFEST. (2004). *Catálogo oficial de plaguicidas, 1995*. Comisión Intersecretarial para el Control y uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST). México. www.sagarpa.gob.mx/cicoplafest/
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. *Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106744/Ley_Federal_de_Derechos_2015.pdf.
- EPA. (1980a). Ambient water quality criterio endosulfan. EPA 440/5-80-046. Consultado en abril 2017 de www.epa.gov
- EPA. (1980b). Ambient water quality criterio hexachlorocyclohexane. EPA 440/5-80-054. Consultado en abril 2017 de www.epa.gov
- EPA. (1980c). Ambient water quality criterio aldrin/dieldrin. EPA 440/5-80-019. Consultado en abril 2017 de www.epa.gov
- EPA. (1980d). Ambient water quality criterio Heptacloro. EPA 440/5-80-052. Consultado en abril 2017 de www.epa.gov
- Galindo-Reyes, J. G., Fossato, V. U., Villagrana-Lizarraga, C., & Dolci, F. (1999). Pesticides in water, sediments, and shrimp from a coastal lagoon off the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*, 38(9), 837-841.
- Gobierno del Estado de Tamaulipas. (2011). *Atlas de riesgos del Estado de Tamaulipas*. Protección Civil Tamaulipas. Servicio Geológico Mexicano. Secretaría de Economía. <https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2017/09/ATLAS-DE-RIESGOS-DEL-ESTADO-DE-TAMAULIPAS.pdf>
- Hernández-Antonio, A., & Hansen, A. M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimento. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 115-127.
- Huang, D. J., Wang, S. Y., & Chen, H. C. (2004). Effects of the endocrine disrupter chemicals chlordane and lindane on the male green neon shrimp (*Neocaridina denticulata*). *Chemosphere*, 57(11), 1621-1627. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.063>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Aldama, Tamaulipas. Clave geoestadística 28002*. <https://docplayer.es/95290980-Prontuario-de-informacion-geografica-municipal-de-los-estados-unidos-mexicanos-aldama-tamaulipas-clave-geoestadistica-28002.html>
- Islas-García, A. (2008). *Distribución de plaguicidas organoclorados en agua y sedimento durante*

- la época de secas y lluvias en la laguna de Agua Brava*, Nayarit [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología.
- Linares-Mazariegos, R. M. (2007). *Evaluación ambiental de pesticidas organoclorados en sedimentos de la Laguna de Chantuto (Chiapas, México) y de la Bahía de Santander (Cantabria, España). Capítulo 1* [Tesis doctoral, Universidad de Cantabria]. Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica.
- Moe, S. J., Hjermmann, D. Ø, Ravagnan, E., & Bechmann, R. K. (2019). Effects of an aquaculture pesticide (diflubenzuron) on non-target shrimp populations: Extrapolation from laboratory experiments to the risk of population decline. *Ecological Modelling*, 413, 108833. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108833>
- Montes-Nava, A. M. (2008). *Contaminación por plaguicidas en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología.
- Ortiz, J. B., de Canales, M. L. G., & Sarasquete, C. (2003). Histopathological changes induced by lindane (γ -HCH) in various organs of fishes. *Scientia Marina*, 67(1), 53-61. <https://doi.org/10.3989/scimar.2003.67n153>
- Periódico Oficial del Estado. (2013). *Plan municipal de desarrollo 2013-2016 del municipio de Aldama, Tamaulipas* (Tomo CXXXVIII. Martes 31 de diciembre de 2013). Gobierno del Estado de Tamaulipas.
- Rodríguez, Á. G. P. (2017). Contaminación del agua y bioacumulación en el ser humano de plaguicidas organoclorados en el estado de Yucatán, México. *Revista de la Universidad Marista de Mérida*, 1(1), 1-8.
- Sierra-Cortés, J. C., Vega y León, S., Gutiérrez-Tolentino, R., Ortis-Salinas, R., Pérez-González, J. J., & Escobar-Medina, A. C. (2019). Plaguicidas organoclorados en agua de la laguna negra de puerto Marqués, Acapulco, Guerrero, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 397-406. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.11>
- Sathishkumar, P., Mohan, K., Ganesan, A. R., Govarthanam, M., Yusoff, A. R. M., & Gu, F. L. (2021). Persistence, toxicological effect and ecological issues of endosulfan—a review. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125779. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125779>
- Uzcátegui, J., Araujo, Y., & Mendoza, L. (2011). Residuos de plaguicidas organoclorados y su relación con parámetros físico-químicos en suelos del municipio Pueblo Llano, Estado Mérida. *Bioagro*, 23(2), 115-120.
- Zaragoza-Bastida, A., Valladares-Carranza, B., Ortega-Santana, C., Zamora-Espinosa, J., Velázquez-Ordoñez, V., & Aparicio-Burgos, J. (2016). Repercusiones del uso de los organoclorados sobre el ambiente y salud pública. *Abanico Veterinario*, 6(1), 43-55. <https://www.scielo.org.mx/pdf/av/v6n1/2448-6132-av-6-01-00043.pdf>



Principales sistemas de producción de leche de bovinos en México: recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo

Main dairy production systems in Mexico: current recompilation of productive, reproductive, and management performance

Ricardo Avilés Ruiz^{1*}, Oscar Guadalupe Barrón Bravo¹, Abner Josué Gutiérrez Chávez², Miguel Ruiz Albarrán³

RESUMEN

Se presentan los principales parámetros productivos, reproductivos y de manejo de los tres principales tipos de sistemas de producción bovinos lecheros que existen en México. La importancia de mostrar el valor con número de cada parámetro permitirá al lector observar que existen diferencias en la forma de producir leche de bovino en México. Además, cada sistema se adapta a la región agroecológica donde se localiza. La información del presente manuscrito compara los sistemas de producción de leche de bovinos. Las diversas estrategias de manejo alimenticio y reproductivo en estos sistemas permiten producir de manera eficientemente para ser competitivos dentro de una economía mundial globalizada, enfrentando el reto de ser sustentables, por otro lado, mitigar los efectos que la ganadería en el cambio climático.

Palabras clave: producción de leche, establos lecheros, vaquillas de reemplazo, manejo de ganado, eficiencia reproductiva.

ABSTRACT

The main productive, reproductive and management parameters of the three main types of dairy cattle production systems in Mexico are presented. The importance of showing the value with number of each parameter will allow the reader to observe that there are differences in the way of producing bovine milk in Mexico. In addition, each system is adapted to the agroecological region where it is located. The information in this manuscript compares bovine milk production systems. The diverse feeding and reproductive management strategies in these systems allow them to produce efficiently to be competitive in a globalized world economy, facing the challenge of being sustainable, on the other hand, to mitigate the effects of livestock on climate change.

Keywords: milk yield, dairy farming, rearing replacement heifers, cattle handling, reproductive performance.

Autor para correspondencia: aviles.ricardo@inifap.gob.mx **Fecha de recepción:** 17 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 27 de enero de 2024

Fecha de publicación: 31 de enero de 2024

¹Campo Experimental Las Huastecas, CIRNE-INIFAP. Altamira, Tamaulipas, México.

²División Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato. Irapuato, Guanajuato, México.

³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche bovina es una de las actividades pecuarias más sobresaliente a nivel mundial, debido a las demandas de productos de origen animal para satisfacer las necesidades de consumo de la población, especialmente a la infantil y la de adultos mayores (North et al., 2023). En México, la producción de alimentos de origen animal procedente de los bovinos productores de leche y carne representan el 32% del producto interno bruto del rubro alimentario (Statista Research Department, 2021).

La producción de leche se desarrolla en las diferentes regiones agroecológicas de México, tanto en regiones árida y semiáridas, como en templadas y tropicales. Sin embargo, en cada región agroecológica del país se han identificado y caracterizado los sistemas de producción de leche, de acuerdo a su importancia productiva, económica, agroecológica y social, denominándose sistema intensivo-especializado (SIE), sistema familiar-traspatio (SFT) y sistema doble-propósito (Barrón-Bravo et al., 2023; Camacho-Vera et al., 2017; González-Padilla et al., 2019; Lassala et al., 2020; SDP). A pesar de que existe una clara identificación de los sistemas de producción, estos los podemos encontrar distribuidos en la mayor parte del país. Los SIE radican principalmente en La Comarca Lagunera (Torreón, Matamoros, San Pedro, Francisco I. Madero y Viesca del Estado de Coahuila y Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo y Mapimí del Estado de Durango), Chihuahua y Aguascalientes; los SFT en todo el Altiplano Central mexicano (Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México y Puebla) y SDP en regiones tropicales de México (Camacho-Vera et al., 2017). No obstante, como se mencionó anteriormente, en la producción de leche no existen regiones agroecológicas donde se desarrolle un solo sistema de producción de leche en específico. Además, en cada una de las regiones agroecológicas de México existen sistemas de producción de leche, tanto en las zonas rurales marginadas alejadas de las metrópolis (SFT y SDP) como cerca de la zona metropolitana de Laguna, Valle de México, Aguascalientes, León y Querétaro (SIE), también hay notables contrastes tecnológicos en la producción de leche en México. Por ejemplo, los sistemas de producción lechera situados en la Comarca Lagunera (SIE) son sistemas con un alto grado de tecnificación en términos de instalaciones, equipo agrícola, sistemas de ordeño, conservación de forrajes, elaboración de raciones completamente mezcladas o parcialmente mezcladas, manejo sanitario de la glándula mamaria, uso de biotecnologías en la reproducción como es la inseminación artificial y diagnóstico de gestación por ultrasonido, así como sistemas de gestión de datos, uso de collares y/o podómetros para la identificación animal y monitoreo, digitalización de la información. Lo anteriormente mencionado se traduce en innovaciones tecnológicas que mejoran las prácticas de manejo para la producción de leche, ya que aseguran la asesoría técnica especializada.

La importancia de los sistemas de producción de leche en México radica en la contribución que tienen estos a la economía nacional, regional y local, en especial los SFT. El funcionamiento de cada unidad de producción lechera dependerá del poder adquisitivo de cada productor, del fin productivo que se desee (SDP: leche o crías), del precio de venta de la leche, del uso de tecnología y las condiciones generales del entorno donde se establezca. Sin embargo, en todos los sistemas hay factores (sequía, cambio climático, parásitos y enfermedades) que representan una problemática, la cual puede impactar en su producción, reproducción, sanidad y manejo en general (Bautista-Martínez et al., 2019; Velázquez et al., 2020).

En la actualidad, producir leche es menos costeable o rentable (Kusaka et al., 2023) y conocer los

parámetros productivos, reproductivos y de manejo de los principales sistemas de producción en México provee información a técnicos, investigadores y empresas proveedoras de insumos, entre otros, sobre las problemáticas prioritarias por atender. Al respecto, la comunicación entre los involucrados en la ganadería se da por diferentes medios. El objetivo de la presente revisión fue realizar un análisis comparativo de los parámetros productivos, reproductivos, de manejo sanitario y general de los principales sistemas de producción de leche en México.

DESARROLLO DEL TEMA

Inventario ganadero y producción de leche en México

En México, la población de bovinos es de alrededor de 24,808,075 cabezas, de los cuales 24,553,565 se encuentran en unidades de producción y 254,510 en viviendas (traspatio). El 55.5% de las existencias se concentran en los estados de Veracruz, Jalisco, Chihuahua, Chiapas, Durango, Tabasco, Sonora y Michoacán. El promedio de cabezas por unidad de producción es de 24.5. Del total de la población bovina, la composición según su función zootécnica es 47.1% vacas, 27.5% becerras y becerros, 12.1% en engorda, 9.8% vaquillas de reemplazo, 3.0% sementales, y 0.5% reses para el trabajo (INEGI, 2023). Respecto al ganado lechero, se concentra en la región del altiplano central (Chihuahua, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Estado de México y Puebla), la Comarca Lagunera (Durango y Coahuila) y la región tropical (Veracruz y Chiapas; Figura 1). Al cierre del 2022 (SIAP, 2024). Estas 10 entidades produjeron el 79.7% del valor de la producción de leche a nivel nacional, donde destacan Jalisco y Guanajuato con el 20.9% y 6.8%, respectivamente, con mayores hatos del SFT de producción de leche; Coahuila con el 11.8%, Durango con el 11.5% y Chihuahua con el 9.5%, siendo estos tres estados representativos con mayores hatos del SIE de producción de leche. El sistema de producción predominante en las regiones tropicales del país se conoce como SDP y los principales estados productores son Veracruz con el 6.1% y Chiapas el 3.5% de la producción de leche a nivel nacional. En la figura 1, se presenta la localización geográfica de los SIE, SFT y SDP y el valor de producción de leche de cada una de ellas (Camacho-Vera et al., 2017).



■ Figura 1. Principales regiones y sistemas de producción de leche en México de acuerdo con el valor de producción.

La industria lechera en México ha mostrado un crecimiento en las últimas décadas. Sin embargo, el país no ha logrado cubrir el consumo de este alimento, dado que la población ha tenido un crecimiento demográfico acelerado. Por tal motivo, no se cubre la demanda y se recurre a las importaciones (Martínez-Alba et al., 2021). De acuerdo con las estadísticas nacionales de México, el crecimiento de la producción de leche ha ido en aumento en un 1.3% para el 2021 hasta un 2.0% para el 2023, alcanzando una producción total de 13,113,000 de toneladas.

Sistema de comercialización de leche en México

Una de las principales características de los SIE son los estándares de calidad en cadena productiva, tal es el caso de la cuenca lechera en el norte de México, la cual está conformada por empresas tecnificadas que cuentan con recursos que le facilitan el traslado de sus productos en comparación de las empresas de mediana escala, desde la recolección de leche hasta la distribución de los productos a los supermercados en México y otros países (Morales, 2022), debido a esto no existen intermediarios en la cadena productiva. En estos sistemas se prioriza la producción individual por vaca (kg de leche/vaca/lactancia), tal es el ejemplo de los promedios estandarizados de producción de leche para vacas Holstein pertenecientes a estos sistemas que alcanzan los 11,382 kg de leche con un rango que va de los 5,000 a los 21,000 kg de leche/lactancia de 305 días a dos ordeñas al día de vacas en su primera lactancia (Toledo-Alvarado et al., 2014), vacas que superan los 30 kg por vaca/día (Fernández et al., 2018; Ríos-Mohar et al., 2022). Los altos volúmenes de producción de leche por vaca permiten que se reduzcan los costos de producción y puedan ser competitivos con el mercado nacional e internacional. En la actualidad, el incremento en el inventario ganadero, así como en el rendimiento individual de producción de leche por vaca, ha traído como consecuencia que en los establos en la Comarca Lagunera y otros estados se haya provocado un desabasto de agua subterránea y de corrientes pluviales por el gran consumo de este líquido para la producción de forraje. Además, los SIE están localizados en las regiones semiáridas de México, donde las precipitaciones son escasas (Padilla y Sotelo & Barrientos, 2010).

En el centro de México, los SFT son los que predominan y están ubicados principalmente en los estados de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México y Michoacán. Con respecto al estado de Guanajuato, se han contabilizado alrededor de 6,900 unidades de producción láctea. De las cuales el 90% son de lechería familiar. La base de la alimentación son los pastizales nativos, los cultivos forrajeros de cereales de grano pequeño como forraje para pastoreo o en ensilaje, las pasturas inducidas de clima templado como el rye grass y el altafescue combinado con trébol blanco, y el cultivo de maíz para grano y forraje o bien en forma de ensilaje (Tabla 1; Álvarez-García, 2023; Carrillo-Hernández, 2020; Carrillo-Hernández et al., 2023; González-Alcántara, 2021; Gómez-Miranda, 2023; López-González, 2023; Marín-Santana et al., 2020; Marín-Santana et al., 2023; Plata-Reyes et al., 2021; Vega-García, 2021).

En estos SFT de producción, si bien no hay un programa de mejoramiento genético definido, este se ha logrado debido a la inseminación artificial, biotecnología reproductiva común desde hace varias décadas principalmente por técnicos extensionistas que prestan sus servicios profesionales (González-Orozco, 2022). Sin embargo, la producción de leche es menor al promedio de los SIE, aunque se utilizan razas especializadas en producción lechera. De acuerdo con los reportes de los últimos estudios en SFT (Tabla 1), la producción de leche por vaca oscila entre los 11.0 kg leche/vaca/día hasta los 19 kg leche/vaca/día. Con vacas de raza Holstein y sus cruzamientos con otras razas como la Pardo Suizo. Para mejorar la productividad de los SFT de producción de leche, la calidad de los productos generados y el ingreso de los productores, además de las estrategias de alimentación,

para reducir los costos de producción, se deben diseñar políticas diferenciadas de capacitación y transferencia de tecnología, acordes a las características socioeconómicas y técnico-productivas de los diferentes tipos de productores (Vélez et al., 2013). Con respecto a la calidad microbiológica de la leche, se ha reportado que estos sistemas muestran las más altas frecuencia de mastitis subclínica (Avilés et al., 2018).

■ Tabla 1. Tipo de forraje y sistema de alimentación y producción de leche bajo diferentes estrategias de alimentación para SFT o sistemas en pequeña escala en México.

Referencia	Año	Tipo de forraje	Sistema de alimentación	kg leche/día
Carrillo-Hernández et al.	2023	Ensilajes de grano pequeño	Pastoreo + suplementación con ensilaje	18.0
Marín-Santana et al.	2020	Kikuyo + alta fescue	Pastoreo + concentrado comercial	19.0
Plata-Reyes et al.	2021	Rye grass, alta fescue, Bromo,	Pastoreo + concentrado	16.8
Gómez-Miranda et al.	2023	Rye grass y arevenses	Comedero	11.4
Vega-García et al.	2021	Cereales de grano pequeño	Pastoreo + concentrado comercial	13.4
González-Alcántara et al.	2020	Ensilaje de cereales de grano pequeño, rye grass	Pastoreo + ensilaje	12.3
Marín-Santana et al.	2023	Kikuyo + rye grass	Pastoreo	17.0
López-González et al.	2020	Alta fescue + rye grass	Pastoreo	11.8
Carrillo-Hernández et al.	2020	Rye grass	Pastoreo	15.5
Álvarez-García et al.	2023	Ensilaje de maíz o trigo	Comedero	15.6

Con respecto al SDP, son unidades de producción, cuya modificación al ecosistema fue el resultado de la cruce de los bovinos criollos con ganado puro (*Bos taurus*) con el fin de obtener mayor rendimiento de leche y carne, simultáneamente, al considerar las exigencias del mercado. Debido al valor genético superior de estos individuos introducidos, se realizaron cambios en el manejo, logrando una mayor productividad y, por lo tanto, mayores ingresos. Estos cambios consistieron principalmente en la adopción de tecnologías como: pastoreo en praderas con pastos mejorados y suplementación nutricional durante el ordeño de los animales. Sin embargo, este sistema varía en función de las condiciones agroecológicas, la idiosincrasia, la tradición y costumbres. Esto influye en la adopción de tecnología y es considerado una desventaja (Juárez-Barrientos et al., 2015).

