

CIENCIAS Veterinarias — y Producción Animal



VERDAD, BELLEZA, PROBIIDAD



P. 5

***Ehrlichia* sp. y *Anaplasma platys* en perros**

P. 13

Engorda de bovinos de carne en corral

P. 22

Técnicas de coprocultivo en rumiantes

P. 33

La apicultura y la mosca mexicana de la fruta

P. 44

Enfermedades por *Clostridium perfringens* en animales domésticos

P. 60

Salud en peces y alternativas de tratamiento

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: 2, Número: 1, julio a diciembre. 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: 8 de agosto 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 honor presentar la tercera edición de nuestra revista "Ciencias Veterinarias y Producción Animal". Este esfuerzo editorial nació como un compromiso de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia "Dr. Norberto Treviño Zapata" de la Universidad Autónoma de Tamaulipas para acercar el conocimiento, tanto a productores como a investigadores y estudiantes. El objetivo fue reunir la actividad científica que responde a las demandas del sector rural, especialmente en las áreas de la medicina veterinaria y zootecnia.

En este número, contamos con una diversidad de aportes de expertos y académicos que incluyen un caso clínico, un artículo científico y artículos de revisión. Cada uno de estos documentos ofrece una valiosa perspectiva sobre el estado actual de la investigación. Los temas abordados en esta edición incluyen la evolución plaquetaria de una infección por *Ehrlichia* sp. y *Anaplasma platys* en un perro mestizo; el efecto de las variables productivas de diferentes razas bovinas de carne en clima semi-seco; las técnicas de obtención y cultivo de larvas L3 de nematodos gastrointestinales en rumiantes; la apicultura y el control químico de la mosca mexicana de la fruta con enfoque en una sola salud en Tamaulipas, México; los hallazgos patológicos en la infección por *Clostridium perfringens* en animales domésticos; finalmente, la acuicultura sostenible: salud en peces cultivados y las alternativas a compuestos químicos.

Les invitamos a explorar los artículos de esta edición. La comunidad científica tiene la responsabilidad de preservar su humanismo y erigirlo como un pilar 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

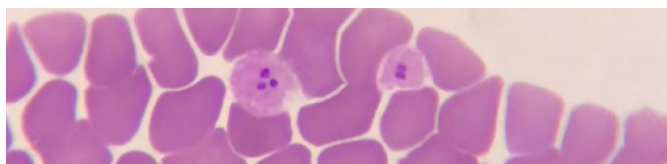
CIENCIAS VETERINARIAS

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 Sauceda
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

CASO CLÍNICO

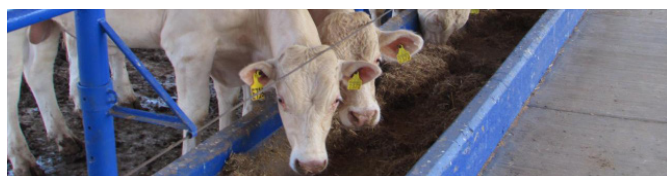


5 Evolución plaquetaria de una infección mixta por *Ehrlichia* sp. y *Anaplasma platys*: el caso de un perro mestizo

Platelet evolution of a canine mixed infection with *Ehrlichia* sp. and *Anaplasma platys* in a mongrel dog

Belén C. García-Mora, Everardo M. Salinas-Navarrete, Jaime Luis Rábago-Castro, Verónica Carvajal-de la Fuente

ARTÍCULO CIENTÍFICO



13 Comportamiento productivo de diferentes razas bovinas de carne en corral en un clima semi-seco

Productive behavior of different breeds beef cattle in a semi-dry climate

Rigoberto Carlos Almanza-Ahumada, Yuridia Bautista-Martínez, Fidel Infante-Rodríguez, Dámaso Leonardo Anaya-Alvarado, Miguel Ángel Guevara-Guerrero

ARTÍCULO DE REVISIÓN

22 Técnicas de obtención y cultivo de larvas L3 de nematodos gastrointestinales de rumiantes

Techniques for obtaining and culture of L3 larvae of ruminant gastrointestinal nematodes

Alfonso Pedro Santos Martínez



33 La apicultura y el control químico de la mosca mexicana de la fruta dentro del enfoque en una sola salud: el caso del estado de Tamaulipas, México

Beekeeping and the chemical control of the Mexican fruit fly within the one health approach: the case of the state of Tamaulipas, Mexico

Venancio Vanoye-Eligio, Madai Rosas-Mejía, María de la Luz Vázquez-Sauceda, Francisco Reyes-Zepeda, Zeferino Blanco-Martínez

44 Hallazgos patológicos de la infección por *Clostridium perfringens* en animales domésticos

Pathology hallmarks of *Clostridium perfringens* infection in domestic animals

Cristina Ibarra-Zazueta; Gilberto Ballesteros-Rodea; Gerardo Noé Rosales-Martínez, Luz Yosahandy Peña-Avelino, Jorge Alva-Pérez



60 Acuicultura sostenible: salud en peces cultivados y alternativas a los compuestos químicos

Sustainable aquaculture: health in farmed fish and natural alternatives to chemical compounds

Jesús Genaro Sánchez-Martínez, Jaime Luis Rábago-Castro, Roberto Pérez-Castañeda, Flaviano Benavides-González, María de la Luz Vázquez-Sauceda, Zeferino Blanco-Martínez

Evolución plaquetaria de una infección mixta por *Ehrlichia* sp. y *Anaplasma platys*: el caso de un perro mestizo

Platelet evolution of a canine mixed infection with *Ehrlichia* sp. and *Anaplasma platys* in a mongrel dog

Belén C. García-Mora¹, Everardo M. Salinas-Navarrete¹, Jaime Luis Rábago-Castro²,
Verónica Carvajal-de la Fuente^{1*}

RESUMEN

Este reporte clínico registra los hallazgos hematológicos, específicamente los niveles plaquetarios observados durante seis años (2018 a 2023), en un canino mestizo de siete años infectado por bacterias del género *Anaplasma* y *Ehrlichia*. Inicialmente al paciente se le realizaron pruebas hematológicas de rutina: hemograma, evaluación de frotis sanguíneo para hemoparásitos y pruebas serológicas. Se detectó trombocitopenia severa con presencia de mórulas compatibles de *Anaplasma platys* y la prueba serológica resultó positiva para el género *Ehrlichia*. Se inició terapia con oxitetraciclina, doxiciclina, corticosteroides y complejo B. Debido a la trombocitopenia persistente, se practicó una esplenectomía. El bazo fue analizado a través de PCR resultando positivo a *Ehrlichia* spp. El paciente continuó trombocitopénico durante los siguientes meses por lo que se adicionó al plan terapéutico, el factor de transferencia logrando normalizar los niveles plaquetarios. El último hemograma realizado en junio 2023 mostró resultados dentro del rango de referencia sin presencia *A. platys*.

Palabras clave: anaplasmosis, ehrlichiosis, trombocitopenia crónica

ABSTRACT

This clinical case describes the hematological findings (particularly platelet levels) observed in a 7-year-old mixed-breed dog infected with *Anaplasma* and *Ehrlichia* over a 6-year period (2018 to 2023). The dog was subject to standard routine tests: Complete blood cell count, blood smear, and serological tests. Severe thrombocytopenia and the presence of intracytoplasmic morulae-like forms in platelets compatible with *Anaplasma platys* were detected. The only positive antibodies were against *Ehrlichia*. The initial treatment included oxytetracycline, doxycycline, corticosteroids, and B complex. Due to severe thrombocytopenia despite adequate antimicrobial treatment, splenectomy was scheduled. *Ehrlichia* spp. was identified through molecular analyses of the spleen tissue. Due to prolonged thrombocytopenia observed in the following months, the transfer factor was initiated, along with antibiotic therapy, causing a rise in platelet levels. In June 2023, the patient underwent their last blood count, which yielded results within the reference range and did not detect *A. platys*.

Keywords: anaplasmosis, ehrlichiosis, chronic thrombocytopenia

Autor para correspondencia: vcarvajal@docentes.uat.edu.mx **Fecha de recepción:** 3 de julio de 2024

Fecha de aceptación: 31 de julio de 2024

Fecha de publicación: 8 de agosto de 2024

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

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

INTRODUCCIÓN

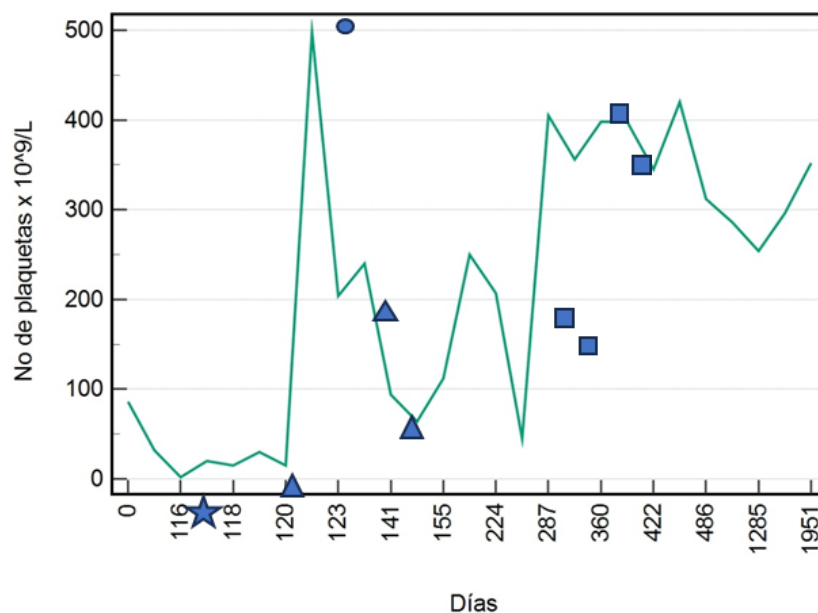
Los agentes infecciosos transmitidos por garrapatas son considerados causa de enfermedades emergentes tanto en medicina humana como veterinaria (González et al. 2019). Ejemplo de esto son las bacterias gramnegativas de los géneros *Anaplasma* y *Ehrlichia* las cuales se caracterizan por producir mórulas que se multiplican en vacuolas intracitoplasmáticas de distintas células de la sangre (Franco-Zetina et al., 2019; López-Flores et al., 2022). *Anaplasma platys* (anteriormente *Ehrlichia platys*) es el agente etiológico de la trombocitopenia cíclica en caninos (Paulauskas, et al., 2012) y *Ehrlichia canis*, es la responsable de la ehrlichiosis monocítica canina y humana (Sainz et al., 2015). En perros, los signos clínicos con infecciones por *A. platys* y *E. canis* pueden variar desde asintomáticos hasta fiebre, petequias, linfadenomegalia y esplenomegalia, entre otras.

Las hemorragias son asociadas principalmente a trombocitopenia la cual se caracteriza por ser cíclica (Nakaghi et al., 2008). El diagnóstico se basa en el reconocimiento microscópico de inclusiones intracelulares en frotis sanguíneos, así como detección de anticuerpos o ácidos nucleicos. La doxiciclina es de los quimioterapéuticos más utilizados para controlar estas infecciones (Gaunt et al., 2010). En la práctica diaria no es raro encontrar perros con infecciones concomitantes con *A. platys* o *A. phagocytophilum*, así como con *E. canis*, *Babesia vogeli*, *Borrelia burgdorferi*, y *Hepatozoon canis* (Dantas-Torres & Otranto 2017). Las infecciones concurrentes implican un gran reto para el campo veterinario ya que dificultan el diagnóstico al presentarse cuadros clínicos atípicos, además de influir negativamente en la respuesta a los tratamientos antimicrobianos. Por tal motivo es necesario reforzar el sistema inmunológico con diversas opciones que existen; en el presente caso se incluyó al factor de transferencia. Los factores de transferencia (FT) son mensajeros peptídicos producidos por linfocitos T activados como parte de la inmunidad celular que actúa en linfocitos vírgenes a través de FT inductores, supresores y específicos de antígeno (Sánchez et al., 2011). Por lo anteriormente mencionado, es necesario realizar monitoreo de los pacientes, en especial cuando manifiestan alteraciones hematológicas persistentes. Por ello, el objetivo del presente reporte fue valorar la evolución clínica y seguimiento de los niveles de plaquetas durante un período de seis años, de un paciente canino con infección mixta de *Ehrlichia* sp. y *Anaplasma platys*.

DESCRIPCIÓN DEL CASO CLÍNICO

El 11 de febrero de 2018 se presentó a consulta a una clínica particular de Cd. Victoria Tamaulipas, un canino macho mestizo castrado de 7 años y 30 Kg de peso con antecedentes de garrapatas e historia de anorexia, letargia y hemorragia en cavidad oral de 24 horas de evolución. En la exploración física, se observó mucosa oral pálida, hemorragias en encías y petequias en lengua; tiempo de llenado capilar de tres segundos, temperatura 38.6 °C y ligera linfadenomegalia generalizada. El resto de las constantes fisiológicas se encontraban dentro de lo normal. El diagnóstico presuntivo fue intoxicación por cumarínicos, por lo que se administró vitamina K (2.5 mg/kg PO), dexametasona (0.5 mg/kg IM), ranitidina (2 mg/kg SC) y carbón activado (dos tabletas PO) sin respuesta al tratamiento. Al día siguiente (día 1) se realizó hemograma donde se observó sólo una anemia regenerativa, con trombocitopenia severa ($86 \times 10^9/L$; valores de referencia: $170-600 \times 10^9/L$) (Figura 1).

El frotis sanguíneo evidenció la presencia de corpúsculos de inclusión en el citoplasma de las plaquetas compatibles con *Anaplasma platys* (Figura 2 B).



- Figura 1. Gráfica que muestra la evolución (en días) de los niveles de recuentos de plaquetas del paciente desde su ingreso, durante el curso de la enfermedad y cuatro años de seguimiento posteriores a su alta. Los días incluyen desde febrero de 2018 a junio de 2023. La estrella refleja el día en que el paciente recibió una transfusión de plaquetas. El triángulo muestra los días en que la eritropoyetina fue aplicada; el círculo indica cuando se realizó la esplenectomía y por último el cuadrado muestra los tiempos de aplicación del factor de transferencia.

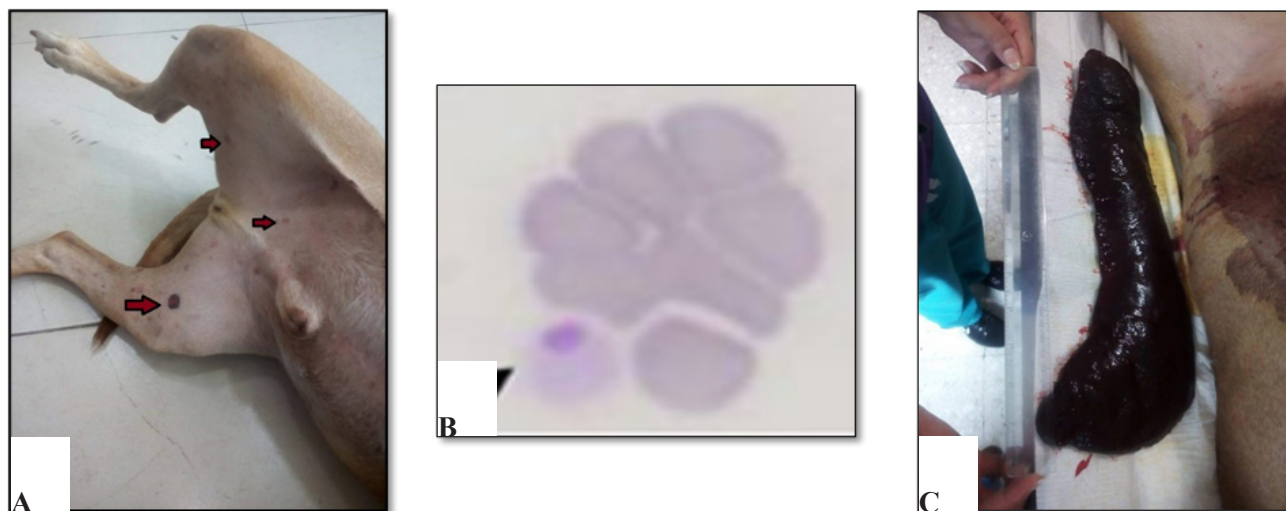
Así mismo, se realizó una prueba comercial (VETSCAN® Canine Ehrlichia antibody test) para detección de anticuerpos contra *E. canis*, *E. chaffensis* y *E. ewingi*, resultando positivo a *E. canis*.

Con base a estos resultados se inició terapia con oxitetraciclina 10 mg/kg IV (dosis única), dexametasona (1 mg/kg IV, dosis única) y una dosis de dipropionato de imidocarb (5 mg/kg SC) la cual se repitió el 28 de febrero. Posteriormente del 15 de febrero al 16 de marzo se inició con doxiciclina (10 mg/kg/PO SID), prednisona (1 mg/kg PO SID, durante 14 días y los siguientes 15 días se redujo la dosis a 0.5 mg/kg). Además, durante los primeros 10 días se aplicó complejo B y mefentermina (15 ml PO SID).

El día 15 de mayo (día 92), el paciente acude nuevamente ya que presentó múltiples petequias en el abdomen por lo que se le realizó un segundo hemograma, así como, pruebas para detectar anticuerpos contra *A. platys* y *A. phagocytophilum* (Vetscan Canine Anaplasma®) y PCR Tiempo-Real (Hélica Diagnostics & Research, Monterrey, NL, México) para detectar antígeno de *Ehrlichia* sp. las cuales resultaron negativas.

Los hallazgos más relevantes fueron trombocitopenia severa ($32 \times 10^9/L$) y eosinofilia leve por lo que se continuó con doxiciclina durante 30 días más, prednisona (2 mg/kg PO SID cuatro días y posteriormente a 1 mg/kg durante cuatro días) y complejo B. Cuatro meses después (día 116), el paciente continuó con petequias y equimosis en abdomen y miembros pélvicos (Figura 2A) así como trombocitopenia severa ($2 \times 10^9/L$). En esta ocasión se realizó transfusión de plaquetas y se monitorearon sus niveles durante los siguientes cuatro días (117, 118, 119 y 120 días de evolución) registrando anemia, trombocitopenia aún severa (20, 15, 30 y 15 plaquetas $\times 10^9/L$ respectivamente),

además linfopenia y neutropenia. Durante dicho periodo se suspendió la doxiciclina y se inició con oxitetraciclina (10 mg/kg/ IV SID por cinco días), complejo vitamínico con hierro (Hemoplex® 6 ml IV SID durante cinco días) y tres aplicaciones (una cada semana) de eritropoyetina humana recombinante (300 UI/kg SC, en las primeras dos y en la tercera se redujo la dosis a 50 UI/kg SC). El 13 de junio (día 121), el hemograma presentó valores dentro de referencia, pero la química sanguínea indicó azotemia e hiperfosfatemia. No obstante, a pesar de que los resultados de la



■ Figura 2. (A) Presencia de equimosis y petequias en abdomen y región medial de miembros pélvicos, (B) Corpúsculo de inclusión basófilo en plaqueta, compatible con *Anaplasma platys*, (C) Esplenomegalia y esplenocntracción parcial.

analítica sanguínea permanecieron dentro de rangos, en la exploración física general se detectó un incremento severo del bazo por lo que se optó por realizar una esplenectomía. El tejido esplénico fue evaluado por histopatología donde se reportó una disminución de pulpa blanca, megacariocitos y hemosiderosis; de igual forma se realizó prueba de PCR Tiempo-Real (Hélica Diagnostics & Research) el cual resultó positiva a *Ehrlichia* sp. Adicional al tratamiento se incluyó un plan terapéutico para recuperar la función renal por lo que se administró Enalapril (0.5 mg/kg PO BID), Sucralfato (1 gramo PO BID) y Lactulosa (0.5 ml/Kg BID durante 18 días) con una respuesta favorable. A los dos y siete días después de haber retirado el bazo se realizaron dos hemogramas de control (15 y 20 de junio; días 123 y 128) donde se encontraron niveles de plaquetas dentro del rango de referencia (204 y $240 \times 10^9/L$, respectivamente). Sin embargo, en el día 20 postquirúrgico (2 de julio de 2018; día 141) se realizó otro hemograma reapareciendo trombocitopenia ($94 \times 10^9/L$), por lo que se reanuda, por tercera vez, el tratamiento a base de doxiciclina y complejo B.

En esta ocasión los resultados de los hemogramas a la semana y mensualmente durante los siguientes tres meses (días: 148, 178, 208 y 238), revelaron un ligero incremento en las plaquetas (64, 112, 250 y 207 plaquetas $\times 10^9/L$, respectivamente). En el último hemograma del día 238, aunque las plaquetas estuvieron dentro de rangos ($207 \times 10^9/L$), el paciente manifestó petequias en abdomen por lo que continuó con doxiciclina y complejo B por ocho días más y al día siguiente (17 de octubre de 2018; día 247) se recomendó aplicar una dosis de factor de transferencia (FacinVet, 1 ml/5Kg). Veintitrés días después (día 270) las plaquetas disminuyeron considerablemente ($45 \times 10^9/L$). Debido a lo anterior, se reanudó el tratamiento con doxiciclina y complejo B, además se

administró una segunda dosis de factor de transferencia y 23 días después una tercera dosis (día 293). El día 26 de noviembre 2018 un día después de haber recibido la tercera dosis del factor de transferencia (día 294) se realiza hemograma y en esta ocasión los niveles plaquetarios se normalizaron ($40^5 \times 10^9/L$). Se continuó durante cinco semanas con doxiciclina y cuarta y última dosis de factor de transferencia (21 de diciembre 2018; día 319. Para el día 2 de enero de 2019 (día 331) los resultados del hemograma siguieron mostrando plaquetas dentro de los valores de referencia ($35^6 \times 10^9/L$). A partir de esa fecha, se suspendió el tratamiento durante 15 días (doxiciclina, complejo B) y luego se retomó por 20 días más.

Al finalizar este periodo no se administró ningún otro medicamento y se realizaron hemogramas de control durante seis meses continuos después de haber dado de alta al paciente. Posteriormente, el perro fue evaluado cada año (cuatro años más), donde no se observaron alteraciones tanto en los conteos plaquetarios y en células sanguíneas. El último estudio fue realizado el 17 de junio de 2023 (día 1951) donde, además del hemograma, se realizó una química sanguínea y un estudio general de orina resultando todos los analitos dentro de rangos de referencia. Durante los últimos cuatro años, los frotis sanguíneos no mostraron mórulas compatibles con *A. platys*. En la Figura 1, se muestra la evolución de los niveles de recuentos de plaquetas durante todo el periodo de evaluación, así como algunos de los tratamientos.

DISCUSIÓN

La anaplasmosis y ehrlichiosis son enfermedades en caninos que, si no son detectadas en sus fases agudas, tienden a evolucionar a formas subclínicas y crónicas donde los tratamientos pueden llegar a ser complicados. La terapia se dificulta aún más cuando se trata de infecciones mixtas (Atif et al., 2021). Estas patologías pueden producir una amplia gama de signos clínicos y alteraciones hematológicas siendo, la trombocitopenia de los más comunes. Aunque la mayoría de los pacientes evolucionan favorablemente después de haber recibido tratamiento durante algunas semanas, algunos fallecen a consecuencia de trombocitopenia severa o bien, por otras complicaciones (Özata & Ural, 2014; Sainz et al., 2015). Por otro lado, en aquellos pacientes con trombocitopenia persistente, se ha recomendado monitorear el recuento de plaquetas para evaluar el pronóstico de la enfermedad (Gaunt et al., 2010; Sainz et al., 2015). El presente caso clínico reporta una infección simultánea de *Ehrlichia* y *Anaplasma*, el cual no es raro, ya que en otras regiones de Perú y México se han encontrado casos similares (Alvarez et al., 2020; Aragón-López et al., 2022). No obstante, en estos trabajos sólo reportan el número de plaquetas al momento de realizar el diagnóstico a diferencia de este caso, donde se evaluaron constantemente las plaquetas hasta que hubo una completa recuperación del paciente. Para nuestro conocimiento, este es el primer caso clínico de infección mixta de ehrlichiosis y anaplasmosis registrado en la literatura en donde el número de plaquetas fue monitoreado durante un largo periodo de tiempo (seis años). En este paciente, a pesar de haber observado mórulas compatibles con *A. platys* en sus frotis sanguíneos, no fue posible detectar anticuerpos contra la bacteria.

Lo anterior podría deberse a que se trataba de un caso agudo al momento de realizar la prueba serológica pues se sabe que, si se realiza la prueba demasiado temprano durante el curso de la infección cuando la respuesta inmunitaria todavía se está generando, la prueba no detectará los anticuerpos (Alvarez et al., 2020; Fernandes et al., 2007). Otra posible explicación es que haya existido una baja carga de microorganismos en el paciente o bien, a una baja sensibilidad de la prueba (Cardona-Arias, 2019). Sin embargo, la trombocitopenia constante y los resultados de los

frotis sanguíneos que se obtuvieron al inicio de este caso y a lo largo de la evolución de este paciente sugieren su presencia. Además, a pesar de que no se realizaron técnicas moleculares para detectar *A. platys*, el análisis de muestras de sangre es una buena alternativa para el diagnóstico de este patógeno, tal como lo señala Fernandes et al. (2007).

Los principales signos clínicos que presentan pacientes infectados por *E. canis* incluyen fiebre, membranas mucosas pálidas, esplenomegalia, hemorragias y uveítis (Nakaghi et al., 2008), siendo la esplenomegalia, tanto en la etapa aguda como en la crónica, el hallazgo clínico y patológico más común, tal como se observó en este reporte. Se ha demostrado que el bazo es el principal reservorio de la bacteria *Ehrlichia* posiblemente debido a la gran cantidad de macrófagos residentes. Los hallazgos del presente reporte que confirman la presencia de *Ehrlichia*, demuestran la persistencia de la bacteria en el bazo. Algunos autores sugieren que este es el último órgano en contener al microorganismo antes de su eliminación del cuerpo (Harrus & Waner, 2011). En la etapa aguda, la trombocitopenia se atribuye a un consumo incrementado de plaquetas debido a procesos inflamatorios en el endotelio de los vasos sanguíneos, aumento del secuestro esplénico de plaquetas, destrucción inmunológica o alguna lesión que resulta en una disminución de la vida media plaquetaria (Alvarez et al., 2020).

En el presente estudio, se detectaron inicialmente anticuerpos contra *Ehrlichia*, pero no se encontró la bacteria en la sangre (negativo en frotis sanguíneos y PCR), lo que sugiere una infección crónica, pues se ha reportado que la visualización de mórulas durante esta fase de infección es más probable en aspirados esplénicos que en frotis sanguíneos. A este respecto, Cañar-Romero et al. (2023) al comparar exámenes mediante PCR en perros seropositivos a *Ehrlichia*, solo se encontró material genético en el 52.9% de los 34 casos analizados. De igual forma, Nakaghi et al. (2008) indican que *Ehrlichia canis* puede ser observada por cortos períodos de tiempo en los monocitos (sangre periférica), pero no en fases subagudas o crónicas de la infección. Al comparar dichas pruebas, Bai et al. (2017) en un muestreo en caninos con signos de ehrlichiosis, hallaron una positividad del 30% con la prueba de PCR anidada, contra un 8.3% en frotis sanguíneos. La *Ehrlichia* tiene la capacidad de evadir señalizaciones de la respuesta inmunitaria, lo que complica la eficacia del tratamiento antibiótico (Franco-Zetina et al., 2019). Además, las infecciones simultáneas con otros patógenos pueden presentar un cuadro clínico atípico (Atif et al., 2021).

El paciente de este caso, a pesar de haber recibido el tratamiento indicado, se le realizó una esplenectomía debido a que los niveles de plaquetas no aumentaban surgiendo secuestro de estas células en el bazo. De acuerdo con Nosach et al. (2018) el tratamiento de ehrlichiosis se fundamenta en una terapia de sostén, sintomática y específica, sin embargo, y debido a la poca respuesta de la aplicación de antibióticos y complejo B, se empleó terapia no específica con el factor de transferencia. Se ha observado la eficacia e importancia del factor de transferencia para controlar complicación clínica como trombocitopenia (Sánchez et al., 2011) en el presente caso, dado que después de haber administrado cuatro dosis totales de este factor, se logró suspender paulatinamente la doxiciclina corrigiendo la trombocitopenia. Lo anterior sugiere que el factor de transferencia pudo haber ayudado a modular el sistema inmunológico, logrando resolver el cuadro clínico. Desde el punto de vista de salud pública, es importante monitorear los vectores (garrapatas) de estas enfermedades ya que de acuerdo con este reporte hubo una larga persistencia del patógeno en la sangre y que puede ser un factor de riesgo en la transmisión a los humanos o a otros animales domésticos susceptibles (Tami, 2003). La disminución severa de plaquetas asociada a anaplasmosis o ehrlichiosis suele ser fluctuante o cíclica y puede agravarse si el paciente tiene una recuperación

incompleta. El seguimiento a largo plazo es fundamental para detectar complicaciones como se reportó en este caso clínico.

CONCLUSIONES

De acuerdo con nuestro conocimiento este es el primer reporte sobre la evolución plaquetaria en un período de seis años en un canino infectado con *Anaplasma* y *Ehrlichia*. Es importante realizar pruebas complementarias para confirmar el diagnóstico sobre todo cuando en los frotis sanguíneos son negativos. El tratamiento puede requerir largos periodos de tiempo. Este estudio sugiere el uso del factor de transferencia como un coadyuvante junto con la antibióticoterapia, corticosteroides y complejo B para el control y tratamiento de la ehrlichiosis y anaplasmosis canina crónica.

REFERENCIAS

- Alvarez, M.G., Li, E.O., Cervantes, S.M., Ramires, V.L., Masgo, C.D., Vasquez-Ydrogo, A., Barrios, A.L., & Hoyos, S.L. (2020). Hallazgos hematológicos y detección de anticuerpos contra *Anaplasma* spp. en perros con antecedentes de garrapatas en el distrito de Chiclayo (Lambayeque, Perú). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4). <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i4.19040>
- Aragón-López, C., Luna-Nevárez, P., Ortiz-Encinas, V., Leyva-Corona, J., Cantú-Soto, E. & Reyna-Granados, J. (2021). Detección molecular de *Ehrlichia canis*, *Anaplasma platys* y *Rickettsia rickettsii* en caninos domésticos del municipio de Cajeme, Sonora, México. *Abanico Veterinario*, 11, 1-15. <https://doi.org/10.21929/abavet2021.45>
- Atif, F.A., Mehnaz, S., Qamar, M.F., Rohee, T., Sajid, M.S., Ehtisham-ul-Haque, S., Kashif, M., Bai, L., Goel, P., Jhambh, R., Kumar & P., Joshi, V.G. (2017). Molecular prevalence and haemato-biochemical profile of canine monocytic ehrlichiosis in dogs in and around Hisar, Haryana, India. *Journal of Parasitology Diseases*, 41(3), 647-54. <https://doi.org/10.1007/s12639-016-0860-8>
- Cañar-Romero, P.M., Vallecillo-Maza, A.J. & Castillo-Hidalgo, E.P. (2023). Detección de material genético mediante reacción en cadena de polimerasa en muestras de caninos seropositivos a *Ehrlichia canis*. *Revista Multidisciplinaria Arbitrada de Investigación Científica*, 7(2), 1188-1200. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.2.2023.1188-1200>
- Cardona-Arias, J., Zapata Marón, J. & Urán, J.M. (2019). Sistematización de la prevalencia de *Anaplasma* spp., en caninos y metaanálisis de *A. platys* y *A. phagocytophilum*. *Revista MVZ Córdoba*, 24(2), 7239-7247. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1310>
- Dantas-Torres, F., Otranto & D. Anaplasmosis. (2017). En: Marcondes C.B., editor. *Arthropod Borne Disease Switzerland*. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany. pp. 215–222.
- Fernandes, F. R., Figueiredo, C. A. M., Müller, P.A., Matheus, G. C. M., García de Sá, A., da Silva, A. F., Luiz, M.C. & Pereira, A. N. R. (2007). *Anaplasma platys* Diagnosis in Dogs: Comparison Between Morphological and 4 Molecular Test. *The International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*, 5(3), 113-119. <http://www.jarvm.com/articles/Vol5Iss3/Almosny%20113-119.pdf>
- Franco-Zetina, M., Adame-Gallegos, J. & Dzul-Rosado, K. (2019). Efectividad de los métodos de diagnósticos para la detección monocítica humana y canina. *Revista Chilena de Infectología*, 36(5), 650-655. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182019000500650>
- Gaunt, S.D., Beall, M.J., Stillman, B.A., Lorentzen, L., Diniz, P.P.V.P., Chandrashekar, R. & Breitschwerdt, E.B. (2010). Experimental infection and co-infection of dogs with *Anaplasma platys* and *Ehrlichia canis*: Hematologic, serologic and molecular findings. *Parasites & Vectors*, 3(1),

- 33-39. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-3-33>.
- González, N. M., Bezerra, Da Silva, C.B., Cuello, P. S., Rodríguez, A. M. B. & Da Fonseca, A. H. (2019). Diagnóstico de *Ehrlichia canis* en perros domiciliados de La Habana, Cuba. *Revista de Salud Animal*, 41(2), 1-6. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2019000200002&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Harrus, S. & Waner, T. (2011). Diagnosis of canine monocytotropic ehrlichiosis (*Ehrlichia canis*): an overview. *The Veterinary Journal*, 187(3), 292-296. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.02.001>
- López-Flores, A., Puicón, V. & Cubas-Oblitas, R. (2022). Prevalencia de *Anaplasma* spp. en caninos mediante la prueba rápida de ELISA (Snap 4dx plus test) en la provincia de San Martín. *Revista de Veterinaria y Zootecnia Amazónica*, 2(1), e137. <https://doi.org/10.51252/revza.v2i1.137>
- Nakaghi, A.C., Machado, R.Z., Costa, M.T., André, M.R. & Baldani, C.D. (2008). Canine ehrlichiosis: clinical, hematological, serological and molecular aspects. *Ciência. Rural*, 38(3), 766-770. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000300027>
- Nosach, N., Vesco, C., Regonat, M. & Vartabedian, A. (2018). *Ehrlichia canis*: revisión bibliográfica. *Revista Veterinaria*, 35(368), 1-13.
- Özata, F., Ural, K. (2014). Thrombocyte indices in dogs infected with *Ehrlichia canis* and *Anaplasma phagocytophilum*. *Revista MVZ Córdoba*, 19(3), 4277-4288. <https://doi.org/10.21897/rmvz.90>
- Paulauskas, A., Radzijeuskaja, J. & Rosef, O. (2012). Molecular detection and characterization of *Anaplasma phagocytophilum* strains. *Comparative Immunology, Microbiology Infectious Disease*, 35(2), 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2012.01.001>
- Sainz, A., Roura, X., Miro, G., Estrada-Pena, A., Kohn, B., Harrus, S. & Solano-Gallego, L. (2015). Guideline for veterinary practitioners on canine ehrlichiosis and anaplasmosis in Europe. *Parasites & Vectors*, 8(1), 75. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-0649-0>
- Sánchez, D. J., Sosa, C. A. & Vásquez, I. (2011). Factores de transferencia en la terapéutica médica. *Medicina Clínica*, 137(6), 273-277. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.05.002>
- Tami, I. (2003). Ehrlichiosis humana: Ehrlichia trombocítica en sangre periférica. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 23(2), 135-141.



Comportamiento productivo de diferentes razas bovinas de carne en corral en un clima semi seco

Productive behavior of different breeds beef cattle in a semi-dry climate

Rigoberto Carlos Almanza-Ahumada¹, Yuridia Bautista-Martinez^{1*}, Fidel Infante-Rodríguez¹,
Dámaso Leonardo Anaya-Alvarado¹, Miguel Ángel Guevara-Guerrero¹

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar las variables productivas en razas de bovino de carne finalizados en condiciones estabulación en un clima semi seco. Se utilizaron 65 bovinos macho de las razas Beefmaster, Charoláis, Simmental, Brahman, Brangus Negro y Rojo, con un peso promedio de 350 ± 53.66 kg y 18 meses de edad. Los datos obtenidos en la prueba mostraron que las razas Charoláis y Brangus Rojo, tuvieron las mayores ganancias de peso ($p \leq 0.01$) con valores de 1.7 y 1.6 kg respectivamente. La conversión alimenticia fue mayor en la raza Beefmaster con una relación de 9.5 kg de alimento consumido por kg de ganancia de peso y menor para la raza Charoláis con 6.6 kg ($p \leq 0.01$). La ganancia de peso en el tiempo en las seis razas evaluadas fue mayor al inicio del periodo de la prueba y fueron disminuyendo hasta tener la menor ganancia en la semana 12 ($p \leq 0.01$). Se puede concluir que en las condiciones de clima semi seco, la raza Charoláis y Brangus Rojo mostraron los mejores rendimientos.

Palabras clave: cantidad de carne producida, conversión alimenticia, ganancia diaria de peso.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the productive variables in breeds of beef cattle finished in stable conditions in a semi-dry climate. 65 male cattle were used, distributed among the Beefmaster, Charoláis, Simmental, Brahman, Black Brangus and Red breeds, with an average weight of 350 ± 53.66 kg and 18 months of age. The data obtained in the test showed that the Charoláis and Red Brangus breeds had the greatest weight gains, with values of 1.7 and 1.6 kg respectively. The feed conversion was higher in the Beefmaster breed with a ratio of 9.5 kg of feed consumed per kg of weight gain and lower for the Charoláis breed with 6.6 kg. The weight gain over time in the six breeds evaluated was greater at the beginning of the test period and decreased until having the lowest gain in week 12. It can be concluded that in the semi-dry climate conditions, the Charoláis breed and Red Brangus showed the best yields.

Keywords: amount of meat produced, feed conversion, daily weight gain.

Autor para correspondencia: ybautista@docentes.uat.edu.mx **Fecha de recepción:** 17 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 6 de agosto de 2024

Fecha de publicación: 8 de agosto de 2024

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

INTRODUCCIÓN

La ganadería es una actividad que se realiza principalmente en áreas rurales. Los ganaderos obtienen ingresos económicos y generan empleos. Se práctica desde un sistema familiar con poca tecnificación hasta un sistema empresarial con alta adopción de tecnología (Salas et al., 2013). En México existen casi 32 millones bovinos, de los cuales, el 29% son vacas del sistema de cría de becerros para la producción de carne (INEGI, 2023). El consumo per cápita de carne de bovino fue de 15.6 kg y para cubrir la demanda se importaron 72, 217 toneladas de carne, principalmente de Estados Unidos de América, Canadá, Australia y Nueva Zelanda (SIAP, 2023). Una estrategia, para reducir las importaciones, es mejorar el aprovechamiento de los insumos relacionados con la alimentación (Morales-Hernández et al., 2018).

El uso adecuado de las razas especializadas en la producción de carne ayuda a mejorar las variables productivas. Las principales variables productivas, en las engordas de ganado bovino, son: ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA) y eficiencia alimenticia (EA). En sistemas estabulados, se busca que la GDP sea mayor a 1 kg en animales en etapa de finalización. Esto reducirá el periodo de engorda y, en consecuencia, los costos de alimentación. La CA es la cantidad de alimento consumido durante un cierto periodo y la cantidad de carne producida en el mismo periodo (Callejas-Juárez et al., 2015).

En las regiones semi-secas de la República Mexicana, los sistemas estabulados son una opción para finalizar a los animales que van para abasto, sin embargo, por sus altas temperaturas se deben utilizar razas adaptadas a este tipo de condiciones ambientales.

El estado de Tamaulipas se caracteriza por tener un clima semi-árido, que permite el desarrollo de la producción de bovinos de carne bajo el sistema extensivo (vaca cría) y en corral (finalización), donde se utiliza una diversidad de razas, tanto del generó *Bos taurus* como *Bos indicus* y sus cruza, debido a lo anterior, es de importancia evaluar las variables productivas de las principales razas que se utilizan en el estado, para hacer una recomendación a los extensionistas y productores, sobre cuáles son las variables que tienen un mejor desempeño productivo en condiciones de finalización en corral semi-seco.

MATERIALES Y METODOS

Localización de área de estudio

El estudio se realizó en la posta zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia “Dr. Norberto Treviño Zapata” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ubicada en el km 5 carretera Mante, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. En las coordenadas 23°44'06" N; 99°07'51" O, a 327 msnm, con un clima semi-seco con lluvias en verano BS1 (h^o) hw, precipitación media mensual de 62.25 mm, temperatura máxima de 45 °C, mínima de 20 °C durante el verano y una humedad relativa promedio de 70% (CNA, 2023). En el periodo de junio-agosto del 2018.

Animales

Se utilizaron 65 machos distribuidos de la siguiente manera: 14 Beefmaster, 12 Charoláis, 11 Brangus Negro, 10 Brangus Rojo, 11 Simmental y 7 Brahman, con un peso promedio inicial de 350 ±53.66 kg y 18 meses de edad. Previo al inicio del experimento, los animales fueron desparasitados internamente con 10 m de PANACUR® suspensión al 10% (Fenbendazol) y desparasitados externamente con Ectoline® Pour On, ectoparasiticida de larga acción a base de fipronil, de amplio

espectro (larvicida y adulticida). En la vacunación, se administraron 5 ml de ULTRABAC®7 (Zoetis) por vía subcutánea en la tabla del cuello. Dicho fármaco contiene antígenos clostridiales para ayudar a la protección contra; *Clostridium chauvoei*, *Clostridium septicum*, *Clostridium novyi*, *Clostridium sordellii*, *Clostridium perfringens* (B y C) y *Clostridium perfringens* tipo D.

Alojamiento

Los animales fueron alojados en corrales colectivos de 6 m de ancho y 18 de largo, acondicionados con techo de lámina, polines, perfil tubular rectangular, piso de cemento, bebederos y comederos fijos.

Alimentación

La alimentación consistió en una dieta de adaptación y una dieta de finalización de dos fases: I y II (Tabla 1), utilizando diferentes proporciones de paca de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris*), maíz amarillo, pasta de soya, cascarilla de naranja, melaza de caña y núcleo mineral de acuerdo con los requerimientos nutricionales del NRC para bovinos en finalización con un peso de 350 a 450 kg.

■ Tabla 1. Proporción de ingredientes y composición química de dieta para bovinos de carne.

Ingredientes	Adaptación (%)	Finalización (%)	
	1-20 días	Fase I	Fase II
Paca de zacate Buffel	34	18	15
Maíz amarillo	30	40	50
Pasta de soya	17	12	10
Cascarilla de naranja deshidratada	10	20	15
Núcleo mineral*	3	3	3
Melaza de caña	6	7	7
Total	100	100	100
Composición química de la dieta en %			
Humedad		12.90	11.53
Materia Seca		87.10	88.47
Proteína		15.04	14.2
Grasa		2.44	2.84
Cenizas		6.09	6.22
Fibra		9.58	7.89
ELN		66.84	68.85

*Urea, Sulfato de amonio, Fosfato monodivale, Carbonato de calcio, Cloruro de sodio, Cloruro de potasio, Óxido de magnesio, Óxido de manganeso, Óxido de zinc, Carbonato ferroso, Sulfato de cobre, EDDI, Selenito de sodio, Carbonato de cobalto, Óxido férrico, Vitamina A-acetato, Monensina sódica y mezcla de caña de azúcar.

El experimento tuvo una duración de 105 días, siendo los primeros 20 días de adaptación a la dieta, ofreciéndoles durante este periodo de 2 kg hasta llegar a los 11 kg de la dieta de manera gradual, que fue la cantidad de concentrado que se suministró durante la fase I del periodo de finalización, con una duración de 52 días; durante los 31 días de la fase II se proporcionaron 14 kg de alimento por animal. El alimento se ofreció dos veces al día (8:00 am - 3:00 pm).

Variables evaluadas

La ganancia diaria de peso (GDP) se estimó mediante la diferencia entre el peso final y el peso inicial, dividido entre el número de días de engorda (85 días) (Callejas-Juárez et al., 2017). El peso de los animales se midió en una báscula Modelo RGI-15C-DVZ con una capacidad 1500 kg.

$$GDP = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{85 \text{ días}}$$

Se calculó la conversión alimenticia (CA) dividiendo la cantidad del alimento consumido por los animales, entre la ganancia total de peso de cada animal por tratamiento (Callejas-Juárez et al., 2017).

$$CA = \frac{\text{Cantidad total de alimento}}{\text{Ganancia total de peso}}$$

La cantidad de carne producido por animal (CCPA) se estimó mediante la diferencia entre el peso vivo final y peso vivo al inicio del proceso productivo.

$$CCPA = \text{Peso vivo final} - \text{Peso vivo inicial}$$

Análisis estadístico

La conversión alimenticia y cantidad de carne producida fueron analizadas en un diseño completamente al azar, considerando como covariable el peso inicial de los machos. Previo a análisis de varianza, se probó la normalidad de los datos (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Bartlett).

Se usó el procedimiento GLM de SAS (SAS, 2003), obteniéndose las medias de mínimos cuadrados y se compararon usando la prueba de Tukey ajustada. El análisis de varianza se realizó usando un modelo de un solo criterio de clasificación.

Modelo estadístico asociado al diseño

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta(X_{ij} - X_i) + \zeta_{ij}; \quad i=1, \dots, 6; \quad j=1, \dots, 6$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta (Ganancia diaria de peso y conversión alimenticia); μ = Media general;
 τ_i = Efecto de la raza ($i=1,2,3,4,5,6$); β = Coeficiente de regresión; $(X_{ij} - X_i)$ Covariable (peso inicial);
 ζ_{ij} = Error aleatorio; $\zeta_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Para evaluar el peso de los animales a través del tiempo del periodo de prueba se realizó un análisis de medidas con el procedimiento MIXED de SAS. El modelo incluyó los efectos principales de tratamientos, periodos y la interacción tratamiento x periodo. La estructura de covarianza apropiada para el análisis se determinó probando diferentes estructuras (componentes de varianza, simetría compuesta, modelo no estructurado, auto regresivo), escogiendo aquella que tenga los valores negativos o cercanos a cero de los criterios de Akaike y de Schwartz.

RESULTADOS

El comportamiento de las variables productivas (GDP, CA, CCPA), durante los 85 días que duraron las fases de engorda (fase I y II), se muestran en la Tabla 2. Las razas Charoláis y Brangus Rojo presentaron una mayor GDP y CCPA, con diferencias ($p < 0.01$), respecto a las demás razas. Las menores GDP la mostraron las razas Beefmaster, Brahman y Brangus Negro. Estas no mostraron diferencias significativas entre estas razas.

Las razas Beefmaster, Brahman, Brangus Negro presentaron mayor conversión alimenticia ($p <$

■ Tabla 2. Ganancias diarias de peso, volumen producido por animal en kg y conversión alimenticia de seis razas bovinas productoras de carne.

Raza	GDP	CA	CCAP
Brangus Negro	1.36 ^{bc}	8.71 ^{ab}	115.78 ^{bc}
Brangus Rojo	1.66 ^a	7.10 ^c	141.76 ^a
Beefmaster	1.24 ^c	9.56 ^a	105.65 ^c
Simmental	1.42 ^b	8.57 ^b	120.98 ^b
Brahman	1.35 ^{bc}	8.72 ^{ab}	115.38 ^{bc}
Charoláis	1.79 ^a	6.60 ^c	152.16 ^a
EEM	0.129	0.746	10.970
<i>p</i>	<0.0001	<0.0001	<0.0001

EEM= Error estándar de la media; p = Probabilidad

^{a,b,c} Medias con distintas literales son diferentes estadísticamente ($p < 0.01$).

0.01), con respecto a la raza Charoláis y Brangus Rojo.

Ganancia diaria de peso en diferentes periodos

La ganancia diaria de peso promedio de las seis razas bajo estudio mostró una variación en las semanas de estudio, en la semana tres los animales tuvieron las mayores ganancias de peso, y los

■ Tabla 3. Medias de la ganancia diaria de peso en una prueba de comportamiento en bovinos de carne, según periodo.

Periodo	GDP
3 semanas	1.78 ^a
6 semanas	1.61 ^b
9 semanas	1.37 ^c
12 semanas	1.19 ^d
EEM	0.016
<i>p</i>	
Periodo	<0.0001
Raza*periodo	<0.0001

EEM= Error estándar de la media; p = Probabilidad

^{a,b,c,d} Medias con distintas literales son diferentes estadísticamente ($p < 0.01$)

menores promedios en la semana 12 y una interacción raza por periodo (Tabla 3).

Ganancia diaria de peso en diferentes periodos

La ganancia diaria de peso, en relación con la interacción de raza por periodo, se muestra en la Tabla 4. En los cuales se observó que la GDP en la semana tres, fue mayor en la raza Charoláis ($p < 0.01$) respecto a las demás, seguido de la raza Brangus Rojo. Las razas que no mostraron diferencias ($p > 0.01$) en este periodo fueron Brahman, Brangus Negro y Simmental. El menor valor de la GDP lo obtuvo la raza Beefmaster. En la semana seis cambió el comportamiento de la ganancia diaria de peso promedio: las razas Charoláis y Brangus Rojo mostraron las mayores GDP ($p < 0.01$) respecto a las demás, seguido de Simmental, Brahman, Brangus Negro y Beefmaster, que no mostraron diferencias ($p > 0.01$) en este periodo entre estas razas. El mismo comportamiento tuvieron en la semana nueve, mientras que en la semana 12, las razas Charoláis, Brangus Rojo y Simmental tuvieron las GDP más alta, respecto a las demás razas, sin mostrar diferencias entre estas razas ($p > 0.01$). Las menores ganancias promedio de peso las presentaron las razas, Brahman, Brangus

■ Tabla 4. Medias de la ganancia diaria de peso en una prueba de comportamiento en bovinos de carne, según raza x semanas.

	Semanas				EEM	<i>p</i>
	3	6	9	12		
Charoláis	2.17 ^a	1.95 ^a	1.66 ^a	1.44 ^a	0.034	<0.0001
Brahman	1.64 ^{cd}	1.48 ^b	1.26 ^b	1.09 ^c	0.049	<0.0001
Brangus Negro	1.65 ^{cd}	1.48 ^b	1.26 ^b	1.10 ^c	0.039	<0.0001
Brangus Rojo	2.02 ^b	1.81 ^a	1.54 ^a	1.34 ^{ab}	0.029	<0.0001
Beefmaster	1.51 ^d	1.35 ^b	1.15 ^b	1.00 ^c	0.037	<0.0001
Simmental	1.72 ^c	1.55 ^b	1.32 ^b	1.15 ^{abc}	0.039	<0.0001

EEM= Error estándar de la media; *p* = Probabilidad

^{a,b,c,d} Medias con distintas literales en columna son diferentes estadísticamente $p < 0.01$.

Negro y Beefmaster (Tabla 4).

DISCUSIÓN

Respuesta productiva

La GDP es una variable utilizada como indicador de productividad en bovinos productores de carne. Este puede estar influenciado por la raza del animal, alimentación, clima, etc. (Callejas-Juárez et al., 2017). La GDP presenta una alta heredabilidad directa (0.40 en una escala de 0 a 1), en consecuencia, es importante medirla entre razas (Domínguez-Viveros et al., 2017). En este estudio, la raza Charoláis tuvo una ganancia diaria de peso superior al resto. Un comportamiento similar se reportó en animales finalizados en confinamiento en un clima templado semi-seco, donde se encontraron valores de 1.5 kg para la raza Charoláis y de 1.20 kg para la raza Beefmaster (López et al., 2002). Particularmente, la raza Charoláis se caracteriza por tener una excelente conformación cárnica, con buenas ganancias de peso en sistemas estabulados y de pastoreo, además, tiene la capacidad de adaptarse a climas cálidos y áridos (Contreras et al., 2013). Esto representa una ventaja para estas zonas en donde se requieren razas que se adapten a la época más crítica del año, que es el verano. Un periodo donde se alcanzan temperaturas de 45 °C y que afectan el consumo de alimento y por tanto la GDP (Arias et al., 2008). Por otra parte, la raza Brahman, mostró GDP consideradas como altas para la etapa de finalización (Magaña et al., 2002), que puede atribuirse a

sus características de adaptación a climas cálidos, vegetación escasa y resistencia a ectoparásitos. Por otra parte, Callejas-Juárez et al. (2017) precisan el concepto de conversión alimenticia como la relación entre la cantidad de alimento consumido en kg por ciclo y el volumen producido de carne. En el presente estudio, la raza Charoláis y Brangus Rojo presentaron los mayores valores de conversión alimenticia, respecto a las demás razas, debido a que requieren consumir una menor cantidad de alimento, para ganar un kilogramo de peso vivo, este efecto puede ser atribuido a otros factores que no están relacionados con los requerimientos nutricionales en la etapa de finalización, ya que se formuló la dieta de acuerdo con las necesidades nutritivas de esta etapa. Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los valores de CA reportados en cruza de razas europeas en condiciones de estabulado en el norte de México, estos van de 6.12 a 9.54 kg de alimento consumido por kilogramo de carne producida (Domínguez-Viveros et al., 2017). Por lo tanto, el comportamiento de esta variable va a depender no solo de la alimentación, sino también de factores como la calidad del alimento, condiciones climáticas, ya que los animales pueden estar sometidos a un estrés por calor o por frío, lo que afecta directamente el consumo de alimento, manejo de los animales y otros factores relacionados con el bienestar animal (Zazueta et al., 2021).

Respecto a la carne producida por animal, esta tiene una relación directa con la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia, ya que la raza Charoláis y Brangus Rojo, tuvieron las mejores ganancias de peso y conversión alimenticia. La cantidad de carne producida en las razas estudiadas coincide por lo reportado por Callejas-Juárez et al. (2017), quienes reportaron valores de 167 a 239 kg en peso vivo de carne producida en diferentes razas, en un periodo de 136 días con ganancia de peso promedio de 1.54 kg/día en estados del norte de México, bajo condiciones de estabulado. Esta variable es un parámetro bioeconómico importante en los sistemas de crianza y finalizado de carne de bovino que van destinados para el mercado. La venta de los animales se realiza por kilogramo de peso vivo y el ingreso generado debe cubrir los costos de producción y generar ganancias económicas (Hernández et al., 2016).

Ganancia diaria de peso en diferentes periodos

La GDP durante de la engorda debe ser monitoreada para identificar aquellos animales que, por alguna razón, no tengan la ganancia esperada de acuerdo con la formulación de la dieta, respecto a esta variable. En el presente estudio, la raza Charoláis mostró las mayores ganancias de peso, López et al. (2002) afirman que la raza y el sexo de los animales son las variables que determinan el potencial de crecimiento de los animales. La raza Simmental, aunque sus ganancias de peso son inferiores a la Charoláis, es utilizada en lugares cálidos por su adaptación a la radiación solar, altas temperaturas y el mejor comportamiento de algunos indicadores como: el peso al nacer, al destete, edad al primer parto e intervalo entre partos (Mejía-Bautista et al., 2010). Por otra parte, la raza Simmental mostró una ganancia de peso menor respecto a las razas Charoláis y Brangus Rojo. En el estado de Tamaulipas, se reportó que los animales Simmental puros y aquellos con una mayor proporción de genes Simmental tuvieron una menor GDP (0.632 kg) y peso al destete (164.4 kg), en relación con los de la raza Brahman con valores de 0.768 kg y 193.1 kg, respectivamente (Martínez et al., 2008).

Esto se puede explicar por la mejor adaptación a los climas templados, aunque es utilizada también en ambientes tropicales. Por otra parte, la raza Beefmaster presentó el menor promedio de ganancias de peso, se reportó GDP de 1.35 kg para machos y 1.22 kg para hembras, bajo condiciones de estabulado, alimentados con diferentes fuentes de proteína, las cuales coinciden con las encontradas en este estudio (López et al., 2002). Esto muestra que esta raza tiene una menor capacidad de

adaptarse a climas con temperaturas altas, respecto a razas como Brahaman.

Ganancia diaria de peso y la interacción raza por periodo

En las seis razas evaluadas en este estudio, se identificaron diferencias en la ganancia de peso en los diferentes periodos. Las mayores ganancias de peso fueron durante las primeras tres semanas y las menores al final de la prueba. Además, se encontró una interacción de raza por tiempo, esto significa que el comportamiento de las razas respecto a las GDP es diferente en cada periodo. Al respecto, Owens et al. (1993) mencionan que el crecimiento animal está determinado por los efectos genéticos y ambientales que influyen en las diferencias de crecimiento a través del tiempo. Por otra parte, el crecimiento de los bovinos de carne es expresado por una curva tipo sigmoidea, con tres fases: un crecimiento lento inicial, una fase de aceleración pronunciada y un periodo de desaceleración, hasta que alcanzan su peso adulto. La fase de desaceleración, se presenta en la etapas de finalización del periodo de engorda, cuando en promedio a los 24 meses de edad, la curva de crecimiento de los animales alcanza una forma asintótica (Domínguez-Vivero et al., 2016).

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales en que se desarrolló el estudio, la raza Charoláis y Brangus Rojo mostraron un mejor comportamiento productivo en relación con ganancias diarias de peso, conversión alimenticia y cantidad de carne producida en un periodo de finalización durante el verano, en un clima semi-seco, respecto a las razas Brangus Negro, Brahman, Beefmaster y Simmental.

La raza Charoláis y Brangus Rojo mostraron las mejores ganancias de peso durante todo el periodo de estudio. Está disminuyó a través del periodo de engorda. Las mayores ganancias de peso ocurrieron al inicio y las menores al final del periodo de estudio.

REFERENCIAS

- Arias, R. A., Mader, T. L., & Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1), 7-22. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>.
- Contreras, A. S., Martínez-González, J. C., Encinia, F. B., Rodríguez, S. P. C., & Meléndez, J. H. (2013). Comportamiento productivo de un hato Charolais bajo condiciones de trópico seco en Tamaulipas, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1), 140-145. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6055503>
- Callejas-Juárez, N., Rebollar-Rebollar, S., Ortega-Gutiérrez, J., & Domínguez-Viveros, J. (2017). Parámetros bio-económicos de la producción intensiva de la carne de bovino en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(2), 129-138. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4415>.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=tamps>
- Domínguez-Viveros, J., Rodríguez-Almeida, F.A., Núñez-Domínguez, R., Ramírez-Valverde R., & Ortega-Gutiérrez J.A. (2017). Parámetros genéticos para caracteres asociados a la curva de crecimiento de bovinos Tropicarne. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10) 81-88. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.971>
- Domínguez-Viveros, J., Urbina-Valenzuela, A. R., Palacios-Espinoza, A., Callejas-Juárez, N., Ortega-Gutiérrez, J. A., Espinoza-Villavicencio, J. I., Padrón-Quintero, & Rodríguez-Castro,

- M. (2017). Caracterización del crecimiento de bovinos cebú en pruebas de comportamiento en pastoreo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(11), 341-348. <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.1149>
- Hernández Martínez, J., Rebollar Rebollar, A., Mondragón Ancelmo, J., Guzmán Soria, E., & Rebollar Rebollar, S. (2016). Costos y competitividad en la producción de bovinos carne en corral en el sur del Estado de México. *Investigación y Ciencia*, 24(69), 13-20. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S187004622011000200027&script=sci_abstract&tlng=pt
- INEGI. (2023). Censo de ganado en México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/ganaderia/>
- López, R., García, R., Mellado, M., & Acosta, J. (2002). Crecimiento y características de la canal de bovinos Charoláis y Beefmaster alimentados con dos fuentes de proteína y dos niveles de grasa sobrepasante. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 40(3), 291-298. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61340304.pdf>
- Magaña, J G M., Rios, G A., & Martínez J C. (2006). Dual purpose cattle production systems and the challenges of the tropics of Mexico. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14(3), 26-28. https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/493
- Martínez González, J., Azuara Martínez, A., Hernández Meléndez, J., Parra Bracamonte, G., & Castillo Rodríguez, S. (2008). Características pre-destete de bovinos simmental (*Bos Taurus*) y sus cruces con brahman (*Bos indicus*) en el trópico mexicano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 21(3), 365-371.
- Mejía-Baustista, G., Magaña, J., Segura-Correa, J., Delgado, R., & Estrada-León, R. (2010). Comportamiento reproductivo y productivo de vacas *Bos indicus*, *Bos taurus* y sus cruces en un sistema de producción vaca: cría en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 289-301. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93913070010.pdf>
- Morales-Hernández, J. L., González-Razo, F. J., & Hernández, M. J. (2018). Función de producción de la ganadería de carne en la zona sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4345>
- Owens, F. N., Dubeski, P., & Hanson, C. F. (1993). Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*, 71(11), 3138-3150. <https://doi.org/10.2527/1993.71113138x>
- Salas González, J. M., Leos Rodríguez, J. A., Sagarnaga Villegas, L. M., & Zavala-Pineda, M. J. (2013). Adopción de tecnologías por productores beneficiarios del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(2), 243-254. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4004/3638>
- SIAP. (2023). Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp
- Zazueta G., C., Castro P., I., Estrada-Angulo, A., Portillo L., J., Urías E., D., & Ríos, R. F. (2021). Valoración del confort térmico de bovinos productores de carne en finalización intensiva en clima cálido. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(5). <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i5.19301>.



Técnicas de obtención y cultivo de larvas L3 de nematodos gastrointestinales de rumiantes

Techniques for obtaining and culture of L3 larvae of ruminant gastrointestinal nematodes

Alfonso Pedro Santos Martínez^{1*}

RESUMEN

Los nematodos gastrointestinales de rumiantes presentan un ciclo de reproducción similar, en su tercer estadio, afectan al huésped. Los coprocultivos permiten obtener los diferentes estadios. El objetivo de esta revisión fue brindar un panorama general de las técnicas de coprocultivo para la obtención de larvas L3 de los nematodos gastrointestinales de rumiantes. La búsqueda de información se realizó con buscadores académicos vinculados a recursos originales y verídicos: Web of Science, Google Académico, Scopus, Dialnet, SciELO y PubMed. Se seleccionaron aquellas publicaciones que abordaron técnicas de cultivos de nematodos gastrointestinales de rumiantes: bovinos, caprinos y ovinos. En el proceso de obtención de larvas se deben tomar en cuenta factores como la carga parasitaria, traslado de muestras al laboratorio, monitoreo de la humedad, temperatura y un material inerte que permita la oxigenación de las muestras. El mantenimiento de la fase infectante requiere aislar y proporcionar un medio alimenticio para garantizar su supervivencia.