Características productivas de los diferentes sistemas de producción

Evaluar los indicadores productivos es una actividad esencial para cualquier unidad pecuaria, de estos, un indicador frecuentemente medido en ganado bovino lechero ha sido la cantidad de leche producida por día, y, por tanto, por lactancia, ya sea en litros o en kilogramos. Así, se ha observado que este parámetro ha incrementado año con año en todos los sistemas de producción. En este sentido, en la actualidad se han alcanzado lactaciones por arriba de 10,000 kg de leche por vaca por lactancia en los SIE (Fernández et al., 2018) y en algunos SFT (González-Orozco, 2022; Tabla 2). Cabe señalar que, la raza Holstein es la que predomina en los sistemas antes mencionados (Fernández et al., 2018). Sin embargo, para el SDP predominan las cruces de razas principalmente de la especie *Bos primigenius*, las subespecies *Bos primigenius indicus* (Gyr, Sardo Negro, Guzerat) y *Bos taurus* (Suiza, Holstein, Jersey, Montbeliard y Simmental) en las regiones tropicales (Arce et al., 2017; Ríos-Utrera et al., 2020; Tabla 3).

■ Tabla 2. Parámetros productivos de sistemas: intensivo-especializado, familiar-traspatio y doble-propósito en México.

Parámetro		Intensivo-especializado	Familiar-traspatio	Doble-propósito
Producción de leche	Lactancia*	9,690l (Fernández et al., 2018)	6,200kg (Avilés-Ruiz et al., 2018)	1,246l * (Granados-Rivera et al., 2018)
	Leche/día	32.3 ± 0.7l (Fernández et al., 2018)	20.6 ± 0.76kg (Avilés-Ruiz et al., 2018)	4.6l * (Granados-Rivera et al., 2018)
Vida en el hato (número de partos)	2021	3.5 (Ríos-Mohar et al., 2023)		4.0 (Román-Ponce et al., 1981)
Rango de vacas en ordeño/hato		4,431 - 6,344 (Espinoza-Arellano et al., 2018)	3 – 47 (Avilés-Ruiz et al., 2018)	20 – 70 (Granados-Rivera et al., 2018)
Número de ordeños/día		3 (Fernández et al., 2018)	2 (Avilés-Ruiz et al., 2018)	1 (Galina & Geffroy, 2023)
Peso al nacimiento de las crías de remplazo (kg)		38.0 ± 4.9 (Rodríguez-Hdez. et al., 2021)	39.8 (González-Orozco, 2022)	33.94 ± 1.11 (Zárate-Martínez et al., 2010)
Peso al destete de las crías de reemplazo (kg)		85 (Rodríguez-Hdez. et al., 2022)	77 (González-Orozco, 2022)	95 (Carballo et al., 2009) 92.61 ± 4.82 (Zárate-Martínez et al., 2010)
Edad al destete de las crías de reemplazo (d)		65.0 (Rodríguez-Hdez. et al., 2022)	70.3 (González-Orozco, 2022)	90.0 (Carballo et al., 2009; Zárate-Martínez et al., 2010)
Ganancia diaria de peso al destete de las crías de reemplazo (g)		897.0 ± 0.5 (Rodríguez-Hdez. et al. 2021)	526.7 (González-Orozco, 2022)	651.12 ± 52.89 (Zárate-Martínez et al., 2010)
Ganancia diaria de peso postdestete de las crías de reemplazo(g)		895 (Rodríguez-Hdez. et al., 2020)	697 (Rodríguez-Hdez. et al., 2020)	400-530 Estación del año (Carballo et al., 2009) 110-604 Tipo de cruce (Zárate-Martínez et al., 2010) 390-490 Cantidad de suplemento (Duarte-Castro et al., 2023)

*calculada con base en la producción diaria; * las lactancias promedio de 271 días.

Estas razas y sus cruces muestran una menor producción de leche en comparación con los SIE, donde se manejan razas puras, por lo tanto, los animales son ordeñados generalmente una vez al día y posteriormente son enviados a pastoreo durante el resto del día (Galina & Geffroy, 2023). Se ha descrito que la estructura y las características tecnológicas de un SDP en México, es que poseen en promedio 29.9 unidades animal de tamaño de hato en 35.6 ha y 1.2 UA/ha de carga ganadera. La alimentación animal se basa en el pastoreo de pastos nativos (*Paspalum*, *Panicum*, *Bouteloua*, etc.) y residuos de cultivos de pastoreo (52,7%). El 39% en de las unidades de producción se alimentan con pasturas establecidas para el pastoreo, y en un 22.5% utilizan ensilajes, un 50.4% heno y 30.3% forrajes verdes (Rangel et al., 2020).

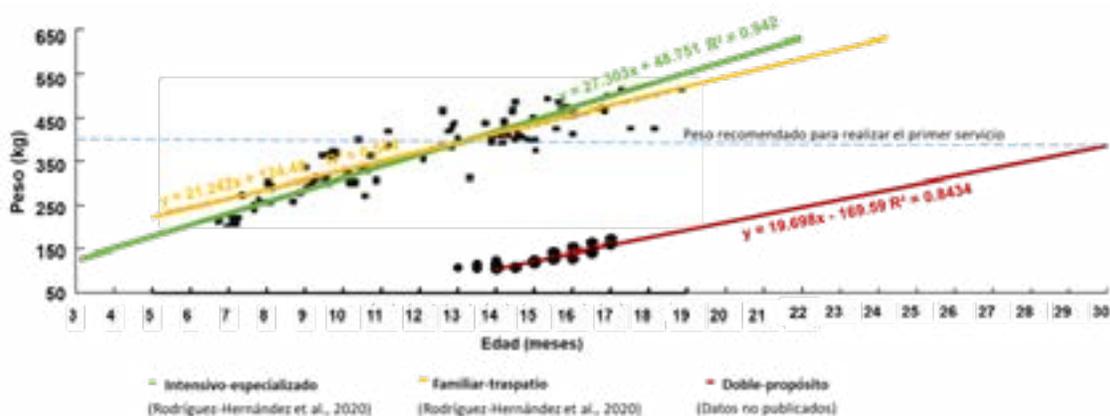
■ Tabla 3. Parámetros productivos de sistemas: intensivo-especializado, familiar-traspatio y doble-propósito en México.

Parámetro	Intensivo-especializado	Familiar-traspatio	Doble-propósito
Razas utilizadas	Holstein (Fernández et al., 2018; Rodríguez-Hdez. et al., 2020)	Holstein (Avilés-Ruiz et al., 2018; González-Orozco, 2022)	<i>Bos primigenius indicus</i> (Cebú) y taurus (Suiza, Holstein, Jersey, Montbeliard y Simmental) (Ríos-Utrera et al., 2020)
Nivel de tecnología	Alta (Fernández et al., 2018)	Media (González-Orozco, 2022)	Baja (Velázquez et al., 2020; Granados-Rivera et al., 2018)
Principales problemas que aquejan	-Problemas reproductivos detección de estro (Hernández, 2016) -Estrés térmico	-Dietas inadecuadas (González-Orozco, 2022) -Altos porcentajes de mastitis subclínica (Avilés-Ruiz et al., 2018)	-Sequías -Registros inadecuados -Indefinidos programas de mejoramiento genético -Inadecuada infraestructura -Malas prácticas de salud y nutrición animal (Galina y Geffroy, 2023)
Tipo de sala de ordeño	Carrusel, espina de pescado controlada electrónicamente (Fernández et al., 2018)	Tandem y ordeñadoras de carro transportables (Avilés-Ruiz et al., 2018)	Manual y mecánico en sala de ordeño (Granados-Rivera et al., 2018)
Mortalidad al destete (%)	28 (Rocha-Valdez et al 2019)	3.85 (González-Orozco, 2022)	10 (Román-Ponce et al., 1981)
Morbilidad de diarreas (%)	40.4 (Rocha-Valdez et al., 2019) 27.1 (Rodríguez-Hdez. et al., 2022)		
Costo del tratamiento para diarrea por cría \$	474.5 (Rocha-Valdez et al., 2019) 408.76 (González-Avalos et al., 2022)		
Causas de mortalidad de las crías	Diarrea y neumonía (Rocha-Valdez et al., 2019)		
Mastitis subclínica (%)	16.9 (Pastor et al., 2010)	24.6 (Avilés-Ruiz et al., 2018)	7.6 (Vélez-Terranova et al., 2023)

En cuanto a inventario ganadero, existe un rango muy amplio comparando los tres sistemas de producción. Por ejemplo, en la región Lagunera (clima semi-árido) existen establos que albergan más de 3,000 vacas en producción (Fernández et al., 2018). En contraste con los SFT donde existen establos con solo 3 vacas en producción (Avilés-Ruiz et al., 2018). En este caso, la actividad pecuaria es realizada principalmente por la esposa y el sustento familiar es por el jornal del esposo, empleado o no en el sector agropecuario (González-Orozco, 2022).

En cuanto a ganancia diaria de peso en las hembras de reemplazos, se han desarrollado estudios comparando animales de la misma raza y edad alimentadas bajo diferentes sistemas de producción SFT vs SIE en México alimentadas con alfalfa vs esquimos agrícolas, respectivamente (Tabla 2). Se reportaron que bajo los SIE, las becerras tuvieron un mayor desempeño productivo en cuanto a

ganancia diaria de peso (895g vs 697g) debido a la inclusión en la dieta de heno de alfalfa, y puede deberse al aporte de un porcentaje alto de proteína cruda en la dieta. En la figura 2 se puede observar el peso respecto a la edad de los reemplazos del SIE, SFT y SDP. Este último sistema, en el Sur de Tamaulipas, ha reportado que las crías de reemplazo alcanzan la pubertad y el primer parto a una edad avanzada y un peso bajo al destete de las crías (Avilés-Ruiz et al., 2022a), debido a la baja calidad de las pasturas presentes en las regiones tropicales, (Figura 1). Las condiciones de manejo nutricional y la variación de la calidad nutritiva de las pasturas con que son alimentadas las vacas productoras de leche en los SDP traen como consecuencia que, las crías obtengan la ganancia mínima esperada, incluso pérdida diaria de peso si las crías nacen durante los meses de sequía (Tabla 2). Para mitigar esta problemática, surge la necesidad de desarrollar estrategias de suplementación de bajo costo para los reemplazos en cada sistema de producción, considerando que estos animales son el futuro del hato.



■ Figura 2. Peso de los reemplazos de sistemas: intensivo-especializado, familiar-traspasado y doble-propósito.

Características reproductivas en los diferentes sistemas de producción

La eficiencia reproductiva de un hato ganadero es derivada de la respuesta en particular del genotipo del animal a su ambiente. La capacidad genética de los animales se determinará por su capacidad de enfrentarse con un ambiente bajo estrés, como el clima (Fernández et al., 2018), las enfermedades endémicas o parasitismo (Bolaños, 2020) y el manejo del animal previo y posterior al parto, en cuanto a su desequilibrio metabólico (enfermedades metabólicas) durante el periparto, al mantener una alta producción de leche y retornar a la ciclicidad ovárica lo antes posible (Avilés-Ruiz et al., 2022b; Bacha et al., 2010; Chapinal et al., 2012; Crowe, 2008; Montiel & Ahuja, 2005; Montiel-Olguín et al., 2018).

Los sistemas de producción, tanto SDP y SFT, cuentan con hatos reducidos en el número de cabezas de ganado y se caracterizan por no implementar programas de manejo reproductivo ni mejoramiento genético. En la mayoría de los SDP, el manejo reproductivo se basa en el uso de los toros disponibles de la región y son mínimas las prácticas de manejo reproductivo en las hembras como: la sincronización del celo e inseminación artificial a estro observado o a tiempo fijo (Galina & Geffroy, 2023; Martínez et al., 2021). El manejo reproductivo y genético de los SFT se lleva a cabo mediante el uso de toro de la región de diversas razas (Holstein, Pardo Suizo, razas Cebuinas cárnicas), así como la inseminación artificial; no obstante, el alto costo de las pajillas de semen importado de toros probados para los productores de este sistema es considerable, empleando pajillas de semen de toros nacionales (González-Orozco, 2022). Además de la inseminación artificial, en

los SIE se utilizan otras biotecnologías reproductivas para la detección de calores y la sincronización de los animales con inseminación a tiempo fijo con pajillas de semen probado e incluso sexado (Tabla 4; Ríos-Mohar et al., 2023). El estrés calórico, los nutricionales y los de manejo son factores relacionados con el cambio climático que están impactando, no solamente con el bienestar animal, sino con la actividad reproductiva de las vacas productoras de leche. Estos, modifican el reinicio de la actividad ovárica en la vaca y prolonga el anestro postparto en los SIE (Fernández et al., 2018).

■ Tabla 4. Parámetros reproductivos de sistemas: intensivo-especializado, familiar-traspatio y doble-propósito en México.

Parámetro	Intensivo-especializado	Familiar-traspatio	Doble-propósito
Periodo voluntario de espera (d)	60 ± 11 (Ríos-Mohar et al., 2022)		
Periodo de inseminación (d)	48 ± 3 (Ríos-Mohar et al., 2022)		
Intervalo entre partos (d)	381 (Ríos-Mohar et al., 2022)	435 (González-Orozco, 2022)	485 ± 15 (Avilés-Ruiz et al., 2023) 480 (Román-Ponce et al., 1981)
Tasa de preñez (%)	12-15 (Ríos-Mohar et al., 2022)		
Procedimiento de empadre	Sincronización de estros e IA a tiempo fijo (Fernández et al., 2018)	IA a estro natural (Vélez et al., 2013; González-Orozco, 2022)	Monta natural principalmente (Galina & Geffroy, 2023)
Peso al primer servicio (kg)	403 (Rodríguez-Hdez. et al., 2020) (Rodríguez-Hdez. et al., 2022)	342 (González-Orozco, 2022)	384 (Carballo et al., 2009)
Edad al primer servicio (meses)	13.0 ± 2.5 (Rocha-Valdez et al., 2020) 16.4 ± 2.7 (Rodríguez-Hdez. et al., 2018)	16.3 (González-Orozco, 2022)	29.0 (Carballo et al., 2009)
Edad al primer parto (meses)	25.4 (Rodríguez-Hdez. et al., 2018)	27.0 (González-Orozco, 2022)	40.1 ± 1.5 (Zárate-Martínez et al., 2010)
Peso al primer parto (kg)		507.5 (González-Orozco, 2022)	420 (Carballo et al., 2009)

La fertilidad se describió como el porcentaje del número total de vacas preñadas en el hato con respecto al número total de hembras en el hato. Posteriormente, se modificó el término como la proporción de vacas que pueden quedar preñadas del total de vacas elegibles para inseminación con un ciclo estral activo y normal, el cual es expresado como la tasa de preñez o gestación (Ríos-Mohar et al., 2022) y en algunos casos se conoce como tasa de concepción, la cual es menor en el SIE que en el SFT (Tabla 4).

Desde el punto de vista del manejo nutricional y alimenticio del ganado, las prolongadas sequías son más frecuentes a nivel nacional y en el mundo entero, como consecuencia del cambio climático. Esto genera que haya baja disponibilidad de forraje e impacte negativamente, no solo económicamente en la productividad, también en la reproducción del ganado (North et al., 2023).

En el trópico mexicano, los sistemas silvopastoriles (Galina & Geffroy, 2023; Tinoco-Magaña et al., 2012) han tratado de mitigar el efecto negativo del cambio climático sobre la nutrición y reproducción; no obstante, las consecuencias negativas sobre la reproducción es que afectan directamente sobre el mayor número días entre partos (Avilés-Ruiz et al., 2023; Hernández-Reyes et al., 2000). Uno de los principales factores de manejo reproductivo que afectan la tasa de preñez y el aumento de días en el intervalo de parto y parto es la detección de estro, tanto para el SDP como para los SIE. En el caso de los SDP, la detección de celos es mediante el método de la observación visual y al tener vacas pastoreando en grandes extensiones de terreno esta es baja (Galina & Geffroy, 2023).

En el SIE, resulta difícil identificar las vacas en estro (eficiencia de detección de estro) por las siguientes razones: la ausencia de semental (utilizan podómetros, marcadores, etcétera), debido a la densidad de animales en los corrales y el poco tiempo que duran en esta fase de ciclo estral los animales (Hernández, 2016).

Durante el crecimiento, el destete de las becerras en los SFT del Bajío Mexicano es una de las etapas que repercute directamente en un bajo peso al primer servicio (342 kg), así como al primer parto (507.5 kg). Están por debajo en comparación con los SIE en producción de leche (> 550 kg). El bajo peso al primer servicio y al parto son consideradas un problema para los SFT. Al no producir reemplazos con parámetros adecuados, estos sistemas productivos resultan deficientes productiva y reproductivamente, por tanto, menos rentables (González-Orozco, 2022; Tabla 4).

Características de manejo en general y sanitarias de los diferentes sistemas de producción

Las prácticas de manejo en los SDP en las regiones tropicales son diferentes a las que se realizan con ganado de SIE. En los SDP es común el ordeño de la vaca y amamantamiento simultáneo de la cría. Por un lado, la presencia de la cría ayuda a la bajada de leche y por otro, la cría muestra un mejor desempeño productivo y mayor ganancia de peso (Granados-Rivera et al., 2018; Orihuela & Galina, 2019; Rojo-Rubio et al., 2009).