Palabras clave: desarrollo larval, helmintos, parasitosis.

ABSTRACT

Gastrointestinal nematodes of ruminants have a similar reproductive cycle, in their third stage, they affect the host. Stool cultures allow obtaining the different stages. The objective of this review was to provide an overview of the stool culture techniques for obtaining L3 larvae of ruminant gastrointestinal nematodes. The search for information was carried out using academic search engines linked to original and veridical resources: Web of Science, Google Scholar, Scopus, Dialnet, SciELO and PubMed. We selected those publications that dealt with culture techniques of gastrointestinal nematodes of ruminants: cattle, goats and sheep. In the process of obtaining larvae, factors such as parasite load, transfer of samples to the laboratory, monitoring of humidity, temperature and inert material that allows oxygenation of the samples must be taken into account. The maintenance of the infective stage requires isolation and provision of a feeding medium to guarantee its survival.

Keywords: larval development, helminths, parasitosis.

Autor para correspondencia: pedrosantostmz1995@gmail.com **Fecha de recepción:** 2 de mayo de 2024

Fecha de aceptación: 3 de julio de 2024

Fecha de publicación: 8 de agosto de 2024

¹Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Avenida Universidad s/n, col. Cinco Señores, Oaxaca, México.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, los nematodos gastrointestinales (NGI) tienen un impacto negativo en la ganadería (Szew et al., 2021), ocasionan retraso en el crecimiento y reproducción, disminución en la producción de leche y mala conversión alimenticia (Figuroa-Antonio et al., 2018; Márquez, 2014). Estos nematodos son de cuerpo redondo, filiformes, dioicos, con dimorfismo sexual y presentan de cuatro a cinco mudas durante su desarrollo (López, 2019). Estos habitan el tubo digestivo y son de importancia, principalmente en los sistemas extensivos (Reyes-Guerrero et al., 2021).

De forma natural, existe una coevolución en la relación entre los nematodos gastrointestinales y sus hospederos. Coexisten con niveles leves o moderados, sin afectar la salud y producción del hospedador; sin embargo, existen condiciones que provocan que esta relación pierda su homeostasis y el nivel de infestación se eleve ocasionando una serie de efectos perjudiciales (Ortiz et al., 2022).

Los principales NGI de los rumiantes reportados en la literatura pertenecen al orden Trichostrongyloidea, suborden Strongylida, géneros: *Cooperia*, *Trichostrongylus*, *Haemonchus*, *Oesophagostomum*, *Ostertagia* y *Nematodirus* (Soca et al., 2007; Guerrero et al., 2017). Cada especie de NGI, en sus diferentes fases larvianas, habitan en un tejido. Generalmente, en la fase adulta, se localizan en el epitelio de la mucosa o en la luz gastrointestinal. El estadio L3 es la etapa infecciosa, suele encontrarse en la pastura. En condiciones de humedad o rocío tienden a ascender sobre los tallos u hojas (Balic et al., 2000).

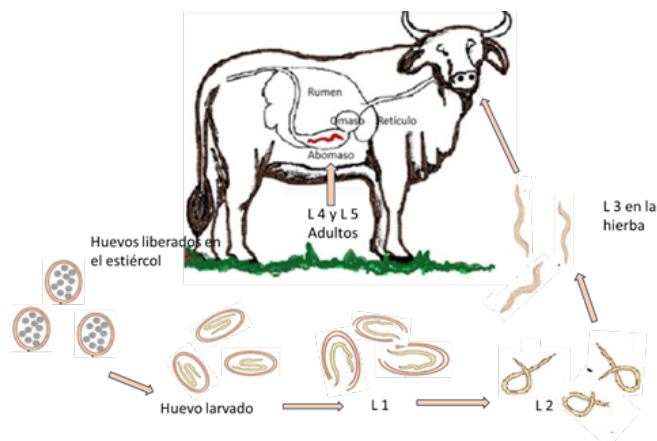
Las acciones adecuadas para el manejo y control de los NGI requieren la determinación de las especies presentes en las unidades de producción. Por lo que se recomienda, como primera instancia, realizar coprocultivos que permitan identificar con mayor precisión las especies presentes (Ensuncho et al., 2014). Es sumamente complejo establecer coprocultivos de nematodos con poblaciones homogéneas debido a su carácter de parásitos obligados (Orozco et al., 2009). En este contexto, el objetivo de este trabajo de revisión fue brindar un panorama general de las técnicas de coprocultivo para la obtención de larvas L3 de NGI de rumiantes.

DESARROLLO DEL TEMA

Ciclo biológico de los nematodos gastrointestinales de los rumiantes

Generalmente, los nematodos gastrointestinales de los rumiantes presentan un ciclo de vida similar (Figura 1). Su sobrevivencia, desarrollo y distribución en el forraje están en función con las condiciones ambientales (Zajac & Garza, 2020). El ciclo de vida de los NGI se divide en dos fases: exógena y endógena. La fase exógena inicia con la liberación de huevos en las heces fecales al exterior, la eclosión a L1 y el desarrollo a L2, por otra parte, la fase endógena inicia con la ingesta de las larvas L3, luego pasa al desarrollo de la fase madura L4 y L5 listos para la reproducción (Soca et al., 2005).

Los huevos liberados al medioambiente eclosionan en larva L1, entre las 24 y 30 horas, teniendo condiciones óptimas de temperatura: 28 °C y humedad relativa al 80%, de lo contrario pueden permanecer durante meses sin eclosionar (Hernández, 2011). Luego que el huevo eclosiona, la L1 dura de dos a tres días y se transforma a L2. Después, de cuatro a siete días, sufren una segunda muda para evolucionar a L3 en ambiente con temperatura de 22 a 26 °C, a menos de 9 °C suspenden su desarrollo o bien mantienen la cubierta o vaina de L2.



■ Figura 1. Ciclo biológico de los nematodos gastrointestinales de los rumiantes. Tomado de Maza (2018).

Bajo esta circunstancia, al ser ingeridos, llegan al rumen. En él existe un incremento del pH ruminal, ocasionado por la secreción de la enzima leucinoamino-peptidasa. Las células neurosecretoras de la larva causan la liberación de la cubierta, después de 10 y 20 minutos migran hacia el abomaso donde penetran en las fosas gástricas o criptas de las glándulas gástricas para transformarse en L4. En dos días posteriores se desplazan de la mucosa hacia el lumen abomasal para evolucionar a L5. Estas maduran en los siguientes dos días, las hembras comienzan a depositar huevos entre los 21 y 28 días posterior a la infección (Aguilar-Caballero et al., 2009). En estadio L4, en el abomaso, pueden permanecer en hipobiosis de 10 a 14 días durante periodos de adversidad climática como frío excesivo o periodo de secas. En general, las larvas de los NGI pueden completar su fase endógena en el huésped de tres a cinco meses, muchas se mueren y otros se calcifican formando nódulos (Aguilar-Caballero et al., 2011). Es importante mencionar que las L3 pueden permanecer en el medio ambiente de uno a tres meses (Fox, 1997).

Extracción de muestras coprológicas

En la toma de muestras de heces fecales para la determinación de carga parasitaria, para fines de coprocultivo, es importante considerar, en la toma de muestras, el criterio de no haber recibido tratamientos antihelmínticos en un período igual o mayor a 60 días (Olazarán et al., 2019). Se sugiere tomar muestras en las primeras horas de la mañana, antes que el animal inicie actividades físicas que exijan mucho movimiento o gasto de energía (Chuchuca, 2019; Puicón et al., 2022), entre las 7:00 y 9:00 a.m. Preferentemente, recolectar las heces directamente del recto (Campos-López, 2017; Martínez-Martínez et al., 2021). En esta labor es importante utilizar materiales limpios y de preferencia estériles, con la finalidad de no alterar las características de la muestra. Se recomienda utilizar guantes de látex para su extracción, al obtenerla en las manos se debe invertir el guante para su almacenamiento y evitar la contención de aire (Méndez, 2019), también las bolsas nuevas de polietileno para la extracción y almacenamiento (Zaragoza-Vera et al., 2017). De igual forma, es efectiva la recolección de muestras fecales inmediatamente o en la exacta defecación. Es necesario el uso de guantes, así como una espátula para la recolección de las heces depositadas, se puede almacenar en colector universal estéril (Maristela et al., 2017). Es importante evitar la contaminación con nematodos de vida libre (Olivares, 2023). Finalmente, no se debe olvidar rotular los contenedores, bolsas y guantes (Maurizio et al., 2023).

Criterios en carga parasitaria para el coprocultivo

La carga parasitaria es un determinante en la cantidad de larvas a obtener a partir de coprocultivos.

Dey et al., (2020) mencionan que se debe utilizar heces en pool o individualizada con una carga de al menos 200 huevos por gramo (HPG). En esta misma sintonía, los criterios en la homogeneización de la carga parasitaria por grupos de animales infestados y cumplirán con el objetivo de la investigación (Pedrozo-Prieto et al., 2015).

Traslado de muestras coprológicas para coprocultivo

El traslado de muestras al laboratorio, para fines de coprocultivos, deberá tener buen manejo para incrementar su viabilidad. Ramírez et al., (2022) recomiendan colocarlas en una hielera a temperatura 10 ± 2 °C. Si las muestras no se conservan inmediatamente o el traslado el lento o mal adecuado, aparecerán huevos embrionados y larvados. Esto puede alterar los resultados, incluso arrojar resultados negativos, aunque el paciente esté parasitado. Córdova et al., (2021) recomiendan la idoneidad de su transportación, al laboratorio o almacenamiento, en refrigeración a 6 °C. Si se utiliza caja de telgopor con refrigerantes, deben ir individualizadas, sin conservantes y tapadas correctamente para evitar derrame de líquidos y contaminación (Robles et al., 2011). Se debe impedir que las muestras estén en contacto directo con hielo o anticongelante, ya que se pueden congelar y favorecer la formación de cristales que dañan ciertos tejidos, disminuyendo la viabilidad de eclosión de los huevos o el desarrollo de las larvas. El tiempo de refrigeración es otro factor que determina su viabilidad. No debe exceder de 24 horas a partir de su recolección (Benavides, 2013), aunque puede refrigerarse hasta por siete días; sin embargo, la emergencia puede verse reducida hasta un 17% (Munguía-Xóchihua et al., 2023).

Técnicas de coprocultivo para la obtención de L3

Existen varias técnicas que promueven la maduración de los huevos para la eclosión, así como el desarrollo de las larvas hasta la fase infectante, mediante coprocultivo. Todas tienen los mismos principios y dependen de tres factores, de acuerdo con Fiel et al., (2011), las heces deben tener una humedad adecuada, un material inerte para facilitar la oxigenación y una temperatura idónea, este último puede variar con las especies de los NGI y por ende influye en el tiempo de desarrollo a L3, como se puede observar en la Tabla 1.

En un trabajo realizado por Montoya et al., (2005) reportan el uso de muestra fecal bovina con aserrín puro y relaciones 1:1, 1:0.75 y 1:0, se colocaron en cajas de Petri con la adición de unas gotas de carbonato de calcio al 1.5% para evitar el crecimiento de hongos, se guardaron a temperatura ambiente con aireación periódicamente y a los 12 días se obtuvieron las L3. De forma similar, Dias et al., (2018) recomiendan mezclar 20 g de heces con virutas de madera esterilizadas y mantenerlas húmedas a una temperatura controlada de 25 °C durante siete días.

Álvarez et al. (2007) describen el uso 5 g de heces con 2 g del aserrín humedecidos con agua destilada colocados en frascos de vidrio, se incubaron a 27 °C con una humedad relativa del 70%, para extraer las larvas se llenaron los frascos con agua a 30 °C, se cubrieron con tapas de caja Petri, después se invirtieron para su reposo por 2 h, luego se realizó la recolección del líquido con las larvas acumuladas en las tapas con una pipeta Pasteur.

Leandro-Picado et al., (2020) combinaron 10 g de heces de bovinos con 10 g de aserrín de *Laurusnobilis* spp. (laurel) y 40 ml de agua destilada. Se usaron frascos de vidrio, tapados con papel aluminio perforado, se incubaron a 27 °C por ocho días. Se llenaron los frascos con agua destilada a 37 °C, se taparon con placas de Petri, durante 2 h y se colocaron de forma invertida, se agregaron 16 ml de agua destilada a 37 °C en el interior de cada placa hasta cubrir los alrededores

del frasco. A partir de los 30 minutos se observó la migración larval.

Se ha registrado el uso carbón activado con muestras fecales en proporción 1:3, se mezclan con agua hasta obtener una pasta y se cubren con papel de aluminio. Se colocan bajo incubación de 25 a 28 °C durante siete días, se monitorea por las mañanas para mantener la humedad óptima y al día 8 se procede a aislar las larvas L3 con el uso de placas de Petri (Rajpoot et al., 2017).

Sánchez-Salgado et al., (2021) trabajaron con cultivos que fueron colocados en recipientes de plástico y mezclados con partículas de poliestireno. Para promover la eclosión de los huevos se incorporó agua y oxigenación adecuada en el día seis. Después se realizó la recuperación de las larvas L3 con la técnica de Baermann por un período de 24 h.

García (2019) realizó un coprocultivo en el que utilizó heces húmedas trituradas de ovino, se añadió hule de espuma para favorecer la aireación, se mantuvo con humedad a temperatura ambiente de 25 a 35 °C durante siete días y se permitió aireación cada tres días.

La técnica desarrollada por Pimentel (2020) requiere de un recipiente plástico con capacidad de 15 ml, 8 g de materia fecal, 4 g de vermiculita y 5 ml de agua destilada. Luego de homogeneizar la mezcla se cubre el recipiente con gasa, se invierte el frasco para hacer pequeñas perforaciones en la base y permitir la aireación. Se incuba en estufa de 24 a 26 °C y transcurridos 14 días se recuperan las L3 por el método de Baermann.

Por otro lado, puede combinar materia fecal de bovino, vermiculita y agua de grifo con una consistencia pastosa en vasos de cultivo, incubar durante 10 a 12 días a 27 °C, se revisa diariamente para asegurar un ambiente ligeramente húmedo. Transcurridos los días, se llenan los vasos con agua e invierten en una placa de Petri durante la noche sin luz, se recogen los L3 del sobrenadante en la placa (Scott et al., 2019).

Sargison et al., (2018) transfirieron las L1 en un disco de papel de filtro de algodón colocado en una placa de Petri que contenía 5 ml de un cultivo de *Escherichia coli* OP50 en caldo Luria/estreptomicina, se colocó el papel filtro con las L1 en bolsas de plástico perforadas y se llevaron a una incubadora hermética con 24 °C durante 7 días. Después se recuperan las L3 con el método de Baermann.

En otro procedimiento, en vasos de plásticos desechables, las heces húmedas de ovino cubren $\frac{3}{4}$ y se incuban de 26-28 °C. Se le permite la aireación todos los días por dos horas, a temperatura ambiente y a partir del día siete se inicia la obtención de las L3 (Preliasco, 2017). Igualmente, Cerutti (2017) señala la viabilidad de materia fecal en recipientes plásticos puestos en una cámara húmeda a 25 °C durante 12 a 15 días.

En un método, adaptado por Benavides (2012), se combina la materia fecal con papel picado y se humedecen con agua. La mezcla obtenida se coloca en vasos de precipitado de cristal, se cubren con cajas de Petri, no se requiere de incubadora ya que se puede colocar en espacios a temperatura ambiente y protegido de la luz solar de siete a quince días hasta obtener las L3, generalmente al día siete se puede observar la colonización del hongo *Pilobolus* spp.

Hernández et al., (2023) compararon la efectividad de diversos coprocultivos realizados con carbón, aserrín, vermiculita y agua en un experimento con dos repeticiones. Se concluyó que el uso de aserrín fue apropiado ya que permitió obtener una mayor cantidad de larvas en comparación con los demás sustratos.

Es importante tener experimentos con varias repeticiones, ya que las larvas en cualquier estadio podrán inducir la hipobiosis, este puede ser causado por utilizar estadios intermedios, contaminación de las muestras y poca cantidad de materia fecal (Arcila & Benavides, 2002).

■ Tabla 1. Temperatura y tiempo de obtención de L3 de nematodos de rumiantes a partir de coprocultivos.

Nematodos de rumiantes	Temperatura	Tiempo promedio de obtención de L3
<i>Bunostomum trigonocephalum</i>	22-24 °C	6-7 días
<i>Strongyloides papillosus</i>	10-15 °C	7-8 días
	20-25 °C	30-70 horas
<i>Oesophagostomum venulosum</i>	22-24 °C	7-8 días
<i>Chabertia ovina</i>	22-24 °C	6 días
<i>Trichostrongylus axei</i>	22-24 °C	6-8 días
<i>Trichostrongylus colubriformis</i>	22-24 °C	7-8 días
<i>Trichostrongylus vitrinus</i>	22-24 °C	7-8 días
<i>Ostertagia circumcincta</i>	22-24 °C	6-7 días
<i>Cooperia oncophora</i>	22-24 °C	7 días
<i>Cooperia curticei</i>	22-24 °C	7-8 días
<i>Haemonchus contortus</i>	25-28 °C	7-8 días
<i>Nematodirus spp.</i>	24-28 °C	15- 30 días

Fuente: Ojeda-Robertos et al., (2015); Lascano (2009); Preliasco (2017).

Mantenimiento de larvas L3

Existe escasa información sobre técnicas de mantenimiento de nematodos gastrointestinales vivos L3, Alcalá et al., (2019) describen un método de cultivo in vitro de L3 de *Haemonchus contortus* en frascos de cultivo celular rectangular de 75 cm con filtro de tapón, a 37 °C, atmósfera de CO₂ 5%, así como medio ontogénico se mezcla 44.2 ml de Medio RPMI+HEPES, 0.246 ml de antibiótico-antimicótico (Penicilina G sódica de 100.0 UI + Estreptomina de 100.0 µg), 0.492 ml de Anfotericina-B y 0.08 ml de eritrocitos de ovino lavados con solución VyM, el cambio de L3 a L4 es de 0 a 56 días.

Ray y Mansfield (1995) señalan que para mantener las L3 bajo condiciones in vitro en matraces con una solución salina equilibrada de Earle (EBSS) se debe adicionar penicilina G, 250 U ml⁻¹, sulfato de estreptomina 250 µg ml⁻¹, cloranfenicol 350 µg ml⁻¹ y como suplemento P/S/CAMP.

Estos se mantienen a 37 °C con 5% de CO₂, en un lapso de 48 a 96 horas las L3 se pueden evolucionar a L4. Marie-Magdeleine et al., (2009) agregaron 6 ml de cultivo nutritivo de agar en una caja Petri con las L3 y fueron selladas con Parafilm. Esta se coloca bajo condiciones óptimas para permitir mantener vivas las larvas.

Aislamiento de larvas L3

Alaro et al., (2023) utilizaron la técnica de Baermann que consiste en adaptar un pedazo de tubo de goma sobre el cuello del embudo del aparato de Baermann, ahí se quedarán atrapadas las larvas, se envuelve con gasas, la muestra de heces, luego se coloca en una coladera para ser instalada sobre el embudo. Se llena con agua hasta cubrir la mitad de la muestra y se deja reposar de 8 a 12 horas. Se recomienda usar agua tibia porque la temperatura es un factor que favorece la migración larvaria (Castillo et al., 2015).

En la técnica de Roberts y O'Sullivan (1950), citada por Prada (2008), se coloca la muestra fecal en un frasco y se llena con agua tibia hasta el borde, posteriormente taparlo con una placa Petri y se invierte de modo que el vaso se coloque boca abajo con la placa durante 24 horas y después ser extraída con una pipeta. Así también, se puede colocar en una posición ligeramente inclinada, durante 4 a 5 horas para retirar el agua que contiene las larvas (Afreen et al., 2019).

En la obtención de larvas, con la menor cantidad posible de impurezas, se recomienda usar una pipeta de Pasteur, tomar la fase acuosa para depositarlo en un tubo de ensayo y centrifugar a 4000 rpm por cuatro minutos, luego descartar el sobrenadante (Rodríguez-Molano et al., 2018).

CONCLUSIÓN

Existen diferentes técnicas de coprocultivos para obtener L3 en rumiantes. Tienen los mismos principios, un ambiente adecuado para la eclosión de los huevos y larvas, temperatura de 20-28 °C, aireación de al menos una hora por día y un material inerte que permita la circulación del aire en la muestra. El control de estos factores determina los resultados en la obtención de la fase L3 de 6 a 30 días, según la especie de interés. Aún es limitada la información de las técnicas de mantenimiento de las L3, L4 y L5. Es importante continuar con investigaciones que permitan obtener soluciones o alternativas para reducir diversos problemas de parasitismo.

REFERENCIAS

- Afreen, F. J., Palanivelrajan, M., Gomathinayagam, S. & Jayathangaraj, M. G. (2019). Copro-culture study of nematode larvae in Black Bucks (*Antelope cervicapra*). *The Indian Veterinary Journal*, 96(1), 38-40.
- Aguilar-Caballero, A., Torres-Acosta, F. & Cámara-Sarmiento, R. (2009). Importancia del parasitismo gastrointestinal en ovinos y situación actual de la resistencia antihelmíntica en México. Avances en el control de la parasitosis gastrointestinal de ovinos en el trópico. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Aguilar-Caballero, A., Torres-Acosta, F., Cámara-Sarmiento, R. & Sandoval-Castro, C. A. (2011). El control de los nematodos gastrointestinales en caprinos: ¿dónde estamos? *Bioagrociencias*, 4(2), 1-16.
- Alaro, T., Dulo, F., Wodajo, W. & Mathewos, L. (2023). Anthelmintic resistance of gastrointestinal nematodes of communally-grazing goats in Humbo District, Southern Ethiopia, *Veterinary Medicine. Research and Reports*, 14, 185-194. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S434584>.
- Alcalá, C. Y., Álvarez, M. J. A., Cruz, V. C., Escutia, S. I., Figueroa, M. J., Liébano, H. E., López, A. M., Neri, O. S., Ramírez, V. G., Rojas, M. C. & Vega, M. C. (2019). Técnicas para el

- diagnóstico de parásitos con importancia en salud pública y veterinaria. Cultivo y mantenimiento de parásitos vivos. Editor. AMPAVE-CONASA. México, D.F.
- Álvarez, C. V., Hernández, J. & Wing, C. R. (2007). Eficacia de aserrines para inhibir el desarrollo *in vitro* de larvas de parásitos gastrointestinales de ovinos. *Agronomía Costarricense*, 31(1), 71-75. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43631108.pdf>.
- Arcila, G. J. L. & Benavides, M. J. A. (2002). Toma de muestras y técnicas de diagnóstico parasitológico en materia fecal. *ICA Informa*, 1, 51-54. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18172>.
- Balic, A., Bowles, V. M. & Meeusen, E. N. (2000). The immunobiology of gastrointestinal nematode infections in ruminants. *Advance in Parasitology*, 45(181-241) [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(00\)45005-0](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(00)45005-0).
- Benavides, O. E. (2012). Enseñanza de la parasitología veterinaria a partir del uso de organismos vivos y tecnologías de la información y de la comunicación (TIC). *Revista Medicina Veterinaria*, 23 (97-10). <https://doi.org/10.19052/mv.78>.
- Benavides, O. E. V. (2013). Técnicas para el diagnóstico de endoparásitos de importancia veterinaria. *Veterinaria y Zootecnia*, 11, Colombia, Universidad de la Salle, 180 p. <https://doi.org/10.19052/9789585136366>.
- Campos-López, N., Zaragoza-Vera, C. V., Arjona-Jiménez, G., Zaragoza-Vera, M., González-Garduño, R., Chan-Escalante, R. A., Cámara-Sarmiento, R. & Aguilar-Caballero, A. J. (2017). *Efecto del tamaño de camada sobre la carga parasitaria gastrointestinal durante la lactancia en ovejas Pelibuey. Avances de la investigación sobre producción de ovinos de pelo en México* (1ª ed). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Instituto Tecnológico de la Zona Maya e Instituto Tecnológico de Chiná. 232 p.
- Cerutti, J. (2017). Técnica de inmunofluorescencia para identificación de huevos del género *Haemonchus* en ovinos. Universidad Nacional de la Plata. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/111934>.
- Chuchuca, C. A. M. (2019). Prevalencia de parasitosis intestinal en el ganado bovino mediante el análisis coprológico cuantitativo. Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17638>.
- Córdova, G. N. L., León, L. E. Q., Almeyda, M. E. D., Sánchez, E. V. & Bravo, G. A. C. (2021). Gastrointestinal parasites in cattle in from peasant communities of Santa Cruz, Cajamarca-Perú. *Brazilian Journal of Development*, 7(8), 77250-63. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-102>.
- Dey, A. R., Begum, N., Anisuzzaman, Alim, M. A. & Alam, M. Z. (2020). Multiple anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes of small ruminants in Bangladesh. *Parasitology International*, 77, 102105. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2020.102105>.
- Dias, L. F., Lopes, A. R. C., Costa, S. L. P., Magri, F. C., Ribeiro, B. F. & Victor, J. A. (2018). Coadministration of nematophagous fungi for biological control over nematodes in bovine in the South-Eastern Brazil. *BioMed Research International*, 1(1-6), 2934674 <https://doi.org/10.1155/2018/2934674>.
- Ensuncho, H. C., Castellano, C. A., Maza, Á. L., Bustamante, Y. M. & Vergara, G. O. (2014). Prevalencia y grado de infección de nematodos gastrointestinales en ovinos de pelo en pastoreo de cuatro municipios de Córdoba, Colombia. *Revista Científica*, 8(5). pp. 414-420. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95932260005.pdf>.
- Fiel, C. A., Steffan, P. E. & Ferreyra, D. A. (2011). *Diagnóstico de las parasitosis más frecuentes de los rumiantes: técnicas de diagnóstico e interpretación de resultados*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina. 131 p.
- Figuroa-Antonio, A., Pineda-Rodríguez, S.A., Godínez-Jaime, F., Vargas-Álvarez, D. & Rodríguez-Bataz, E. (2018). Parásitos gastrointestinales de ganado bovino y caprino en Quechultenango, Guerrero, México. *Agroproductividad*, 11(6), 97-104. <https://revista-agroproductividad.org/>

- index.php/agroproductividad/article/view/438/318.
- Fox, M. T. (1997). Pathophysiology of infection with gastrointestinal nematodes in domestic ruminants: recent developments. *Veterinary parasitology*, 72(3-4), 285-308. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00102-7).
- García, A. C. A. (2019). *Actividad antihelmíntica in vitro e in vivo de extractos de planta silvestre y raíces pilosas de Waltheria americana Linn.* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/1812>.
- Guerrero, L., Rossini, M., Bethencourt, A., Colmenares, O., Rueda de Arvelo, E., & Ríos de Álvarez, L. (2017). Efecto de la suplementación con semilla de *Canavalia ensiformis* sobre parásitos gastrointestinales y comportamiento productivo de corderas Wesest African. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 58(1), 24-33.
- Hernández Barral, Á. (2011). *Estudio de la respuesta inmune frente a Haemonchus contortus en dos razas ovinas canarias.* [Tesis doctoral]. <http://hdl.handle.net/10553/6295>.
- Hernández, A. D., Kantner, B., Santos, E., Major, S., Carr, R. & Li, Y. (2023). The number of *Oesophagostomum* spp. larvae recovered in coprocultures varies with media used. *Journal of Helminthology*, 97. <https://doi.org/10.1017/S0022149X23000391>.
- Lascano, G. C. P. (2009). Taninos condensados y su efecto sobre los parásitos gastrointestinales de ovinos. Universidad de la Salle, Bogotá. Colombia. https://ciencia.lasalle.edu.co/medicina_veterinaria/322.
- Leandro-Picado, A. M., Calderón-Sancho, A. & Alfaro-Mora, R. (2020). Evaluación del tiempo en la recuperación de larvas de nematodos a partir de un coprocultivo. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 12(1), 744. <https://doi.org/10.24188/recia.v12.n1.2020.744>.
- López, M. Y. (2009). *Identificación de nematodos gastrointestinales de bovinos cebú a inicios de época lluviosa en la EEAS – UNCP 2008.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Centro de Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1920>.
- Marie-Magdeleine, C., Hoste, H., Mahieu, M., Varo, H. & Archimede, H. (2009). In vitro effects of *Cucurbita moschata* seed extracts on *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 161(1-2), 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.12.008>.
- Maristela, P. E., Spacagna, J. R. & de Campos, N. A. H. (2017). Manual veterinario de toma y envío de muestras: manual técnico. Cooperación técnica MAPA/OPS/PANAFTOSA para el fortalecimiento de los programas de salud animal de Brasil. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/34527>.
- Márquez, L. D. (2014). Control sostenible de los nematodos gastrointestinales en rumiantes. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12620>.
- Martínez-Martínez, R., de Jesús Pérez-Bautista, J., Hernández-Mogica, M., Lemus, M. T. G., Hernández, I. D. J. A. & Pedroza, S. I. M. (2021). Identificación y conteo de parásitos gastrointestinales en ovinos Dorper en Atlapexco, Hidalgo, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2873>.
- Maurizio, A., Marchiori, E., Tessarin, C. & Cassini, R. (2023). Comparing pooled and individual samples for estimation of gastrointestinal strongyles burden and treatment efficacy in small ruminants. *Veterinary Parasitology*, 318, 109935. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.109935>.
- Maza, L. J. (2018). *Caracterización bioquímica parcial y funcional de las proteínas de secreción de 70 kDa derivadas de larvas L4 del nematodo Haemonchus placei.* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos].
- Méndez, S. M. (2019). Análisis hematológicos y parasitológicos en pequeños rumiantes. Universidad Nacional, Costa Rica. <http://hdl.handle.net/11056/17663>.

- Montoya, F. N., Bengoa, V. E. P. & Pinillos, D. M. B. (2005). Evaluación de técnicas para la conservación y cultivo de parásitos gastrointestinales en primates de vida silvestre. *Revista de Medicina Veterinaria*, 9, 47-57.
- Munguía-Xóchihua, J., Reyna-Granados, J., Leyva-Corona, J. & Morales-Pablos, M. (2023). Tolerancia de muestras de heces fecales a diferentes tiempos de refrigeración para la recuperación de larvas infectantes de *Haemochus contortus* en bioensayos coproparasitológicos con ovinos. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 19(2), 36-41.
- Ojeda-Robertos, N. F., Torres-Acosta, J. F., Mendoza-de Gives, P., Gonzalez-Garduño, R., Valero-Coss, R. O., Liébano-Hernández, E. & Ayala-Burgos, A. (2015). Optimizing the use of *Duddingtonia flagrans* chlamydospores against *Haemonchus contortus* in feces of sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(3). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2115>.
- Olazarán, J. S., Arellano, M. E., López, I., De Gives, P. & Juárez, A. (2019). Evaluación de la resistencia antihelmíntica de nematodos gastrointestinales a bencimidazol en ovinos en el estado de Puebla. *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria*, 343.
- Olivares, S. M. I. (2023). Notas y apuntes: material, toma y envío de muestras biológicas para diagnóstico de laboratorio veterinario. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Orozco, M., Álvarez, V., Jiménez, A. & Acuña, Ó. (2009). Evaluación *in vitro* de hongos nematófagos para el control biológico de nematodos gastrointestinales de rumiantes. *Revista MVZ Córdoba*, 14(3), 1820-1830.
- Ortiz, M. C. M., de Jesús, T. A. J. F., Ojeda, R. N. F., González, R. L. & Muñoz, M. S. A. (2022). Manejo integrado de parásitos en pequeños rumiantes. *Bioagrociencias*, 15(2).
- Pedrozo-Prieto, R., Britos-Moreno, B., Chirife-Cardozo, C. & Sandoval-Candia, C. (2015). Efecto del uso de moxidectina sobre la carga parasitaria y eritrograma de corderos en tres establecimientos ubicados en el distrito de Hernandarias, Paraguay. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 5(1), 36-42. <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2015.05.01.36-42>.
- Pimentel, B. S. (2020). *Puesta a punto y validación de metodologías basadas en ADN para diagnóstico de nematodos gastrointestinales de ovinos, en Uruguay*. [Tesis de maestría, Universidad de la República Uruguay]. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/27248>.
- Preliasco, F. A. (2017). *Estudio in vitro del efecto de Baccharis trimera sobre Haemonchus contortus*. [Tesis Doctoral, Universidad de la República de Uruguay]. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/25025>.
- Puicón, V., López-Flores, A., Fabian-Dominguez, F. & Sánchez-Cárdenas, H. (2022). Prevalencia coprológica de parásitos intestinales en humanos y porcinos de crianza de traspatio del distrito de Zapatero, San Martín. *Revista de Veterinaria y Zootecnia Amazónica*, 1(1), 4-14. <https://doi.org/10.51252/revza.v1i1.127>.
- Rajpoot, J., Shukla, S., Jatav, G. P., Garg, U. K. & Agrawal, V. (2017). Coproculture study of strongyle infection of goats from Malwa region of Madhya Pradesh. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(5), 876-878.
- Ramírez, A. M., Saldaña-Pérez, L., Arrellano-Rocha, R. E., Chagoya-Sánchez, M., Chávez, A. J. G. & Angel-Sahagún, C. A. (2022). Prevalencia de parásitos gastrointestinales en pequeños rumiantes. *Jóvenes en la Ciencia*, 16, 1-3.
- Ray, G. H. & Mansfield, L. S. (1995). Characterization of excretory-secretory products from larval stages of *Haemonchus contortus* cultured *in vitro*. *Veterinary Parasitology*, 62, 291-305. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(95\)00871-3](https://doi.org/10.1016/0304-4017(95)00871-3).
- Reyes-Guerrero, David., Olmedo-Juárez, A. & Mendoza-de Gives, P. (2021). Control y prevención de nematodosis en pequeños rumiantes: antecedentes, retos y perspectivas en México. *Revista*

- Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 186-204. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5840>.
- Robles, C. A., Uzal, F. A. & Olaechea, F. V. (2011). Guía de muestreo para el diagnóstico de enfermedades en ovinos y caprinos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Pp. 33
- Rodríguez-Molano, C. E., Pulido-Suárez, N. J. & Rodríguez-Montaña, A. (2018). Evaluación de tres extractos de plantas para inhibir el desarrollo de larvas de los parásitos gastrointestinales de los ovinos. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 23(3).
- Sánchez-Salgado, S. F., Castañeda-Ramírez, G. S., Sánchez, J. E. & Aguilar-Marcelino, L. (2021). Actividad nematicida *in vitro* de tres cepas de hongos comestibles de *Pleurotus* spp. contra *Haemonchus contortus* (L3) y *Nacobbus aberrans* (J2). *Ibciencias*, 4(1).
- Sargison, N. D., Redman, E., Morrison, A. A., Bartley, D. J., Jackson, F., Naghra, G., Holroyd, N., Berriman, M., Cotton, J. A. & Gilleard, J. S. (2018). A method for single pair mating in an obligate parasitic nematode. *International Journal for Parasitology*, 48(2), 159-165. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2017.08.010>.
- Scott, H., Gilleard, JS, Jelinski, M., Barkema, HW, Redman, EM, Avramenko, RW, ... & Uehlinger, FD (2019). Prevalence, fecal egg counts, and species identification of gastrointestinal nematodes in replacement dairy heifers in Canada. *Journal of Dairy Science* 102(9). <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16115>.
- Soca, M., Roque, E. & Soca, M. (2005). Epizootiología de los nematodos gastrointestinales de los bovinos jóvenes. *Pastos y forrajes*, 28(3). <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269121675001.pdf>.
- Soca, M., Simoón, L. & Roque, E. (2007). Árboles y nematodos gastrointestinales en bovinos jóvenes: Un nuevo enfoque de las investigaciones. *Pastos y Forrajes*, 30(5), 21-33. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269120998002>.
- Szewc, M., De Waal, T. & Zintl, A. (2021). Biological methods for the control of gastrointestinal nematodes. *The Veterinary Journal*, 268, 105602. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105602>.
- Zajac, A. M., & Garza, J. (2020). Biology, epidemiology, and control of gastrointestinal nematodes of small ruminants. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(1), 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.12.005>.
- Zaragoza-Vera, C. V., González-Garduño, R., Medina-Reynés, J. U., Berumen-Alatorre, A. C., Arjona-Jiménez, G., Zaragoza-Vera, M. & Aguilar-Caballero, A. J. (2017). Resistencia fenotípica de ovinos Blackbelly, Pelibuey y Katahdin contra nematodos gastrointestinales en el trópico húmedo de México. *Avances de la investigación sobre producción de ovinos de pelo en México*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Instituto Tecnológico de la Zona Maya e Instituto Tecnológico de Chiná. 232 p.



La apicultura y el control químico de la mosca mexicana de la fruta dentro del enfoque en una sola salud: el caso del estado de Tamaulipas, México

Beekeeping and the chemical control of the Mexican fruit fly within the one health approach: the case of the state of Tamaulipas, Mexico

Venancio Vanoye-Eligio¹, Madai Rosas-Mejía¹, María de la Luz Vázquez-Sauceda^{1*}, Francisco Reyes-Zepeda¹, Zeferino Blanco-Martínez¹

RESUMEN

La apicultura y el control químico de la mosca mexicana de la fruta, *Anastrepha ludens* Loew, son actividades paralelas en áreas cítricas que pueden ser abordadas desde la perspectiva de una sola salud. El estado de Tamaulipas es una de las entidades con mayor producción de cítricos en México, destacándose la presencia de *A. ludens*. El control químico de esta plaga se basa en el uso de malatión, un organofosforado que puede tener efectos en colonias de polinizadores como *Apis mellifera* L. Esta revisión pretende poner en el contexto de una sola salud la actividad apícola en la zona cítrica de Tamaulipas respecto a la aplicación del malatión como medida de control de *A. ludens*. Se proveen datos de la apicultura y citricultura contemplando la perspectiva de una sola salud. Se abordan aspectos del control químico de *A. ludens* y su potencial efecto sobre la actividad apícola. Se requiere investigación básica y aplicada que ofrezca información integral de la región para la construcción de políticas públicas de apoyo a la apicultura en Tamaulipas y cuidado al medio ambiente.

Palabras clave: *Anastrepha ludens*, *Apis mellifera*, cítricos, malatión.

ABSTRACT

Beekeeping and control of the Mexican fruit fly, *Anastrepha ludens* Loew, are two activities in citrus areas that can be approached from one health perspective. The state of Tamaulipas is one of the entities with the highest citrus production in Mexico, highlighting the presence of *A. ludens*. The chemical control of this pest is based on the use of malathion, an organophosphate that can have effects on pollinator colonies of *Apis mellifera* L. This review aims to put the beekeeping activity in the citrus area of Tamaulipas in the context of one health approach concerning the application of malathion as a control measure for *A. ludens*. Data on beekeeping and citrus farming are provided from a one-health perspective. Aspects of the chemical control of *A. ludens* and its potential effect on beekeeping activity are addressed. It requires basic and applied research that offers comprehensive information on the region for constructing public policies to support beekeeping in Tamaulipas and environmental care.

Keywords: *Anastrepha ludens*, *Apis mellifera*, citrus, malathion.

Autor para correspondencia: mvazquez@docentes.uat.edu.mx

Fecha de recepción: 3 de junio de 2024

Fecha de aceptación: 17 de julio de 2024

Fecha de publicación: 8 de agosto de 2024

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

INTRODUCCIÓN

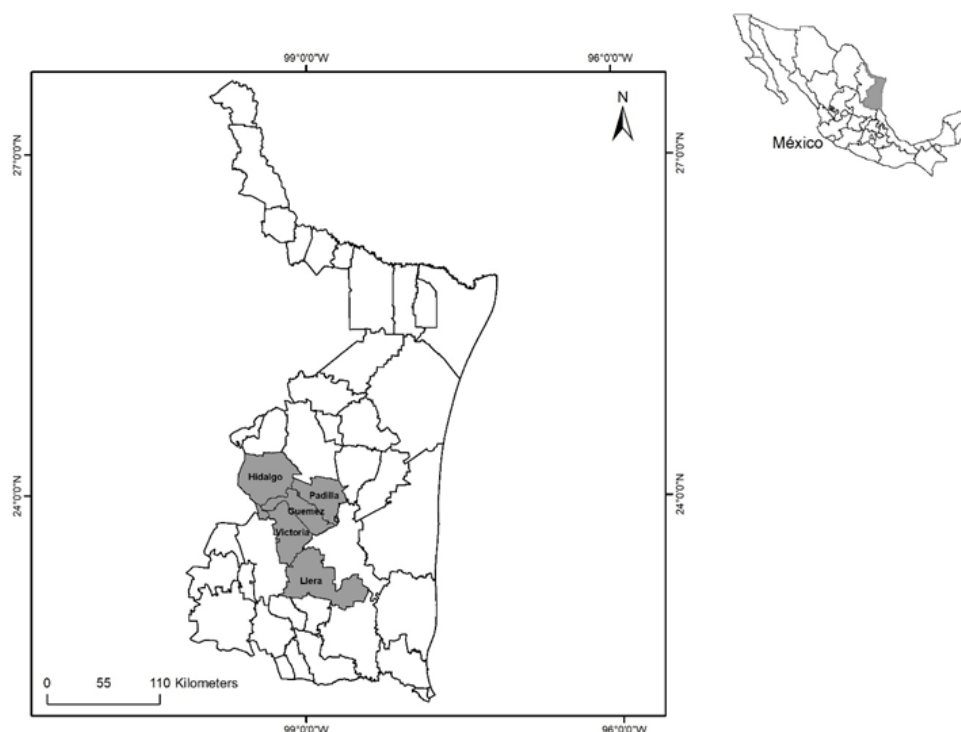
La intervención antrópica en los ecosistemas terrestres y su impacto en las colonias de *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) y otras especies de polinizadores genera una constante preocupación sobre el futuro de la apicultura y su sostenibilidad a largo plazo (Ollerton et al., 2011; SADER et al., 2021). Los agroecosistemas son una fuente de alimento y recursos florales para las especies manejadas, ferales o silvestres de polinizadores (St. Clair et al., 2022). Estos ambientes representan hábitats donde subyace un efecto negativo sobre estas comunidades debido, por lo general, a la aplicación de insecticidas. Los pesticidas son considerados uno de los causantes del decline de polinizadores en todas las regiones del mundo, con especial énfasis en Latinoamérica (Benuszak et al., 2017; Dicks et al., 2021). Otros factores reconocidos en el fenómeno del colapso de colmenas son las atribuidas a la sanidad apícola tales como la varroasis causada por el ácaro *Varroa destructor* Anderson y Trueman (Acari: Varroidae) o el pequeño escarabajo de la colmena (PEC) *Aethina tumida* Murray (Coleoptera: Nitidulidae) (Baena-Díaz et al., 2022; Roth et al., 2020).

La producción de miel en el mundo representa un medio de vida para muchas comunidades rurales y para apicultores a pequeña escala (FAO et al., 2021). De acuerdo con la División Estadística de la FAO (FAO, 2024), México está entre los 10 países productores de miel con alrededor de 62 mil toneladas al año. La actividad apícola en el estado de Tamaulipas está basada en *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) y representa la producción de casi 800 toneladas de miel con un valor estimado de la de 37.5 millones de pesos (González-Rodríguez et al., 2010; SIAP, 2022). La obtención de miel en la región se puede caracterizar básicamente por su origen botánico ya sea de multiflora (especies vegetales diferentes), mezquite (*Prosopis* spp.) o de azahar que es proveniente de la flor de cítricos (*Citrus* spp.) (González-Suárez et al., 2020).

La zona cítrica ubicada en el centro y sur de Tamaulipas comprende cerca de 46,000 ha distribuidas en los municipios de Hidalgo, Padilla, Güemez, Victoria y Llera (Figura 1) con una producción aproximada a las 900 mil toneladas anuales con una derrama económica de alrededor de los 5,000 millones de pesos. La principal variedad cultivada es la naranja Valencia (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) que se cosecha durante el periodo de febrero a junio en el noreste de México (Padrón-Chávez & Rocha-Peña, 2009; SIAP, 2021; Vanoye-Eligio et al., 2015). Como tal, las áreas cítricas en la temporada de floración son zonas de relevancia para el sector apícola en la colecta del néctar de la flor de cítricos y la producción de la miel de azahar. Se destaca el municipio de Llera como el principal productor de miel en el estado dentro de la región cítrica (SIAP, 2022).

La mosca mexicana de la fruta (MMF), *Anastrepha ludens* Loew (Diptera: Tephritidae), es una de las principales plagas de cítricos dulces de importancia cuarentenaria en México (Aluja, 1993). En Tamaulipas, a través de la Campaña Nacional contra Moscas Nativas de la Fruta (CNMNF) se aplican medidas de control de poblaciones de adultos en la temporada de disponibilidad de fruta a escala local o regional (NOM-023-FITO-1995). Estas acciones generalmente involucran el uso de organofosforados como el malatión en combinación con proteínas hidrolizadas como componentes alimenticios de atracción (SADER/SENASICA, 2019). Sin embargo, el uso de malatión para el control de plagas puede tener un impacto negativo en *A. mellifera* y otros organismos benéficos (Gary & Mussen, 1984; Michaud, 2003; Pankiw & Jay, 1992).

La convergencia entre la actividad apícola en temporada de la floración de cítricos, el uso de agroquímicos para el control de la MMF en la principal etapa de producción, el rol de *A. mellifera*



■ Figura 1. Ubicación geográfica de los principales municipios citrícolas en el estado de Tamaulipas, México.

en la producción de alimentos y el mantenimiento de los ecosistemas genera una compleja dinámica que incluye los principales componentes del enfoque de una sola salud: salud humana, salud animal y salud ambiental. Esta revisión tuvo como objetivo analizar las aplicaciones del concepto de una sola salud sobre la actividad apícola y el manejo agronómico de la MMF, así como sugerir líneas de investigación o acción que contribuyan a los tres ejes de una sola salud.

DESARROLLO DEL TEMA

La apicultura y una sola salud

El concepto de una sola salud (OH, por sus siglas en inglés) básicamente era referido a enfermedades zoonóticas y su relación con la salud humana (Zinsstag et al., 2011). Sin embargo, el reconocimiento de las interacciones con el ecosistema ha permitido expandir esta perspectiva hacia otras temáticas tales como el vínculo con el medio ambiente, pérdida de biodiversidad, cambio climático, sustentabilidad, contaminación, entre otros (Pettan-Brewer et al., 2024; Procopio et al., 2024). De acuerdo con un panel de expertos, OH puede ser definida como un *enfoque integrado y unificador que tiene como objetivo equilibrar y optimizar de manera sostenible la salud de las personas, los animales y los ecosistemas* (FAO/OIE/WHO/UNDEP, 2021). Incluso, bajo esta visión holística, se ha propuesto que la sanidad o salud vegetal también sea un elemento estructural de la filosofía de OH y no una forma compartimentada en la triada (Falkenberg et al., 2022).

La apicultura y *A. mellifera* como uno de los principales polinizadores, pueden ser enmarcadas dentro del modelo de OH dado el vínculo entre este sector productivo y el papel de la abeja en el contexto ambiental-ecológico, de salud animal y pública. Así mismo, la apicultura como actividad económica es un esquema que evoluciona constantemente hacia una actividad sustentable y de

buenas prácticas que están alineadas con la visión de OH (de Jongh et al., 2022; FAO et al., 2021). De acuerdo con Baena-Díaz et al. (2022), existe una tendencia positiva del número de colmenas en varios estados de la República Mexicana, o al menos, estos indicadores se han mantenido estables. Lo anterior sugiere que una de las principales líneas de acción que exigen una visión inter y transdisciplinaria es la protección de polinizadores tales como *A. mellifera* y otras especies silvestres ante fenómenos globales como lo es la pérdida de la biodiversidad y el cambio climático (Dicks et al., 2021; Ollerton et al., 2011; SADER et al., 2021).

El uso de agroquímicos para el control de plagas o enfermedades en los agroecosistemas contribuyen a la disminución o contaminación de especies domesticadas (Benuszak et al., 2017; Calatayud-Vernich et al., 2016) y los productos derivados de la miel. Lo anterior tiene importantes implicaciones prácticas en los escenarios de OH, por ejemplo; el campo de la inocuidad agroalimentaria y exposición a insecticidas vinculados con la salud pública; el potencial impacto negativo a colonias de *A. mellifera* como el componente de la salud animal, y como el factor ambiental-ecológico, las posibles afectaciones de las redes tróficas y funcionales del sistema agroecológico debido a los efectos disruptivos que pueden tener los pesticidas de amplio espectro.

Basado en el modelo de OH, el manejo apícola se ha abordado desde diferentes perspectivas que van desde estudios moleculares, ambientales, microbianos hasta la participación de los productores y el diseño de políticas públicas (de Jongh et al., 2022; Donkersley et al., 2020; Wilfert et al., 2021). Sin embargo, los elementos que intervienen en la dinámica apícola pueden variar de acuerdo con las regiones, sus características y necesidades, sugiriendo un enfoque de OH adaptado a tales requerimientos. En este sentido, la multidimensionalidad inherente de las distintas problemáticas y el uso de pesticidas requiere un esquema de trabajo que promueva la integración de diversas disciplinas científicas y de ciencia ciudadana, es decir la participación del público en la generación de conocimiento basado en observaciones o experiencia. Esto con el propósito de ofrecer alternativas o soluciones favorables e incluyentes que contribuyan a cada uno de los ejes de una sola salud.

La información del sector apícola en Tamaulipas es escasa y variable. Los datos del periodo del 2013 al 2022 respecto el número de colmenas, muestran un crecimiento de cerca del 35%, es decir de 17, 644 registradas en 2013 a 26,750 en 2022, este último dato se considera como preliminar (SIAP, 2023). Sin embargo, las condiciones ambientales en el noreste de México están caracterizadas por las altas temperaturas y condiciones de sequía en estos últimos años pueden conducir a afectaciones en el número de colmenas y la consecuente reducción de productores apícolas por la baja producción de miel (Balvino-Olvera et al., 2023; Gajardo-Rojas et al., 2022; SMN, 2024). Este fenómeno en combinación con otros factores bióticos como la varroasis y el PEC en el estado, colocan a la apicultura como un punto de partida para trabajos de investigación inter y transdisciplinarios que pueden abordarse con el enfoque de OH.

Control químico de la MMF

Por lo general, el control químico contra *A. ludens* en México está basado en el uso de malatión, un insecticida organofosforado recomendado para el combate de especies plaga de moscas de la fruta del género *Anastrepha* (García-Rojas et al., 2023; Loera-Gallardo et al., 2012). El objetivo de este método de control es reducir las poblaciones de adultos de esta plaga en los agroecosistemas cítricos para evitar la infestación por larvas en la fruta madura y poder lograr su comercialización en fresco a mercados nacionales e internacionales. Las aspersiones terrestres son el uso más común, en donde es necesario que el malatión se mezcle con una proteína hidrolizada y agua. La

proteína tiene la función de atrayente alimenticio para las moscas adultas. La mezcla se aplica con equipo manual o automático en forma de pequeñas gotas (0.7 - 6 mm de diámetro) en las hojas de los árboles en producción para atraer a las poblaciones de la plaga (FAO/IAEA, 2023; SADER/SENASICA, 2019). El principio del método es básico: atraer al insecto al cebo alimenticio para que lo ingiera y se intoxique.

El uso de malatión forma parte de una estrategia integral a escala regional conocida como Manejo Integrado de Plagas en Áreas Amplias (AW-IPM, por sus siglas en inglés) y que involucra una serie de medidas fitosanitarias estructuradas y sistematizadas como la liberación de insecto estéril, el control biológico, trampeo, muestreo de frutos, entre otros (Enkerlin et al., 2017; Hendrichs et al., 2007). Este enfoque de trabajo se puede parecer al principio de OH dada por la integración de diversas metodologías de trabajo y la cooperación interdisciplinaria. Sin embargo, los componentes estructurales del manejo de áreas amplias, al menos en México, están prácticamente orientados al control, supresión o erradicación de poblaciones plaga de tefritidos en áreas geográficas determinadas del territorio nacional. Como ejemplo, están los programas fitosanitarios del gobierno federal en el periodo 2021-2023 en Tamaulipas, que incluyen actividades técnicamente encaminadas hacia el control, supresión, erradicación o monitoreo de poblaciones de *A. ludens* en las áreas citrícolas y otras zonas del estado (SADER/SENASICA, 2021, 2022, 2023).

El efecto del malatión sobre las colonias de *A. mellifera* ha sido documentado en diferentes campos científicos, incluso su uso práctico en el enfoque de AW-IPM para el control de plagas de moscas de la fruta (Cabrera-Marín et al., 2016; Christen & Fent, 2017; Edwards et al., 2007; Pankiw & Jay, 1992; Yee & Phillips, 2004). Quizá el estudio más directo a nivel de campo es el de Gary y Mussen (1984) quienes reportan un efecto negativo, particularmente una significativa mortalidad sobre las colonias de *A. mellifera* debido a aspersiones aéreas con la mezcla de malatión y proteína hidrolizada usadas contra poblaciones de la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae). Sin embargo, Mazor et al. (2003) concluyeron que la toxicidad hacia las colonias de abejas puede estar más ligada a la exposición directa a la mezcla tóxica ya sea por contacto accidental o que estas se alimenten sobre superficies contaminadas, tales como las flores. Igualmente, en este argumento se puede hacer notar que durante las actividades de monitoreo de tefritidos, dentro de las listas de organismos no objetivo capturados, la presencia de *A. mellifera* fue mínima (Thomas, 2003; Thomas & Mangan, 2005). Esto último se debió a que las trampas de monitoreo al igual que la mezcla tóxica contienen atrayentes alimenticios que aparentemente tienen poca o nula atracción para *A. mellifera*.

La aplicación del malatión en las acciones de control de *A. ludens* tiene implicaciones a diferentes niveles de la triada en OH. Su amplio uso no solo contra la MMF sino para otras plagas fitosanitarias o problemas de salud pública como el control de *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae), el vector del dengue (Procopio et al., 2024), plantean una agenda que requiere un análisis multifactorial y la intervención estratégica de políticas públicas y organizaciones de productores, así como de diferentes disciplinas científicas. Ciertamente, la búsqueda de alternativas al malatión para el control de la MMF ha dado resultados como el desarrollo de atrayentes más específicos como el spinosad (GF-120®) o métodos de trampeo masivo con Cera Trap® o su sustitución por el cebo con el colorante fotoactivo floxina B (Domínguez et al., 2003; Lasa et al., 2014; Thomas & Mangan, 2005). Sin embargo, la utilización del malatión se continúa privilegiando debido principalmente a su disponibilidad comercial, costo, efectividad y al rango de acción sobre varias plagas agrícolas.

Residuos de pesticidas agrícolas en panales y cera de abejas melíferas

Las abejas melíferas son insectos con alta probabilidad de exposición a pesticidas por la cercanía de las colmenas en campos de cultivo donde se utilizan altos niveles de agroquímicos (Zhu et al., 2014). Se ha documentado que los agroquímicos pueden afectar la coordinación y comunicación en la colonia de abejas y esto contribuye a la reducción en la polinización y producción de miel (Weick & Thorn, 2002). Además, los residuos de pesticidas en la miel y la cera implican una vía de exposición para los humanos (Chauzat et al., 2009). En México, se han reportado muertes de colonias de abejas debido al uso de pesticidas (Valdovinos-Flores et al., 2017). Sin embargo, se requieren más estudios sobre residuos de pesticidas en productos como miel, cera de abejas, polen, propóleo y jalea real. Por ejemplo, en el noreste de México se ha documentado niveles de dimetoato, tiabendazol, carbendazim y malatión en muestras de miel que exceden los límites de cuantificación (Valdovinos-Flores et al., 2017). El malatión es un probable carcinógeno para los seres humanos (Guyton et al., 2015). Aunque es un pesticida de baja persistencia, es altamente tóxico para las abejas (EPA, 2009). La cantidad de residuo de plaguicida que se ha reportado en el noreste de México se puede explicar por el uso intensivo de agroquímicos para proteger cultivos como maíz, sorgo, girasol, cebolla y cítricos (naranja, limón, mandarina, mandarina y pomelo) (Tamaulipas, 2016). Debido a lo anterior, es importante analizar en abejas melíferas el efecto de las aplicaciones de malatión para el control de la MMF con el objetivo de mitigar daños en estos polinizadores, el medio ambiente y la salud humana.

Áreas citrícolas

La citricultura en Tamaulipas está conformada por alrededor de 5,200 productores y aproximadamente el 60% pertenece al sector social o ejidal (SADER/SENASICA, 2023; SAGARPA, 2013). Esta actividad está caracterizada por el cultivo de diferentes variedades citrícolas, destaca la naranja Valencia con la mayor superficie plantada, alrededor de 34,000 ha, seguida por el limón de la variedad italiano (*Citrus limon* (L.) Burm.) con 8,500 ha, la toronja (*Citrus paradisi* Macfad.) con 2,600 ha y la mandarina (*Citrus reticulata* Blanco) con 850 ha (SIAP, 2021). La época de floración de la naranja Valencia ocurre durante los primeros meses del año, particularmente entre febrero y marzo, marca el periodo de la polinización siendo *A. mellifera* uno de los principales polinizadores reconocidos (Grajales-Conesa et al., 2013). Lo anterior conlleva a un traslape entre la época de floración de la naranja Valencia en Tamaulipas y la aplicación del cebo tóxico para la protección de la producción ante la presencia de poblaciones de *A. ludens* en los primeros meses del año. Cabe mencionar que el principal pico poblacional de esta plaga ocurre entre los meses de febrero y abril cuando existe una alta disponibilidad del hospedero comercial, es el caso de la naranja Valencia (Vanoye-Eligio et al., 2015). Este nivel poblacional del tefrítido puede implicar la aplicación del cebo tóxico sobre mayor superficie, y, en consecuencia, un mayor riesgo para las poblaciones o colonias de polinizadores asociados al cultivo en dicha temporada.

Las áreas citrícolas del centro del estado de Tamaulipas forman zonas compactas continuas de varios miles de hectáreas. Destacándose la región Padilla con un mosaico citrícola de alrededor de 15,000 ha que pertenecen a los municipios de Hidalgo, Padilla y Güemez (SAGARPA, 2013; Vanoye-Eligio et al., 2017). Esta conformación espacial ofrece ventajas desde el punto de vista geográfico y estratégico dada la extensa superficie y la escala de trabajo para diferentes actividades en la apicultura y el control de plagas. De igual manera, sugiere la utilización de herramientas geoinformáticas, particularmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos softwares involucran la construcción de bases de datos georreferenciadas y su análisis espacial para la extracción de nueva información y la identificación de relaciones entre entidades geográficas. La incorporación de esta herramienta en el manejo de colmenas y su dinámica estacional teniendo en

cuenta a las grandes extensiones de las plantaciones de cítricos, propone mecanismos que pueden optimizar y planificar esta actividad en la región (Kotovs & Zacepins, 2023).