En los SFT y SIE la crianza de los reemplazos es de forma artificial (Rocha-Valdez et al., 2019). Al respecto, este último sistema utiliza ordeñadoras automáticas y ordeña cada 8 horas (Fernández et al., 2018). La mayor frecuencia de ordeña es un factor determinante sobre una mayor producción leche diaria (Amos et al., 1985). Adicional al manejo de una mayor frecuencia de ordeño, los establos están equipados con sistema de enfriamiento con aspersión de agua y ventiladores, esto reduce el estrés calórico en vacas frescas (lactancia temprana), favoreciendo la producción y reproducción de las mismas durante los meses de verano (Ríos-Mohar et al., 2023).

Desde el punto de vista sanitario, los parásitos en los bovinos son un problema a nivel mundial, especialmente en las zonas tropicales y subtropicales, de forma general pueden causar anorexia aguda, daño a los tejidos, anemia, toxemia y obstrucción de órganos. El diagnóstico preciso y su identificación son un aspecto central para el control efectivo, particularmente cuando poseen resistencia a los desparasitantes. Asimismo, la infestación por parásitos es una de las principales causas de las pérdidas económicas de la ganadería mundial. En este sentido, González-Cerón et al. (2009) llevaron a cabo un estudio en un SDP por infestación natural con garrapatas (*Amblyomma cajenense* y *Boophilus microplus*) en animales de diferentes etapas fisiológicas en la zona tropical de México, donde encontraron una correlación positiva entre la cantidad de precipitación pluvial y la carga de dicho parásito. Además, reportaron que las vacas en lactancia presentaron mayor conteo de garrapatas.

En un estudio reciente, en el mismo sistema de producción con crías Castañeda et al. (2021) evaluaron en crías la infestación de garrapatas y su efecto en la ganancia diaria de peso. Ellos encontraron que las crías con mayor carga de garrapata presentaron mayor pérdida de peso y corroboraron que durante los meses más calurosos se presentó mayor infestación de este hemoparásito. Por otro lado, se ha reportado que uno de los principales problemas en los SDP es que los parásitos desarrollan resistencia a los antihelmínticos, principalmente a los más utilizados como la ivermectina, lo que provoca baja productividad, así como las enfermedades que aún no se han erradicado en ciertas regiones de México (Galina & Geffroy, 2023). Por lo anterior, se puede observar que existe un área de investigación para dar solución a este problema sanitario, el cual es agudizado en la región tropical de México.

La introducción de microorganismos patógenos a la glándula mamaria causa daños a las células lactóforas y provocan una menor síntesis de leche. Estos daños se clasifican en mastitis clínica y subclínica. Esta última, ha llamado más la atención en la investigación, dado que es más difícil de detectar a simple vista y genera pérdidas económicas considerables para el productor. Por otro lado, las bacterias, principal agente etiológico, desarrolla resistencia a antibióticos (Khazandi et al., 2018). Para detectar la presencia de mastitis subclínica es común la Prueba de California de fondo oscuro. Sin embargo, en los SDP y SFT no se adoptado dicha prueba de forma rutinaria a pesar de que este último sistema presentó una alta frecuencia de cuartos infectados (Avilés-Ruiz et al., 2018). Al ser sistema traspatio, los animales se encuentran en espacios reducidos de confinamiento.

CONCLUSIÓN

En México, la producción de leche se desarrolla bajo tres sistemas de producción: sistema intensivo-especializado, familiar-traspatio y doble-propósito. Están distribuidas en las diferentes regiones de México como son la árida, semiárida, templada y tropical. Los sistemas intensivos-especializados de producción tienen mayores ventajas de producción, comparado con los otros dos sistemas. Sin embargo, enfrenta el reto de mantener los altos niveles de producción y la reducción de los costos de producción de leche/vaca, además, mantener el estatus sanitario y los costos de producción competitivos con otras regiones del mundo. Los sistemas familiar-traspatio y sistemas doble-propósito enfrentan grandes retos para ajustarse a los niveles actuales de parámetros productivos y reproductivos, la producción de hembras de reemplazo, la reducción entre parto y parto, el manejo sanitario y composición química de la leche que les permita insertarse a canales de comercialización formales y cumpliendo las normas oficiales mexicanas para la comercialización de su producto. Se ha demostrado que, en los sistemas familiar-traspatio de México, el uso de estrategias de alimentación basadas en el pastoreo puede lograr producciones moderadas y de calidad de leche de forma competitiva e incorporarse a mercados formales de comercialización. En los actuales sistemas de producción de leche en México, el cambio climático representa una amenaza para la subsistencia de la producción de leche.

REFERENCIAS

- Álvarez-García, C. D., Arriaga-Jordán, C. M., Estrada-Flores, J G., & López-González, F. (2023). Wheat or maize silage in feeding strategies for cows in small-scale dairy systems during the dry season. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(4), 398-407. <https://doi.org/>

10.4067/S0718-58392023000400398

- Amos, H. E., Kiser, T., & Loewenstein, M. (1985). Influence of Milking Frequency on Productive and Reproductive Efficiencies of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 68(3), 732-739. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80880-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80880-8)
- Arce, C., Aranda, E. M., Osorio, M. M., González, R., Díaz P., & Hinojosa, J. A. (2017). Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 83-91. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4347>
- Arce Recinos, C., Aranda Ibáñez, E. M., Osorio Arce, M. M., González Garduño, R., Díaz Rivera, P., & Hinojosa Cuellar, J. A. (2017). Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*, 8(1), 83-91. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4347>
- Avilés-Ruiz, R., Barrón-Bravo, O., Alcalá-Rico, J., Salinas-Chavira, J., Flores Nájera, M., & Ruiz-Albarrán, M. (2022b). Deficiencias nutricionales que afectan al reinicio de la ciclicidad posparto en bovinos doble propósito. *Abanico Veterinario*, 12, 1-21. <https://doi.org/10.21929/abavet2022.251>
- Avilés-Ruiz, R., Barrón-Bravo, O. G., Galván-León, A., & Ruiz-Albarrán, M. (2022a). Efecto de la transición de un sistema intensivo a un sistema doble propósito sobre la química sanguínea en becerras. Congreso Veterinario Universidad de Guanajuato COVEUG 2022. Irapuato-Salamanca, Gto.
- Avilés-Ruiz, R., Barrón-Bravo, O. G., Ruiz-Albarrán, M., & Garza-Cedillo, R. D. (2023). Parity affects calving interval in dual-purpose cattle in the Mexican tropics. *The Pharma Innovation Journal*, 12(3), 01-04. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.v12.i3a.18792>
- Avilés-Ruiz, R., Valencia-Posadas, M., Martínez-Jaime, O., Angel-Sahagún, C. A., Lechuga-Arana, A., León-Galván, F., & Gutiérrez-Chávez, A. (2018). Evaluación de la salud de la ubre como estimador de la calidad de la leche de vacas en hatos familiares. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 376-380.
- Bacha, B., & Regassa, F. G. (2010). Subclinical endometritis in Zebu x Friesian crossbred dairy cows: its risk factors, association with subclinical mastitis and effect on reproductive performance. *Tropical Animal Health and Production*, 42, 397-403. <https://doi.org/10.1007/s11250-009-9433-5>
- Barrón-Bravo, O. G., Avilés-Ruiz, R., Sahagún-Ángel, C. A., Alcalá-Rico, J. S. G. J., Arispe-Vázquez, J., & Garza-Cedillo, R. D. (2023). Caracterización de unidades de producción familiar de bovinos, Llera, Tamaulipas, México. *Abanico Boletín Técnico*, 2, 1-21.
- Bautista-Martínez, Y., Herrera-Haro, J. G., Espinosa-García, J. A., Martínez-Castañeda, F. E., Vaquera-Huerta, H., Morales, A., & Aguirre-Guzmán, G. (2019). Caracterización económico-productiva del sistema bovino doble propósito en tres regiones tropicales de México. *ITEA, Información Técnica Económica Agraria*, 115(2), 134-148. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.028>
- Bolaños, E. D. (2020). *Producción de becerros bajo el sistema vaca-cría en el trópico. Libro Técnico Núm. 40*. INIFAP.CIRGOC.
- Camacho Vera, J. H., Cervantes Escoto, F., Palacios Rangel, M. I., Cesín Vargas, A., & Ocampo Ledesma, J. (2017). Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: la difusión del modelo tecnológico Holstein. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(3), 259-268. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4191>
- Carballo, O. C. (2009). Management of heifer growth in dual-purpose cattle systems in the low Huasteca region of Veracruz, Mexico [Master in Science thesis, Cornell University]. Cornell University. <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/13758/Cristobal%20Carballo%2C%20Omar.pdf?sequence=1>

- Carrillo-Hernández, S., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., & Arriaga-Jordán, C. M. (2020). Milk production and estimated enteric methane emission from cows grazing ryegrass pastures in small-scale dairy systems in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 3609-3619. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02398-0>
- Carrillo-Hernández, S., Velarde-Guillén, J., López-González, F., & Arriaga-Jordán, C. M. (2023). Mixed small grain cereal silages in the feeding of dairy cows in small scale dairy systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3), #085. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4837>
- Castañeda, R. O., Álvarez, J. A., Rojas, C., Lira, J. J., Ríos, Á., & Martínez, F. (2021). *Rhipicephalus microplus* infestation level and its association with climatological factors and weight gain in *Bos taurus x Bos indicus* cattle. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12, 273-285. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i1.5392>
- Chapinal, N., Carson, M. E., LeBlanc, S. J., Leslie, K. E., Godden, S., Capel, M., Santos, J. E. P., Overton, M. W., & Duffield, T. F. (2012). The association of serum metabolites in the transition period with milk production and early-lactation reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, 95, 1301-1309. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4724>
- Crowe, M. A. (2008). Resumption of ovarian cyclicity in post-partum beef and dairy cows. *Reproduction in Domestic Animal*, 43, 20-28. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01210.x>
- Fernández, I. G., Ulloa-Arvizu, R., & Fernández, J. (2018). Milk yield did not decrease in large herds of high-producing Holstein cows in semi-arid climate of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 51(1), 149-154. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1669-5>
- Gandasari, D., Dwidienawati, D., Tjahjana, D., Sugiarto, M., & Faisal, M. (2022). Social network analysis: Local and global centrality as the communication network structure in the beef cattle farmer groups. *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*, 33(2), 1-17. <https://doi.org/10.22068/ijiepr.33.2.14>
- Gómez-Miranda, A., Arriaga-Jordán, C. M., Vieyra-Alberto, R., Castro-Montoya, J. M., & González, F. L. (2023). Evaluation of weed silage in dairy cattle feeding in small-scale dairy systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3), #074. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4900>
- González-Alcántara, F. D. J., Estrada-Flores, J. G., Morales-Almaraz, E., López-González, F., Gómez-Miranda, A., Vega-García, J. I., & Arriaga-Jordán, C. M. (2020). Whole-crop triticale silage for dairy cows grazing perennial ryegrass (*Lolium perenne*) or tall fescue (*Lolium arundinaceum*) pastures in small-scale dairy systems during the dry season in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 52(4), 1903-1910. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02206-9>
- González-Cerón, F., Becerril-Pérez, C. M., Torres-Hernández, G., Díaz-Rivera, P., Santellano-Estrada, E., & Rosendo-Ponce, A. (2009). Infestación natural por *Amblyomma cajennense* y *Boophilus microplus* en bovinos criollo lechero tropical durante la época de lluvias. *Agrociencia*, 43(6), 577-584.
- González-Orozco, T. A. (2022). XVI Seminario de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en el estado de Querétaro. Indicadores productivos y reproductivos de referencia en lechería familiar en Guanajuato. Disponible en: https://youtu.be/A1nIXg2Oi_M
- González-Padilla, E., Lassala, A., Pedernera, M., & Gutiérrez, C. G. (2019). Cow-calf management practices in Mexico: Farm organization and infrastructure. *Veterinaria México OA*, 6(3), 1-17. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2019.3.677>
- Granados-Rivera, L. D., Quiroz-Valiente, J., Maldonado-Jáquez, J. A., Granados-Zurita, L., Díaz-Rivera, P., & Oliva-Hernández, J. (2018). Caracterización y tipificación del sistema doble propósito en la ganadería bovina del Distrito de Desarrollo Rural 151, Tabasco, México. *Acta Universitaria*, 28(6), 47-57. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1916>

- Hernández, J. (2016). *Fisiología clínica de la reproducción de los bovinos lecheros* (1era ed.) Universidad Nacional Autónoma de México. <http://dx.doi.org/10.22201/fmvz.9786070286902e.2016>
- Hernández-Reyes, E., Segura-Correa, V. M., Segura-Correa, J. C., & Osorio-Arce, M. M. (2000). Intervalo entre partos, duración de la lactancia y producción de leche en un hato de doble propósito en Yucatán, México. *Agrociencia*, 34(6), 699-705.
- INEGI. (2023). Censo 2022 Agropecuario. Resultados definitivos. <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/867>
- INIFAP. (2023). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias: Programa anual de trabajo 2023. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/826732/Programa_Anuual_de_Trabajo_2023.pdf
- Juárez-Barrientos, J. M., Herman-Lara, E., Soto-Estrada, A., Ávalos-de la Cruz, D. A., Vilaboa-Arroniz, J., & Díaz-Rivera, P. (2015). Tipificación de sistemas de doble propósito para producción de leche en el distrito de desarrollo rural 008, Veracruz, México. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 25(4), 317-323.
- Khazandi, M., Al-Farha, A. A., Coombs, G. W., O'Dea, M., Pang, S., Trott, D. J., Avilés-Ruiz, R., Hemmatzadeh, F., Venter, H., Ogguniyi, A. D., Hoare, A., Abraham, S., & Petrovski, K. R. (2018). Genomic characterization of coagulase-negative staphylococci including methicillin-resistant *Staphylococcus sciuri* causing bovine mastitis. *Veterinary Microbiology*, 219, 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2018.04.004>
- Kusaka, H., Yamazaki, T., & Sakaguchi, M. (2023). Association of age at first calving with longevity, milk yield, and fertility up to the third lactation in a herd of Holstein dairy cows in Japan. *Journal of Reproduction and Development*, 69(6), 291-297. <http://doi.org/10.1262/jrd.2023-012>
- Lassala, A., Hernández-Cerón, J., Pedertera, M., González-Padilla, E., & Gutiérrez, C. G. (2020). Cow-calf management practices in Mexico: Reproduction and breeding. *Veterinaria México OA*, 7(1), 1-15. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2020.1.839>
- López-González, F., Cantú-Patiño, M. G., Gama-Garduño, Ó., Prospero-Bernal, F., Colín-Navarro, V., & Arriaga-Jordán, C. M. (2020). Tall fescue and ryegrass pastures for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in the highlands of Central Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(2), #39. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3126>
- Marín-Santana, M. N., González, F. L., Almaraz, E. M., Plata-Reyes, D. A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2023). Productive performance of grazing dairy cows on kikuyu grass pastures overseeded with rye in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3), #086. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4621>
- Marín-Santana, M. N., López-González, F., Hernández-Mendo, O., & Arriaga-Jordán, C. M. (2020). Kikuyu pastures associated with tall fescue grazed in autumn in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 52(4), 1919-1926. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02216-7>
- Martínez, J. F., Galina, C. S., Rubio, I., Balam, W. L., & Corro, M. D. (2021). Evaluación reproductiva y costos en programas de empadre estacional con *Bos indicus* en trópico mexicano. *Revista MVZ Córdoba*, 26(2), e2130. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2130>
- Martínez-Alba, M., Molina-Morejón, V., García-Munguía, C., Días-Carreto, E., Vivianco-Flrido, J., & Mata-Zamores, S. (2021). Estado del arte de la producción lechera mexicana. *Abanico Agroforestal*, 3, 1-18. <https://doi.org/10.37114/abaagrof/2021.1>
- Montiel, F., & Ahuja, C. (2005). Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Animal Reproduction Science*, 85(1-2), 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2003.11.001>

- Montiel-Olguín, L., Espinosa-Martínez, M., Ruiz-López, F., Estrada-Cortés, E., Durán-Aguilar, M., & Vera-Avila, H. (2020). El día de parto y tamaño del ható impactan indicadores reproductivos en establos familiares. *Abanico Veterinario*, *10*, 1-10. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.23>
- Morales, J. M. (2022). *Análisis de opciones de transporte pesado para el traslado de productos* [Tesis de maestría, Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli].
- North, M. A., Frank, J. A., Ouweneel, B., Trisos, & C. H. (2023). Global risk of heat stress to cattle from climate change. *Environmental Research Letters*, *18*(9), 094027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aceb79>
- Orihuela, A., & Galina, C. S. (2019). Effects of separation of cows and calves on reproductive performance and animal welfare in tropical beef cattle. *Animals*, *9*(5), 223. <https://doi.org/10.3390/ani9050223>
- Padilla y Sotelo, L. S., & Barrientos Padilla, S. B. (2010). Ganadería lechera: ¿un sector integrado? En A. López López & A. Sánchez Crispín (Eds.), *Comarca Lagunera. Procesos regionales en el contexto global* (pp. 283-299). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pastor López, F. J., Valenzuela Jiménez, N., Luna Espinoza, A. L., Isidro Requejo, L. M., Palomo Rodríguez, M., Aguilar Martínez, C. U., Sánchez Hernández, M. Á., & Salinas González, H. (2010). Incidencia de mastitis subclínica y su efecto en algunas características nutricionales de la leche en 4 establos de La Comarca Lagunera. *AGROFAZ*, *10*(4), 339-346.
- Plata-Reyes, D. A., Hernández-Mendo, O., Vieyra-Alberto, R., Albarrán-Portillo, B., Martínez-García, C. G., & Arriaga-Jordán, C. M. (2021). Kikuyu grass in winter–spring time in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico in terms of cow performance and fatty acid profile of milk. *Tropical Animal Health and Production*, *53*(2), 225. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02672-9>
- Rangel, J., Perea, J., De-Pablos-Heredero, C., Espinosa-García, J. A., Mujica, P. T., Feijoo, M., & García, A. (2020). Structural and technological characterization of tropical smallholder farms of dual-purpose cattle in Mexico. *Animals*, *10*(1), 86. <https://doi.org/10.3390/ani10010086>
- Ríos-Mohar, J. A., López-Díaz, C. A., Hernández-Cerón, J., & Trueta-Santiago, R. (2022). Economic analysis of different pregnancy rates in dairy herds under intensive management. *Veterinaria México OA*, *9*, 1-11. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2022.631>
- Ríos-Utrera, Á., Villagómez-Amezcuca, E., Zárate-Martínez, J. P., Calderón-Robles, R. C., & Vega-Murillo, V. E. (2020). Análisis reproductivo de vacas Suizo Pardo x Cebú y Simmental x Cebú en condiciones tropicales. *Revista MVZ Córdoba*, *25*(1), e1637. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1637>
- Rocha Valdez, J., Gonzalez-Avalos, R., Avila-Cisneros, R., Peña Revuelta, B., & Reyes-Romero, A. (2019). Impacto económico de la mortalidad y morbilidad por enfermedades en becerras lecheras. *Abanico Veterinario*, *9*, 1-7. <https://doi.org/10.21929/abavet2019.920>
- Rodríguez-Hernández, K., Ochoa, E., & Recio, K. (2021). Efecto de las buenas prácticas de manejo del calostro pasteurizado en el desempeño de becerras lecheras. En A. M. Anaya Escalera, C. García Figueroa, M. E. Arechavaleta Velasco & L. Reyes Muro (Eds.), *LVI reunión nacional de investigación pecuaria* (pp. 551-553). INIFAP.
- Rodríguez-Hernández, K., Arias, L., Villaseñor, F., Ochoa, E., Contreras-Govea, V., & Sánchez-Duarte, J. (2020). Comparación del crecimiento de vaquillas de reemplazo en dos sistemas de producción de leche en México. *Ciencia e Innovación*, *3*(1), 201-207.
- Rojó-Rubio, R., Vázquez-Armijo, J. F., Pérez-Hernández, P., Mendoza-Martínez, G. D., Salem, A. Z. M., Albarrán-Portillo, B., González-Reyna, A., Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar,