CONCLUSIONES

La apicultura y el control químico de la MMF son actividades que se realizan paralelamente en las zonas citrícolas de Tamaulipas durante la principal etapa de producción citrícola del estado. Por lo tanto, es necesario plantear acciones estratégicas ya sea operativas o de investigación bajo contextos integrativos que suministren más información sobre el uso de cebos tóxicos para el control de la MMF y los efectos sobre los polinizadores con énfasis en *A. mellifera*, así como sus implicaciones en salud pública y ambiental. Bajo el enfoque de OH, se pueden plantear diferentes perspectivas básicas de investigación que van desde los estudios de laboratorio y a nivel de campo del efecto de la mezcla tóxica a base de malatión con respecto a *A. mellifera* y otras especies de polinizadores, hasta estudios basados en ecología y conservación de polinizadores en áreas citrícolas, contaminación ambiental por organofosforados, uso de SIG y sus aplicaciones en la optimización y planeación estratégica de la dinámica espaciotemporal de colmenas, entre otros. Tales temáticas pueden involucrar los ejes de OH y ofrecer resultados con aplicación práctica junto a la generación de conocimiento de utilidad para los apicultores, así como de referencia para la implementación de políticas públicas que apoyen la actividad apícola en Tamaulipas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas el apoyo para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Aluja, M. (1993). *Manejo Integrado de Moscas de la Fruta*. Editorial Trillas.
- Baena-Díaz, F., Chévez, E., Ruiz de la Merced, F., & Porter-Bolland, L. (2022). *Apis mellifera* en México: producción de miel, flora melífera y aspectos de polinización. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(2), 525-548. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/5960>
- Balvino-Olvera, F. J., Lobo, J. A., Aguilar-Aguilar, M. J., Ruiz-Guzmán, G., González-Rodríguez, A., Ruiz-Mercado, I., . . . Quesada, M. (2023). Long-term spatiotemporal patterns in the number of colonies and honey production in Mexico. *Scientific Reports*, 13(1), 1017. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25469-8>
- Benuszak, J., Laurent, M., & Chauzat, M.-P. (2017). The exposure of honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae) to pesticides: Room for improvement in research. *Science of The Total Environment*, 587-588, 423-438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.062>
- Cabrera-Marín, N. V., Liedo, P., & Sánchez, D. (2016). The effect of application rate of GF-120 (Spinosad) and malathion on the mortality of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) foragers. *Journal of Economic Entomology*, 109(2), 515-519.
- Calatayud-Vernich, P., Calatayud, F., Simó, E., Suarez-Varela, M. M., & Picó, Y. (2016). Influence of pesticide use in fruit orchards during blooming on honeybee mortality in 4 experimental apiaries. *Science of The Total Environment*, 541, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.131>

- Chauzat, M. P., Faucon, J. P., Martel, A. C., Lachaize, J., Cougoule, N., & Aubert, M. (2006). A survey of pesticide residues in pollen loads collected by honey bees in France. *Journal of economic entomology*, 99(2), 253-262. <https://doi.org/10.1093/jee/99.2.253>
- Christen, V., & Fent, K. (2017). Exposure of honey bees (*Apis mellifera*) to different classes of insecticides exhibit distinct molecular effect patterns at concentrations that mimic environmental contamination. *Environmental Pollution*, 226, 48-59. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.003>
- de Jongh, E. J., Harper, S. L., Yamamoto, S. S., Wright, C. J., Wilkinson, C. W., Ghosh, S., & Otto, S. J. G. (2022). One Health, One Hive: A scoping review of honey bees, climate change, pollutants, and antimicrobial resistance. *PLoS ONE*, 17(2), e0242393.
- Dicks, L. V., Breeze, T. D., Ngo, H. T., Senapathi, D., An, J., Aizen, M. A., . . . Potts, S. G. (2021). A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. *Nature Ecology & Evolution*, 5(10), 1453-1461. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01534-9>
- Domínguez, V. M., Leyva, J. L., Moreno, D. S., Trujillo, F. J., Alatorre, R., & Becerril, A. E. (2003). Toxicidad sobre *Apis mellifera* de cebos empleados en el combate de moscas de la fruta. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*, 69, 66-72.
- Donkersley, P., Elsner-Adams, E., & Maderson, S. (2020). A One-Health model for reversing honeybee (*Apis mellifera* L.) decline. *Veterinary Sciences*, 7(3), 119. <https://www.mdpi.com/2306-7381/7/3/119>
- Edwards, J. W., Lee, S. G., Heath, L. M., & Pisaniello, D. L. (2007). Worker exposure and a risk assessment of malathion and fenthion used in the control of Mediterranean fruit fly in South Australia. *Environmental Research*, 103(1), 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2006.06.001>
- Enkerlin, W. R., Gutiérrez Ruelas, J. M., Pantaleon, R., Soto Litera, C., Villaseñor Cortés, A., Zavala López, J. L., . . . Hendrichs, J. (2017). The Moscamed Regional Programme: review of a success story of area-wide sterile insect technique application. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 164(3), 188-203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/eea.12611>
- EPA. (2009). Revised reregistration eligibility decision (RED) for Malathion; EPA 738-R-06-030. Retrieved 24/05/2024 from <http://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/malathionred-revised.pdf>
- Falkenberg, T., Ekesi, S., & Borgemeister, C. (2022). Integrated Pest Management (IPM) and One Health — a call for action to integrate. *Current Opinion in Insect Science*, 53, 100960. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.100960>
- FAO. (2024). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved 07/04/2024 from <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- FAO, IZSLT, Apimondia, & CAAS. (2021). *Good beekeeping practices for sustainable apiculture FAO Animal Production and Health Guidelines No. 25*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO/IAEA. (2023). *Guideline on phytosanitary procedures for area-wide management of fruit fly pests*. FAO.
- FAO/OIE/WHO/UNEP. (2021). *Joint Tripartite (FAO, OIE, WHO) and UNEP Statement. Tripartite and UNEP support OHHLEP's definition of "One Health"*. World Health Organization. Retrieved 01/04/2024 from <https://www.who.int/news/item/01-12-2021-tripartite-and-unep-support-ohhlep-s-definition-of-one-health>
- Gajardo-Rojas, M., Muñoz, A. A., Barichivich, J., Klock-Barría, K., Gayo, E. M., Fontúrbel, F. E., . . . Veas, C. (2022). Declining honey production and beekeeper adaptation to climate change in Chile. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46(5), 737-756. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/03091333221093757>

- García-Rojas, J. C., Robles-Bermúdez, A., Vega-Frutis, R., Cambero-Campos, O. J., & Peña-Sandoval, G. R. (2023). Caracterización de la susceptibilidad al malatión en la mosca de las indias occidentales. *Southwestern Entomologist*, 48 (1), 257-266. <https://doi.org/10.3958/059.048.0125>
- Gary, N. E., & Mussen, E. C. (1984). Impact of Mediterranean fruit fly malathion bait spray on honey bees. *Environmental Entomology*, 13(3), 711-717. <https://doi.org/10.1093/ee/13.3.711>
- González-Rodríguez, L. E., Mora-Olivo, A., Guerra-Pérez, A., Garza-Torres, H. A., & Fernández de Castro-Martínez, G. (2010). La apicultura en Tamaulipas, una actividad muy dulce y nutritiva. *CienciaUAT*, 4(4), 8-12. <https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/251>
- González-Suárez, M., Mora-Olivo, A., Villanueva-Gutiérrez, R., Lara-Villalón, M., Vanoye-Eligio, V., & Guerra-Pérez, A. (2020). Diversidad de la flora de interés apícola en el estado de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarías*, 11(3), 914-932.
- Grajales-Conesa, J., Meléndez-Ramírez, V., Cruz-López, L., & Sánchez, D. (2013). Native bees in blooming orange (*Citrus sinensis*) and lemon (*C. limon*) orchards in Yucatán, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 29(2), 437-440. <https://doi.org/10.21829/azm.2013.2921124>
- Guyton, K. Z., Loomis, D., Grosse, Y., El Ghissassi, F., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., ... & Straif, K. (2015). Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology*, 16(5), 490-491. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)70134-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70134-8)
- Hendrichs, J., Kenmore, P., Robinson, A. S., & Vreysen, M. J. B. (2007). Area-wide integrated pest management (AW-IPM): principles, practice and prospects. In M. J. B. Vreysen, A. S. Robinson, & J. Hendrichs (Eds.), *Area-Wide control of insect pests: from research to field implementation* (pp. 3-33). Springer.
- Kotovs, D., & Zacepins, A. (2023). GIS-based interactive map to improve scheduling beekeeping activities. *Agriculture*, 13(3), 669. <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/3/669>
- Lasa, R., Toxtega, Y., Herrera, F., Cruz, A., Navarrete, M. A., & Antonio, S. (2014). Inexpensive traps for use in mass trapping *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, 97, 1123-1130.
- Loera-Gallardo, J., Reyes-Sosa, M. A., & López-Arroyo, J. I. (2012). Efficacy of ground-applied ultra low volume malathion plus hydrolized protein against the Mexican fruit fly *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, 95(3), 771-773. <https://doi.org/10.1653/024.095.0330>
- Mazor, M., Gazit, S., Reuven, G., & Efrat, H. (2003). Unattractiveness of three commercial proteinaceous fruit fly baits to honey bees. *Crop Protection*, 22(7), 995-997. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(03\)00089-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00089-9)
- Michaud, J. P. (2003). Toxicity of fruit fly baits to beneficial insects in citrus. *Journal of Insect Science*, 3, 1-9.
- NOM-023-FITO-1995. *Norma Oficial Mexicana NOM-023-FITO-1995 por la que establece la Campaña Nacional Contra Moscas de la Fruta.*
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Padrón-Chávez, J. E., & Rocha-Peña, M. A. (2009). Cultivares y Portainjertos Cítricos. In M. A. R. Peña & J. E. P. Chávez (Eds.), *El Cultivo de los Cítricos en el Estado de Nuevo León. Libro Científico No. 1* (pp. 56-89). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarías. CIRNE. Campo Experimental General Terán.
- Pankiw, T., & Jay, S. C. (1992). Aerially applied ultra-low-volume malathion effects on caged honey bees (Hymenoptera: Apidae), caged mosquitoes (Diptera: Culicidae), and malathion residues. *Journal of Economic Entomology*, 85(3), 687-691. <https://doi.org/10.1093/jee/85.3.687>

- Pettan-Brewer, C., Penn, G., Biondo, A. W., Jaenisch, T., Grützmacher, K., & Kahn, L. H. (2024). Who coined the term “One Health”? Cooperation amid the siloization. *One Health*, *18*, 100678. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2024.100678>
- Procopio, A. C., Colletta, S., Laratta, E., Mellace, M., Tilocca, B., Ceniti, C., . . . Roncada, P. (2024). Integrated One Health strategies in Dengue. *One Health*, *18*, 100684. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2024.100684>
- Roth, M. A., Wilson, J. M., Tignor, K. R., & Gross, A. D. (2020). Biology and management of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies. *Journal of Integrated Pest Management*, *11*(1), 1. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz036>
- SADER, SEMARNAT, SENASICA, CONABIO, & CONANP. (2021). *Diagnóstico. Situación actual de los polinizadores en México*. Gobierno de México.
- SADER/SENASICA. (2019). *Manual Técnico para las Operaciones de Campo para la Campaña Nacional Contra Moscas de la Fruta sección II: Control Químico*. SADER/SENASICA.
- SADER/SENASICA. (2021). *Programa de trabajo integral de los subcomponentes de vigilancia epidemiológica de riesgos fitosanitarios y servicio fitosanitario en apoyo a la producción para el bienestar y prevención, control y erradicación de plagas fitosanitarias en el estado de Tamaulipas, del programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria ejercicio fiscal 2021, con recursos de origen federal*. México: Gobierno de México Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707083/Tamaulipas_authorized.pdf
- SADER/SENASICA. (2022). *Programa de trabajo integral del subcomponente servicio fitosanitario en apoyo a la producción para el bienestar y prevención, control y erradicación de plagas fitosanitarias en el estado de Tamaulipas, del programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria ejercicio fiscal 2022, con recursos de origen federal*. México: Gobierno de México Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/761954/Tamaulipas.pdf>
- SADER/SENASICA. (2023). *Programa de trabajo integral del subcomponente servicio fitosanitario en apoyo a la producción para el bienestar y prevención, control y erradicación de plagas fitosanitarias en el estado de Tamaulipas, del programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria ejercicio fiscal 2023 con recursos de origen federal*. México: Gobierno de México Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/840063/28_Tamaulipas-compressed.pdf
- SAGARPA. (2013). *Padrón de Productores de Cítricos Georeferenciados 2010-2012 Tamaulipas*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/tamaulipas/Documents/padron_citricos%202010-2012.pdf
- SIAP. (2021). *Avance de Siembras y Cosechas Resumen nacional por cultivo*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno de México. Retrieved 15/04/2021 from https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- SIAP. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Ganadera*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno de México. Retrieved 29/03/2024 from https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- SIAP. (2023). *Población Ganadera*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno de México. Retrieved 06/04/2024 from https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/
- SMN. (2024). *Monitor de sequía en México*. Servicio Meteorológico Nacional. Gobierno de México. Retrieved 13/04/2024 from <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- St. Clair, A. L., Zhang, G., Dolezal, A. G., O’Neal, M. E., & Toth, A. L. (2022). Agroecosystem landscape diversity shapes wild bee communities independent of managed honey bee presence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *327*, 107826. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107826>
- Tamaulipas (2016). *Agropecuario*. Municipio de Padilla. Tamaulipas. Retrieved 24/05/2024 from <http://www.padilla.gob.mx/sececonomico/agropecuario.htm>

- Thomas, D. (2003). Nontarget insects captured in fruit fly (Diptera: Tephritidae) surveillance traps. *Journal of Economic Entomology*, 96(6), 1732-1737. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-96.6.1732>
- Thomas, D., & Mangan, R. L. (2005). Nontarget impact of Spinosad GF-120 bait sprays for control of the Mexican fruit Fly (Diptera: Tephritidae) in Texas citrus. *Journal of Economic Entomology*, 98(6), 1950-1956.
- Valdovinos-Flores, C., Alcantar-Rosales, V. M., Gaspar-Ramírez, O., Saldaña-Loza, L. M., & Dorantes-Ugalde, J. A. (2017). Agricultural pesticide residues in honey and wax combs from Southeastern, Central and Northeastern Mexico. *Journal of Apicultural Research*, 56(5), 667-679. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1340798>
- Vanoye-Eligio, V., Barrientos-Lozano, L., Mora-Olivo, A., Sánchez-Ramos, G., & Chacón-Hernández, J. C. (2017). Spatial heterogeneity of *Anastrepha ludens* populations over a large citrus region including a sterile insect release area in northeastern Mexico. *Precision agriculture*, 18(5), 843-858.
- Vanoye-Eligio, V., Pérez-Castañeda, R., Gaona-García, G., Lara-Villalón, M., & Barrientos-Lozano, L. (2015). Fluctuación poblacional de *Anastrepha ludens* en la región de Santa Engracia, Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1077-1091.
- Weick, J., & Thorn, R. S. (2002). Effects of acute sublethal exposure to coumaphos or diazinon on acquisition and discrimination of odor stimuli in the honey bee (Hymenoptera: Apidae). *Journal of economic entomology*, 95(2), 227-236. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.2.227>
- Wilfert, L., Brown, M. J. F., & Doublet, V. (2021). OneHealth implications of infectious diseases of wild and managed bees. *Journal of Invertebrate Pathology*, 186, 107506. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107506>
- Yee, W. L., & Phillips, P. A. (2004). Differential mortality of natural enemies exposed to avocado leaves treated with malathion during a Mediterranean fruit fly eradication program. *Southwestern Entomologist*, 29(3), 175-184.
- Zhu, W., Schmehl, D. R., Mullin, C. A., & Frazier, J. L. (2014). Four common pesticides, their mixtures and a formulation solvent in the hive environment have high oral toxicity to honey bee larvae. *PloS one*, 9(1), e77547. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077547>
- Zinsstag, J., Schelling, E., Waltner-Toews, D., & Tanner, M. (2011). From “one medicine” to “one health” and systemic approaches to health and well-being. *Preventive Veterinary Medicine*, 101(3), 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.07.003>



Hallazgos patológicos de la infección por *Clostridium perfringens* en animales domésticos

Pathology hallmarks of *Clostridium perfringens* infection in domestic animals

Cristina Ibarra-Zazueta¹, Gilberto Ballesteros-Rodea²,
Gerardo Noé Rosales-Martínez³, Luz Yosahandy Peña-Avelino³, Jorge Alva-Pérez^{3*}

RESUMEN

Clostridium perfringens es una bacteria anaerobia, Gram positiva en forma de bastón, que produce esporas y es aerotolerante. Este agente puede habitar en suelo y en la microbiota intestinal de animales adultos sanos, donde se favorece su diseminación y por ello las infecciones por *Clostridium perfringens* son frecuentes en animales de interés doméstico y en humanos. Es el principal causante de enterotoxemia, aunque puede no ser el principal agente etiológico. La producción de toxinas, clasificadas del tipo A al G, y la toxemia subsecuente se presentan en animales jóvenes y adultos, en los que puede provocar hasta el 100% de mortalidad. Dentro de los hallazgos patológicos se observan diversos grados de enteritis (íleon y colon) así como lesiones en encéfalo y mesencéfalo, aparato urinario y músculo por el daño endotelial grave. Es importante conocer los hallazgos patológicos de los diferentes toxinotipos asociados a esta bacteria con el objetivo de reconocer esta enfermedad y poder controlar su aparición.

Palabras clave: *Clostridium perfringens*, diarrea, enteritis, enteroxemia, toxinas.

ABSTRACT

Clostridium perfringens infections are frequent in domestic animals and humans. It is an anaerobic, Gram-positive, rod-shaped, spore-producing, aerotolerant bacterium. This agent can inhabit soil as well as the intestinal microbiota of healthy adult animals, which favors dissemination in the environment. It is the main cause of enterotoxemia, although it is not the main actor in the definitive diagnosis. The production of toxins, classified from type A to G, and the subsequent toxemia occur in young and adult animals, causing up to 100% mortality. Pathological findings include various degrees of enteritis (ileum and colon), diarrhea and lesions in the brain and midbrain, urinary system and muscle due to severe endothelial damage. It is important to know the pathological findings of the different toxinotypes associated with this bacterium in order to learn about this disease and be able to control its appearance.

Keywords: *Clostridium perfringens*, diarrhea, enteritis, enterotoxemia, toxins.

Autor para correspondencia: jalva@docentes.uat.edu.mx

Fecha de aceptación: 31 de julio de 2024

Fecha de recepción: 24 de junio de 2024

Fecha de publicación: 8 de agosto de 2024

¹Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora, México.

²Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México

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

INTRODUCCIÓN

Clostridium perfringens es una bacteria Gram positiva, en forma de bastón, anaerobia y esporulante (García et al., 2012). Es uno de los patógenos con mayor distribución, debido a que puede ser aislado del suelo y agua residual, además de formar parte de la microbiota intestinal de animales y humanos (Morris & Fernández-Miyakawa, 2009; Hassan et al., 2015). La bacteria crece en medios ricos en carbohidratos en los que a partir de la fermentación produce hidrógeno y dióxido de carbono, lo que le ayuda a mantener el ambiente anaeróbico (Morris & Fernández-Miyakawa, 2009). A diferencia de otras bacterias anaerobias obligadas, *C. perfringens* tiene una alta resistencia al oxígeno y se puede mantener viable en su presencia (Grenda et al., 2023). Esta bacteria produce infección intestinal que se manifiesta en tres entidades patológicas como enteritis, enterocolitis y/o enterotoxemia (Jayaraman et al., 2013; Shrestha et al., 2018; Grenda et al., 2023). Las enterotoxemias producidas por *Clostridium perfringens* se encuentra en una gran variedad de animales domésticos y el hombre (Redondo, 2015; Uzal et al., 2018). En la enterotoxemia la producción de toxinas (Tabla 1 y 2) se presentan a nivel del íleon, principalmente (Layana et al., 2006; Navarro et al., 2018) y en menor medida en el colon, con su subsecuente absorción.

■ Tabla 1. Toxinotipos de *C. perfringens*, perfil de toxinas producidas y enfermedades asociadas.

Toxinotipo	Toxinas típicas						Toxinas no típicas*			Enfermedades y especies afectadas
	CPA (cpa/plc)	CPB (cpb)	ETX (etx)	ITX (iap, ibp, itx)	CPE (cpe)	NetB (netB)	β2 (cpb 2)	λ (lam)	θ (pfo)	
A	+	-	-	-	-	-	+	-	+	Gangrena gaseosa en humanos y animales, enteritis necrótica en aves y lechones, intoxicación alimentaria humana y diarrea asociada a antibióticos.
B	+	+	+	-	-	-	+	+	+	Enteritis hemorrágica en terneros, potros y ovejas, disentería en corderos.
C	+	+	-	-	+	-	+	-	+	Enterotoxemia en ovejas, enteritis necrotizante en humanos, cerdos, terneros, cabras y potros.
D	+	-	+	-	+	-	+	-	+	Enterotoxemia en corderos (enfermedad del riñón pulposo), cabras y bovinos.
E	+	-	-	+	+	-	+	+	+	Enterotoxemia en terneros y corderos.
F	+	-	-	-	+	-	+	-	+	Intoxicación por alimentos en personas y animales.
G	+	-	-	-	-	+	+	-	+	Enteritis necrótica aviar

CPA: toxina alfa, codificada por el gen *cpa/plc*; CPB: toxina beta, codificado por el gen *cpb*; ETX: Toxina épsilon, codificado por el gen *etx*; ITX: Toxinas iota, codificadas por los genes *iap*, *ibp* e *itx*; CPE: enterotoxina, codificada por el gen *cpe*; NetB: Toxina B de enteritis necrótica, codificada por el gen *netB*; β2: Toxina beta-2, codificada por el gen *cpb2*; λ: Toxina lambda, codificada por el gen *lam*; θ: perfringolisina, codificada por el gen *pfo*. Adaptado de (Kiu & Hall, 2018; Mehdizadeh Gohari et al., 2021; Grenda et al., 2023). +: presencia, -: ausencia, + en algunos serotipos puede estar presente. *La producción de toxinas no típicas es potencial.

El efecto de las toxinas se puede observar, tanto de manera local como sistémica (Uzal, 2010). Por otro lado, la enteritis es causada por la acción de estas toxinas (Cooper et al., 2013).

En la infección por *Clostridium perfringens* la mayoría de las manifestaciones clínicas en mamíferos son debidas a las entidades patológicas antes descritas. La manifestación clínica de la infección incluye pérdida de apetito, letargo, diarrea, cólicos, deshidratación y en casos severos la muerte en mamíferos (Uzal & Songer, 2008). En aves la forma clínica produce plumas erizadas, gases fétidos y diarrea (Muneeb et al., 2024).

Es importante mencionar que *C. perfringens* no es la única especie de *Clostridium* involucrado en enterotoxemia, otras especies como *C. sordelli*, *C. difficile*, *C. fallax* y *C. barallii* también pueden estar involucradas en una patología similar producida por *Clostridium perfringens* (Cooper et al., 2013; Redondo, 2015; Uzal et al., 2018).

Las principales lesiones se observan en el colon e intestino delgado, esto depende de las toxinas secretadas (Ali Nasir et al., 2015; Zaragoza et al., 2019). La toxemia se manifiesta principalmente en animales jóvenes, manifestándose con una muerte súbita (Eroksuz et al., 2018).

Los diagnósticos de los problemas entéricos (enteritis, enterocolitis y enterotoxemia) asociados a la infección por *Clostridium* spp, debe incluir tanto la historia clínica, la valoración de la semiótica y el análisis de las lesiones en los diferentes tejidos. La identificación molecular puede ser de gran utilidad para establecer el diagnóstico final (Abd El-Hack et al., 2022).

Producción de toxinas

Para entender la fisiopatología de *C. perfringens*, así como su acción (sistémica o local) en diferentes hospedadores, se ha clasificado esta bacteria en siete diferentes tipos (toxintipos), basado en su capacidad para producir y secretar toxinas (Tabla 1) García et al., 2012; Uzal et al., 2018). Esta bacteria es capaz de producir 20 diferentes tipos de toxinas muchas de ellas se encuentran codificados en ADN plasmídico (Kiu & Hall, 2018; Grenda et al., 2023). Las acciones de las diferentes toxinas son variadas, en su mayoría producen muerte celular (Tabla 2).

Las principales toxinas que producen daño tisular y mortalidad en animales domésticos son la toxina alfa (CPA), toxina beta (CPB), toxina épsilon (ETX), toxina iota (ITX), enterotoxina (CPE) y toxina tipo B productora de enteritis necrótica (NetB) (Eroksuz et al., 2018; Navarro et al., 2018; Uzal et al., 2018). La patogenia de cada toxintipo depende del repertorio de toxinas que producen (Abd El-Hack et al., 2022; Mohiuddin et al., 2023). Mientras que algunas toxinas provocan daño únicamente a nivel intestinal (como ITX), algunas otras son absorbidas por el torrente sanguíneo y ocasionan lesiones en diferentes tejidos. Es importante mencionar que en este artículo de revisión se describirá el grupo de toxinas más significativas de cada toxintipo (principales factores de virulencia). Sin embargo, existen un gran repertorio de toxinas y proteínas diferentes (codificadas en plásmidos de diferentes tipos, o a nivel cromosomal) que coadyuvan al daño tisular y por ende a la sobrevivencia de *C. perfringens* (Tabla 2). Esta bacteria cuenta con colagenasas, sialidasas, hialuronidasas, proteínas de unión al colágeno, perfringolisina O, entre otras proteínas que pueden o no actuar de manera sinérgica con las toxinas antes descritas, contribuyendo así con la patogenia (Lee & Lillehoj, 2021).

■ Tabla 2. Características de las toxinas producidas por *C. perfringens*.

Toxina	Actividad biológica	Diana Celular	Tamaño molecular (KDa)	Referencia
CPA	Fosfolipasa C y esfingomielinasa, activación de la señalización de la célula huésped.	Membrana citoplasmática.	42.5	(Ferreira et al., 2016; Forti et al., 2020; Mehdizadeh et al., 2021)
CPB	Toxina formadora de poros	Membrana citoplasmática.	35	(Garcia et al., 2012; Navarro et al., 2018; Uzal et al., 2018)
ETX	Toxina formadora de poros	Membrana citoplasmática.	33	(Navarro et al., 2018; Uzal et al., 2018; Wan et al., 2023)
ITX	ADP-ribosiltransferasa específica de actina	Citoesqueleto	32.98 lota a: 47.5 lota b: 71.5	(Sakurai et al., 2009)
CPE	Toxina formadora de poros	Membrana citoplasmática.	35	(Caserta et al., 2011; Uzal et al., 2018)
<i>NetB</i>	Toxina formadora de poros	Membrana citoplasmática.	33	(Keyburn et al., 2010; Lee & Lillehoj, 2021)
$\beta 2$ <i>cpb2</i>	Supuesta toxina formadora de poros	Membrana citoplasmática.	28	(Forti et al., 2020; Serroni et al., 2022)
λ <i>lam</i>	Toxina formadora de poros	Membrana citoplasmática.	32	(Seike et al., 2022; Ou et al., 2024)
θ <i>pfo</i>	Toxina formadora de poros; Colesterol-citolisina dependiente	Membrana citoplasmática.	54	(Singh et al., 2022; Liu et al., 2024)

Enfermedades producidas y hospedadores

Enterotoxemia por C. perfringens A

C. perfringens A (productora de toxina CPA) ha tenido poca relación con enterotoxemia en rumiantes, caninos y cerdos. Sin embargo, se ha determinado que CPA está involucrada en gangrena gaseosa muscular (Grenda et al., 2023). De hecho, en seres humanos la toxina CPA es hemolítica y dermonecrotica, y es la principal responsable de la mionecrosis clostridial que puede producir edema subcutáneo, enfisema, falla multiorgánica e incluso la muerte (Navarro et al., 2018). Esta toxina se compone de un dominio amino-catalítico y el dominio carboxilo de membrana, que permite la unión con esfingolípidos, principalmente fosfatidilcolina y esfingomielina, produciendo hidrólisis de estas. Por otro lado, CPA también puede unirse a gangliósidos de membrana celular. El efecto es traducido como desestabilización de membrana, lo que produce lisis celular y necrosis (Navarro et al., 2018).

La enterotoxemia por CPA es la principal etiología de la enfermedad del cordero amarillo, una enterotoxemia letal en corderos (Uzal & Songer, 2008). Además de *C. perfringens A*, todos los toxinotipos pueden producir CPA (además de compartir las toxinas α , $\beta 2$ y θ , Tabla 1), por lo que

cualquier toxintipo tendrá la capacidad de producir la enfermedad del cordero amarillo. La ictericia, anemia y hemoglobinuria, como principales signos clínicos, son observados en estos animales (Uzal et al., 2022). Cuando estos signos clínicos son evidentes, la supervivencia de los corderos no sobrepasa las 12 horas. En corderos muertos, a veces, puede observarse únicamente ictericia. En lesiones encontradas a la necropsia se puede observar hígado friable y pálido, esplenomegalia y nefrosis (Uzal & Songer, 2008). En algunos casos, puede haber congestión pulmonar y edema. En caninos, se ha relacionado *C. perfringens* A con la presencia de gastroenteritis hemorrágica mientras que, en potros, con enterocolitis necrotizante (Redondo, 2015).

Enterotoxemia por *C. perfringens* B

El toxintipo B de *C. perfringens* produce tres toxinas principales: CPA, CPB y ETX (Wan et al., 2023). El efecto de CPA se ha discutido con anterioridad. Por otro lado, CPB y ETX se han identificado como toxinas potentes con diversos efectos. La toxina CPB de *Clostridium perfringens* actúa formando poros en las membranas celulares de las células diana (principalmente células endoteliales, por oligomerización), lo que lleva a un desequilibrio osmótico y lisis celular. Se ha observado que CPB puede unirse al receptor celular P2X7-asociado a ATP. A nivel tisular, la disrupción de las células endoteliales de la submucosa produce retracción de la mucosa intestinal. Este mecanismo es responsable del daño tisular severo observado en enfermedades como la enteritis necrótica y la enterotoxemia en animales (Navarro et al., 2018). La toxina CPB es sensible a la digestión e inactivación por tripsina, enzima que se encuentra en concentraciones bajas en neonatos; esto favorece que en corderos y cabritos se manifieste la enfermedad conocida como disentería del cordero, enfermedad que se manifiesta como enteritis hemorrágica (Redondo, 2015). Por otro lado, la toxina ETX es secretada como protoxina, y su acción se potencializa hasta 1000 veces cuando sufre proteólisis a nivel intestinal (Bokori-Brown et al., 2011). La toxemia por ETX se manifiesta en animales adultos hospedadores con una concentración normal de tripsina, en comparación con hospedadores neonatos (Wan et al., 2023). La toxina es conocida por ser una citotoxina heptamérica formadora de poros en la membrana celular, que, aunque es producida a nivel intestinal, su absorción sanguínea permite que tenga efectos sistémicos, principalmente en riñón, pulmones y sistema nervioso central. Aunque no se conoce completamente el mecanismo, se ha determinado que ETX se absorbe a nivel intestinal debido a los cambios degenerativos de la lámina propia del intestino. No se ha dilucidado por completo los receptores celulares específicos para ETX, sin embargo, se reconoce que la enzima de membrana esfingomielinasa neutral (nSMase), así como la proteína de mielina y de linfocitos (MAL) están involucradas en la formación de la oligomerización de la toxina que produce poros celulares. El efecto celular es observado como hinchazón celular, vacuolización y finalmente necrosis (Navarro et al., 2018). Se ha observado que la toxina daña directamente las células endoteliales de la barrera hematoencefálica, produciendo edema cerebral, aumento de la presión intracraneal y daño directo a las neuronas y oligodendrocitos (Navarro et al., 2018; Finnie & Uzal, 2024).

C. perfringens B provoca en borregos adultos una enteritis que tiende a la cronicidad. Se ha determinado que ETX se absorbe en sangre y es responsable de la aparición de signos neurológicos (Freedman et al., 2016). En contraste, CPB es responsable de los signos clínicos observados en animales jóvenes (Wan et al., 2023). Los signos clínicos de la disentería del cordero incluyen dolor agudo abdominal y diarrea sanguinolenta, sin embargo, puede haber muerte súbita sin signos clínicos. En cabritos los signos pueden ser similares. En animales mayores a los 14 días es más probable observar signos clínicos tales como dolor abdominal, timpanismo, anorexia, depresión e incapacidad para moverse (Redondo, 2015). El mecanismo de acción de la toxina CPA ha sido

descrita con anterioridad. *C. perfringens* B produce enteritis necrotizante en becerros, lechones y potros, aunque no es común. Entre las lesiones detectadas a la necropsia se encuentran una enteritis necrotizante y hemorrágica, que predomina principalmente en el íleon. Se han realizado evaluaciones en otras especies (ratones) y las lesiones ocurren en el colon y ciego (Losada-Eaton & Fernandez-Miyakawa, 2010). En casos agudos se ha observado hiperemia intestinal y mesentérica. En el contenido intestinal se pueden encontrar restos sanguinolentos mezclados con fibrina (enteritis fibronecrótica extensiva, difusa o segmental). También es observable un edema serosanguinolento que se puede llegar a extender en la cavidad torácica (Uzal & Songer, 2008). En pollos de engorda, los signos incluyen daño en intestino y la presencia de plumas erizadas (Mohiuddin et al., 2023).

En rumiantes adultos con enterotoxemia crónica se observa encefalomalacia simétrica focal (ESF), por acción de ETX, lesión característica del sistema nervioso central, observada principalmente en la enterotoxemia por *C. perfringens* D (Ali-Nasir et al., 2015). En el caso de la enteritis producida por *C. perfringens* B histológicamente se podrá apreciar la pérdida de las vellosidades intestinales (necrosis de epitelio con restos de fibrina). Si el hospedador sobrevive, la atrofia será más evidente (Kusiluka & Kambarage, 1996). En casos agudos no es común la presencia de infiltrado inflamatorio, aunque puede llegar a observarse. Además, es probable encontrar los bacilos Gram positivos asociados con la mucosa intestinal. A excepción de ESF, las lesiones intestinales son similares a la enteritis observada por *C. perfringens* (Uzal & Songer, 2008).

Enterotoxemia por *C. perfringens* C

Debido a que *C. perfringens* tipo B y C comparten la síntesis y secreción de CPB, los signos clínicos y lesiones son similares entre las infecciones producidas por ambos toxinotipos (García et al., 2012; He et al., 2023). Sin embargo, en algunos serotipos de *C. perfringens* C se puede observar la participación de CPE en la patogenia. Esto es debido a que CPB se transcribe a partir de ADN plasmídico, y en algunos serotipos, este plásmido también puede encontrarse CPE (Kiu & Hall, 2018). La toxina CPE es el principal factor de virulencia de *C. perfringens* F, también puede estar presente en *C. perfringens* D. La toxina CPE de *Clostridium perfringens* actúa a través de la unión a proteínas de la familia claudina, proteínas de membrana celular localizadas en el borde apical de las células epiteliales intestinales. Se ha reconocido como receptores a las proteínas claudina 3, 4, 6, 8 y 14, mientras que el ligando específico se encuentra en la porción amino terminal de la toxina. Una vez que la toxina se une con los receptores específicos, se forman pequeños complejos multiproteicos sobre la membrana celular del enterocito. Al unirse al menos seis de estos complejos se da lugar a la formación del poro (inserción de la toxina en la membrana celular, β -barril), que es permeable a calcio. Finalmente, el ingreso excesivo de calcio produce muerte celular (Navarro et al., 2018). La acción de CPE se manifiesta a través del daño de los enterocitos (principalmente en el íleon, aunque toda la mucosa intestinal es susceptible), produciendo oncosis y necrosis. Esto promueve cambios en la permeabilidad celular del epitelio intestinal lo que produce diarrea. La acción de esta toxina se manifiesta como eritema a nivel sistémico e inflamación (enteritis) a nivel local (Shrestha et al., 2018).

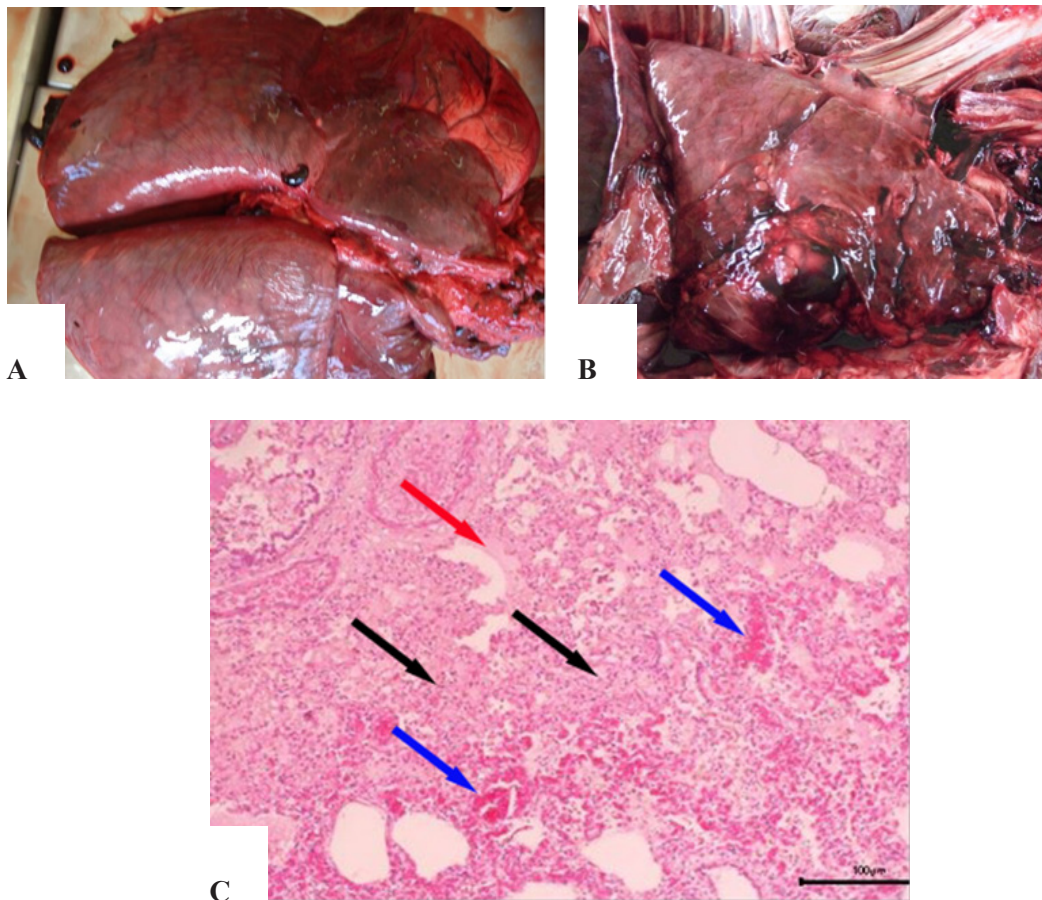
En la mayoría de las especies domésticas *C. perfringens* C produce enterocolitis, enteritis necrótica y enterotoxemia en neonatos (García et al., 2012). Los signos clínicos incluyen dolor abdominal agudo, depresión y diarrea sanguinolenta en diferentes especies (Cooper & Songer, 2010). La semiótica en animales, así como la sintomatología en humanos es de carácter agudo e hiperagudo, con mortalidad elevada. La enteritis en animales adultos por *C. perfringens* tipo C se caracteriza por una diarrea persistente y deshidratación (García et al., 2012). En ovinos se ha relacionado la

infección de este toxinotipo con muerte súbita en adultos (enfermedad conocida como “*struck*” en inglés). Las lesiones sistémicas por esta enterotoxemia no son específicas. Puede haber congestión pulmonar, edema y hemorragia (Redondo, 2015).

Enterotoxemia por C. perfringens D

La principal toxina producida por *C. perfringens* tipo D es ETX (Uzal et al., 2018), cuyos receptores y mecanismos de acción a nivel celular fueron descritos con anterioridad. Esta es una de las toxinas más potentes conocidas en el ambiente, con una dosis letal de 100 ng en ratones (Losada-Eaton & Fernandez-Miyakawa, 2010). Este toxinotipo produce la principal enterotoxemia (de curso agudo, subagudo o crónico) observada en ovinos y caprinos. Existen pocos reportes de enterotoxemia de tipo D en becerros en comparación con borregos y cabras (Uzal & Songer, 2008; Pawaiya et al., 2020). El curso agudo es más común en animales no vacunados o animales jóvenes, con una mortalidad cercana al 100%, sin la aparición de signos clínicos o lesiones (Layana et al., 2006). ETX también está presente en *C. perfringens* B, y al igual que *C. perfringens* D, puede observarse presentaciones clínicas similares. Ha sido descrita como una toxina potente a nivel neurológico, que aumenta la presión vascular, produce contractibilidad del músculo liso y edema pulmonar (Figura 1).

Es la principal causante de colitis en caprinos. A nivel cerebral, la toxina produce deterioro endotelial



■ Figura 1. Edema pulmonar observado en pequeños rumiantes. a) edema pulmonar en borrego por acción de *C. perfringens* D, b) edema pulmonar y hemorragia en cabrito por enterotoxemia tipo D, c) detalle histológico de la lesión en observándose infiltrado de células inflamatorias (flecha negra), hemorragia (flecha azul) y edema (flecha roja). Barra = 100 μm.

vascular y también produce edema. Este edema causa daño de los astrocitos (primero hinchazón y después ruptura). También se ha reportado que es citotóxica para las neuronas. El conjunto de estos daños es observado en el paciente como hemorragia cerebral. La hemorragia y el daño de los astrocitos produce necrosis del parénquima cerebral (Gangwar et al., 2021). Es esta necrosis del parénquima (morfológicamente observada como necrosis focal bilateral) la causante de los signos clínicos neurológicos como opistótonos (Figura 2), convulsiones, respiración forzada con espuma en cavidad oral y nariñas, recumbencia con pataleo, entre otros. En rumiantes se ha asociado la enterotoxemia del tipo D a cambios repentinos en la dieta. Las dietas altas en carbohidratos (granos) o dietas altas en forraje fresco pueden producir el ambiente intestinal idóneo para la proliferación de *C. perfringens* D. Se ha determinado que algunos fármacos, como fenotiazina y netobimina pueden favorecer la enterotoxemia por *C. perfringens* D. La diarrea es un signo ocasional que puede observarse en ovinos. En caprinos la semiótica en adultos incluye diarrea hemorrágica, dolor abdominal, convulsiones y opistótonos. La muerte sobreviene de 2 a 4 días posterior a la aparición de los signos clínicos (Uzal et al., 2018).

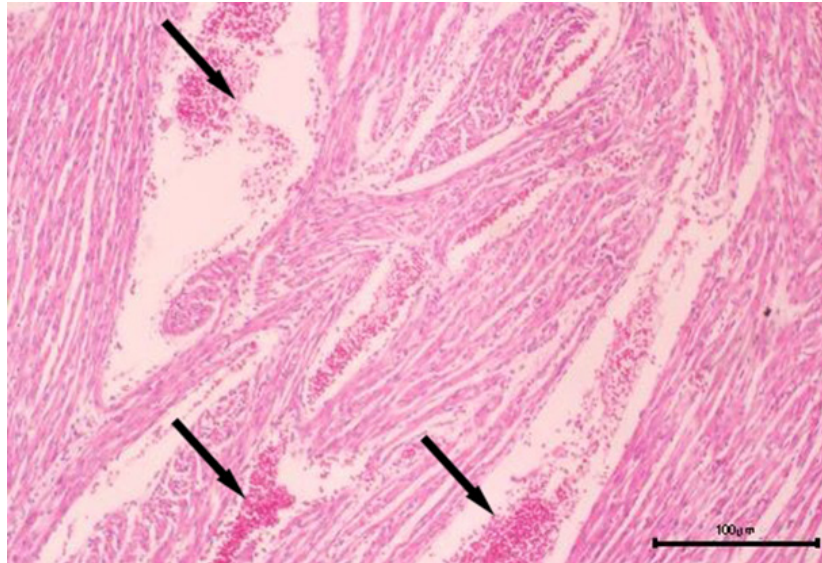


■ Figura 2. Opistótonos en borregos con enteritis hemorrágica asociado a *C. perfringens* D.

La forma crónica de la enfermedad, tanto en ovinos y caprinos, puede durar días; incluso semanas. Esta presentación ocurre en animales vacunados y la semiótica comprende diarrea acuosa con moco, debilidad, dolor abdominal, anorexia y disminución de producción láctea (Uzal & Songer, 2008). En las lesiones microscópicas causadas por *C. perfringens* tipo D se observa congestión de los vasos sanguíneos en la corteza cerebral (Gangwar et al., 2021). En ovinos con enterotoxemia crónica se ocasiona una hernia del vermis cerebelar. Otra de las lesiones características es la ESF, caracterizada por focos hemorrágicos oscuros en cuerpo estriado, tálamo, mesencéfalo y pedúnculos cerebelares, aunque también aparece en corteza cerebral e hipocampo.

En el 90% de los casos se observan lesiones microscópicas en el cerebro, mismas que son consideradas patognomónicas (Uzal, 2004). Estas lesiones se definen patológicamente como edema perivascular proteináceo. Microscópicamente la ESF se observa como una degeneración de la sustancia blanca, hemorragia e hinchazón celular de astrocitos y degeneración axonal (Salvarani et al., 2019). El edema perivascular, la degeneración y necrosis del parénquima cerebral son siempre bilaterales y simétricos. Otras lesiones durante la necropsia incluyen edema pulmonar, daño vascular endotelial y hemorragia en endocardio (Figura 3).

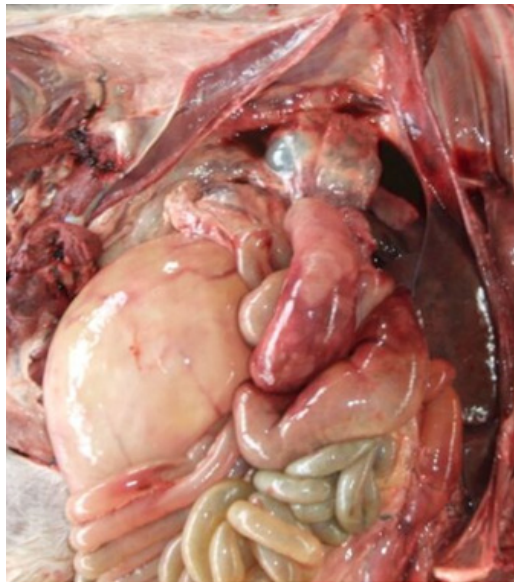
La enteritis se caracteriza por hiperemia en la mucosa con restos sanguinolentos (con o sin residuos



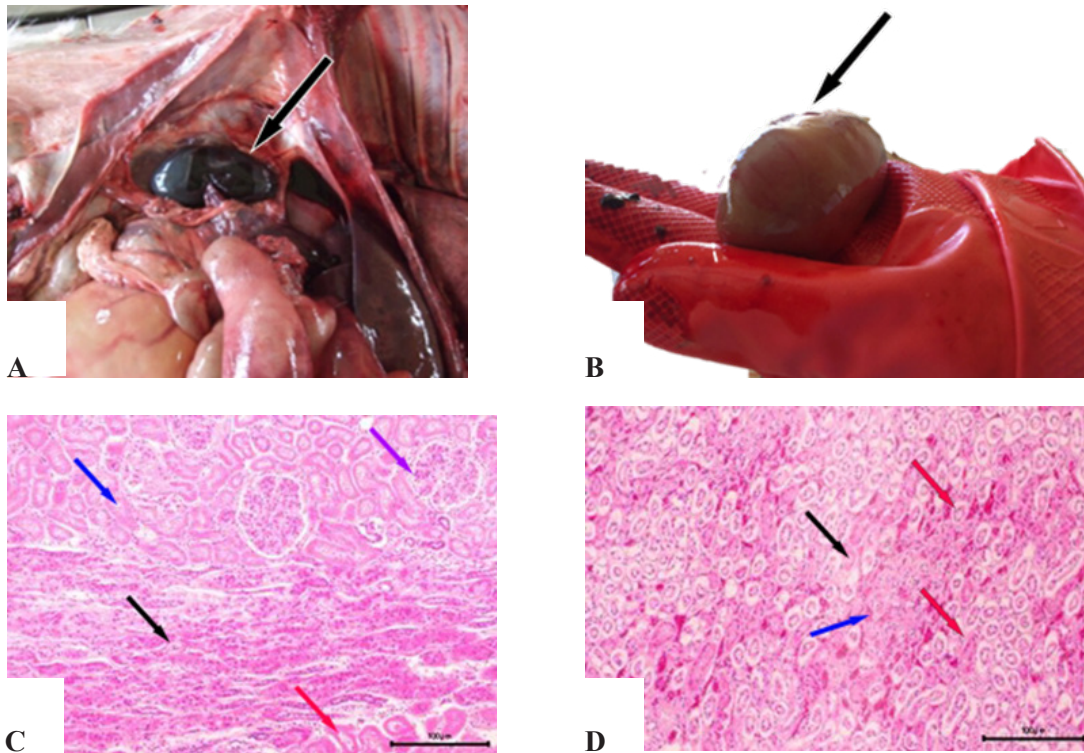
■ Figura 3. Miocardio en caprino. Daño endotelial y hemorragia (flecha negra). Barra = 100 μm.

de fibrina) aunque puede no encontrarse en casos agudos e hiperagudos (Gangwar et al., 2021). La serosa intestinal se observa con petequias. En caprinos, la forma crónica de la enfermedad cursa con colitis fibrinohemorrágica. En algunas ocasiones, el íleon puede verse involucrado (Figura 4) (Ali Nasir et al., 2015). La consistencia del riñón (Figura 5 a-d), del cual deriva el nombre de la enfermedad “riñón pulposo”, es un cambio *post mortem*, característica únicamente observada en ovinos (Redondo, 2015).

Enterotoxemia por C. perfringens E



■ Figura 4. Vista de la serosa del colon (c) e íleon (i) en un cabrito con enterotoxemia por *C. perfringens* tipo D. Obsérvese la serosa hiperémica y el colon distendido por presencia de gas, en el íleon puede observarse gran presencia de gas y resto de alimento parcialmente digerido.

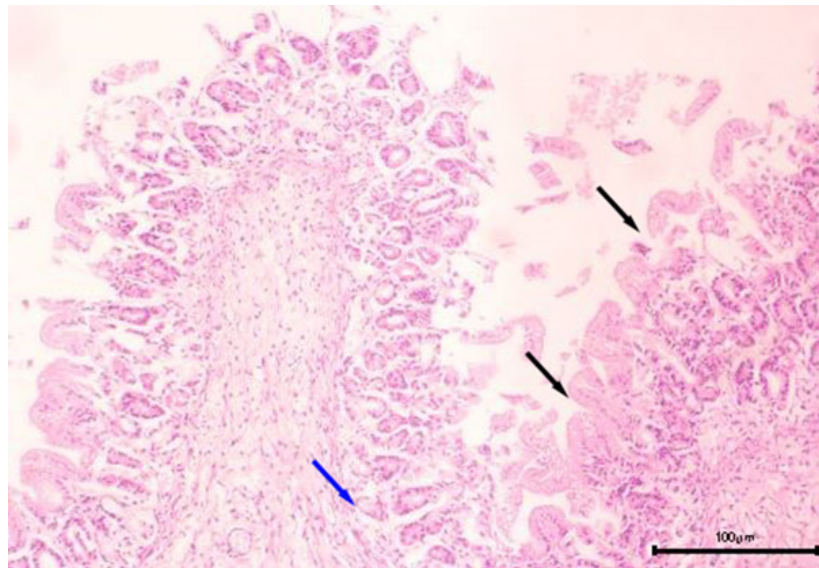


■ Figura 5. Riñón pulposo en borrego. a y b) En cuadros agudos se presenta daño vascular donde se puede observar zonas de congestión y hemorragia renal severa difusa (flecha negra). c) Descripción histológica de riñón con tinción H&E, a nivel corticomedular los glomérulos presentan células tumefactas, y proliferación de células del mesangio (flecha negra). Se pueden distinguir los túbulos presentes en corteza sin núcleos y elementos celulares que se pueden apreciar (flecha azul), y en contraste los túbulos a nivel medular se observan ligeramente tumefactos y con núcleos picnóticos, característico de “Riñón Pulposo” (flecha roja). A nivel glomerular algunos se observan atróficos y otros muy celulares con tumefacción en donde no se observa espacio de la capsula de Bowman y capilares vasculares (flecha morada) d) Microfotografía tinción H&E 40X, corte histológico de riñón en donde se observa túbulos contorneados tumefactos sin evidencia de luz (flecha negra), las células se distinguen por presentar abundante citoplasma y pérdida de núcleo y/o evidente picnosis (flecha azul). Se observan zonas de congestión y hemorragia (flecha roja). Barra = 100 µm.

Este toxintipo se encuentra normalmente en la microbiota de mamíferos. La principal toxina secretada por *C. perfringens* tipo E es la ITX (Sakurai et al., 2009). La toxina ITX de *Clostridium perfringens* está compuesta de dos componentes, Ia e Ib. La protoxina Ib es activada por proteólisis en el intestino, lo que da lugar a la unión con el receptor de Lipoproteína estimulada por lipólisis (LSR), así como el antígeno CD44. Una vez internalizada Ib forma poros funcionales en la membrana celular, lo que permite la internalización de Ia, proteína con función enzimática. Al igual que Ib, Ia se secreta como protoxina que necesita ser activada por proteólisis. La acción enzimática de Ia produce la despolimerización de los filamentos de actina, por lo que el citosqueleto de los enterocitos se ve afectado. El efecto tóxico se traduce en desorganización inter e intracelular y aumento de la permeabilidad (Navarro et al., 2018). La desorganización celular produce inhibición de endocitosis (atrofia funcional), inhibición de la migración, activación de leucocitos e inhibición de la contracción del músculo liso (Mada et al., 2023). Aunque hay una clara asociación de la toxina en la patogenia en estudios in vitro, la toxemia in vivo ha mostrado resultados controversiales (Navarro et al., 2018).

C. perfringens E produce enteritis en bovinos, ovinos y conejos. En estos últimos hospedadores es

probable que la enteritis sea causada por una toxina similar a ITX, producida por *C. spiroforme*. (Uzal et al., 2018). La semiótica incluye diarrea y pérdida de la condición corporal. En ocasiones puede ocasionar muerte súbita en becerros del tipo cárnico. Algunas lesiones encontradas en la necropsia incluyen la presencia de hemorragias, tanto en la mucosa como en la serosa del ciego. El íleon distal y el colon proximal pueden verse también afectados. Al interior del íleon y colon afectados puede hallarse exudado catarral. Histológicamente se observa necrosis del epitelio superficial y hemorragia de la submucosa (Figura 6) (Redondo, 2015).



- Figura 6. Enteritis en becerro por *C. perfringens* tipo E. A nivel de mucosa se puede observar atrofia con edema y congestión de las vellosidades, así como zonas de necrosis con daño a nivel de criptas, la cual se extiende hasta la membrana basal (flecha negra), así como zona de edema y congestión a nivel de submucosa (flecha azul).

Enterotoxemia por C. perfringens F

Se ha descrito que algunas cepas del toxinotipo *C. perfringens* E tienen relación genética y antigénica el toxinotipo *C. perfringens* F (Mada et al., 2023). La enteritis producida por *C. perfringens* tipo F es debida fundamentalmente a la toxina CPE (Uzal et al., 2018). La acción de esta toxina, así como sus receptores fue descrita anteriormente. Este toxinotipo es común en diferentes especies animales y forma parte de la microbiota intestinal en animales adultos (Shrestha et al., 2018). Se ha reportado colitis en caprinos y enteritis de leve a moderada en cerdos, equinos y perros. Estas presentaciones clínicas no son letales, sin embargo, la asociación directa con CPE en animales con diarrea no ha sido concluyente (Uzal et al., 2018). Por otro lado, en seres humanos se trata de la segunda causa más común de intoxicación por consumo de alimentos contaminados (Shrestha et al., 2018). El problema de salud pública tiene una alta correlación con el consumo de carne mal cocida, ya que al albergar esporas de *C. perfringens* F estas pueden germinar al interior del intestino. Aunado a ello, el consumo directo de alimentos de origen animal contaminados con estos bacilos promueve su esporulación en el intestino. Una vez que se forma la espora, se libera la toxina a nivel intestinal (Mehdizadeh Gohari et al., 2023). También se ha observado una colonización aumentada de *C. perfringens* tipo F en pacientes que han recibido antibioterapia prolongada. La manifestación clínica se observa como diarrea y malestar generalizado, usualmente con buen pronóstico de mejoría. En casos excepcionales, se ha reportado enterotoxemia relacionada con constipación o medicación

utilizando fármacos que producen constipación (Shrestha et al., 2018).

Enterotoxemia por C. perfringens G

La principal toxina producida por *C. perfringens G* es NetB, al igual que muchas toxinas secretadas por *C. perfringens* esta proviene de un plásmido conjugativo (Lee & Lillehoj, 2021). La investigación sobre esta toxina ha confirmado su participación directa en la enteritis necrótica en aves. NetB es una toxina formadora de poros cuyo receptor celular no ha sido reconocido. La toxina forma poros en la membrana de los enterocitos, lo que permite la entrada de iones como sodio, cloro y calcio, lo que puede conducir a la lisis osmótica y necrosis. El efecto observado es la destrucción del epitelio intestinal (Navarro et al., 2018). Por otro lado, se ha reconocido que *C. perfringens G* que no presentan NetB ha sido aislado de casos de enteritis necrótica en pollos de engorda, por lo que se cree que existen otros factores de virulencia que pueden trabajar en sinergia para producir lesiones características (entre ellos CPA, hialuronidasas, sialidasas, entre otros) (Lee & Lillehoj, 2021).

En aves comerciales la causa principal de enteritis necrótica son los coccidios del género *Eimeria* spp. por lo que la infección con *C. perfringens G* forma parte del diagnóstico diferencial (Uzal et al., 2018). Por otro lado, se han reportado algunos casos aislados de enteritis necrótica en aves producida por *C. perfringens A*. Este hallazgo supondría que CPA podría estar involucrada en la patogenia de la enteritis necrótica por *C. perfringens* en aves (Mohiuddin et al., 2023). La presentación clínica se observa en aves de engorda (pollo, pavos) de dos a seis semanas de edad, aunque se han reportado casos en aves de mayor edad. De igual forma, se ha reportado enteritis necrótica en especies de aves silvestres (Rood et al., 2018). La presentación clínica puede ser aguda, subaguda o crónica. La semiótica en los casos agudos incluye diarrea, anorexia, resistencia a moverse, entre otros. En algunos casos, la mortalidad es elevada sin que aparezcan signos clínicos. En la presentación subaguda, el signo característico es la pérdida progresiva de la condición corporal y como consecuencia la afectación en la ganancia de peso. Las lesiones de la enteritis necrótica de las aves no son muy diferentes a la enteritis producida por *C. perfringens* en mamíferos. En los casos agudos el íleon y yeyuno se encuentran afectados, sin embargo, todo el intestino delgado puede mostrar lesiones, e incluso alcanzar el ciego. En pollos de engorda el intestino se muestra distendido por presencia de gas, mientras que la serosa se observa hemorrágica. En la mucosa es común encontrar exudado fibronecrótico de color café oscuro, así como una ulceración del epitelio (Mohiuddin et al., 2023). No es común observar hemorragia en la luz intestinal. En los casos subagudos o crónicos las lesiones son similares, se observa una marcada inflamación y engrosamiento de la serosa intestinal. En algunos casos el hígado puede verse afectado (colangiohepatitis), encontrando el tejido friable y pálido con múltiples focos necróticos. Microscópicamente se puede observar necrosis difusa multifocal en la mucosa. La infiltración de heterófilos en la submucosa pone en evidencia un proceso inflamatorio. Asimismo, se presentan bacilos Gram positivos mezclados con tejido necrótico y en descamación (Caserta et al., 2011).

CONCLUSIONES

Los diferentes toxinotipos de *Clostridium perfringens* aparecen en las distintas presentaciones de la enfermedad y provocan daño a nivel intestinal. Algunas toxinas son absorbidas en el torrente sanguíneo y causan daño a otros tejidos, como lo es el sistema nervioso central, aparato urinario o músculo. Aunque el daño puede observarse como una mortalidad elevada en animales domésticos, existen factores que favorecen el crecimiento exponencial de estas bacterias en el intestino (tales como el cambio de dieta en algunos rumiantes). El reconocimiento de las lesiones en los diversos

tejidos, tanto macroscópicamente como microscópicamente constituye el paso fundamental para establecer el diagnóstico.

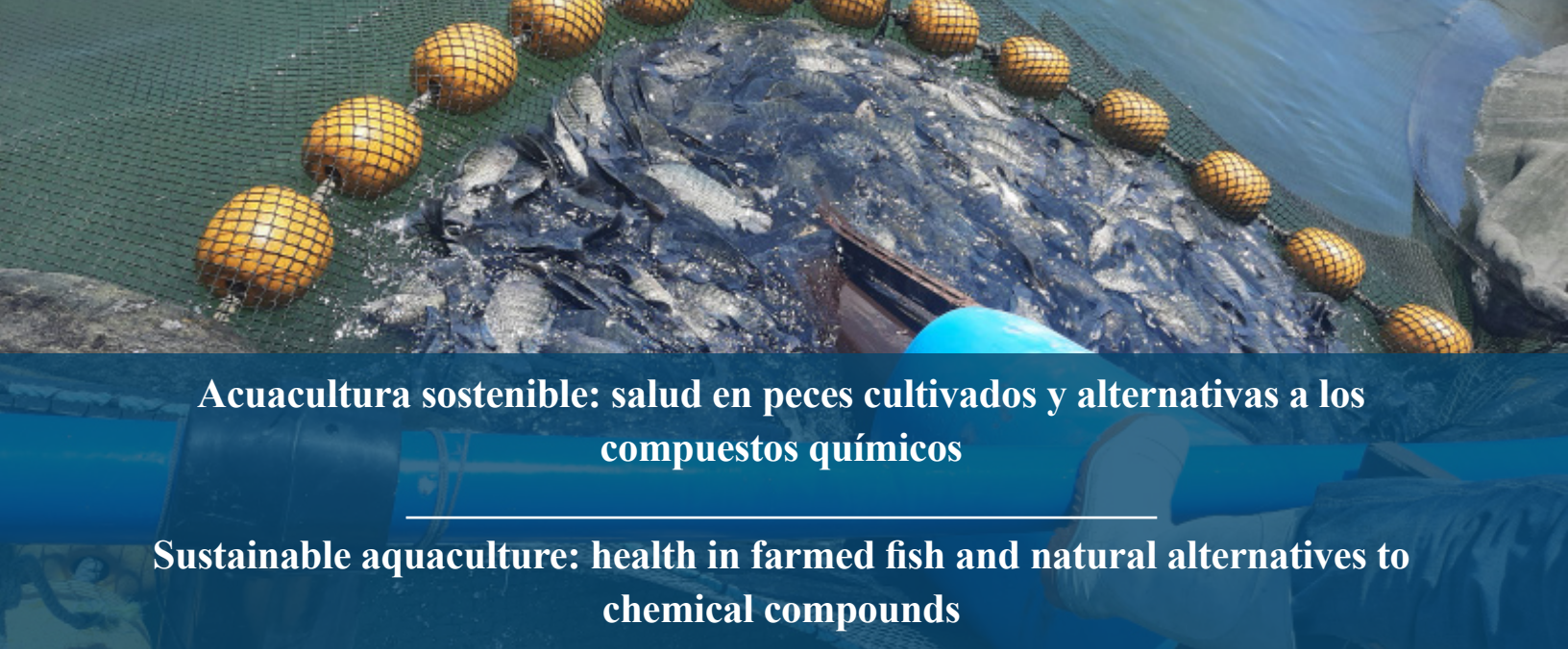
REFERENCIAS

- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Elbestawy, A. R., El-Shall, N. A., Saad, A. M., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., Khafaga, A. F., Taha, A. E., AbuQamar, S. F., & El-Tarabily, K. A. (2022). Necrotic enteritis in broiler chickens: disease characteristics and prevention using organic antibiotic alternatives – a comprehensive review. *Poultry Science*, *101*(2), 101590. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101590>
- Ali Nasir, A., Younus, M., Rashid, A., Abdul Khaliq, S., Khan, E., Shah, S. H., Aslam, A., Ghumman, M. A., & Joiya, M. H. (2015). Clinico-pathological findings of *Clostridium perfringens* type D enterotoxaemia in goats and its hemolytic activity in different erythrocytes. *Iranian Journal of Veterinary Research*, *16*(1), 94-99.
- Bokori-Brown, M., Savva, C. G., Fernandes da Costa, S. P., Naylor, C. E., Basak, A. K., & Titball, R. W. (2011). Molecular basis of toxicity of *Clostridium perfringens* epsilon toxin. *The FEBS journal*, *278*(23), 4589-4601.
- Caserta, J. A., Robertson, S. L., Saputo, J., Shrestha, A., McClane, B. A., & Uzal, F. A. (2011). Development and application of a mouse intestinal loop model to study the in vivo action of *Clostridium perfringens* enterotoxin. *Infection and Immunity*, *79*(8), 3020-3027. <https://doi.org/10.1128/IAI.01342-10>
- Cooper, K. K., & Songer, J. G. (2010). Virulence of *Clostridium perfringens* in an experimental model of poultry necrotic enteritis. *Veterinary Microbiology*, *142*(3-4), 323-328. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.09.065>
- Cooper, K. K., Songer, J. G., & Uzal, F. A. (2013). Diagnosing clostridial enteric disease in poultry. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, *25*(3), 314-327. <https://doi.org/10.1177/1040638713483468>
- Eroksuz, Y., Otlu, B., Calicioglu, M., Eroksuz, H., Akdeniz Incili, C., Karabulut, B., & Abayli, H. (2018). Enterotoxemia caused by *Clostridium perfringens* type E in a Calf. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, *24*(6), 905-908. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2018.19952>
- Ferreira, M., Moreira, G., Cunha, C., Mendonça, M., Salvarani, F., Moreira, Â., & Conceição, F. (2016). Recombinant alpha, beta, and epsilon toxins of *Clostridium perfringens*: production strategies and applications as veterinary vaccines. *Toxins*, *8*(11), 340. <https://doi.org/10.3390/toxins8110340>
- Finnie, J. W., & Uzal, F. A. (2024). Neurotoxicity of *Clostridium perfringens* type D enterotoxemia. In *Natural Molecules in neuroprotection and Neurotoxicity* Chapter 31. M. R. Oliveira (Ed.), (pp. 701-717). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23763-8.00066-X>
- Forti, K., Ferroni, L., Pellegrini, M., Cruciani, D., De Giuseppe, A., Crotti, S., Papa, P., Maresca, C., Severi, G., Marenzoni, M. L., & Cagiola, M. (2020). Molecular characterization of *Clostridium perfringens* strains isolated in Italy. *Toxins*, *12*(10), 650. <https://doi.org/10.3390/toxins12100650>
- Freedman, J. C., McClane, B. A., & Uzal, F. A. (2016). New insights into *Clostridium perfringens* epsilon toxin activation and action on the brain during enterotoxemia. *Anaerobe*, *41*, 27-31. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2016.06.006>
- Gangwar, N. K., Pawaiya, R. V. S., Gururaj, K., Singh, D. D., Andani, D., Kumar, A., Sharma, D. K.,