- S., Cardoso-Jiménez, D., Dorantes-Coronado, E. J., & Gutierrez-Cedillo, J. G. (2009). Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41(5), 715-721. <https://doi.org/10.1007/s11250-008-9249-8>
- Román, H., Ortega, L., Hernández, L., Díaz, E., Espinoza, J. A., Nuñez, G., Vera, H. R., Medina, M., & Ruiz, F. J. (2009). *Producción de leche de bovinos en el sistema doble propósito. Libro Técnico Núm. 22*. INIFAP.CIRGOC.
- SIAP. (2024). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Statista Research Department. (2021). Producto interno bruto (PIB) del sector pecuario en México del primer trimestre de 2015 al segundo trimestre de 2021. <https://es.statista.com/estadisticas/608600/pib-del-sector-de-laganaderia-en-mexico/>
- Toledo-Alvarado, H. O., Ruiz López, F. J., Vásquez Peláez, C. G., Berruecos Villalobos, J. M., & Elzo, M. A. (2014). Parámetros genéticos para producción de leche de ganado Holstein en dos modalidades de control de producción. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(4), 443-457.
- Tinoco-Magaña, J. C., Aguilar-Pérez, C. F., Delgado-León, R., Magaña-Monforte, J. G., Ku-Vera, J. C., & Herrera-Camacho, J. (2012). Effects of energy supplementation on productivity of dual-purpose cows grazing in a silvopastoral system in the tropics. *Tropical Animal Health and Production*, 44(5), 1073-1078. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-0042-8>
- Vega-García, J. I., López-González, F., Morales-Almaraz, E., & Arriaga-Jordán, C. M. (2021). Grazed rain-fed small-grain cereals as a forage option for small-scale dairy systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 511. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02958-y>
- Velázquez, H. Galindo, L., Barrientos, M., Galina, C. S., Maquivar, M. G., & Montiel, F. (2020). Effect of the technological status of small cow-calf farm producers on the induction to resumption of ovarian activity of dual-purpose cattle raised under tropical conditions. *Open Journal of Veterinary Medicine*, 10, 195-205. <https://doi.org/10.4236/ojvm.2020.1011017>
- Vélez, I. A. P., Espinosa, G. J. A., Omaña, S. J. M., González, O. T. A., & Quiroz, V. J. (2013). Adopción de tecnología en unidades de producción de lechería familiar en Guanajuato, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 3, 88-96.



Tendencias mundiales de la investigación de leptospirosis y serovares en perros presentes en México

Worldwide trends in leptospirosis research and serovars in dogs present in Mexico

José Osiel Jasso-Obregón¹, Said Hernández-Contreras¹, Jorge Alva-Pérez¹, Flaviano Benavides-González¹, Francisca Elizabeth Pérez-Tovar², Madai Rosas-Mejía¹, Francisco Reyes-Zepeda^{1*}

RESUMEN

La leptospirosis es una enfermedad zoonótica de potencial epidémico causada por la bacteria *Leptospira* la cual tiene más de 200 serovares y que infecta a varias especies de animales. La presente revisión busca conocer el estado que guarda la investigación de leptospirosis en perros, así como identificar los serovares que existen en México y finalmente reportar dos casos positivos de *Leptospira* en perros del municipio de Victoria, Tamaulipas. Se realizó una revisión bibliométrica a través de la base de datos del Web of Science de Clarivate durante el periodo del 2000 al 2023 donde se encontraron un total de 766 publicaciones a nivel mundial, mientras que en México solamente se tienen 16 publicaciones. Once artículos reportan 16 serovares distribuidos en seis estados de la República Mexicana. Se concluye que la información que se ha generado a nivel mundial es limitada y que los países de Latinoamérica son los que tienen mayor riesgo de zoonosis.

Palabras clave: Leptospirosis, perros, zoonosis

ABSTRACT

Leptospirosis is a zoonotic disease with epidemic potential caused by the *Leptospira* bacteria, which has more than 200 serovars and infects several species of animals. The present review seeks to know the status of leptospirosis research in dogs, as well as to identify the serovars that exist in Mexico and finally report two positive cases of *Leptospira* in dogs from the municipality of Victoria, Tamaulipas. A bibliometric review was carried out through the Clarivate Web of Science database during the period from 2000 to 2023 where a total of 766 publications were found worldwide, while in Mexico there are only 16 publications. Eleven articles report 16 serovars distributed in six states of the Mexican Republic. It is concluded that the information that has been generated worldwide is limited and that Latin American countries are those with the highest risk of zoonoses.

Keywords: Leptospirosis, dogs, zoonoses

Autor para correspondencia: freyes@docentes.uat.edu.mx **Fecha de recepción:** 15 de diciembre de 2023

Fecha de aceptación: 27 de enero de 2024 **Fecha de publicación:** 31 de enero de 2024

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

²Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

La leptospirosis es una enfermedad zoonótica emergente con distribución mundial causada por bacterias del género *Leptospira*, donde se estima que existen más de 250 serovares de leptospiras patógenas según la serología del antígeno O de superficie (Levett, 2001). Los roedores son los principales hospedadores reservorios y a través de su orina la bacteria es depositada en agua y suelo donde se transmite a varias especies de fauna silvestre, animales de producción (cerdos, vacas, caballos, ovejas y conejos) y de compañía (perros y gatos), la cual puede infectar a los humanos por la exposición directa o indirecta de animales infectados que pueden entrar al cuerpo a través de cortaduras o abrasiones en la piel y por las membranas mucosas de la nariz, boca y ojos (World Health Organization, 2003). Se estima que cada año se diagnostican 1.3 millones de nuevos casos de leptospirosis humana en todo el mundo, donde pueden presentar una amplia gama de síntomas, desde síntomas inespecíficos parecidos a los de la gripe, que a menudo se asemejan a otras infecciones febriles, hasta enfermedades graves como la de Weil y el síndrome de hemorragia pulmonar que conduce a insuficiencia respiratoria que se ha relacionado con una mayor mortalidad entre los pacientes con leptospirosis, con una tasa de mortalidad superior al 50 % (Costa et al. 2015). La leptospirosis afecta predominantemente a las poblaciones que viven en áreas con climas tropicales y los brotes ocurren con mayor frecuencia después de tormentas de lluvia y episodios de inundaciones, lo que lo convierte en un problema de salud pública (WHO, 2003).

De todos los animales que se pueden contagiar por *Leptospira*, el perro es una de las especies que más contacto tiene con los humanos debido a su papel como mascotas y los efectos indirectos que pudieran ocasionar como mejorar los aspectos emocionales, cardiovasculares, relaciones interpersonales, asistencia en enfermedades y/o discapacidades, compañeros de vida y de protección (Dabanch, 2003). Se estima que existen más de 700 millones de perros en el mundo y solo una cuarta parte están bajo el cuidado directo de las personas, siendo el continente americano la región con mayor cantidad de dueños de mascotas y Estados Unidos el principal país con una población de 83 millones de canes domésticos (WOAH, 2023). Estudios recientes señalan un incremento de leptospirosis canina en varias ciudades de todo el mundo como Estados Unidos (Lee et al., 2014; Smith et al., 2021), Australia (Griebsch et al., 2022) y Canadá (Stull et al., 2022).

La leptospirosis en perros puede manifestarse con signos de vasculitis, lesión renal aguda y/o lesión hepática, de severidad variable, según la cepa infectante y la respuesta inmune del hospedador. Otras presentaciones clínicas pueden incluir fiebre, hemorragia pulmonar, uveítis, miositis, insuficiencia reproductiva e incluso la muerte (Reagan & Sykes, 2019). A través de las Pruebas de Aglutinación Microscópica (MAT) y de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) se han detectado más de 30 serovares de leptospirosis que pueden afectar a los perros, siendo Canícola, Copenhageni, Icterohaemorrhagiae, Grippotyphosa y Pomona las más virulentas (Griebsch et al., 2022); por lo que es importante tener diagnósticos del estado de salud de las poblaciones caninas y así disminuir los riesgos de transmisión zoonóticas de esta espiroqueta.

En este sentido, la presente revisión buscó analizar información de leptospirosis en perros publicada en los últimos años 23 años en revistas con factor de impacto, así como identificar las serovares que existen en México y finalmente reportar dos casos positivos de *Leptospira* en perros del municipio de Victoria, Tamaulipas.

DESARROLLO DEL TEMA

Revisión bibliográfica

Para conocer las tendencias de la investigación de leptospirosis en perros, se realizó una revisión bibliográfica utilizando la base de datos del Web of Science (<https://www.webofscience.com>) que es un índice selectivo de citas de publicaciones científicas y académicas con factor de impacto que abarca revistas, actas, libros y compilaciones de datos de alrededor de 34,000 revistas en la actualidad, las cuales también se encuentran en bases de datos como Scopus y PubMed (Birkle et al., 2019). Para ello, se hizo una primera búsqueda con la combinación de palabras clave en inglés “leptospirosis dogs” dentro del periodo de enero del 2000 a septiembre del 2023, donde se registró el número de productos publicados por año, las diez principales categorías de investigación, los principales países e instituciones que hacen investigación a nivel mundial de este tema, las principales revistas que han publicado estos artículos y finalmente el impacto que han tenido estas publicaciones en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la ONU (CEPAL, 2018). En una segunda búsqueda, se utilizaron las palabras clave en inglés “leptospirosis dogs in Mexico” dentro del mismo periodo, donde se registraron el número de productos publicados por año, la categoría de investigación a la que pertenecen, las instituciones donde se llevaron a cabo, la relación de estas publicaciones con los ODS y la revisión de las serovares de *Leptospira* reportadas para los distintos estados del país.

Finalmente, se reportan dos casos de canidos positivos a *Leptospira* del municipio de Victoria, Tamaulipas en octubre del 2022, donde las muestras de suero sanguíneo fueron recibidas en el Laboratorio de Diagnóstico de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas y posteriormente se remitieron al Departamento de Microbiología del Centro Nacional de Servicios de Diagnóstico en Salud Animal (CENASA) ubicado en la Cd. de México y procesadas mediante la Prueba de Aglutinación Microscópica (MAT).

Leptospirosis en perros a nivel mundial

Se encontraron un total de 766 productos académicos, de los cuales el 98% corresponden a artículos científicos y el 2% restante son resúmenes de reuniones, capítulos de libros y actas. Se observa que del 2000 al 2010 solamente se publicaron 176 artículos (23%) y que a partir del 2011 se empieza a tener un crecimiento constante en el número de publicaciones, siendo el año de 2020 el más productivo al alcanzar 64 artículos (Figura 1). Al analizar estas publicaciones por áreas de investigación encontramos que la principal es ciencias veterinarias (472 artículos), seguido de enfermedades infecciosas (98 artículos), salud pública y ambiente ocupacional (76 artículos), microbiología (74 artículos), medicina tropical (64 artículos), parasitología (54 artículos), inmunología (46 artículos) y ciencias multidisciplinarias (26 artículos). El impacto que han tenido estas publicaciones en los ODS de la Agenda 2030 de la ONU se asocian principalmente al objetivo 03 *Salud y bienestar* (con 734 artículos) y en menor medida a los objetivos 15 *Vida de ecosistemas terrestres* (con 5 artículos), 05 *Igualdad de género* y 14 *Vida submarina* (con un artículo c/u).

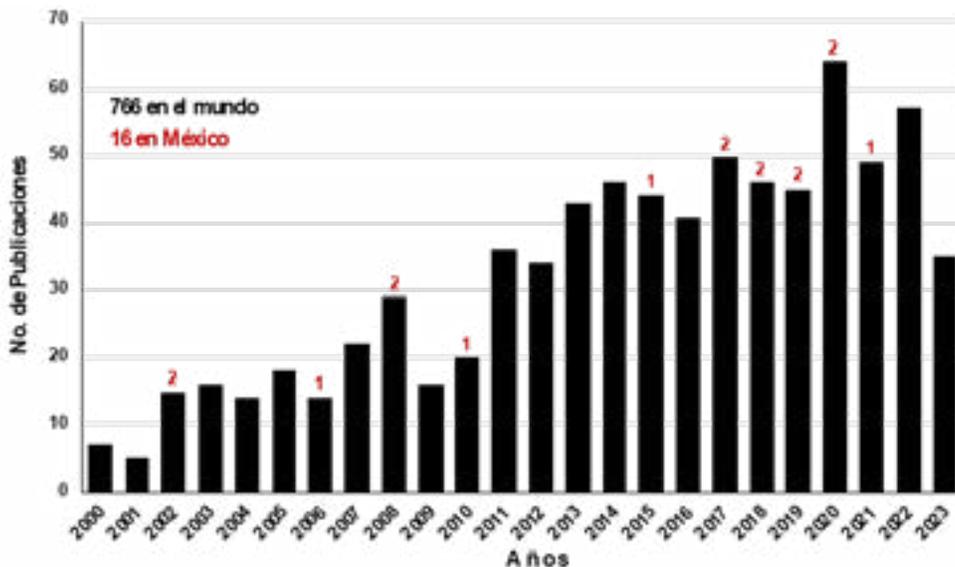
Los diez países que más realizan investigación de leptospirosis en perros y publican sus resultados son Estados Unidos (191 artículos), Brasil (134 artículos), Francia (55 artículos), Alemania (40 artículos), India (37 artículos), Suiza (37 artículos), Inglaterra (33 artículos), Canadá (32 artículos), Países Bajos (32 artículos) e Italia (29 artículos). Para el caso de los países de América se encuentran los siguientes: Chile (20 artículos), Colombia (19 artículos), México (16 artículos), Argentina (13 artículos), Perú y Venezuela (2 artículos c/u) y con solo un artículo publicado se tiene a Barbados,

Bolivia, Cuba, Ecuador, Jamaica, Nicaragua y Panamá. Dentro de las principales universidades que mayormente publican son las Brasileñas: Universidad de Sao Paulo (34 artículos), Universidad Estadual Paulista (24 artículos), Universidad Federal Fluminense (23 artículos) y Universidad Estadual de Londrina (15 artículos); seguidas de las Estadounidenses: Universidad de California (27 artículos), Universidad Purdue (23 artículos), Universidad de Cornell (16 artículos) y los Laboratorios Idexx Inc. (16 artículos). En Europa las que destacan son la Universidad de Bern en Suiza (24 artículos), la VetAgro Sup en Francia (19 artículos) y la Universidad de Múnich en Alemania (19 artículos).

Las principales revistas con factor de impacto del Web of Science donde se publican estos resultados son el Journal of Veterinary Internal Medicine (29 artículos), Veterinary Record (23 artículos), Javma Journal of The American Veterinary Medical Association (16 artículos), Preventive Veterinary Medicine (16 artículos), Comparative Immunology Microbiology and Infectious Diseases (15 artículos), Pesquisa Veterinaria Brasileira (15 artículos), Plos One (15 artículos), Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice (13 artículos), Epidemiology and Infection (12 artículos), Journal of Veterinary Emergency and Critical Care (12 artículos) y Semina Ciencias Agrarias (12 artículos).

Leptospirosis en perros en México

Se encontraron un total de 23 artículos dentro del periodo del 2000 al 2023. No obstante, al momento de revisar sus contenidos solamente 16 estaban relacionados directamente con leptospirosis en perros, por lo que siete de ellos se descartaron en el análisis de los resultados. Esta producción encontrada solamente representa el 2.1% de la producción global. Se observa que las primeras publicaciones fueron en el 2002 y a partir de ese año existe una inconsistencia en la productividad, ya que hay años donde solo se publicó un artículo y en otros dos artículos como máximo. El último año de publicación fue el 2021 (Figura 1).



■ Figura 1. Publicaciones de leptospirosis en perros encontradas durante el periodo de enero del 2000 a septiembre del 2023 en la base de datos del Web of Science. Los números rojos encima de las barras son las publicaciones realizadas en México.

Los principales grupos de investigadores de leptospirosis en perros se encuentran en la Universidad Autónoma de Yucatán, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana, Universidad Autónoma de Sinaloa, Universidad Autónoma de Chiapas, Universidad Veracruzana, Universidad de Guadalajara y el Instituto Mexicano del Seguro Social.

Las categorías de investigación del Web of Science se enmarcan principalmente en las ciencias veterinarias (13 artículos), enfermedades infecciosas, salud pública y ambiente ocupacional (3 artículos). No hay preferencia por alguna revista al momento de publicar los resultados de las investigaciones; sin embargo, podemos mencionar a *Veterinaria de México*, *Journal of Wildlife Disease* y *Transboundary and Emerging Diseases* como las únicas que tienen dos artículos publicados. Con respecto a los objetivos de desarrollo sostenible, la revisión indica que el objetivo *03 Salud y bienestar* es donde se enmarcan todas las publicaciones.

La revisión de los 16 artículos disponibles permitió identificar la presencia de serovares de leptospira en solamente 11 publicaciones. El total de los artículos considera una muestra de 2239 perros de los cuales 584 fueron positivos (26%) alguna de las 16 serovares analizadas con las técnicas de MAT y PCR. La distribución de estas serovares se reportó en seis estados de la república mexicana: Ciudad de México, Chiapas, Jalisco, Sinaloa, Veracruz y Yucatán (Tabla 1).

La serovar *Pyrogenes* es la única que se encuentra en los seis estados con una seroprevalencia de 3.6% a 20%; mientras que las serovares *Canicola* y *Icterohaemorrhagiae* se encuentran en cinco estados, siendo *Canicola* la que tiene mayor seroprevalencia (14% a 88.5%) de todas las serovares reportadas.

La serovar *Shermani* es la más rara, ya que solamente se encuentra en un estado (Tabla 1). Yucatán es el estado que tuvo más publicaciones (cuatro) con un tamaño de muestra acumulado de 1035 perros de los cuales 340 fueron positivos (32.9%) a nueve serovares; seguido de Sinaloa que tiene 2 publicaciones con un tamaño de muestra acumulado de 271 canidos de los cuales 33 fueron positivos (12.2%), pero tiene el mayor número de serovares a nivel nacional (Tabla 1).

En Veracruz existen 2 artículos con una muestra acumulada de 245 perros de los cuales el 39.6% fueron positivos a diez serovares. Para la Ciudad de México un estudio consideró a 45 perros de los cuales 8 (17.8%) fueron positivos a ocho serovares. En Jalisco estudiaron a 419 perros donde el 22.7% fueron positivos a cuatro serovares. Finalmente, en Chiapas un estudio con 224 canidos solamente 11 (4.9%) fueron positivos a dos serovares, los números más bajos en todo el país (Tabla 1).

Leptospirosis en perros de Cd. Victoria, Tamaulipas

El análisis para detectar leptospirosis en suero sanguíneo con la prueba de MAT realizado por el CENASA consideró 14 serovares (*Australis*, *Ballum*, *Bataviae*, *Bratislava*, *Canicola*, *Grippotyphosa*, *Hardjo*, *Hebdomadis*, *Icterohaemorrhagiae*, *Pomona*, *Pyrogenes*, *Shermani*, *Tarassovi* y *Wolffi*). En el primer caso reportado, se trató de un perro de raza Golden Retriever, macho, de 24 meses de edad. El resultado de la prueba mostró un título 1:100 a las serovares de *Pyrogenes* y *Wolffi*. Para el segundo caso reportado, se trató de un canido de raza Chihuahua, macho, de 48 meses de edad. El resultado de la prueba mostró un título 1:100 también a las serovares de *Pyrogenes* y *Wolffi*.

■ Tabla 1. Frecuencias de serovares de *Leptospira* en perros reportadas en México durante el periodo del 2000 al 2023 en la base de datos del Web of Science.

Estado	Ciudad	Tamaño de Muestra	Perros Positivos	Serovares (Frecuencia)	Referencia
Yucatán	106 localidades	192	36	Grippotyphosa (55.5 %) Pomona (22 %) Canicola (14%) Pyrogenes (5.5%) Panama (3 %)	Vado-Solis et al. (2002)
	Mérida	400	140	Canicola (65 %) Icterohaemorrhagiae (11.4 %) Panama (9.3 %) Pyrogenes (7.9%)	Jiménez-Coello et al. (2008)
	Mérida	350	122	Canicola (88.5 %), Icterohaemorrhagiae (7.4%) Otras (4.1%)	Ortega-Pacheco et al. (2008)
	Mayapan	93	42	Canicola (46.6 %) Australis (40 %) Bratislava (13.4 %)	Ortega-Pacheco et al. (2017)
Sinaloa	Culiacán	165	15	Canicola (46.6 %) Icterohaemorrhagiae (40 %) Bratislava (40 %) Grippotyphosa (33.3 %) Shermani (33.3 %) Pyrogenes (20 %) Ballum (13.3 %)	Hernández-Ramírez et al. (2017)
	Culiacán	106	18	Wolffi * Bratislava * Australis * Canicola * Grippotyphosa * Pyrogenes * Hardjo * Icterohaemorrhagiae * Pomona * Hebdomadis * Shermani *	Hernández-Ramírez et al. (2020)
Veracruz	Ixhuatlancillo	29	19	Tarassovi (47 %) Canicola (25 %) Pyrogenes (14 %) Autumnalis (14 %)	Lugo-Chávez et al. (2015)
	Veracruz y Boca del Río	216	78	Canicola (56.4 %) Portland-Vere (Cepa Sinaloa ACR) (50 %) Bratislava (21.7 %) Icterohaemorrhagiae (15.3%) Grippotyphosa (3.8 %) Wolffi (1.2 %)	Ortega-González et al. (2018)

Ciudad de México	Ciudad de México	45	8	Icterohaemorrhagiae (15 %) Canicola (13 %) Autumnalis (10%) Bratislava (8 %) Pomona (6 %) Pyrogenes (4 %) Hardjo (1 %) Wolffi (1 %)	Gutiérrez et al. (2019)
Jalisco	Cd. Guzmán	419	95	Canicola (14%) Icterohaemorrhagiae (13 %) Pyrogenes (11) Hebdomadis (2 %)	Sepúlveda-Montes et al. (2002)
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	224	11	Pyrogenes (3.6 %) Tarassovi (1.3 %)	Jiménez-Coello et al. (2010)
	Total	2239	584	16 serovares	

* No se reportan las frecuencias de la serovar, solo jerarquizan de mayor a menor.

Tendencias de investigación

La leptospirosis en perros es una enfermedad zoonótica que se ha acrecentado con el paso del tiempo en varias partes del mundo (Griebsch et al., 2022; Lee et al., 2014; Smith et al. 2021; Stull et al., 2022). El análisis realizado indica que las tendencias de investigación de los 766 artículos publicados en revistas con factor de impacto se enmarcan principalmente en la epidemiología y cuadros clínicos de canidos (Reagan & Sykes, 2019; Schuller et al., 2015; Sykes et al., 2022), identificación molecular de serovares (Martínez et al., 2018), generación de vacunas (Ga et al., 2022), riesgos sanitarios (Griebsch et al., 2022; White et al., 2017), vínculos entre humanos y perros (Sáez-Olmos et al., 2023; Samet et al., 2022), meta-análisis con factores ambientales (Azócar-Aedo & Monti, 2016), trabajos interdisciplinarios con el enfoque una sola salud (Sohn-Hausner et al., 2023), entre otros.

Sin embargo, este conocimiento no se genera de igual forma entre países. Se observa que los investigadores que viven en países con mayor desarrollo económico de Norteamérica y Europa están más sensibilizados a esta zoonosis -a excepción de Brasil que es un país emergente-. Incluso el Colegio Americano de Medicina Interna Veterinaria de los Estados Unidos (ACVIM) publicó en el 2023 una declaración de consenso sobre la leptospirosis en perros donde se presenta una revisión de la taxonomía de las leptospiras y avances en los métodos de tipificación, un uso generalizado de nuevas pruebas de diagnóstico, vacunas y una mejor comprensión de la epidemiología y fisiopatología de la enfermedad (Sykes et al., 2023). Estos aspectos son muy importantes, porque en las ecorregiones tropicales de los países en desarrollo donde los niveles de salubridad y las condiciones cálidas y húmedas favorecen la supervivencia ambiental y la transmisión de las especies de *Leptospira* hacia los perros, la generación de conocimiento es limitada. Nuestra revisión indica que tan solo para Latinoamérica existen 79 artículos (10.3% de las publicaciones encontradas) y es la región con mayor cantidad de dueños de mascotas en el mundo después de Estados Unidos

(WOAH, 2023), por lo cual el riesgo de zoonosis es mayor al ser una enfermedad transmisible desatendida.

De acuerdo a la Encuesta Nacional de Bienestar Autorreportado 2021, en México hay 25 millones de hogares con 80 millones de mascotas, de las cuales 43.8 millones son perros (INEGI, 2021). En este sentido, la coexistencia entre personas y mascotas dentro de un hogar a llevado al desarrollo del concepto “familia multiespecie o interespecie” que es aquella cuyos miembros integrantes pertenecen a distintas especies (Sáez et al., 2023), donde cada integrante cumple con funciones y roles dentro de la misma, lo que permite cubrir con las necesidades básicas para su permanencia.

Es aquí en donde la necesidad de afecto se encamina a explicar la inclusión del perro como integrante de compañía, otorgándole un lugar imprescindible en la vida cotidiana familiar, traspasando los límites de convivencia con un perro como: dormir con él, besarlo, bañarlo en la regadera de uso humano, ente otros, colocando a las personas en riesgo sanitario y a su vez perdiendo la percepción al riesgo de zoonosis. Aunado a ello, se tiene un estimado de la existencia de más de 10 millones de perros que viven abandonados en las calles de México (Morán-Rodríguez, 2012), lo que incrementa la probabilidad de transmisión de leptospirosis.

La revisión de los artículos que registran las serovares de *Leptospira* en México mostraron que solamente en seis estados se tienen reportes, por lo que en las 26 entidades restantes no se le ha dado la atención adecuada (Tabla 1). Esto puede estar relacionado a la falta de grupos de investigación interesados en esta zoonosis y a la colaboración directa de los médicos veterinarios y dependencias gubernamentales de salud relacionadas con el tema. Un ejemplo positivo de ello se da en Sinaloa, donde las dos publicaciones registran la colaboración entre diferentes Facultades de la Universidad Autónoma de Sinaloa y el Departamento de Prevención y Control de Vectores y Zoonosis de Servicios de Salud de Sinaloa, donde reportan el mayor número de serovares para México (Hernández-Ramírez et al., 2017; Hernández-Ramírez et al., 2020). Otro caso positivo de colaboración es el que presentamos en esta revisión, ya que se logra la sinergia de médicos veterinarios particulares, con el laboratorio de Diagnóstico de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAT y el CENASA para reportar las dos serovares en perros del municipio de Victoria, Tamaulipas. Griebisch et al., (2022) menciona que los serovares más virulentas en perros reportados a nivel mundial son Canícola, Icterohaemorrhagiae, Grippotyphosa y Pomona, las cuales se han encontrados en México (Tabla 1) ya que son consideradas en la prueba de MAT que realiza el CENASA, por lo cual es importante promover e impulsar la realización de pruebas debido a que esta zoonosis es considerada de vigilancia epidemiológica en México de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-017-SSA2-2012 (Diario Oficial de la Federación, 2013).

La poca información de leptospirosis en perros en México en publicaciones con factor de impacto también puede estar asociada a la complejidad para diagnosticar la enfermedad, ya que se debe sospechar de leptospirosis en perros cuando se presenten signos clínicos inespecíficos (letargo, vómitos, diarrea, hemorragias, conjuntivitis), anomalías clínico-patológicas consistentes (azotemia, hiperbilirrubinemia, aumento de enzimas hepáticas, glucosuria) y factores de riesgo (contacto con roedores, exposición a ambientes contaminados) y confirmarlo mediante la detección de anticuerpos séricos a través de pruebas MAT y PCR (Dabanch, 2003). Por lo cual se recomienda, hacer una nueva revisión bibliográfica en otras bases de datos para completar el estado del arte de esta enfermedad considerando esta semiótica.

Bajo este escenario, México tiene muchas áreas de oportunidad para reducir los riesgos de esta zoonosis, ya que se cuenta con todo un marco legal que indica el papel que deben tener las instituciones gubernamentales para atender este problema de salud pública a nivel nacional y estatal (Sánchez-Montes et al., 2015), así como diversas escuelas de Medicina Veterinaria y generaciones de profesionistas que son los que atienden directamente a los canidos con esta semiótica.

Una estrategia que se está implementando en varios países es usar el enfoque de una sola salud como medida de prevención y control de leptospirosis en perros, ya que se considera la salud animal, salud humana y salud del ambiente, características inherentes a esta enfermedad (Sykes et al., 2022). No obstante, antes de iniciar con este enfoque, se debe implusar la prevención a partir de la realización pruebas de diagnóstico adecuadas (MAT y/o PCR), lo cual sigue siendo una barrera importante, así como la vacunación contra la leptospirosis y limitando el contacto con las fuentes de infección (Reagan & Sykes, 2019). La educación sobre el cuidado y bienestar animal debe ser tarea importante en el desarrollo de las sociedades; siendo la participación de los médicos veterinarios y la promoción de la vacunación esenciales en el estado de salud de las mascotas, para poder así reducir los riesgos zoonóticos en la convivencia diaria que se tiene con ellos. (Dabanch, 2003).

CONCLUSIONES

La leptospirosis en perros es una enfermedad zoonótica de importancia mundial. Sin embargo, el conocimiento que se ha generado es variable entre países; mientras que la región de Latinoamérica es la de mayor riesgo por las condiciones ambientales que propician el desarrollo de la bacteria, aunado a que es donde se tiene el mayor número de perros como mascotas lo que les aporta beneficios socioemocionales, pero también conlleva algunas afectaciones como pérdida de la percepción al riesgo de zoonosis. Como medidas de prevención se sugiere pruebas serológicas para el diagnóstico y la vacunación de los canidos, junto con campañas de concientización tanto para el público como para los profesionales de la salud animal y humana.

REFERENCIAS

- Azócar-Aedo, L., & Monti, G. (2016). Meta-analyses of factors associated with leptospirosis in domestic dogs. *Zoonoses and Public Health*, 63, 328-336. <https://doi.org/10.1111/zph.12236>
- Birkle, C., Pendlebury, D. A., Schnell, J., & Adams, J. (2020). Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 363-376. https://doi.org/10.1162/qss_a_00018
- CEPAL (2018). Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, Santiago de Chile. 63 p. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Costa, F., Hagan, J. E., Calcagno, J., Kane, M., Torgerson, P., Martinez-Silveira, M. S., Stein, C., Abela-Ridder, B., & Ko, A.I. (2015). Global morbidity and mortality of leptospirosis: A systematic review. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 9(9), 1-19. e0003898. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003898>
- Dabanch, J.P. (2003). Zoonosis. *Revista Chilena de Infectología*, 20(1), 47-51. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182003020100008>
- Diario Oficial de la Federación (2013). Norma Oficial Mexicana NOM-017-SSA2-2012, Para la

- vigilancia epidemiológica. Secretaría de Gobernación, México. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5288225&fecha=19/02/2013#gsc.tab=0
- Ga, E., Won, Y., Hwang, J., Moon, S., Yeom, M., Lyoo, K., Song, D., Han, J., & Na, W. (2022). A COVID-19 vaccine for dogs prevents reverse zoonosis. *Vaccines*, *10*(676), 1-12. <https://doi.org/10.3390/vaccines10050676>
- Griebsch, C., Kirkwood, N., Ward, M. P., So, W., Weerakoon, L., Donahoe, S., & Norris, J. M. (2022). Emerging leptospirosis in urban Sydney dogs: a case series (2017-2020). *Australian Veterinary Journal Volume*, *100*(5), 190-200. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/avj.13148>
- Gutiérrez, L., Mendoza, J., Rangel, A. B., Tapia, G., Bernad, M. J., & Sumano, H. (2019). Outpatient clinical trial in dogs with leptospirosis treated with enrofloxacin hydrochloride-dihydrate (ENRO-C). *Frontiers in Veterinary Science*, *6*, 360. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00360>
- Hernández-Ramírez, C. V., Gaxiola-Camacho, S. M., Osuna-Ramirez, I., Enríquez-Verdugo, I., Castro del Campo, N., & López-Moreno, H. S. (2017). Prevalence and risk factors associated with serovars of *Leptospira* in dogs from Culiacan, Sinaloa. *Veterinaria México OA*, *4*(2), 1-12. <https://doi.org/10.21753/vmoa.4.2.369>
- Hernández-Ramírez, C. Gaxiola-Camacho, S., Enríquez-Verdugo, I., Rivas-Llamas, R., & Osuna-Ramírez, I. (2020). Serovariedades de *Leptospira* y riesgos de contagio en humanos y perros de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, México. *Abanico Veterinario*, *10*, 1-16. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.40>
- INEGI (2021). Encuesta nacional de bienestar autorreportado 2021 ENBIARE, Nota Técnica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Ciudad de México. 24 p. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enbiare/2021/doc/enbiare_2021_nota_tecnica.pdf
- Jimenez-Coello, M., Vado-Solis, I., Cárdenas-Marrufo, M. F., Rodríguez-Buenfil, J. C., & Ortega-Pacheco, A. (2008). Serological survey of canine leptospirosis in the tropics of Yucatan Mexico using two different tests. *Acta Tropica*, *106*, 22-26. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2007.12.011>
- Jimenez-Coello, M., Ortega-Pacheco, A., Guzman-Marin, E., Guiris-Andrade, D. M., Martinez-Figueroa, L., & Acosta-Viana, K. Y. (2010). Stray dogs as reservoirs of the zoonotic agents *Leptospira interrogans*, *Trypanosoma cruzi*, and *Aspergillus* spp. in an urban area of Chiapas in Southern Mexico. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, *10*(2), 135-141. <https://doi.org/10.1089/vbz.2008.0170>
- Lee, H.S., Guptill, L., Johnson, A. J., & Moore, G. E. (2014). Signalment changes in canine leptospirosis between 1970 and 2009. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, *28*, 294-299. <https://doi.org/10.1111/jvim.12273>
- Levett, P. N. (2001). Leptospirosis. *Clinical Microbiology Reviews*, *14*, 296-326. <https://doi.org/10.1111/jvim.12273>
- Lugo-Chávez, B. L., Velasco-Rodríguez, L. C., Canales-Velásquez, G., Velázquez-Hernández, J. F., & Herrera-Huerta, E. V. (2015). Detección de anticuerpos antileptospira en una población vulnerable del municipio de Ixhuatlancillo, Veracruz. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, *53*(2), 158-163. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=56564>
- Martínez, M. L., Löffler, S. G., Romero, G. N., & Brihuega, B. F. (2018). Diferenciación de serovares de leptospirosis patógenas mediante PCR del gen ligB y secuenciación. *Revista Argentina de Microbiología*, *50*(2), 126-130. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=56564>
- Morán-Rodríguez, L. E. (2012). Proponen solución al problema de los perros callejeros. *Ciencia UNAM*, *9*. https://ciencia.unam.mx/leer/109/Proponen_solucion_al_problema_de_los_perros_callejeros
- Ortega-Pacheco, A., Guzmán-Marín, E., Acosta-Viana, K. Y., Vado-Solís, I., Jiménez-Delgadillo, B., María Cárdenas-Marrufo, M., Pérez-Osorio, C., Puerto-Solís, M., & Jiménez-Coello, M.