- Rao, A. R., & Rai, A. (2021). Chemotactic factor inducing Interleukin-8 (IL8) gene is transcriptionally elevated in experimental enterotoxaemia in goats caused by *Clostridium perfringens* type D. *Heliyon*, 7(7), e07568. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07568>
- Garcia, J. P., Beingesser, J., Fisher, D. J., Sayeed, S., McClane, B. A., Posthaus, H., & Uzal, F. A. (2012). The effect of *Clostridium perfringens* type C strain CN3685 and its isogenic beta toxin null mutant in goats. *Veterinary Microbiology*, 157(3-4), 412-419. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2012.01.005>
- Grenda, T., Jarosz, A., Sapała, M., Grenda, A., Patyra, E., & Kwiatek, K. (2023). *Clostridium perfringens*—Opportunistic foodborne pathogen, Its diversity and epidemiological significance. *Pathogens*, 12(6), 1-12. <https://doi.org/10.3390/pathogens12060768>
- Hassan, K. A., Elbourne, L. D. H., Tetu, S. G., Melville, S. B., Rood, J. I., & Paulsen, I. T. (2015). Genomic analyses of *Clostridium perfringens* isolates from five toxinotypes. *Research in Microbiology*, 166(4), 255-263. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2014.10.003>
- He, X., Ye, G., Xu, S., Chen, X., He, X., & Gong, Z. (2023). Effects of three different probiotics of Tibetan sheep origin and their complex probiotics on intestinal damage, immunity, and immune signaling pathways of mice infected with *Clostridium perfringens* type C. *Frontiers in Microbiology*, 14(April), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1177232>
- Jayaraman, S., Thangavel, G., Kurian, H., Mani, R., Mukkalil, R., & Chirakkal, H. (2013). *Bacillus subtilis* PB6 improves intestinal health of broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*-induced necrotic enteritis. *Poultry Science*, 92(2), 370-374. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02528>
- Keyburn, A. L., Bannam, T. L., Moore, R. J., & Rood, J. I. (2010). NetB, a Pore-forming toxin from necrotic enteritis strains of *Clostridium perfringens*. *Toxins*, 2(7), 1913-1927. <https://doi.org/10.3390/toxins2071913>
- Kiu, R., & Hall, L. J. (2018). An update on the human and animal enteric pathogen *Clostridium perfringens*. *Emerging Microbes and Infections*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41426-018-0144-8>
- Kusiluka, L., & Kambarage, D. (1996). *Diseases of small ruminants a handbook: Common diseases of sheep and goats in Sub-Saharan Africa*. VETAID. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08dbfed915d3cfd001bba/R5499-Diseases-of-Small-Ruminants.pdf>
- Layana, J. E., Fernandez Miyakawa, M. E., & Uzal, F. A. (2006). Evaluation of different fluids for detection of *Clostridium perfringens* type D epsilon toxin in sheep with experimental enterotoxemia. *Anaerobe*, 12(4), 204-206. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2006.05.001>
- Lee, K.-W., & Lillehoj, H. S. (2021). Role of *Clostridium perfringens* necrotic enteritis B-like toxin in disease pathogenesis. *Vaccines*, 10(1), 61. <https://doi.org/10.3390/vaccines10010061>
- Liu, Z., Mou, S., Li, L., Chen, Q., Yang, R., Guo, S., Jin, Y., Liu, L., Li, T., Chen, H., & Wang, X. (2024). The barrier disruption and pyroptosis of intestinal epithelial cells caused by perfringolysin O (PFO) from *Clostridium perfringens*. *Cells*, 13(13), 1140. <https://doi.org/10.3390/cells13131140>
- Losada-Eaton, D. M., & Fernandez-Miyakawa, M. E. (2010). *Clostridium perfringens* epsilon toxin inhibits the gastrointestinal transit in mice. *Research in Veterinary Science*, 89(3), 404-408. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.04.006>
- Mada, T., Goto, Y., Kumagai, M., Sakai, H., Kanamori, H., & Takamatsu, D. (2023). A calf with hind limb paralysis and dysstasia and a genome sequence analysis of an isolated *Clostridium perfringens* toxinotype E strain. *Journal of Veterinary Medical Science*, 85(3), 279-289. <https://doi.org/10.1292/jvms.22-0432>
- Mehdizadeh G.I., A. Navarro, M., Li, J., Shrestha, A., Uzal, F., & A. McClane, B. (2021). Pathogenicity

- and virulence of *Clostridium perfringens*. *Virulence*, 12(1), 723-753. <https://doi.org/10.1080/21505594.2021.1886777>
- Mehdizadeh G.I., Li, J., Navarro, M. A., Mendonça, F. S., Uzal, F. A., & McClane, B. A. (2023). Identification of orphan histidine kinases that impact sporulation and enterotoxin production by *Clostridium perfringens* type F strain SM101 in a pathophysiologically-relevant ex vivo mouse intestinal contents model. *PLOS Pathogens*, 19(6), e1011429. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1011429>
- Mohiuddin, M., Song, Z., Liao, S., Qi, N., Li, J., Lv, M., Lin, X., Cai, H., Hu, J., Liu, S., Zhang, J., Gu, Y., & Sun, M. (2023). Animal model studies, antibiotic resistance and toxin gene profile of NE reproducing *Clostridium perfringens* type A and type G strains isolated from commercial poultry farms in China. *Microorganisms*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030622>
- Morris, W. E., & Fernández-Miyakawa, M. E. (2009). Toxinas de *Clostridium perfringens*. *Revista Argentina de Microbiología*, 41(4), 251-260.
- Muneeb, M., Khan, E. U., Ahmad, S., Naveed, S., Ali, M., Qazi, M. A., Ahmad, T., & Abdollahi, M. R. (2024). An updated review on alternative strategies to antibiotics against necrotic enteritis in commercial broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 1–50.
- Navarro, M. A., McClane, B. A., & Uzal, F. A. (2018). Mechanisms of action and cell death associated with *Clostridium perfringens* toxins. *Toxins*, 10(5), 1–21. <https://doi.org/10.3390/toxins10050212>
- Ou, L., Ye, B., Sun, M., Qi, N., Li, J., Lv, M., Lin, X., Cai, H., Hu, J., Song, Y., Chen, X., Zhu, Y., Yin, L., Zhang, J., Liao, S., & Zhang, H. (2024). Mechanisms of intestinal epithelial cell damage by *Clostridium perfringens*. *Anaerobe*, 87, 102856. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2024.102856>
- Pawaiya, R. S., Gururaj, K., Gangwar, N. K., Singh, D. D., Kumar, R., & Kumar, A. (2020). The challenges of diagnosis and control of enterotoxaemia caused by *Clostridium perfringens* in Small Ruminants. *Advances in Microbiology*, 10(05), 238-273. <https://doi.org/10.4236/aim.2020.105019>
- Redondo, L. M. (2015). *Rol de las toxinas binarias en las enfermedades intestinales causadas por clostridios enterotóxicos. 51*. http://repositorioub.sisbi.uba.ar/gsd/collect/posgraafa/index/assoc/HWA_1143.dir/1143.PDF
- Rood, J. I., Adams, V., Lacey, J., Lyras, D., McClane, B. A., Melville, S. B., Moore, R. J., Popoff, M. R., Sarker, M. R., Songer, J. G., Uzal, F. A., & Van Immerseel, F. (2018). Expansion of the *Clostridium perfringens* toxin-based typing scheme. *Anaerobe*, 53, 5-10. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2018.04.011>
- Sakurai, J., Nagahama, M., Oda, M., Tsuge, H., & Kobayashi, K. (2009). *Clostridium perfringens* iota-toxin: structure and function. *Toxins*, 1(2), 208-228.
- Salvarani, F. M., Faccin, M., Freitas, N. F. D. Q. R., de Matos, M. R., Garcia, E. C., Pagliosa, G. M., & de Marco Viott, A. (2019). Outbreak of *Clostridium perfringens* type D enterotoxaemia in sheep. *Veterinary Medicine*, 40(6), 2593-2602.
- Seike, S., Takehara, M., Kobayashi, K., & Nagahama, M. (2022). Critical residues of *Clostridium perfringens* delta-toxin for oligomerization and receptor binding. *BPB Reports*, 5(3), 66-69. https://doi.org/10.1248/bpbreports.5.3_66
- Serroni, A., Colabella, C., Cruciani, D., Ciullo, M., Crotti, S., Papa, P., Di Paolo, A., Gobbi, M., Forti, K., Pellegrini, M., Salini, R., D'Avino, N., Cagiola, M., Pezzotti, G., & De Giuseppe, A. (2022). Identification and characterization of *Clostridium perfringens* atypical CPB2 Toxin in cell cultures and field samples using monoclonal antibodies. *Toxins*, 14(11), 796. <https://doi.org/10.3390/toxins14110796>
- Shrestha, A., Uzal, F. A., & McClane, B. A. (2018). Enterotoxic clostridia: *Clostridium perfringens*

- enteric diseases. *Microbiology Spectrum*, 6(5), 139-148. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.GPP3-0003-2017>
- Singh, A., Rawat, P., Choudhury, D., & Dixit, A. (2022). Immunogenic and neutralization efficacy of recombinant perfringolysin O of *Clostridium perfringens* and its C-terminal receptor-binding domain in a murine model. *Immunologic Research*, 70(2), 240-255. <https://doi.org/10.1007/s12026-021-09254-9>
- Uzal, F. A. (2004). Diagnosis of *Clostridium perfringens* intestinal infections in sheep and goats. *Anaerobe*, 10(2), 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2003.08.005>
- Uzal, F. A. (2010). Clostridium Perfringens toxins involved in mammalian veterinary diseases. *Open Toxinology Journal*, 2(1), 24-42. <https://doi.org/10.2174/1875414701003010024>
- Uzal, F. A., Giannitti, F., & Asin, J. (2022). Yellow lamb disease (*Clostridium perfringens* Type A enterotoxemia of sheep): A review. *Animals*, 12(12), 1-9. <https://doi.org/10.3390/ani12121590>
- Uzal, F. A., Navarro, M. A., Li, J., Freedman, J. C., Shrestha, A., & McClane, B. A. (2018). Comparative pathogenesis of enteric clostridial infections in humans and animals. *Anaerobe*, 53, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2018.06.002>
- Uzal, F. A., & Songer, J. G. (2008). Diagnosis of *Clostridium perfringens* intestinal infections in sheep and goats. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 20(3), 253-265. <https://doi.org/10.1177/104063870802000301>
- Wan, W., Li, Y., Wang, J., Jin, Z., Xin, W., Kang, L., Wang, J., Li, X., Cao, Y., Yang, H., Wang, J., & Gao, S. (2023). PLGA nanoparticle-based dissolving microneedle vaccine of *Clostridium perfringens* ϵ toxin. *Toxins*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/toxins15070461>
- Zaragoza, N. E., Orellana, C. A., Moonen, G. A., Moutafis, G., & Marcellin, E. (2019). Vaccine production to protect animals against pathogenic clostridia. *Toxins*, 11(9), 1-29. <https://doi.org/10.3390/toxins11090525>



Acuicultura sostenible: salud en peces cultivados y alternativas a los compuestos químicos

Sustainable aquaculture: health in farmed fish and natural alternatives to chemical compounds

Jesús Genaro Sánchez-Martínez ^{1*}, Jaime Luis Rábago-Castro¹, Roberto Pérez-Castañeda¹, Flaviano Benavides-González¹, María de la Luz Vázquez-Sauceda¹, Zeferino Blanco-Martínez¹

RESUMEN

La acuicultura ha crecido significativamente, contribuyendo a la seguridad alimentaria y ofreciendo empleo y sustento a muchas familias y comunidades, y proporcionando una fuente proteica de alta calidad. Sin embargo, el uso indiscriminado de compuestos químicos para controlar infecciones ha generado problemas como el estrés en los peces y resistencia en patógenos. Como alternativa se han explorado terapias que incluyen el uso de extractos de plantas medicinales que poseen efectos antibacterianos y antivirales, que mejoran la inmunidad y reducen el estrés en peces. Los métodos de administración de estos extractos incluyen la suplementación del pienso, baños de inmersión, e inyecciones intraperitoneales. El uso de plantas medicinales no solo reduce la dependencia de antibióticos, mejorando la salud y resistencia de los peces a enfermedades, sino que también minimiza el riesgo de contaminación ambiental y la resistencia a antibióticos, promoviendo una acuicultura más sostenible y saludable.

Palabras clave: Acuicultura, extractos de plantas, terapia alternativa.

ABSTRACT

Aquaculture has grown significantly, contributing to food security, offering employment and livelihood to many families and communities, and providing a high-quality protein source. However, using chemical compounds to control infections has caused problems such as stress in fish and pathogen resistance. Therapies using medicinal plant extracts with antibacterial and antiviral effects have been explored as an alternative. These extracts enhance immunity and reduce stress in fish. Methods of administering these extracts include feed supplementation, immersion baths, and intraperitoneal injections. The use of medicinal plants not only reduces dependence on antibiotics, improving the health and disease resistance of fish, but also minimizes the risk of environmental contamination and antibiotic resistance, promoting a more sustainable and healthier aquaculture.

Keywords: Aquaculture, alternative therapies, plant extracts.

Autor para correspondencia: jgsanchez@docentes.uat.edu.mx

Fecha de recepción: 8 de julio de 2024

Fecha de aceptación: 17 de julio de 2024

Fecha de publicación: 8 de agosto de 2024

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

INTRODUCCIÓN

La acuicultura desempeña un papel crucial como actividad económica a nivel mundial, y su crecimiento en las últimas décadas ha contribuido significativamente a la seguridad alimentaria. Diversas especies acuícolas se explotan para generar empleo y sustento en comunidades locales y regionales. Además, la producción acuícola proporciona proteínas de alta calidad como una alternativa saludable en la alimentación, permitiendo una mejor absorción de nutrientes disponibles en los alimentos (Norman et al., 2019).

La creciente demanda de productos acuícolas y la necesidad mundial de proteínas de alta calidad han llevado a la intensificación de la acuicultura. Aunque esta intensificación ha mejorado la productividad, también ha aumentado el uso de compuestos químicos para el control de organismos infecciosos. El estrés en los organismos se incrementa debido a la naturaleza del sistema de producción y a los agentes patógenos presentes (de la Cruz-Cervantes et al., 2018; Jana et al., 2018). Estos compuestos químicos mejoran la supervivencia larvaria, la eficiencia alimentaria y reducen el estrés durante el transporte. Sin embargo, algunas enfermedades afectan la salud de los peces, causando pérdida de peso y mortalidad dentro de las granjas, lo que resulta en pérdidas económicas significativas. Para abordar este desafío, es crucial desarrollar medidas preventivas y capacidades para detectar las necesidades de salud específicas en cada región (Jana et al., 2018).

A pesar de los avances en el control químico de enfermedades acuícolas, estas siguen afectando al sector productivo. Por lo tanto, se investigan terapias alternativas que refuercen el sistema inmunológico de los peces y reduzcan la intensidad de las enfermedades o su aparición (Lieke et al., 2020).

En este contexto, las prácticas basadas en el uso de plantas medicinales en los sistemas acuícolas han demostrado beneficios. Este tema es especialmente relevante considerando las tendencias de crecimiento poblacional y la necesidad de una acuicultura sostenible.

DESARROLLO DE TEMA

Extractos de plantas y sus efectos en ganadería y acuicultura

El ser humano ha estado estrechamente vinculado con su entorno desde sus orígenes, utilizando elementos del medio ambiente para obtener alimento y medicinas (Jamshidi-Kia et al., 2018). Por ejemplo, existe una relación recíproca entre la medicina tradicional humana y la de los animales. Remedios conocidos y utilizados para la salud humana también se aplican al tratamiento de los animales, y viceversa (Martínez & Luján, 2011; Miara et al., 2019). Esta interacción ha influido en el desarrollo de prácticas de crianza animal como medio de subsistencia.

La creciente demanda de ganado ha intensificado las prácticas ganaderas, aumentando el riesgo de enfermedades y el uso de antibióticos (Jana et al., 2018). El uso excesivo de antibióticos en la ganadería ha tenido efectos negativos tanto en los animales como en la salud humana (Martínez & Luján, 2011). Para abordar esta preocupación global, se han propuesto estrategias de alimentación biológicamente seguras que incluyan el uso de extractos vegetales (Miara et al., 2019).

En la ganadería, se han reportado bacterias gastrointestinales como *Aeromonas* spp., *Bacillus anthracis*, *Brucella abortus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Leptospira* spp., *Listeria*

monocytogenes y *Mycobacterium tuberculosis* en desechos ganaderos. Además, la presencia de ectoparásitos representa un riesgo significativo debido a su resistencia a los métodos de control convencionales (Mawdsley et al., 1995).

A pesar de estos desafíos, el conocimiento popular sobre la salud animal sigue siendo valioso en los sistemas tradicionales de crianza (Miara et al., 2019; Moura-Nascimento et al., 2021). En particular, el uso de plantas medicinales ha demostrado beneficios significativos en el control de ectoparásitos en la ganadería. Por ejemplo, extractos de *Calea serrata* han logrado una mortalidad del 100% en el estadio larvario de la garrapata *Rhipicephalus microplus* (Ribeiro et al., 2007); además, la corteza de Neem (*Azadirachta indica*) también ha mostrado resultados favorables contra este parásito (Pathak et al., 2004).

En sistemas productivos como la acuicultura, también se han observado efectos negativos debido al aumento de la comercialización en las últimas décadas. Las patologías más relevantes en la acuicultura incluyen vibriosis, furunculosis, aeromoniasis, septicemia, streptococosis, lactococosis, yersinosis, photobacteriosis y flavobacteriosis. El uso excesivo de productos químicos para combatir estas enfermedades es una preocupación similar a la de la ganadería (Jana et al., 2018; Yılmaz et al., 2022), y al igual que en la ganadería, se han reportado beneficios del uso de plantas medicinales en la acuicultura, especialmente en términos de propiedades antimicrobianas (Miara et al., 2019; Yılmaz et al., 2022). Estudios indican que ciertos productos vegetales estimulan el apetito, promueven el crecimiento y actúan como inmunoestimulantes, agentes antibacterianos, antivirales y antiparasitarios en la acuicultura (Yılmaz et al., 2022). Además, algunos aditivos derivados de plantas pueden tener efectos positivos a nivel genético, como la expresión de genes antioxidantes o la resistencia a condiciones de estrés (Yılmaz et al., 2022).

El uso estratégico de plantas medicinales puede contribuir a mejorar la salud de los peces en la acuicultura y reducir la dependencia de productos químicos. La investigación continua en este campo es fundamental para desarrollar soluciones sostenibles que beneficien tanto a los animales como a los seres humanos. A continuación, se describen algunos de los efectos de extractos vegetales usados en la acuicultura:

Acción antibacteriana y antiviral en organismos acuáticos

La acuicultura es una industria en crecimiento constante, pero enfrenta desafíos significativos como la contaminación ambiental y la creciente resistencia antimicrobiana. La emergencia de patógenos resistentes a los fármacos afecta tanto a la industria acuícola como a la salud pública. Para abordar estos problemas, se buscan alternativas sostenibles que no sean dañinas para el medio ambiente, sean biodegradables, no alteren el ecosistema y mantengan propiedades antimicrobianas efectivas. Una opción prometedora es el uso de compuestos naturales, como los extractos de plantas medicinales en la alimentación de los peces, debido a sus efectos biológicos, incluyendo la actividad antibacteriana (Harikrishnan et al., 2011a).

Por ejemplo, se ha demostrado que extractos como el de hojas de olivo (*Olea europaea L.*) poseen propiedades antioxidantes, antimicrobianas y otras actividades biológicas útiles en la alimentación de peces (El & Karakaya, 2009; Rahmanian et al., 2015). Estos compuestos, ricos en terpenos y otros componentes, alteran las membranas celulares de los patógenos, lo que puede ayudar a mitigar los problemas de resistencia antimicrobiana (Brahmi et al., 2012). Además, estudios recientes han investigado el potencial de otros extractos, como el etanólico de hojas de mangle (*Sonneratia alba*),

que muestra actividad antimicrobiana contra *Salmonella arizonae* en *Carasius auratus*, atribuida a flavonoides, saponinas, esteroides, taninos y terpenoides (Limbago et al., 2021).

Los virus también representan una amenaza significativa en la acuicultura, causando pérdidas económicas y de producción. Sin embargo, estudios han identificado terpenoides de plantas, como los de *Heliotropium filifolium*, que pueden inhibir la replicación del virus de la necrosis pancreática infecciosa (Modak et al., 2010). Además, extractos de plantas como *Calophyllum inophyllum*, *Clinacanthus nutans* y *Tinospora cripta* han demostrado efectos viricidas en peces Koi, mejorando significativamente las tasas de supervivencia frente al herpesvirus de ciprinidos (Haetrakul et al., 2018). Otros estudios han encontrado que extractos metanólicos de plantas medicinales pueden bloquear la transcripción y replicación viral en camarones hospederos (Citarasu, 2010).

Estimulación del sistema inmune y reducción del estrés en peces

Uno de los desafíos más significativos en la acuicultura es la reducción del uso de antibióticos y quimioterapéuticos. En este contexto, la aplicación de inmunopotenciadores en la acuicultura intensiva emerge como una solución prometedora (Pérez et al., 2014).

Existen diversas plantas medicinales que no solo poseen efectos antibacterianos, sino que también contribuyen a la prevención de infecciones bacterianas (Narayan et al., 2017). Por ejemplo, se ha observado que la fruta del Lapsi, *Choerospondias axillaris*, mejora la inmunidad innata de *Pangasianodon hypophthalmus*. De igual manera, los extractos metanólicos de la ortiga (*Urtica dioica*) y el hongo (*Pleurotus ostratus*) han demostrado mejorar la resistencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) contra *Aeromonas hydrophyla*, incrementando la actividad fagocítica, de la lisozima y de la mieloperoxidasa, independientemente de la dosis (Bilen et al., 2016). Además, los peces tratados con el extracto de ortiga presentaron la mayor supervivencia después de ser infectados con *A. hydrophyla*.

Otra planta con potencial inmunomodulador es el tulsi, *Ocimum sanctum*, que incrementa la resistencia de *Labeo rohita* a infecciones con *A. hydrophyla* al aumentar la producción del anión superóxido, la actividad lisozómica, la inmunoglobulina total en plasma, la proteína sérica total, el conteo total de leucocitos y el contenido de hemoglobina (Das et al., 2015). La suplementación de la dieta de *Carassius auratus* con *Aloe vera* incrementa la tasa de supervivencia contra infecciones con *A. hydrophyla* (Ahilan & Ravaneshwaran, 2010).

La adición de *Astragalus membranaceus* y de *Lonicera japonica* a la dieta de *O. niloticus* mejoró significativamente la actividad de los fagocitos y redujo la mortalidad frente a una infección con *A. hydrophyla* (Ardó et al., 2008). Los extractos etanólicos de la hoja de laurel, *Cistus laurifolius*, añadidos a la dieta de la carpa común (*Cyprinus carpio*) durante 45 días, mejoraron la inmunidad innata y la resistencia a *A. hydrophyla* (Bilen et al., 2021). También se ha observado que la adición de extractos de *Lactuca indica* mejora la inmunidad innata de *Epinephelus bruneus* y aumenta la resistencia a infecciones con *Streptococcus iniae* (Harikrishnan et al., 2011b).

La inmunidad innata de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*) mejoró cuando se alimentó con una dieta adicionada con extractos de *Radix paeoniae alba* (Huang et al., 2017). Una fórmula medicinal china, con raíz de astrágalo (*Radix astragalini seu Hedysari*) y raíz de angélica (*R. Angelicae Sinensis*), eleva la inmunidad innata de *C. carpio* (Jian & Wu, 2004). La mayoría de los parámetros de la inmunidad innata de la carpa india (*Catla catla*) mejoraron significativamente

con la adición de extractos de *Cynodon dactylon* a la dieta (Kaleeswaran et al., 2011). El jengibre (*Zingiber officinale*) mejora la resistencia de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) contra *A. hydrophyla* (Payung et al., 2017). *Euphorbia hirta* es una planta que mejora sustancialmente los indicadores de la inmunidad innata y específica a dosis altas en carpa infectada con *Pseudomonas fluorescens* (Pratheepa & Sukumaran, 2011). Asimismo, los tratamientos profilácticos con extractos de *Andrographis paniculata*, adicionados a la dieta de la tilapia del Nilo, resultan en un incremento en la resistencia a infecciones con *Streptococcus agalactiae* (Rattanachaikunsopon & Phumkhachorn, 2009).

La inyección intraperitoneal de extractos acuosos de *Tinospora cordifolia* mejoró la inmunidad innata y la resistencia a enfermedades de *Oreochromis mossambicus* (Alexander et al., 2010). Los extractos etanólicos de *Muscari comosum*, inyectados intraperitonealmente a *Sparus aurata*, mejoraron los parámetros de la inmunidad innata (Baba et al., 2014). Estudios con extractos de las hojas de *Punica granatum*, inyectados intraperitonealmente en lenguado (*Paralichthys olivaceous*), demostraron que los parámetros de la inmunidad innata, como fagocitosis, estallido respiratorio, complemento y actividad de la lisozima, se incrementaron significativamente después de 8 semanas de la inyección, mientras que mejoró la tasa de supervivencia contra infecciones del virus de linfocistis (LDV) (Harikrishnan et al., 2010). Los extractos metanólicos de la semilla de *Nyctanthes arboritis*, inyectados intraperitonealmente en tilapia (*O. mossambicus*), mejoraron los parámetros de la inmunidad innata y específica, además de incrementar el porcentaje de supervivencia contra infecciones con *A. hydrophyla* (Kirubakaran et al., 2016).

En lo que respecta a las plantas medicinales y sus efectos en la reducción de estrés en peces, el estrés se define como un factor físico o químico que induce reacciones en el cuerpo de los peces que pueden llevar a producir enfermedad (Hodar et al., 2021). Los peces en cultivo están generalmente expuestos a estrés de tipo biótico y abiótico (Kate et al., 2023), que hace que los peces sean más susceptibles a enfermedades, impactando la producción (Monteiro et al., 2021); por lo que es importante diseñar alternativas para aliviar los diferentes tipos de estrés a los que están sujetos los peces en cultivo. Sin embargo, hay pocos estudios sobre la modulación de los biomarcadores de estrés (Magara et al., 2022). La menta (*Minata sepicata*) actúa como un aliviador de estrés en *P. hypophthalmus* expuesto a estrés con amoníaco (Kate et al., 2023). La alimentación de la trucha arcoíris con una dieta adicionada con ácido betulínico, el principio activo de la planta *Souroubea sympetala*, redujo considerablemente el cortisol plasmático cuando las truchas fueron sometidas a un estresor (Mullally et al., 2017); estos efectos pueden ser útiles para mitigar los efectos del estrés en la acuicultura. La ortiga (*Urtica dioica*) reduce el estrés en los peces, además de otros efectos, como mejoramiento del crecimiento y de la inmunidad, y efectos antibacterianos y antivirales (Zare et al., 2023). Se ha reportado también que la adición a la dieta de extractos de hojas de loto (*Nelumbo nucifera*) protegen a la tilapia nilótica de los efectos tóxicos de los metales pesados (Abdel Rahman et al., 2019). Los peces al ser transportados sufren de estrés, y la suplementación de la dieta con cúrcuma (*Curcuma longa*), y combinaciones de sal y aceite de clavo son efectivas para disminuir el estrés en los peces transportados (Ferreira et al., 2017; Martins et al., 2024). Los extractos etanólicos de *Artemisia annua* adicionados en la dieta de la tilapia del Nilo reduce la respuesta al estrés disminuyendo los niveles plasmáticos de glucosa y cortisol (Soares et al., 2020). Las algas marinas también tienen un buen potencial para reducir los niveles de estrés en peces cultivados, pues se ha reportado que la suplementación de las dietas de corvina (*Argyrosomus regius*), con algas marinas (*Fucus vesiculosus* y *Nannochloropsis gaditana*) redujeron el estrés, reflejado en la reducción de los niveles de cortisol plasmático (Monteiro et al., 2021).

Métodos de extracción y administración de plantas medicinales en acuicultura

Producción de extractos

La obtención de los principios activos de las plantas para su empleo en los tratamientos contra enfermedades y patógenos en las diversas especies de organismo criados mediante la acuicultura, se realiza por diversos métodos, como la extracción mediante diferentes tipos de alcohol. En este tipo de extracción, las hojas de plantas secas se lavan con agua esterilizada, se homogenizan y muelen con etanol, luego se dejan reposar con etanol durante varios días, posteriormente se filtra a 150 micras, y el líquido resultante se deja reposar para dejar evaporar el alcohol, se agrega agua destilada y se almacena, dejando el extracto listo para su empleo (Bilen et al., 2021). Otro tipo de alcohol utilizado es el metanol (Uthayakumar et al., 2012), en donde se sigue en términos generales el mismo procedimiento, se obtiene un polvo de hojas del material vegetativo, el cual se deja en reposo con el alcohol, se filtra con una tela de muselina, se deja en evaporación en un equipo evaporador para hexano, y finalmente se incorpora a aceite comestible de coco como vehículo. Otros tipos de solventes como el éter de petróleo, cloroformo, acetato de etilo, acetona y metanol (Lu et al., 2012) también pueden ser empleados, previo lavado, molido y desecación de la planta.