- (2017). Serological survey of *Leptospira interrogans*, *Toxoplasma gondii* and *Trypanosoma cruzi* in free roaming domestic dogs and cats from a marginated rural area of Yucatan Mexico. *Veterinary Medicine and Science*, 3(1), 40-47. <https://doi.org/10.1002%2Fvms3.55>
- Ortega-González, C. N., Martínez-Herrera, D. I., Ortiz-Ceballos, G. C., Pardío-Sedas, V. T., Villagómez-Cortés, J. A., Flores-Primo, A., Vázquez-Luna, D., Torres-Barranca, J. I., & Meléndez-Valadez, P. (2018). Association between leptospirosis in domiciled dogs and in their owners in Veracruz-Boca del Rio, Mexico. *Agrociencia*, 52, 67-79. <https://doi.org/10.22579/20112629.161>
- Reagan, K. L., & Sykes, J. E. (2019). Diagnosis of canine leptospirosis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 49(4), 719-731. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1547-4>
- Sáez-Olmo, J., Caravaca-Llamas, C., & Molina-Cano, J. (2023). La familia multiespecie: cuestión y reto multidisciplinar. *Aposta Revista de Ciencias Sociales*, 97, 8-27. <http://www.apostadigital.com/revistav3/hemeroteca/jsaezol.pdf>
- Samet, L. E., Vaterlaws-Whiteside, H., Harvey, N. D., Upjohn, M. M., & Casey, R. A. (2022). Exploring and developing the questions used to measure the human-dog bond: New and Existing Themes. *Animals*, 12, 805. <https://doi.org/10.3390/ani12070805>
- Sepúlveda-Montes, A., Santiago-Dimas, J., & Preciado-Rodríguez, F. J. (2002). La rata y el perro, importantes vectores de la leptospirosis en explotaciones pecuarias de Cd. Guzmán, Jalisco. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 54(1), 21-23. <http://scielo.sld.cu/pdf/mtr/v54n1/mtr05102.pdf>
- Schuller, S., Francey, T., Hartmann, K., Hugonnard, M., Kohn, B., Nally, J. E., & Sykes, J. (2015). European consensus statement on leptospirosis in dogs and cats. *Journal of Small Animal Practice*, 56, 159-179. <https://doi.org/10.1111/jsap.12328>
- Smith, A. M., Stull, J. W., Evason, M. D., Weese, J. S., Wittum, T. E., Szlosek, D., & Goncalves, A. A. (2021). Investigation of spatio-temporal clusters of positive leptospirosis polymerase chain reaction test results in dogs in the United States, 2009 to 2016. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 5, 1355-1360. <https://doi.org/10.1111/jvim.16060>
- Sohn-Hausner, N., Kmetiuk, L. B., & Biondo, A. W. (2023). One health approach to Leptospirosis: human-dog seroprevalence associated to socioeconomic and environmental risk factors in Brazil over a 20-Year Period (2001-2020). *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 8 (356), 1-15. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed8070356>
- Stull, J. W., Evason, M., Weese, J. S., Yu, J., Szlosek, D., & Smith, A. M. (2022). Canine leptospirosis in Canada, test-positive proportion and risk factors (2009 to 2018): A cross-sectional study. *PLoS ONE*, 17(6), 1-15. e0270313. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270313>
- Sykes, J. E., Reagan, K. L., Nally, J. E., Galloway, R. L., & Haake, D. A. (2022). Role of diagnostics in epidemiology, management, surveillance, and control of leptospirosis. *Pathogens*, 11, 395. <https://doi.org/10.3390/pathogens11040395>
- Sykes, J. E., Francey, T., Schuller, S., Stoddard, R. A., Cowgill, L. D., & Moore, G. E. (2023). Updated ACVIM consensus statement on leptospirosis in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 37, 1966-1982. <https://doi.org/10.1111/jvim.16903>
- Vado-Solís, I., Cárdenas-Marrufo, M. F., Jiménez-Delgadillo, B., Alzina-López, A., Laviada-Molina, H., Suarez-Solís, V., & Zavala-Velázquez, J. E. (2022). Clinical-epidemiological study of Leptospirosis in humans and reservoirs in Yucatán, México. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 44 (6), 335-340. <https://www.scielo.br/j/rimtsp/a/Nz43S6hvZVVkbTLRx4K/?format=pdf&lang=en>
- White, A. M., Zambrana-Torrelío, C., Allen, T., Rostal, M. K., Wright, A. K., Ball, E. C., Daszak, P., & Karesh, W. B. (2017). Hotspots of canine leptospirosis in the United States of America. *The Veterinary Journal*, 222, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.02.009>

- WOAH (2023). Stepping up dog population management to achieve rabies elimination. *World Organisation for Animal Health*. <https://www.woah.org>
- World Health Organization (2003). *Human leptospirosis: guideline for diagnosis, surveillance and control*. <https://www.who.int/publications/i/item/human-leptospirosis-guidance-for-diagnosis-surveillance-and-control>



Estrategias de nutrición y alimentación para reducir las emisiones de metano en rumiantes bajo sistemas pastoriles: Una revisión

Nutrition and feeding strategies to reduce methane emissions in ruminants under pastoral systems: A review

Luz Yosahandy Peña-Avelino¹, Jorge Alva-Perez¹, Gerardo Noé Rosales-Matínez¹, Said Hernández-Contreras¹, Ivonne Ceballos-Olvera^{1*}

RESUMEN

Los sistemas de producción de rumiantes en pastoreo mantienen un potencial de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), en especial el metano entérico (CH₄). En sistemas intensivos de producción de leche bovina se estima una emisión de 1 kg de CO₂eq kg de energía-leche corregida (ECM), comparada con > 7 kg de CO₂eq kg de ECM en los sistemas extensivos. El objetivo de este artículo fue evaluar las estrategias usadas para mitigar las emisiones de CH₄ y destacar aquellas con potencial de implementación en los sistemas pastoriles, desde el punto de vista económico y sustentable. Las estrategias de alimentación y modificadores de la biota en el rumen pueden disminuir las emisiones en un rango de 14 a 50%, mientras que reducciones por manejo y selección de rumiantes van de 15 a 30%. La adopción de más de una estrategia en los sistemas pastoriles puede ayudar a mitigar las emisiones de CH₄.

Palabras clave: metano, impacto ambiental, producción animal, agostaderos.

ABSTRACT

Grazing ruminant production systems maintain a potential for greenhouse gas (GEI) mitigation, especially enteric methane (CH₄). In intensive bovine milk production systems, an emission of 1 kg CO₂eq kg energy-corrected milk (ECM) is estimated, compared to > 7 kg CO₂eq kg ECM in extensive systems. The objective of this article was to evaluate the strategies used to mitigate CH₄ emissions and to highlight those with potential for implementation in pastoral systems, from an economic and sustainable point of view. Feeding strategies and rumen biota modifiers can reduce emissions by 14 to 50%, while reductions from ruminant management and selection range from 15 to 30%. Adopting more than one strategy in pastoral systems can help mitigate CH₄ emissions.

Keywords: methane, environmental impact, animal production, pastures.

Autor para correspondencia: iceballos@docentes.uat.edu.mx **Fecha de recepción:** 11 de enero de 2024

Fecha de aceptación: 25 de enero de 2024

Fecha de publicación: 31 de enero de 2024

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

INTRODUCCIÓN

El sector ganadero mundial contribuye con 7.1 gigatoneladas (Gt) de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq por año), que constituyen 14.5% de las emisiones inducidas por los humanos (Gerber et al., 2013). Los principales gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera son el óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). El N₂O y el CH₄ son gases de efecto invernadero que retienen calor proveniente del sol y presentan un potencial de calentamiento global de 265 y 28 veces mayor que el CO₂, en un tiempo medio de 100 años (IPCC, 2013). La presencia de estos gases corresponde a pérdidas de nitrógeno (N), energía y materia orgánica que afectan la eficiencia y productividad en los sistemas pecuarios. El CH₄ es producido por la fermentación entérica de los rumiantes y la descomposición de la materia orgánica del estiércol. El 87% de CH₄ se produce en el rumen, mientras el 13% restante en el colon (Murray et al., 1976), este se expulsa a través de gases y eructos. El N₂O proviene del N presente en el estiércol y los fertilizantes químicos. Se estima que para 2050 la demanda de carne y leche aumentará en 73% y 58%, en relación con el 2010 (Garg, 2012). Esto representará un impulso en el sector ganadero e incrementará la competencia por los recursos naturales con otros sectores. Así, es necesario incorporar prácticas y tecnologías que aumenten la productividad y eficiencia del uso de los recursos naturales, al mismo tiempo en que mitigan la emisión de GEI. Hay tareas que se están realizando para reducir los daños al ambiente, sin embargo, no son suficientes. Los climas regionales se están transformando y esto dificultará la producción agropecuaria debido a la intensidad de sequías o inundaciones (Rojo-Martínez et al., 2003).

Los Análisis de Ciclo de Vida (ACV) han mostrado que la carne y leche producida a partir de cereales tiene un impacto ambiental menor que aquella que es producida en los sistemas que utilizan el forraje como alimento (Crosson et al., 2011; O'Mara, 2011). Esto se ha observado en Europa, América del Norte y Rusia con similares producciones de carne y leche, comparado con África y América Latina, pero con diferencia en la emisión de CH₄ entérico de 26% contra 69% respectivamente (Hristov et al., 2013). En Europa, cerca del 80% de la carne de vacuno proviene de terneros y vacas de reemplazo de razas con alta producción de leche, lo que produce poca intensidad de emisiones. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión fue analizar las estrategias de mitigación de CH₄ entérico de rumiantes en sistemas intensivos que pudieran aplicarse a sistemas de producción pastoriles.

Metano en sistemas ganaderos de pastoreo

Se ha determinado que la cadena de suministro ganadero emite 2.0 Gt de CO₂, equivalente (CO₂-eq), 3.1 Gt de CO₂-eq de CH₄ y 2.0 Gt de CO₂-eq de N₂O por año. La producción de carne y leche de vacuno contribuye con el 60% de las emisiones totales del sector pecuario, mientras que las emisiones en pequeños rumiantes ascienden al 6.5% (Gerber et al., 2013). El porcentaje de emisiones de GEI durante la producción de bovinos en las zonas templadas, tropicales y áridas es de 44%, 27% y 29%, respectivamente (Opio et al., 2013). Esto se justifica por una mayor concentración de hatos en las zonas templadas, debido a que las condiciones de producción son favorables para los bovinos especializados en dicha región.

En Asia, África, América Latina y el Caribe mantienen los niveles más altos de GEI (casi 1.3 Gt de CO₂-eq) debido a la gran cantidad de ganado con productividad baja. Por lo tanto, estas regiones deben implementar acciones para disminuir la emisión de los GEI. Para lograr este objetivo se ha sugerido seguir diferentes estrategias como: alimentación; manejo de los pastizales; estructura del

hato y genética (Gerber et al., 2013; Hristov et al., 2013). La implementación de un mejor manejo ayudará con la disminución en la emisión de los GEI, con énfasis en CH₄ enterico. Esto se traducirá en un mejor rendimiento productivo y aprovechamiento de los recursos naturales.

Alimentación y modificadores de la biota ruminal

La adopción de prácticas que permitan maximizar la producción y utilización de los nutrientes contenidos en los alimentos ayuda a disminuir las emisiones de los GEI. La revisión de los atributos químicos en los alimentos permite conocer la calidad y formulación de una alimentación que satisfaga los requerimientos de los rumiantes a través de dietas mezcladas (Hristov et al., 2013). Esto es conocido como *alimentación de precisión*, la tasa de pasaje en el rumen se mejora al ser provisto de nutrientes en una cantidad ideal. Esto hace que los microorganismos del rumen incrementen su actividad y como consecuencia la digestión mejora (Macor et al., 2020).

Así mismo, la dieta de los rumiantes tiene influencia en la emisión de GEI (Min et al., 2022); la inclusión de concentrados (granos o alimentos energéticos $\geq 40\%$ en la dieta) modifica los parámetros ruminales. El pH del líquido ruminal se acidifica (≤ 5.8) y en consecuencia, la cantidad de bacterias aminolíticas se incrementa al promover la defaunación de protozoarios. La relación de acetato:propionato y la cantidad de CH₄ disminuye (Posada-Ochoa et al., 2014). Sin embargo, debido a la competencia de los cereales con la alimentación humana y los incrementos por los combustibles fósiles. Esto ocasiona el incremento del costo del insumo y las emisiones de los GEI durante la cadena productiva. Por lo tanto, el consumo de pasturas de buena calidad no debe sustituirse por concentrado (Hristov et al., 2013).

Modificadores de la biota en el rumen

El uso de aditivos químicos y suplementos alimenticios en los rumiantes tiene efecto sobre la mitigación de CH₄, porque se incrementa el ácido propiónico, las proteínas de sobrepaso, el balance energético, la degradación de los carbohidratos (almidón, sacarosa) y se controla la concentración de ácido láctico (Knapp et al., 2014). Mwenya et al. (2004) al evaluar diferentes cepas de levaduras (*Trichosporum sericeum*), bacterias lácticas (*Leuconostoc mesenteroides*) y de β 1-4 galacto-oligosacáridos encontraron potencial para disminuir las emisiones de CH₄ en el rumen (Hristov et al., 2013).

La implementación de inhibidores halogenados tiene actividad antimetanogénica en la fermentación ruminal y en la estructura de las comunidades microbianas. En un estudio realizado por Abeicia et al. (2012) con cabras lecheras, el bromoclorometano (BCM) produjo una disminución en la producción de gas CH₄ en un 33% y un incremento en la producción de leche (36%). Sin embargo, el BCM destruye la capa de ozono, por eso se restringe el uso en países Europeos (Gerber et al., 2013; Hristov et al., 2013). Hristov et al. (2015) estudiaron el efecto de un inhibidor de la metil coenzima-M reductasa (CoM) llamado 3-nitrooxipropanol (3NOP) en vacas Holstein de alta producción de leche (45 kg leche d⁻¹), observaron que el uso de 3NOP (40-80 mg kg⁻¹ MS) no afecta el consumo de materia seca, la producción de leche, la digestibilidad y además reduce las emisiones de CH₄ por vaca al día hasta en 30%.

Los aceptores de electrones más estudiados, hasta el momento, son el fumarato, los nitratos, los sulfatos y el nitroetano que han reportado una disminución de CH₄ hasta en un 50%. El ácido málico (AM) y fumárico (AF) pueden reducir la producción de CH₄ (Gerber et al., 2013; Hristov et al., 2013). El efecto del AM dependerá de la dosis, la proporción forraje:concentrado y los métodos

de evaluación, ya sea *in vitro* o *in vivo* (Foley et al., 2009). En tanto, AF tiene potencial para incrementar la glucogénesis y por tanto el rendimiento de leche, pero la cantidad debe ser regulada para evitar el riesgo de acidosis (Wood et al. 2009). Anderson et al. (2010) encontraron que el nitroetano en condiciones *in vitro* destina a la metanogénesis más de un 30% de los electrones. Brown et al. (2011) observaron una disminución del 26 al 24% de CH₄ con dosis de nitroetano (60 y 120 mg kg⁻¹ de peso vivo de novillos Holstein). El uso de nitratos puede ser una estrategia efectiva en los países en vías de desarrollo, porque la cantidad de nitratos por fertilización de pasturas se incrementaría y el N proveniente de los nitratos podría contribuir a mantener o incrementar la producción.

La adición de ionóforos a la dieta inhibe la producción de CH₄, aumenta la permeabilidad de la membrana y el paso de los iones (Voet et al., 2007), porque modifican la población y el metabolismo de la flora intestinal, con una mejor digestión y absorción de los nutrientes (Nuñez, 2009). Kim et al. (2014) muestran que la monensina sódica (MSo) tiene efecto sobre la producción de CH₄. En novillos productores de carne se observó un mayor efecto antimetanogenico, comparado con vacas productoras de leche. Sin embargo, se determinó que este efecto depende de la dosis del MSo, del alimento consumido y la composición de la dieta (Appuhamy et al., 2013). Diversos estudios muestran que la MSo presenta un efecto menos consistente en rumiantes alimentados con zacates (Hristov et al., 2013).

Los aceites de almendra, coco, girasol y linaza mezclados con dietas altas en forraje pueden ser útiles para reducir las emisiones de CH₄ hasta en un 50% (Chuntrakort et al., 2014; Kobayashi, 2010). Estos aceites tienen efectos sobre la biota ruminal porque reducen la población de protozoarios, la cantidad producida de ácidos grasos volátiles de cadena corta y la digestibilidad de la fibra (Chung et al., 2011). Brask et al. (2013) observaron que la suplementación con aceite de colza entre 6 y 6.5% en vacas lecheras redujo la emisión de CH₄ en un 14%, sin comprometer la digestibilidad y la producción de leche. Los aceites esenciales como tomillo, orégano, canela, ajo y rábano poseen bioactivos con actividad antibacteriana y cuentan con la capacidad de inhibir la metanogénesis hasta en un 72% (Benchaar & Greathead, 2011), sin embargo, son necesarias dosis altas y los estudios que se han realizado han sido hechas en condiciones *in vitro* (Jahani-Azizabadi et al., 2011).