En algunos estudios, después del molido y que el material vegetativo ha sido convertido a polvo, se somete a una desecación-congelación a $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, con el fin de eliminar toda la humedad (Ji et al., 2012). Un nuevo método que ofrece algunas ventajas y denominado extracción supercrítica con bióxido de carbono, emplea dicho procedimiento para el aislamiento de aceites esenciales a partir de plantas, los cuales son también añadidos a las dietas (Docan et al., 2020) para determinar el efecto *in vitro* sobre patógenos bacterianos pueden ser diferentes. Por ejemplo, en primer lugar, se eliminan las partículas extrañas, sustancias u organismos, ya sean vegetales o animales y que estén adheridos al material vegetativo. Por ejemplo, Pannu et al. (2024) utilizaron una solución de permanganato de potasio al 1% para remover epifitas, arena y material extraño en las especies *Azadirachta indica*, *Aloe barbadensis*, *Withania somnifera*, *Momordica charantia*; luego se dejan secar, y se muelen en un mortero hasta convertirlas en polvo. En dicho reporte no se emplearon solventes a base de alcohol, sino agua destilada estéril, agitando durante 24 horas, filtrando posteriormente y dejando secar para su posterior uso. La razón para no emplear solventes es posiblemente para afectar a las bacterias por los residuos de los solventes tradicionales empleados, aunque estos hayan sido sometidos a la evaporación.

Suplementación del pienso

En la acuicultura, la aplicación y suministro de medicamentos profilácticos o terapéuticos en especies cultivadas en la mayoría de las veces es mediante su inclusión o integración en los alimentos. Los gastos mediante este método suelen ser inferiores a aquellos en donde se aplican directamente en el agua, o bien cuando se efectúan de manera individual, ya que conlleva a causar estrés en los animales y en la mayoría de las explotaciones no se contempla llevarlo a cabo por la mano de obra necesaria para realizarlo. Por ello, los métodos para administrar extractos y principios de plantas en las especies acuícolas son en general similares hasta el momento a los utilizados tradicionalmente para otros compuestos (antibióticos, quimioterapéuticos, vitaminas), mezclándolo con aceites y rociándolo con el alimento. Por ejemplo, en un estudio, se mezcló el polvo seco de las plantas con gel de sábila y posteriormente se incorporó al alimento (Ahilan & Ravaneshwaran, 2010). Una de las variantes de la suplementación en el alimento consiste en rociar los extractos en las diferentes concentraciones directamente al alimento seco (Bilen et al., 2021).

Asimismo, en un estudio *in vitro*, Abutbul et al. (2004) determinaron el efecto de romero a tilapias expuestas a *Streptococcus iniae*, utilizaron dos formas de agregar al alimento. En el primero se agregaron polvo de hojas de romero al alimento, y en un segundo grupo se añadió un extracto de la materia seca obtenida de este vegetal mediante extracción con acetato de etilo, agregando agua destilada, mezclado con el alimento, pasado por un procesador de carne molida, y finalmente cortar y dejar secar el producto.

Baños e inmersión

Este tipo de tratamiento posiblemente tenga su aplicación en especies de alto valor económico (reproductores) que puedan manejarse de manera individual (baños de inmersión) o bien en sistemas intensivos colocando los organismos en canaletas, tanques o estanques pequeños para reducir gastos. Los resultados de algunos estudios han demostrado la eficacia de este método para el tratamiento de parásitos externos. Por ejemplo, Lu et al. (2012) utilizaron el método de inmersión con extractos de *D. crassirhizoma*, *K. scoparia*, y de *P. tenuifolia* contra el monogeneo *Dactylogirus intermedius* en *Carassius auratus*. En este estudio *D. crassirhizoma* causó una mortalidad del 100% contra dicho monogeneo después de 48 horas de exposición a una dosis de 22.97 mg/L. Asimismo, Ji et al. (2012) probaron el efecto en baños de 42 extractos de plantas contra el mismo parásito en dicha especie de pez, mientras que Huang et al. (2013) lo hicieron con 26 especies. Asimismo, Fridman et al. (2014) emplearon tratamientos de inmersión de extractos de ajo acuoso a secciones de aletas de gupies *Poecilia reticulata* parasitadas con el monogeneo *G. turnbulli*, observando el desprendimiento de los parásitos.

Inyecciones intraperitoneales

De acuerdo con Reverter et al. (2017), la administración intraperitoneal es el método más rápido y eficiente de todos los métodos de aplicación de medicamentos en peces; sin embargo, resulta caro, implica mucho trabajo y es estresante para los organismos. Por lo anterior, quizá en la mayoría de las granjas comerciales de peces no se emplean de manera individual tratamientos vía inyección en la cavidad abdominal. Sin embargo, estudios con extractos de las hojas de *Punica granatum*, inyectados intraperitonealmente en lenguado (*Paralichthys olivaceus*), demostraron que mejoró la tasa de supervivencia contra infecciones del virus de linfocistis (LDV) (Harikrishnan et al., 2010), mientras que los extractos metanólicos de la semilla de *Nyctanthes arboritis*, inyectados intraperitonealmente en tilapia (*O. mossambicus*) incrementaron la resistencia contra infecciones con *A. hydrophyla* (Kirubakaran et al., 2016).

Resultados y beneficios

Reducción de la necesidad de antibióticos

Históricamente, en la industria de la acuicultura se han utilizado distintos tipos de antibióticos en el cultivo de peces (Cabello, 2006), entre los que se encuentran las tetraciclinas, sulfonamidas y quinolones (Thiang et al., 2021). De hecho, en las décadas de los años de 1970 y 1980 los antibióticos más comúnmente utilizados en el cultivo de peces fueron el ácido oxolínico, oxitetraciclina, furazolidona, sulfonamidas potenciales (sulfadiazina y trimetoprima) y amoxicilina (Ringø et al., 2014). Sin embargo, hoy en día existe preocupación por el uso excesivo de antibióticos en la producción animal, incluyendo la piscicultura, debido a que pueden generar patógenos resistentes a los antibióticos, así como contaminación ambiental o acumulación de residuos químicos en los tejidos de los peces (Bulfinch et al., 2015), implicando riesgos a la salud pública.

La resistencia a los antibióticos puede transferirse a otros patógenos, incluyendo a los que afectan al hombre, representando una amenaza ambiental y para la salud humana (Harikrishnan et al., 2011a). Debido a lo anterior, durante los últimos años se ha incrementado el estudio de distintos productos obtenidos de las plantas, que contienen compuestos fenólicos, polifenólicos, alcaloides, quinonas, terpenoides, lectinas y polipéptidos muchos de los cuales han mostrado ser alternativas efectivas al uso de los antibióticos (Harikrishnan et al., 2011a).

Mejora de la salud y resistencia de los peces

Algunas plantas usadas en la medicina naturista podrían ser una alternativa viable para el control de enfermedades en acuicultura, debido a que contienen compuestos activos con ciertas propiedades profilácticas y terapéuticas. Dichos compuestos activos poseen propiedades antiparasitarias en los peces, además de prevenir enfermedades causadas por bacterias, hongos o virus (Hodar et al., 2021).

Por otro lado, se ha documentado que los compuestos bioactivos contenidos en las plantas medicinales favorecen a su vez la respuesta inmune específica y no específica en los peces (Harikrishnan et al., 2012). Los efectos inmunoestimulantes de los extractos de plantas medicinales se han documentado en varias especies de peces como la tilapia (*Oreochromis mossambicus*) (Logambal et al., 2000), la carpa de la India *Catla catla* (Rao & Chakrabarti, 2005) o la corvina amarilla de China (*Pseudosciaena crocea*) (Jian & Wu, 2003), entre otras.

En todos los casos anteriores, los peces mejoraron su respuesta inmune, elevando la producción de anticuerpos, neutrófilos activados, niveles de inmunoglobulina o la actividad de la lisozima. Por lo tanto, el uso de estos inmunoestimulantes se considera como una alternativa promisoriosa en el cultivo de peces por mejorar la resistencia a las enfermedades (Sahoo, 2007).

Menor riesgo de contaminación ambiental

El uso de antibióticos en la piscicultura, además de representar un costo adicional para el productor, también puede generar situaciones no deseadas como efectos de bioacumulación en los peces o contaminación ambiental (Harikrishnan et al., 2011a).

Los compuestos activos de las plantas medicinales han mostrado ser efectivos para tratar enfermedades en los peces, representando una alternativa viable y menos costosa que los antibióticos utilizados en la acuicultura (Nik Mohamad Nek Rahimi et al., 2022). Por lo tanto, al utilizar productos obtenidos de las plantas en sustitución de los antibióticos, se reduciría el riesgo de contaminación ambiental y de sus impactos adversos a los ecosistemas y salud pública. Entre los potenciales efectos adversos se encuentran la resistencia microbiana a los antibióticos, alteración de la vida acuática, disrupción del proceso de la fotosíntesis y afectaciones a la salud humana por alteraciones a la microbiota, además de que pueden producir asma o malformaciones fetales (Sosa-Hernández et al., 2021).

A nivel mundial, la industria de la acuicultura presenta pérdidas económicas, hasta por 6 billones de dólares, a causa de las enfermedades en los organismos acuáticos (Stentiford et al., 2017), razón por la cual se aplica una gran cantidad de antibióticos para enfrentar dicha problemática. Sin embargo, el utilizar plantas medicinales como agentes terapéuticos o profilácticos en las enfermedades de los organismos acuáticos cultivados, reduciría de manera importante el uso de los fármacos sintéticos, y por consiguiente el riesgo de contaminación ambiental por su utilización excesiva en la acuicultura.

CONCLUSIÓN

La acuicultura ha emergido como una actividad económica esencial a nivel mundial, brindando seguridad alimentaria y generando empleo, a la vez que contribuye al progreso económico y social de las comunidades. Sin embargo, este crecimiento ha traído consigo desafíos significativos, especialmente en el manejo de enfermedades que afectan a los peces. La dependencia en el uso de compuestos químicos para controlar estas enfermedades ha generado preocupaciones ambientales y de salud pública, dado el riesgo de resistencia a los antibióticos y la contaminación ambiental.

En este contexto, la aplicación de extractos de plantas medicinales se presenta como una alternativa prometedora y sostenible. Estos extractos no solo han demostrado tener propiedades antibacterianas y antivirales, sino que también potencian el sistema inmunológico de los peces y reducen el estrés, mejorando su resistencia a enfermedades. Además, métodos innovadores de extracción y administración de estos compuestos permiten su incorporación eficiente en los sistemas de producción acuícola, reduciendo costos y minimizando el estrés en los organismos.

El uso de plantas medicinales puede disminuir significativamente la necesidad de antibióticos, reduciendo así el riesgo de generar patógenos resistentes y evitando la acumulación de residuos químicos en los peces. Esto contribuye a una acuicultura más sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente. En resumen, la integración de plantas medicinales en la acuicultura no solo mejora la salud y resistencia de los peces, sino que también ofrece una solución viable para los problemas ambientales y de salud pública asociados con el uso excesivo de antibióticos.

REFERENCIAS

- Abdel Rahman, A. N., ElHady, M., Hassanin, M. E., & Mohamed, A. A.-R. (2019). Alleviative effects of dietary Indian lotus leaves on heavy metals-induced hepato-renal toxicity, oxidative stress, and histopathological alterations in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 509, 198-208. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.030>
- Abutbul, S., Golan-Goldhirsh, A., Barazani, O., & Zilberg, D. (2004). Use of *Rosmarinus officinalis* as a treatment against *Streptococcus iniae* in tilapia (*Oreochromis* sp.). *Aquaculture*, 238(1-4), 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.016>
- Ahilan, B., & Ravaneshwaran, K. (2010). Influence of certain Herbal Additives on the growth, survival and disease resistance of goldfish, *Carassius auratus* (Linnaeus). *Tamilnadu Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 6, 5-11.
- Alexander, C. P., John Wesley Kirubakaran, C., & Michael, R. D. (2010). Water soluble fraction of *Tinospora cordifolia* leaves enhanced the non-specific immune mechanisms and disease resistance in *Oreochromis mossambicus*. *Fish and Shellfish Immunology*, 29(5), 765-772. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.07.003>
- Ardó, L., Yin, G., Xu, P., Váradi, L., Szigeti, G., Jeney, Z., & Jeney, G. (2008). Chinese herbs (*Astragalus membranaceus* and *Lonicera japonica*) and boron enhance the non-specific immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and resistance against *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*, 275(1-4), 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.022>
- Baba, E., Uluköy, G., & Mammadov, R. (2014). Effects of *Muscari comosum* Extract on Nonspecific Immune Parameters in Gilthead Seabream, *Sparus aurata* (L. 1758). *Journal of the World*

- Aquaculture Society*, 45(2), 173-182. <https://doi.org/10.1111/jwas.12100>
- Bilen, S., Mohamed Ali, G. A., Amhamed, I. D., & Almabrok, A. A. (2021). Modulatory effects of laurel-leaf cistus (*Cistus laurifolius*) ethanolic extract on innate immune responses and disease resistance in common carp (*Cyprinus carpio*). *Fish & Shellfish Immunology*, 116, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.07.001>
- Bilen, S., Ünal, S., & Güvensoy, H. (2016). Effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and nettle (*Urtica dioica*) methanolic extracts on immune responses and resistance to *Aeromonas hydrophila* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 454, 90-94. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.12.010>
- Brahmi, F., Flamini, G., Issaoui, M., Dhibi, M., Dabbou, S., Mastouri, M., & Hammami, M. (2012). Chemical composition and biological activities of volatile fractions from three Tunisian cultivars of olive leaves. *Medicinal Chemistry Research*, 21(10), 2863-2872. <https://doi.org/10.1007/s00044-011-9817-8>
- Bulfon, C., Volpatti, D., & Galeotti, M. (2015). Current research on the use of plant-derived products in farmed fish. *Aquaculture Research*, 46(3), 513-551. <https://doi.org/10.1111/are.12238>
- Cabello, F. C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: A growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7), 1137-1144. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x>
- Citarasu, T. (2010). Herbal biomedicines: a new opportunity for aquaculture industry. *Aquaculture International*, 18(3), 403-414. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9253-7>
- Das, R., Raman, R. P., Saha, H., & Singh, R. (2015). Effect of *Ocimum sanctum* Linn. (Tulsi) extract on the immunity and survival of *Labeo rohita* (Hamilton) infected with *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture Research*, 46(5), 1111-1121. <https://doi.org/10.1111/are.12264>
- de la Cruz-Cervantes, J. A., Benavides-González, F., Sánchez-Martínez, J. G., Vázquez-Sauceda, M. de la L., & Ruiz-Urbe, A. J. (2018). Propolis in Aquaculture: A Review of Its Potential. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(3), 337-349. <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1424798>
- Docan, A., Dediú, L., & Grecu, I. (2020). The physiological status of sturgeon hybrids fed with herbal supplements in recirculating aquaculture system. *Scientific Journal of Animal Science*, 63(1), 547-552.
- El, S. N., & Karakaya, S. (2009). Olive tree (*Olea europaea*) leaves: potential beneficial effects on human health. *Nutrition Reviews*, 67(11), 632-638. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00248.x>
- Ferreira, P. de M. F., Rocha, J. S., Gomes, J. R., Caldas, D. W., Martins, M. T. S., de Oliveira, J. M., Salaro, A. L., & Zuanon, J. A. S. (2017). *Curcuma longa* supplementation in the diet of *Astyanax aff. bimaculatus* in preparation for transport. *Aquaculture Research*, 48(8), 4524-4532. <https://doi.org/10.1111/are.13277>
- Fridman, S., Sinai, T., & Zilberg, D. (2014). Efficacy of garlic based treatments against monogenean parasites infecting the guppy (*Poecilia reticulata* (Peters)). *Veterinary Parasitology*, 203(1-2), 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.02.002>
- Haetrakul, T., Dunbar, S. G., & Chansue, N. (2018). Antiviral activities of *Clinacanthus nutans* (Burm.f.) Lindau extract against Cyprinid herpesvirus 3 in koi (*Cyprinus carpio koi*). *Journal of Fish Diseases*, 41(4), 581-587. <https://doi.org/10.1111/jfd.12757>
- Harikrishnan, R., Heo, J., Balasundaram, C., Kim, M.-C., Kim, J.-S., Han, Y.-J., & Heo, M.-S. (2010). Effect of *Punica granatum* solvent extracts on immune system and disease resistance in *Paralichthys olivaceus* against lymphocystis disease virus (LDV). *Fish & Shellfish Immunology*, 29(4), 668-673. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.07.006>

- Harikrishnan, R., Balasundaram, C., & Heo, M.-S. (2011a). Impact of plant products on innate and adaptive immune system of cultured finfish and shellfish. *Aquaculture*, 317(1-4), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.03.039>
- Harikrishnan, R., Kim, J.-S., Kim, M.-C., Balasundaram, C., & Heo, M.-S. (2011b). *Lactuca indica* extract as feed additive enhances immunological parameters and disease resistance in *Epinephelus bruneus* to *Streptococcus iniae*. *Aquaculture*, 318(1-2), 43-47. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.04.049>
- Harikrishnan, R., Kim, D.-H., Hong, S.-H., Mariappan, P., Balasundaram, C., & Heo, M.-S. (2012). Non-specific immune response and disease resistance induced by *Siegesbeckia glabrescens* against *Vibrio parahaemolyticus* in *Epinephelus bruneus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 33(2), 359-364. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.05.018>
- Hodar, A. R., Vasava, R., Mahavadiya, D., Joshi, N., Nandaniya, V., & Solanki, H. (2021). Herbs and Herbal Medicines: A Prominent Source for Sustainable Aquaculture. *Journal of Experimental Zoology India*, 24(1), 719-732.
- Huang, A.-G., Yi, Y.-L., Ling, F., Lu, L., Zhang, Q.-Z., & Wang, G.-X. (2013). Screening of plant extracts for anthelmintic activity against *Dactylogyrus intermedius* (Monogenea) in goldfish (*Carassius auratus*). *Parasitology Research*, 112(12), 4065-4072. <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3597-7>
- Huang, J. L., Li, A. H., Qian, X. Q., Tan, X. C., & Wang, Z. K. (2017). Immune Enhancement for Grass Carp *Ctenopharyngodon idellus* with Herbal Enriched Feed. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 48(3), 576-582. <https://doi.org/10.11693/hyh20161200273>
- Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.15171/jhp.2018.01>
- Jana, P., Karmakar, S., Roy, U., Paul, M., Singh, A. K., & Bera, K. K. (2018). Phytobiotics in aquaculture health management: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(4), 1422-1429.
- Ji, J., Lu, C., Kang, Y., Wang, G.-X., & Chen, P. (2012). Screening of 42 medicinal plants for in vivo anthelmintic activity against *Dactylogyrus intermedius* (Monogenea) in goldfish (*Carassius auratus*). *Parasitology Research*, 111(1), 97-104. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2805-6>
- Jian, J., & Wu, Z. (2003). Effects of traditional Chinese medicine on nonspecific immunity and disease resistance of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* (Richardson). *Aquaculture*, 218(1-4), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00192-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00192-8)
- Jian, J., & Wu, Z. (2004). Influences of traditional Chinese medicine on non-specific immunity of Jian Carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Fish & Shellfish Immunology*, 16(2), 185-191. [https://doi.org/10.1016/S1050-4648\(03\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S1050-4648(03)00062-7)
- Kaleeswaran, B., Ilavenil, S., & Ravikumar, S. (2011). Dietary supplementation with *Cynodon dactylon* (L.) enhances innate immunity and disease resistance of Indian major carp, *Catla catla* (Ham.). *Fish & Shellfish Immunology*, 31(6), 953-962. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2011.08.013>
- Kate, G. U., Krishnani, K. K., Kumar, N., Sukhdhane, K., Verma, A. K., Brahmane, M. P., Chadha, N. K., & Kumar, J. (2023). Abiotic and biotic stress alleviating effects of the medicinal and aromatic plant-derived product on striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 135, 108625. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108625>
- Kirubakaran, C. J. W., Subramani, P. A., & Michael, R. D. (2016). Methanol extract of *Nyctanthes arbor-tristis* seeds enhances non-specific immune responses and protects *Oreochromis mossambicus* (Peters) against *Aeromonas hydrophila* infection. *Research in Veterinary Science*, 105, 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2016.02.013>
- Lieke, T., Meinelt, T., Hoseinifar, S. H., Pan, B., Straus, D. L., & Steinberg, C. E. W. (2020). Sustainable aquaculture requires environmental-friendly treatment strategies for fish diseases. *Reviews*

- in Aquaculture*, 12(2), 943-965. <https://doi.org/10.1111/raq.12365>
- Limbago, J. S., Sosas, J., Gente, A. A., Maderse, P., Rocamora, M. N., & Gomez, D. K. (2021). Antibacterial effects of mangrove ethanolic leaf extract against zoonotic fish pathogen *Salmonella arizonae*. *Journal of Fisheries*, 9(2), 92205. <http://doi.org/10.17017/j.fish.260>
- Logambal, S. M., Venkatalakshmi, S., & Dinakaran Michael, R. (2000). Immunostimulatory effect of leaf extract of *Ocimum sanctum* Linn. in *Oreochromis mossambicus* (Peters). *Hydrobiologia*, 430(1-3), 113-120. <https://doi.org/10.1023/A:1004029332114>
- Lu, C., Zhang, H.-Y., Ji, J., & Wang, G.-X. (2012). In vivo anthelmintic activity of *Dryopteris crassirhizoma*, *Kochia scoparia*, and *Polygala tenuifolia* against *Dactylogyrus intermedius* (Monogenea) in goldfish (*Carassius auratus*). *Parasitology Research*, 110(3), 1085-1090. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2592-0>
- Magara, G., Prearo, M., Vercelli, C., Barbero, R., Micera, M., Botto, A., Caimi, C., Caldaroni, B., Berteza, C. M., Mannino, G., Barceló, D., Renzi, M., Gasco, L., Re, G., Dondo, A., Elia, A. C., & Pastorino, P. (2022). Modulation of Antioxidant Defense in Farmed Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fed with a Diet Supplemented by the Waste Derived from the Supercritical Fluid Extraction of Basil (*Ocimum basilicum*). *Antioxidants*, 11(2), 415. <https://doi.org/10.3390/antiox11020415>
- Martínez, G. J., & Luján, M. C. (2011). Medicinal plants used for traditional veterinary in the Sierras de Córdoba (Argentina): An ethnobotanical comparison with human medicinal uses. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7(23), 1-18. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-7-23>
- Martins, K. V. B., Silva, S. B., da Silva Cardoso, A. J., Salaro, A. L., de Moraes França Ferreira, P., Freitas, M. B., & Zuanon, J. A. S. (2024). Effectiveness and safety of clove oil and common salt in the long-term transport of *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*, 583, 740532. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740532>
- Mawdsley, J. L., Bardgett, R. D., Merry, R. J., Pain, B. F., & Theodorou, M. K. (1995). Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution. *Applied Soil Ecology*, 2(1), 1-15. [https://doi.org/10.1016/0929-1393\(94\)00039-A](https://doi.org/10.1016/0929-1393(94)00039-A)
- Miara, M. D., Bendif, H., Ouabed, A., Rebbas, K., Ait Hammou, M., Amirat, M., Greene, A., & Teixidor-Toneu, I. (2019). Ethnoveterinary remedies used in the Algerian steppe: Exploring the relationship with traditional human herbal medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 244, 112164. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112164>
- Modak, B., Sandino, A. M., Arata, L., Cárdenas-Jirón, G., & Torres, R. (2010). Inhibitory effect of aromatic geranyl derivatives isolated from *Heliotropium filifolium* on infectious pancreatic necrosis virus replication. *Veterinary Microbiology*, 141(1-2), 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.09.005>
- Monteiro, M., Sousa, C., Coutinho, F., Castro, C., Fontinha, F., Guerreiro, I., Pousão, P., Matos, E., Díaz-Rosales, P., Oliva-Teles, A., Enes, P., & Couto, A. (2021). Functional Feeds to Tackle Meagre (*Argyrosomus regius*) Stress: Physiological Responses under Acute Stressful Handling Conditions. *Marine Drugs*, 19(11), 598. <https://doi.org/10.3390/md19110598>
- Moura-Nascimento, G., de Freitas-Maia, C., Silva-Milagres, B., & de Cruz-Junior, C. (2021). Estudo do uso de plantas medicinais na medicina veterinária em plataformas virtuais. *Pubvet*, 15(04), 1-13. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n04a789.1-13>
- Mullally, M., Mimeault, C., Otárola Rojas, M., Sanchez Vindas, P., Garcia, M., Poveda Alvarez, L., Moon, T. W., Gilmour, K. M., Trudeau, V. L., & Arnason, J. T. (2017). A botanical extract of *Souroubea sympetala* and its active principle, *betulinic acid*, attenuate the cortisol response to a stressor in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 468, 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.040>

- Narayan, L. S., Labh, K. B., Sahu, P., Sahoo, S., Ratna, S. S., & Kumar, S. (2017). Growth performance and immune response of silver striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) fed with Lapsi *Choerospondias axillaris*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(3), 188-202.
- Nik Mohamad Nek Rahimi, N., Natrah, I., Loh, J.-Y., Ervin Ranzil, F. K., Gina, M., Lim, S.-H. E., Lai, K.-S., & Chong, C.-M. (2022). Phytocompounds as an Alternative Antimicrobial Approach in Aquaculture. *Antibiotics*, 11(4), 469. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11040469>
- Norman, R. A., Crumlish, M., & Stetkiewicz, S. (2019). The importance of fisheries and aquaculture production for nutrition and food security. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 38(2), 395-407. <https://doi.org/10.20506/rst.38.2.2994>
- Pannu, R., Dahiya, S., Sabhlok, V., Kumar, D., Sarsar, V., & Gahlawat, S. (2024). Effect of probiotics, antibiotics and herbal extracts against fish bacterial pathogens. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 9(1), 13-20. <https://doi.org/10.5132/eec.2014.01.002>
- Pathak, D., Mathur, V. C., Latha, B. R., & John, L. (2004). In vitro effect of indigenous plant extracts on ixodid ticks of small ruminants. *Indian Journal of Animal Sciences*, 74(6), 616-617. https://www.researchgate.net/publication/287897057_In_vitro_effect_of_indigenous_plant_extracts_on_ixodid_ticks_of_small_ruminants
- Payung, C. N., Tumbol, R. A., & Manoppo, H. (2017). Dietary ginger (*Zingiber officinale*) enhance resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) against *Aeromonas hydrophila*. *AAFL Bioflux*, 10(4), 962-968.
- Pérez, R., Romeu, B., Lastre, M., Morales, Y., Cabrera, O., Reyes, L., González, E., Sifontes, S., & Pérez, O. (2014). Immune-Potentiators for the aquaculture. *VacciMonitor*, 23(1), 24-31. https://www.researchgate.net/publication/286233683_Immune-Potentiators_for_the_aquaculture
- Pratheepa, V., & Sukumaran, N. (2011). Specific and nonspecific immunostimulation study of *Euphorbia hirta* on *Pseudomonas fluorescens*-infected *Cyprinus carpio*. *Pharmaceutical Biology*, 49(5), 484-491. <https://doi.org/10.3109/13880209.2010.526615>
- Rahmanian, N., Jafari, S. M., & Wani, T. A. (2015). Bioactive profile, dehydration, extraction and application of the bioactive components of olive leaves. *Trends in Food Science & Technology*, 42(2), 150-172. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.12.009>
- Rao Y. V., & Chakrabarti, R. (2005). Stimulation of immunity in Indian major carp *Catla catla* with herbal feed ingredients. *Fish & Shellfish Immunology*, 18(4), 327-334. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.08.005>
- Rattanachaiakunsopon, P., & Phumkhachorn, P. (2009). Prophylactic effect of *Andrographis paniculata* extracts against *Streptococcus agalactiae* infection in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 107(5), 579-582. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2009.01.024>
- Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Sasal, P., & Saulnier, D. (2017). Use of Medicinal Plants in Aquaculture. In *Diagnosis and Control of Diseases of Fish and Shellfish* (pp. 223-261). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119152125.ch9>
- Ribeiro, V. L. S., Toigo, E., Bordignon, S. A. L., Gonçalves, K., & von Poser, G. (2007). Acaricidal properties of extracts from the aerial parts of *Hypericum polyanthemum* on the cattle tick *Boophilus microplus*. *Veterinary Parasitology*, 147(1-2), 199-203. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.03.027>
- Ringø, E., Olsen, R. E., Jensen, I., Romero, J., & Lauzon, H. L. (2014). Application of vaccines and dietary supplements in aquaculture: possibilities and challenges. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(4), 1005-1032. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9361-y>
- Sahoo, P. K. (2007). Role of immunostimulants in disease resistance of fish. *CABI Reviews*, 2. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20072045>

- Soares, M. P., Cardoso, I. L., Ishikawa, M. M., de Oliveira, A. da S. S., Sartoratto, A., Jonsson, C. M., de Queiroz, S. C. do N., Duarte, M. C. T., Rantin, F. T., & Sampaio, F. G. (2020). Effects of *Artemisia annua* alcohol extract on physiological and innate immunity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to improve health status. *Fish & Shellfish Immunology*, *105*, 369-377. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.07.035>
- Sosa-Hernández, J. E., Rodas-Zuluaga, L. I., López-Pacheco, I. Y., Melchor-Martínez, E. M., Aghalari, Z., Limón, D. S., Iqbal, H. M. N., & Parra-Saldívar, R. (2021). Sources of antibiotics pollutants in the aquatic environment under SARS-CoV-2 pandemic situation. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *4*, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100127>
- Stentiford, G. D., Sritunyalucksana, K., Flegel, T. W., Williams, B. A. P., Withyachumnarnkul, B., Itsathitphaisarn, O., & Bass, D. (2017). New Paradigms to Help Solve the Global Aquaculture Disease Crisis. *Plos Pathogens*, *13*(2), e1006160. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006160>
- Thiang, E. L., Lee, C. W., Takada, H., Seki, K., Takei, A., Suzuki, S., Wang, A., & Bong, C. W. (2021). Antibiotic residues from aquaculture farms and their ecological risks in Southeast Asia: a case study from Malaysia. *Ecosystem Health and Sustainability*, *7*(1), 1926337. <https://doi.org/10.1080/20964129.2021.1926337>
- Uthayakumar, Ramasubramanian, V., D. Senthilkumar, Sreedevi, P. R., & Munirasu, S. (2012). Specific and Non-Specific Immune Response and Disease Resistance of *Solanum torvum* Leaf Soluble Fractions in Freshwater Carp *Cyprinus Carpio*. *International Research Journal of Pharmacy*, *3*(6), 164-170.
- Yılmaz, S., Ergün, S., Yiğit, M., & Yılmaz, E. (2022). An Extensive Review on the Use of Feed Additives Against Fish Diseases and Improvement of Health Status of Fish in Turkish Aquaculture Sector. *Aquaculture Studies*, *22*(3), 710. <https://doi.org/10.4194/AQUAST710>
- Zare, M., Esmacili, N., Paolacci, S., & Stejskal, V. (2023). Nettle (*Urtica dioica*) Additive as a Growth Promoter and Immune Stimulator in Fish. *Aquaculture Nutrition*, *2023*, 1-21. <https://doi.org/10.1155/2023/8261473>

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 tipo 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>



Universidad Autónoma de
TAMAULIPAS



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

CIENCIAS
Veterinarias
— y Producción Animal



VERDAD, BELLEZA, PROBIDAD