Los ácidos grasos (AG) tienen el potencial para suprimir la metanogénesis ruminal. Existe una discusión entre los que presentan mayor eficacia: saturados o poliinsaturados. Patra (2013) observó una mayor efectividad con los AG poliinsaturados. No obstante, los resultados en diversos estudios muestran que grasas saturadas también pueden ser útiles para disminuir las emisiones de CH₄. Grainger & Beauchemin (2011) encontraron que un incremento de 10 g/kg⁻¹ en la grasa dietaria provocó la disminución de gas CH₄ en 1 g/kg⁻¹ de alimento consumido en vacas lecheras y 2.6 g/kg⁻¹ en pequeños rumiantes. Los modificadores de la biota ruminal son una estrategia viable en la disminución del CH₄ enterico, sin embargo, es necesario realizar estudios sobre su efecto por más de un año y las dosis necesarias para ser implementados en sistemas pastoriles.

Sistemas de producción

Los sistemas de producción pastoriles tienen una amplia extensión de terreno, donde los rumiantes obtienen su alimento de la vegetación silvestre o inducida (zacates). La productividad de los sistemas de pastoreo es insuficiente en términos de producción por animal y unidad de trabajo, pero alta en términos de producción a partir de recursos muy limitados como el agua y los cereales. El N₂O

proveniente del manejo de estiércol es reducido porque la mayor parte el estiércol se deposita en la pastura, además, contiene menor cantidad de proteína en heces. Los sistemas mixtos e intensivos están asociados con el uso de fertilizantes químicos y la proporción de concentrado en la dieta (Pinares-Patiño et al., 2009; Rivera & Chará, 2021).

Los sistemas intensivos de producción mantienen a los animales estabulados y la interacción del ganado con los pastizales es reducido. Su alimentación es de tipo corte y acarreo. Esto puede ocasionar alteraciones en el suelo, balance del flujo de nutrientes del sistema por la falta de retorno de nutrientes por la resiembra o depósito natural de estiércol. El manejo del estiércol ha ganado relevancia porque es una de las formas para disminuir el impacto ambiental en suelo, aire y agua, a través de lixiviados. Esto origina una reducción de emisiones de GEI durante el almacenamiento, procesamiento y aplicación (Steinfeld et al., 2006).

Un ejemplo del control, en el manejo del estiércol, son los países desarrollados como Canadá y EUA, estos cuentan con alta tecnificación (Pinos-Rodríguez et al., 2012). Según estimaciones, la cantidad de estiércol que se recicla para la generación de biogás es del 1% mundial (Thøy et al., 2009). Las emisiones provenientes de la gestión del estiércol son elevadas en América del Norte donde el 27% del estiércol del sector lechero se maneja en sistemas líquidos que producen cantidades mayores de emisiones de CH₄. La producción, elaboración de piensos y el estiércol son fuente de emisión, junto con la fermentación entérica. En cambio, en las regiones de baja productividad, la fuente principal de emisiones es la fermentación entérica (Opio et al., 2013).

En los sistemas mixtos, los herbívoros pasan algunas horas del día en galerones resguardándose de la intemperie, ahí son alimentados con suplementos y alimentos concentrados. Otros sistemas son los silvopastoriles, con algunas variantes de tipo como: árboles dispersos en los potreros, cercas vivas, bancos forrajeros de leñosas, pasturas en callejones de especies leñosas, frutales o plantaciones forestales (Villanueva et al., 2010).

La actividad ganadera basada en sistemas silvopastoriles tiene el potencial de producir leche, carne y servicios ambientales como la reducción de CH₄ (Króliczewska et al., 2023). En estos sistemas la gestión del agua, la genética y el manejo del hato contribuyen a la adaptación, el cambio y variabilidad climática. Un manejo apropiado del pastoreo y los movimientos del ganado contribuyen a incrementar la productividad del ecosistema, la biodiversidad y la mitigación del cambio climático (Steinfeld & Gerber, 2010; Vigan et al., 2017). Los sistemas mixtos o silvopastoriles tienen alternativas para la mitigación de emisiones con el pago por servicios ambientales, la conservación de la fauna silvestre o el almacenamiento de carbono (Villanueva et al., 2010). La deposición del estiércol en los sistemas mixtos puede ser a través de lagunas de almacenamiento conectados a biodigestores o distribuidos a los pastizales.

La intensidad de emisiones en los rumiantes es mayor en el sistema pastoril mientras que se reduce son un sistema mixto (Tabla 1). Si los sistemas pastoriles mantuvieran la misma productividad que los sistemas mixtos, entonces habría un incremento en las emisiones de entre 12 y 20% por producción de leche y carne en los bovinos lecheros. La situación se agrava en los bovinos especializados en carne porque se observaría un incremento del 55% de las emisiones. En los sistemas mixtos, a pesar de generar una mayor cantidad de emisiones (GEI), tienen una mayor eficiencia reproductiva, manejo, faenado y la combinación de estos factores resulta en una menor intensidad de emisiones y mayor potencial de productividad (Opio et al., 2013).

■ Tabla 1. Producción, emisiones e intensidad de emisiones globales para la leche y la carne del ganado.

	Sistema	Producción (millones t)		Emisiones (millones t de CO ₂ -eq)		Intensidad de emisión (kg CO ₂ -eq kg ⁻¹ de producto)	
		Leche ¹	Carne ²	Leche ¹	Carne ²	Leche ¹	Carne ²
Bovinos de leche especializada	Pastoreo	77.6	4.8	227.2	104.3	2.9	21.9
	Mixto	430.9	22.0	1104.3	381.9	2.6	17.4
Total		508.6	26.8	1331.1	486.2	2.6	18.2
Bovinos de carne especializada	Pastoreo		8.6		875.4		102.2
	Mixto		26.0		1462.8		56.2
Total			34.6		2338.4		67.6
Emisiones después del faenado ³			87.6	12.4			4-8 (3-9)*
Total leche y carne		508.6	61.4	1419.1	2836.8	2.8	46.2
Búfalo	Pastoreo	2.7	0.1	9.0	4.7	3.4	36.8
	Mixto	112.6	3.2	357.9	175.2	3.2	54.8
Emisiones después del faenado ³			23.0	0.3			
Total		115.2	3.4	389.9	180.2	3.4	53.4
Ovejas	Pastoreo	3.1	2.8	29.9	67.3	9.8	23.8
	Mixto	5.0	4.9	37.1	115.0	7.5	23.2
Total	8.0	7.8	67.1	182.4	8.4	23.4	34 (26-48)
Emisiones después del faenado ³							
Cabras	Pastoreo	2.9	1.1	17.7	27.2	6.1	24.2
	Mixto	9.0	3.7	44.3	84.5	4.9	23.1
Total		11.9	4.8	62.0	111.7	5.2	23.3

¹Producto: Leche con contenido normalizado en materia grasa y proteína; ²Producto: peso en canal; ³Incluye las emisiones después del faenado. Fuente, Gerber et al. (2013).

En los sistemas pastoriles y silvopastoriles, la estimación de la capacidad de carga animal es un elemento necesario para el manejo ganadero sustentable (Holenchek et al., 1989). En nuestro país, la única referencia a esta estimación nacional fue la desarrollada por la Comisión Técnica Consultiva para la determinación de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA, 1967), cuyos estudios, en su gran mayoría, datan de la época de los 60 y 70. La COTECOCA definió la capacidad de carga animal como el número de unidades animales (una unidad es una vaca gestante y lactante de 450 kg con su cría menor de 7 meses; en ovinos y caprinos: cinco hembras con su cría) que pueden pastorear en un potrero en un tiempo determinado, sin causar daño a la vegetación. Al respecto, la COTECOCA refiere que la condición de un agostadero o pastizal es excelente (76 y 100%) o buena (51 y 75%), con relación al porcentaje de cobertura vegetal. La aplicación de nuevas tecnologías mediante la utilización de drones permite estimar la capacidad de carga animal (Villa-Herrera et al., 2014).

El sobrepastoreo es un factor que incrementa las emisiones de CH₄ debido a la disminución en la disponibilidad de forraje, esto fue observado por Baudracco et al. (2010) en vacas lecheras. Es conocido que la calidad de los forrajes y el aprovechamiento eficiente de los nutrientes en las dietas es una práctica que disminuye las emisiones de los GEI (Carmona-Flores et al., 2020). La dieta puede tener un impacto significativo en la química del estiércol y, por lo tanto, en las emisiones de los GEI. Dietas poco digestibles (< 40% fibra) generan emisiones elevadas de CH₄ por unidad de energía ingerida, mientras que forrajes con alto contenido de azúcares podrían reducir la excreción de N urinario, la volatilización del amoníaco y las emisiones de N₂O (Hristov et al., 2013). Las emisiones de CH₄ pueden disminuir cuando se sustituye ensilado de pastos por ensilado de maíz (DEFRA, 2010; Van Gastelen et al., 2015).

En estudios realizados por Galindo et al. (2008) suplementaron vacas con 25% de *Leucaena leucocephala* como parte del consumo total de la materia seca y observaron incrementos en las poblaciones de bacterias celulolíticas, así como en la actividad específica de sus enzimas, mientras se redujo la población de protozoos ruminales. Montenegro & Abarca (2000) observaron que el pasto kikuyo (*Pennissetum clandestinum*) presentó una mayor eficiencia en la producción de leche comparado con el pasto estrella africana (*Cynodon nlenfuensis*), debido a la menor producción de CH₄ que fue observada a los 28 días. En este sentido, la evaluación de los forrajes ha sido importante, Herrera-Pérez et al. (2023) encontraron que la producción acumulada de CH₄ fue mayor en pasto estrella y pangola (*Digitariaeriantha Steud.*) a los 30 días, mientras que a los 60 días las especies que mostraron mayor producción fueron Insurgente (*Brachiaria brizantha Hochst. Stapf.*), Mombaza (*Panicum maximun Jacq. cv. Mombaza*) y Pará (*Brachiariamutica Stapf.*).

Por otro lado, estudios realizados en regiones cálidas, la asociación leguminosa y gramínea puede favorecer la disminución de los GEI debido a que las leguminosas tienen un mayor contenido de proteína, fibra y metabolitos secundarios como los polifenoles (taninos) que aumentan la digestibilidad de la dieta (Hristov et al., 2013). Plantas ricas en taninos y saponinas tienen el potencial para disminuir las emisiones de CH₄. Los taninos (hidrolizables y condensados) han mostrado en diversos estudios *in vitro* e *in situ* actividad anti-metanogénica, aunque puede verse comprometido el consumo de alimento y el rendimiento productivo, es una estrategia recomendada (Goel & Makkar, 2012; Hess et al., 2003; Ku-Vera et al., 2020). Sin embargo, la efectividad para disminuir las emisiones de CH₄ depende de la composición de las plantas (Jouany & Morgavi, 2007; Moscoso et al., 2017; Pellikaan et al., 2011).

Tiemann et al. (2008) explican que las leguminosas tropicales como *Calliandra calothyrsus* y *Flemingia macrophylla*, presentan contenidos de taninos que disminuyen la digestibilidad de la fibra y por tanto, se reduce la metanogénesis *in vitro*. Ramírez-Restrepo & Barry (2005) observaron que las emisiones de CH₄ disminuyen con *Chicorium intybus*, *Hedysarum coronarium* y *Lotus corniculatus*, este último mostró una disminución del 21% asociado a un incremento en el consumo de alimento y producción de leche. Waghorn et al. (2002) evaluaron la producción de CH₄ con diferentes forrajes y observaron que las emisiones disminuyeron un 16% en borregos que pastorearon sobre una mezcla de *Lolium perenne* y *Trifolium repens*, al adicionar pellets de *Lotus pedunculatus* (11.5 g CH₄ kg⁻¹ DM). Las saponinas tienen un efecto anti-protozoario debido al enlace de las saponinas con el colesterol de la membrana celular del protozoario, porque causa lisis e inhibe la metanogénesis (Díaz Puentes, 2009). Hess et al. (2003) menciona que el uso de frutos de *Sapindus saponaria* disminuyó las emisiones de CH₄ (11%) en dietas con pastos de baja calidad con o sin suplementación de leguminosa. Abreu et al. (2003), señalaron que el uso del mismo árbol en

proporciones de 8% de fruto no mostró efectos sobre la disminución de las emisiones de CH₄. La producción de CH₄ *in vitro* con niveles de 1.2 a 3.2 g de saponina L se redujo en un 44%, según lo indicado por Lila et al. (2003).

Galindo et al. (2005) encontraron efectos defaunantes con *Gliricidia sepium*, *Sapindus saponaria*, *Arachis pintoi*, *S. atterrimum* y *Leucaena leucocephala*, además de la existencia de una relación inversa entre el número de protozoos y el número de zoosporas móviles de hongos en el rumen. También, una relación inversa entre los contenidos de taninos condensados y de polifenoles totales con la degradabilidad de la materia seca. El efecto de *S. saponaria* mejoró el metabolismo energético por concepto de producción de metano. Galindo et al. (2011) indicaron que la suplementación con 20% en base seca de *Tithonia diversifolia* en la dieta disminuyó la población de protozoos en el rumen 2.7 veces y con ello la producción de CH₄. Delgado et al. (2007) al analizar *Morus alba* y *Trichanthera gigantea* con respecto al forraje de *Pennisetum* observaron una mejora en el valor nutricional de la dieta y una disminución de CH₄ (27%). Mao et al. (2010), en su experimento con borregos alimentados con 60% de pasto (*Aneurolepidium Chinese Kitagawa*) y 40% concentrado (base seca), observaron que cuando se adicionó al alimento saponinas provenientes de la hoja del té verde (*Camellia sinensis*) hubo una reducción. El uso de árboles y arbustos forrajeros es una alternativa económica y viable que permite incorporar al sistema una mayor carga animal manteniendo diferentes especies, esto ayuda a la productividad y reduce las emisiones de GEI.

La genética contra emisiones de CH₄

Las emisiones de CH₄ se pueden reducir teniendo una mejor eficiencia productiva a través de la selección genética: menor estrés calórico, mejor edad al destete o al sacrificio, menor incidencia de enfermedades; mejor selectividad de las plantas durante el pastoreo, mayor tasa de reproducción, tasa de pasaje del alimento en el rumen, entre otros (Clack et al., 2013; Knapp et al., 2014; Ross et al., 2013). Otra estrategia es la selección de rumiantes a través del consumo de alimento residual (RFI, $h^2 = 0.39$) que tiene una heredabilidad media (Arthur et al., 2001). Dini et al. (2019) observaron una disminución en la emisión de metano del 26.8%. Se ha demostrado que herbívoros seleccionados por una tasa de pasaje rápida en el rumen y con alta cantidad de extracto libre de nitrógeno (ELN) disminuyen las emisiones de CH₄ en un 21%, sin comprometer el rendimiento productivo (Okine et al., 2002). El progreso genético en los bovinos lecheros se ha conseguido en EU, al obtener una reducción en las emisiones de CH₄ del 57% por unidad de producto de ECM (Capper et al., 2009). Se ha observado que las vacas jersey llegan a la madurez más rápido que las vacas Holstein, por lo tanto, la energía que requieren para el crecimiento es menor en la primera y segunda lactancia (Olson et al., 2010), esto indica que son más eficientes, con respecto a las vacas Holstein, durante las primeras lactancias. Las emisiones de CH₄ son menores 8-12% en vacas de la raza Holstein comparadas con la raza New Zealand Friesian cuando consumen dietas mezcladas o pasturas (Robertson & Waghorn, 2002). La selección mediante razas especializadas puede aportar una mejora en el rendimiento productivo y en la emisión de CH₄. Se puede alcanzar una reducción de las emisiones de CH₄ para el 2050 (De Haas et al., 2021).

CONCLUSIONES

La disminución de las emisiones de CH₄ en los sistemas pastoriles puede ser posible con la implementación de estrategias rigurosas en la nutrición y alimentación de rumiantes. Una depuración de unidades improductivas. Tener un plan de mejoramiento genético desarrollado con herbívoros adaptados a la región que toleren los desafíos durante el ciclo productivo que permita enfrentar el

estrés calórico, sequías o enfermedades. La evaluación permanente de la capacidad de carga animal para realizar la rotación de potreros y el aprovechamiento de zacates nativos junto con plantas de valor forrajero como leguminosas y la inclusión de ensilados de cereales forrajeros. Por último, la adopción de una o más estrategias en el sistema productivo tendrá un mayor efecto en la mitigación de emisiones de CH₄.

REFERENCIAS

- Abecia, L., Toral, P. G., Martín-García, A. I., Martínez, G., Tomkins, N. W., Molina-Alcaide, E., Newbold, C. J., & Yáñez-Ruiz, D. R. (2012). Effect of bromochloromethane on methane emission, rumen fermentation pattern, milk yield, and fatty acid profile in lactating dairy goats. *Journal of Dairy Science*, *95*, 2027-2036. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4831>
- Abreu, A., Carulla, J. E., Kreuzer, M., Lascano, C. E., Díaz, T. E., Cano, A., & Hess, H. D. (2003). Efecto del fruto, del pericarpio y del extracto semipurificado de saponinas de *Sapindus saponaria* sobre la fermentación ruminal y la metanogénesis *in vitro* en un sistema RUSITEC. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *16*, 147-154. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295026126006>
- Anderson, R. C., Huwe, J. K., Smith, D. J., Stanton, T. B., Krueger, N. A., Callaway, T. R., Edrington, T. S., Harvey, R. B., & Nisbet, D. J. (2010). Effect of nitroethane, dimethyl-2-nitroglutarate and 2-nitro-methyl-propionate on ruminal methane production and hydrogen balance *in vitro*. *Bioresource Technology*, *101*, 5345-5349. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.108>
- Appuhamy, J. A. D. R. N., Strathe, A. B., Jayasundara, S., Wagner-Riddle, C., Dijkstra, J., France, J., & Kebreab, E. (2013). Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, *96*, 5161-5173. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5923>
- Arthur, P. F., Renand, G., & Krauss, D. (2001). Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. *Livestock Production Science*, *68*, 131-139. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00243-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00243-8)
- Baudracco, J., López-Villalobos, N., Holmesa, C. W., & Macdonald, K. A. (2010). Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, *53*, 109-133. <https://doi.org/10.1080/00288231003777665>
- Benchaar, C., & Greathead, H. (2011). Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, *166*, 338-355. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.024>
- Brask, M., Lund, P., Weisbjerg, M. R., Hellwing, A. L. F., Poulsen, M., Larsen, M. K., & Hvelplund, T. (2013). Methane production and digestion of different physical forms of rapeseed asfat supplements in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *96*, 2356-2365. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5239>
- Brown, E. G., Anderson, R. C., Carstens, G. E., Gutierrez-Bañuelos, H., McReynolds, J. L., Slay, L. J., Callaway, T. R., & Nisbet, D. J. (2011). Effects of oral nitroethane administration on enteric methane emissions and ruminal fermentation in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, *166*(167), 275-281. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.017>
- COTECOCA. Comisión Técnico Consultiva para la determinación de Coeficientes de Agostadero (1967). *Metodología para determinar tipos vegetativos, sitios y productividad de sitios*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos Publicación No. 8, México, D.F. 84 p.
- Capper, J. L., Cady, R. A., & Bauman, D. E. (2009). The environmental impact of dairy production: 1944

- compared with 2007. *Journal of Animal Science*, 87, 2160-2167. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1781>
- Carmona-Flores, L., Bionaz, M., Downing, T., Sahin, M., Cheng, L., & Ates, S. (2020). Milk production, N partitioning, and methane emissions in dairy cows grazing mixed or spatially separated simple and diverse pastures. *Animals*, 10(8), 1301. <https://doi.org/10.3390/ani10081301>
- Clark, H. (2013). Nutritional and host effects on methanogenesis in the grazing ruminant. *Animal*, 7, 41-48. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001875>
- Crosson, P., Shalloo, L., O'Brien, D., Lanigan, G. J., Foley, P. A., Boland, T. M., & Kenny, D. A. (2011). A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 29-45. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.001>
- Chung Y. H., He, M. L., McGinn, S. M., McAllister, T. A., & Beauchemin, K. A. (2011). Linseed suppresses enteric methane emissions from cattle fed barley silage, but not from those fed grass hay. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 321-329. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.022>
- Chuntrakort, P., Otsuka, M., Hayashi, K., Takenaka, A., Udchachon, S., & Sommart, K. (2014). The effect of dietary coconut kernels, whole cottonseeds and sunflower seeds on the intake, digestibility and enteric methane emissions of Zebu beef cattle fed rice straw based diets. *Livestock Science*, 161, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.003>
- DEFRA (Ministerio del Medio Ambiente, la Alimentación y los Asuntos Rurales del Reino Unido). (2010). *Ruminant nutrition regimes to reduce methane and nitrogen emissions. Project AC0209 Report*. DEFRA. <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=14952>
- Delgado, D. C., González, R., Galindo, J., Cairo, J., & Almeida, M. (2007). Potencialidad de *Trichantera gigantea* y *Morus alba* para reducir la producción ruminal de metano *in vitro*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41, 339-342. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017712007>
- De Haas, Y., Veerkamp, R. F., De Jong, G., & Aldridge, M. N. (2021). Selective breeding as a mitigation tool for methane emissions from dairy cattle. *Animal*, 15, 100294. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100294>
- Díaz Puentes, L. N. (2009). Interacciones moleculares entre plantas y microorganismos: saponinas como defensas químicas de las plantas y su tolerancia a los microorganismos. Una revisión. *RET. Revista de Estudios Transdisciplinarios*, 1(2), 32-55. https://www.redalyc.org/pdf/1792/Resumenes/Resumen_179214945004_1.pdf
- Dini, Y., Cajarville, C., Gere, J. I., Fernandez, S., Fraga, M., Pravia, M. I., Navajas, E. A., & Ciganda, V. S. (2019). Association between residual feed intake and enteric methane emissions in Hereford steers. *Translational Animal Science*, 3(1), 239-246. <https://doi.org/10.1093/tas/txy111>
- Foley, P. A., Kenny, D. A., Lovett, D. K., Callan, J. J., Boland, T. M., & O'Mara, F. P. (2009). Effect of dl-malic acid supplementation on feed intake, methane emissions, and performance of lactating dairy cows at pasture. *Journal of Dairy Science*, 92, 3258-3264. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1633>
- Galindo, J., Delgado, D. C., Pedraza, R., & García, D. E. (2005). Impacto de los árboles, los arbustos y otras leguminosas en la ecología ruminal de animales que consumen dietas fibrosas. *Pastos y Forrajes*, 28, 59-68. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121628005>
- Galindo, J., González, N., Delgado, D., Sosa, A., Marrero, Y., González, R., Aldana, A. I., & Moreira, O. (2008). Efecto modulador de *Leucaena leucocephala* sobre la microbiota ruminal. *Zootecnia Tropical*, 26, 249-252.
- Galindo, J., González, N., Sosa, A., Ruiz, T., Torres, V., Aldana, A. I., Díaz, H., Moreira, O., Sarduy, L., & Noda, A. C. (2011). Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en

- la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones in vitro. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45, 33-37. biblat.unam.mx/hevila/Revistacubanadecienciaagricola/2011/vol45/no1/8.pdf
- Garg, M. R. (2012). *Balanced feeding for improving livestock productivity-increase in milk production and nutrient use efficiency in methane emission* (FAO Animal production and health paper No. 173). FAO. <http://www.fao.org/docrep/016/i3014e/i3014e00.htm>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock- A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. FAO. <http://www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e00.htm>
- Goel, G., & Makkar, H. P. (2012). Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production*, 44, 729-739. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9966-2>
- Grainger, C., & Beachemin, K. A. (2011). Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 308-320. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.021>
- Herrera-Pérez, J., Hernández-González, D., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Ayala-Monter, M. A., Saavedra-Jiménez, L. A., & Rosales-Martínez, G. N. (2023). Características químicas y fermentativas in vitro de pastos tropicales a diferentes edades de rebrote. *Agrociencia*, 57(6), 1102-1125. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i6.2738>
- Hess, H. D., Monsalve, L. M., Lascano, C. E., Carulla, J. E., Diaz, T. E., & Kreuzer, M. (2003). Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: effects on *in vitro* ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Crop and Pasture Science*, 54, 703-713. <https://doi.org/10.1071/AR02241>
- Holenchek, J. L., Pieper, R. D., & Herbel, C. H. (1989). *Range management, principles and practices*. Prentice Hall.
- Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., & Oosting, S. (2013). *Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production- A review of technical options for Non-CO2 emissions* (FAO Animal production and Health paper No. 177), FAO. <http://www.fao.org/docrep/018/i3288e/i3288e00.htm>
- Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T. W., Harper, M. T., Weeks, H. L., Branco, A. F., Moate, P. J., Deighton, M. H., Williams, S. R. O., Kindermann, M., & Duval, S. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emissions from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10663-10668. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504124112>
- IPCC. (2013). *Climate change 2013: The physical basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate*, Geneva, Switzerland. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Jahani-Azizabadi, H., Mesgaran, M. D., Vakili, A. R., Razayazdi, K., & Hashemi, M. (2011). Effect of various medicinal plant essential oils obtained from semi-arid climate on rumen fermentation characteristics of a high forage diet using in vitro batch culture. *African Journal of Microbiology Research*, 5(27), 4812-4819. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.575>
- Jouany, J. P., & Morgavi, D. P. (2007). Use of 'natural' products as alternatives to antibiotic feed additives in ruminant production. *Animal*, 1, 1443-1466. <https://doi.org/10.1017/S1751731107000742>
- Kim, D. H., Mizinga, K. M., Kube, J. C., Friesen, K. G., McLeod, K. R., & Harmon, D. L. (2014). Influence of monensin and lauric acid distillate or palm oil on in vitro fermentation kinetics and metabolites produced using forage and high concentrate substrates. *Animal Feed Science and Technology*, 189, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.12.010>

- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, *97*, 3231-3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Kobayashi, Y. (2010). Abatement of methane production from ruminants: trends in the manipulation of rumen fermentation. *Asian-Aust. Journal of Animal Science*, *23*, 410-416. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.r.01>
- Króliczewska, B., Pecka-Kiełb, E., & Bujok, J. (2023). Strategies used to reduce methane emissions from ruminants: Controversies and issues. *Agriculture*, *13*(3), 602. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030602>
- Ku-Vera, J., Castelán-Ortega, O. A., Galindo-Maldonado, F. A., Arango, J., Chirinda, N., Jiménez-Ocampo, R., Valencia-Salazar, S. S., Flores-Santiago, E. J., Montoya-Flores, M. D., Molina-Botero, I. C., Piñeiro-Vázquez, A. T., Arceo-Castillo, J. I., Aguilar-Pérez, C. F., Ramírez-Avilés, L., & Solorio-Sánchez, F. J. (2020). Review: strategies for enteric methane mitigation in cattle fed tropical forages. *Animal*, *14*(3), s453-s463. <https://doi.org/10.1017/S1751731120001780>
- Lila, Z. A., Mohammed, N., Kanda, S., Kamada, T., & Itabashi, H. (2003). Effect of sarsaponin on ruminal fermentation with particular reference to methane production in vitro. *Journal of Dairy Science*, *86*, 3330-3336. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73935-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73935-6)
- Mao, H.-L., Wang, J. K., Zhou, Y. Y., & Liu, J. X. (2010). Effects of addition of tea saponins and soybean oil on methane production, fermentation and microbial population in the rumen of growing lambs. *Livestock Science*, *129*, 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.12.011>
- Min, B. R., Lee, S., Jung, H., Miller, D. N., & Chen, R. (2022). Enteric methane emissions and animal performance in dairy and beef cattle production: Strategies, opportunities, and impact of reducing emissions. *Animals*, *12*(8), 948. <https://doi.org/10.3390/ani12080948>
- Montenegro, J., & Abarca, S. (2000). Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En C. Pomareda & H. Steinfeld (Eds.), *Intensificación de la ganadería en Centroamérica: Beneficios económicos y ambientales*. CATIE- FAO-SIDE. Ed Nuestra Tierra. 334 p.
- Moscoso, J. E., Franco, F., San Martín, F., Olazábal, J., Chino, L. B., & Pinares-Patiño, C. (2017). Producción de metano en vacunos al pastoreo suplementados con ensilado, concentrado y taninos en el Altiplano Peruano en época seca. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*, *28*(4), 822-833. <https://doi.org/10.15381/rivrep.v28i4.13887>
- Murray, R. M., Bryant A. M., & Leng, R. A. (1976). Rates of production of methane in the rumen and large intestines of sheep. *British Journal of Nutrition*, *36*, 1-14. DOI:10.1079/BJN19760053
- Mwenya, B., Santoso, B., Sar, C., Gamo, Y., Kobayashi, T., Arai, I., & Takahashi, J. (2004). Effects of including β 1-4 galacto-oligosaccharides, lactic acid bacteria or yeast culture on methanogenesis as well as energy and nitrogen metabolism in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, *115*, 313-326. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.03.007>
- Núñez, G. F. A. (2009). *Fundamentos de crecimiento y evaluación animal*. Trafford Publishing.
- O'Mara, F. P. (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science and Technology*, *166-167*, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.074>
- Olson, K. M., Cassell, B. G., & Hanigan, M. D. (2010). Energy balance in first-lactation Holstein, Jersey, and reciprocal F 1 crossbred cows in a planned crossbreeding experiment. *Journal of Dairy Science*, *93*, 4374-4385. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3195>
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B., & Steinfeld, H. (2013). *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains. A global life cycle assessment*. FAO.

- Okine, E. K., Basarab, J. A., Baron, V., & Price, M. A. (2002). Methane and manure production in cattle with different net feed intake. *Journal of Animal Science*, 80(Suppl. 1), 206.
- Patra, A. K. (2013). The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: A meta-analysis. *Livestock Science*, 155, 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.05.023>
- Pellikaan, W. F., Stringano, E., Leenaars, J., Bongers, D. J., van Laar-van, S., Schuppen, J., Plant, & Mueller-Harvey, I. (2011). Evaluating effects of tannins on extent and rate of *in vitro* gas and CH₄ production using an automated pressure evaluation system (APES). *Animal Feed Science and Technology*, 166, 377-390. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.072>
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46, 359-370. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62990106>
- Pinares-Patiño, C. S., Waghorn, G. C., Hegarty, R. S., & Hoskin, S. O. (2009). Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal*, 57, 252-261. <https://doi.org/10.1080/00480169.2009.58618>
- Posada-Ochoa, S. L., Ramírez-Agudelo, J. F., & Rosero-Noguera, R. (2014). Producción de metano y digestibilidad de mezclas kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)-papa (*Solanum tuberosum*). *Agronomía Mesoamericana*, 25, 141-150. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14214>
- Ramírez-Restrepo, C. A., & Barry, T. N. (2005). Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 120, 179-201. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.01.015>
- Rivera, J. E., & Chará, J. (2021). CH₄ and N₂O emissions from cattle excreta: a review of main drivers and mitigation strategies in grazing systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 657936. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.657936>
- Robertson, L. J. & Waghorn, G. C. (2002). Dairy industry perspectives on methane emissions and production from cattle fed pasture or total mixed rations in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 62, 213-218 <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0297>
- Rojó-Martínez, G. E., Jasso-Mata, J., & Velásquez-Martínez, A. (2003). Las masas forestales como sumideros de CO₂ ante un cambio climático global. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, CIE*. 9, 57-67. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62990106>
- Ross, E. M., Moate, P. J., Marett, L., Cocks, B. G., & Hayes, B. J. (2013). Investigating the effect of two methane-mitigating diets on the rumen microbiome using massively parallel sequencing *Journal of Dairy Science*, 96, 6030-6046. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6766>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. FAO.
- Steinfeld, H., & Gerber, P. (2010). Livestock production and the global environment: consume less or produce better?. *Proceedings of the National Academy of Science*, 107(43), 18237-18238. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012541107>
- Thøyl, K., Wenzel, H., Jensen, A. P., & Nielsen, P. (2009). Biogas from manure represents a huge potential for reduction in global greenhouse gas emissions. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 6(24), 242020. <https://doi.org/10.1088/1755-1307/6/4/242020>
- Tiemann, T. T., Lascano, C. E., Kreuzer, M., & Hess, H. D. (2008). The ruminal degradability of fibre explains part of the low nutritional value and reduced methanogenesis in highly tanniferous tropical legumes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1794-1803. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3282>
- Van Gastelen, S., Antunes-Fernandes, E. C., Hettinga, K. A., Klop, G., Alferink, S. J. J., Hendriks,

- W. H., & Dijkstra, J. (2015). Enteric methane production, rumen volatile fatty acid concentrations, and milk fatty acid composition in lactating Holstein-Friesian cows fed grass silage-or corn silage-based diets. *Journal of Dairy Science*, *98*, 1915-1927. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8552>
- Vigan, A., Lasseur, J., Benoit, M., Mouillot, F., Eugène, M., Mansard, L., Vigne, M., Lecomte, P., & Dutilly, C. (2017). Evaluating livestock mobility as a strategy for climate change mitigation: Combining models to address the specificities of pastoral systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *242*, 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.020>
- Villa-Herrera, A., Paz-Pellat, F., Pérez-Hernández, M. J., Rojas-Montes, C., Rodríguez Arvizu, M., Ortiz-Acosta, S., Casiano-Dominguez, M., & Díaz-Solís, H. (2014). Estimación de la capacidad de carga animal en agostaderos usando un índice de vegetación de pendientes normalizadas. *Agrociencia*, *48*, 599-614.
- Villanueva, C., Ibrahim, M., & Haensel. (2010). Producción y rentabilidad de sistemas silvopastoriles: Estudios de caso en América Central (Serie técnica-Manual técnico No. 95). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Voet, D., Voet, J. G., & Pratt, C. W. (2007). *Fundamentos de bioquímica* (2a ed.) Médica Panamericana.
- Waghorn, G., Tavendale, M., & Woodfield, D. (2002). Methanogenesis from forages fed to sheep. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, *64*, 167-171. <https://doi.org/10.33584/jnzs.2002.64.2462>
- Wood, T. A., Wallace, R. J., Rowe, A., Price, J., Yáñez-Ruiz, D. R., Murray, P., & Newbold, C. J. (2009). Encapsulated fumaric acid as a feed ingredient to decrease ruminal methane emissions. *Animal Feed Science and Technology*, *152*, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2006.02.018>

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

TIPO DE COLABORACIÓN

Artículo científico

Estructurar el artículo en el siguiente orden: Título principal en español e inglés, autor (es), resumen máximo 300 palabras, palabras claves, abstract, key words introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos (opcional) y literatura citada. La extensión máxima del manuscrito es de 25 cuartillas incluyendo tablas y figuras.

Artículo de revisión

La publicación de este tipo de manuscrito está sujeto a consideración del editor en jefe. Los tópicos que se discutirán serán los que se encuentran dentro del alcance de la revista. El artículo debe estar estructurado en el siguiente orden: Título principal en español e inglés, autor (es), resumen máximo 300 palabras, palabras claves, abstract, key words introducción, desarrollo del tema (con los apartados necesarios a criterio del autor (es), conclusión y literatura citada.

Comunicaciones cortas

Este tipo de publicación es adecuada para registrar los resultados de pequeñas investigaciones completas o dar detalles de nuevos modelos o hipótesis, métodos innovadores o técnicas. El estilo de las secciones principales no necesita ajustarse al de los artículos completos. Las comunicaciones cortas tienen alrededor de 6 a 12 páginas manuscritas de extensión. Estructurar el artículo en el siguiente orden: Título principal en español e inglés, autor (es), resumen máximo 100 palabras, palabras claves, abstract, key words, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos (opcional) y literatura citada.

Casos clínicos

La publicación de este tipos escrito ofrecen observaciones científicas relacionadas con la atención de un caso, que usualmente comprende una entidad nosológica poco frecuente, emergente, reemergente

o que se presenta de manera atípica. Este artículo debe estar integrado por los siguientes elementos: Título principal en español e inglés, autor (es), resumen máximo 100 palabras, palabras claves, abstract, key words introducción, caso clínico (desarrollo de la historia clínica, confirmación de laboratorio), discusión y conclusiones, agradecimientos (opcional) y literatura citada. Debe tener una extensión de 10 páginas y máximo 5 tablas o ilustraciones.

Para más información consulta las instrucciones específicas en el siguiente enlace.



<https://cienciasveterinariasyproduccionanimal.uat.edu.mx/index.php/cienciasVeterinarias/about/submissions>



**Facultad de Medicina
Veterinaria y Zootecnia
Dr. Norberto Treviño Zapata**

CIENCIAS
Veterinarias
— y Producción Animal



VERDAD, BELLEZA, PROBIIDAD