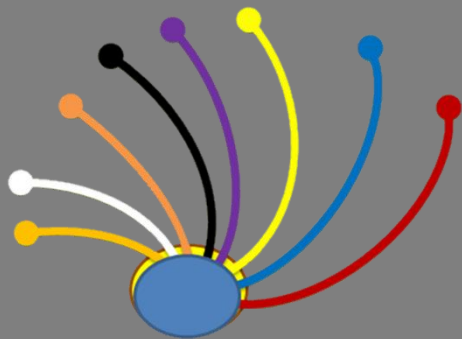


# Actualidades en ciencias veterinarias, zootécnicas, agrícolas y ambientales

Carlos Omar De la Cruz Moreno  
Sergio Martínez González  
Fidel Ávila Ramos  
Editores



Abanico Académico





# Actualidades en ciencias veterinarias, zootécnicas, agrícolas y ambientales

Carlos Omar De la Cruz Moreno  
Sergio Martínez González  
Fidel Ávila Ramos  
Editores



Primera Edición 2025.

# ABANICO ACADÉMICO

La presentación y disposición en conjunto de la obra:

Actualidades en Ciencias Veterinarias, Zootécnicas, Agrícolas y Ambientales en su primera edición, es publicada en versión digital con 330 páginas, después del proceso de arbitraje y dictaminación por pares, nacional e internacional. De acuerdo a la Ciencia Abierta puede ser reproducida o transmitida, mediante cualquier sistema o método, electrónico o mecánico, con fines académicos y sin fines de lucro.

Carlos Omar De la Cruz Moreno  
Sergio Martínez González  
Fidel Ávila Ramos  
Editores

Todos los derechos reservados a:

Abanico Académico.

abanicoacademico.mx

RFC MAGS690517979

Calle Valle Bravo 16, Colonia Valle Dorado. Tepic, Nayarit, México.

CP. 63000.

ABANICO ACADÉMICO

Tepic, Nayarit, México, 2025.

Primera edición

Versión Digital

ISBN: 978-607-26738-1-6

DOI: 10.21929/abanico/2025.1

URL: <https://doi.org/10.21929/abanico/2025.1>

## EDITORES

### **Carlos Omar De la Cruz Moreno**



Licenciado en medicina veterinaria y zootecnia por la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), Diplomado y Doctorado en ciencias veterinarias por la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Profesor universitario de tiempo completo (UAN) con perfil deseable (Prodep). Ponente de eventos nacionales e internacionales, autor de artículos científicos y de 7 libros. Certificado por el Concervet en el área de medicina en perros y gatos.

### **Sergio Martínez González**



Doctor por la Universidad de Colima. México. Profesor Investigador de la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Nayarit. México. Cuenta con Reconocimiento al Perfil PRODEP-SEP desde 2005 y del Sistema Nacional de Investigadores-CONACYT de México de 2018 al 2025. Estancia Posdoctoral en la Universidad Arkansas USA del 2019 al 2020. Editor en Jefe de la revista Abanico Veterinario. Factor Total del Investigador-AI 1.0867

### **Fidel Ávila Ramos**



Doctor por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillos. Profesor de Tiempo Completo en el Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Guanajuato, México. Reconocimiento Perfil PRODEP-SEP desde el año 2016 y del Sistema Nacional de Investigadores-CONACYT de México desde 2021 al 2025. Editor Asociado Abanico Veterinario. Factor Total del Investigador-AI 0.5679



## **CUERPO DE ARBITRAJE**

Alberto Moro Reyes  
Alejandro Espinoza Canales  
Alvar Alonzo Cruz Tamayo  
Blanca Estela Gonzáles Pacheco  
Damián Reyes Jáquez  
Daniel Alejandro Cadena Zamudio  
Fidel Ávila Ramos  
Graciela Ma. De la Luz Ruíz Aguilar  
Guillermina Barrientos Rivera  
Iván Isaías Ávalos Rosario  
Jesús Zepeda Cervantes  
Jorge Armando Chávez Simental  
José Luis Zárate Castrejón  
Libia Trejo Téllez  
Luís Eliezer Cruz Bacab  
Mariano Mendoza Elos  
Mauricio Arredondo Castro  
Olivia Talina Martínez Martínez  
Osmar Antonio Jaramillo Morales  
Pedro Antonio García Saucedo  
Rafael Jiménez Ocampo  
Roberto Montes de Oca Jiménez  
Rosa Isabel Higuera Piedrahita  
Sergio Iván Román Ponce  
William Zárate Martínez





## **PRÓLOGO**

En los últimos cien años el nivel tecnológico de las diferentes áreas agropecuarias incrementó los beneficios para la sociedad y la productividad de todas las especies domésticas. Las modificaciones que dieron los beneficios de forma alterna ocasionaron desequilibrios en los ecosistemas y causaron diferentes tipos de contaminación. Por tal motivo es indispensable desarrollar alternativas para usar aditivos, procesos productivos, transformar desechos en productos utilizables, diagnóstico oportuno de enfermedades, uso eficiente del agua, estudio de bacterias son algunas acciones realizadas. Sin embargo, debe existir la integración de los diferentes factores de las cadenas productivas en donde la ciencia, la tecnología y su desarrollo estén encaminados a su equilibrio. Para lograrlo, la información de consulta debe ser confiable, en este ejemplar presentamos algunos desafíos que deben estudiarse como alternativas prácticas y viables.

**Fidel Ávila Ramos.**



# Índice

## Sección 1: Medicina veterinaria.

Capítulo 1.	19
<b>Diversificación del virus causal de moquillo canino en México.</b>	
Rebeca A. Granado Gil.	
Juan M. Macías González.	
Lizbeth G. Mendoza González.	
Brenda Sandoval Martínez.	
Rogelio A. Alonso Morales.	
Mauricio A. Realpe Quintero.	
Capítulo 2.	41
<b>Conducta terapéutica en las intoxicaciones.</b>	
Carlos Omar De la Cruz Moreno.	
Juan José Fernando Borrayo González.	
Sergio Martínez González.	
Juan Antonio Hernández Ballesteros.	
Fidel Ávila Ramos.	
J Bladimir Peña Parra.	
Capítulo 3.	67
<b>Resistencia de los antihelmínticos utilizados en el control de trematodos de bovinos: revisión de avances de investigación en México.</b>	
Gerardo Jiménez Penago.	
Roberto González Garduño.	
Glaforo Torres Hernández.	
Oswaldo Torres Chablé.	
Efrén Ramírez Bribiesca.	
David Hernández Sánchez.	
Capítulo 4.	83
<b>Virus de la diarrea epidémica porcina.</b>	
Jesús Aurelio Sánchez Álvarez.	
Elena Franco Robles.	
Carlos Alberto García Munguía.	



Capítulo 5. 97

**Inhibición de *Vibrio parahaemolyticus*: Efectividad de ácidos orgánicos y extractos de plantas.**

Luis Jesús Cervantes Bellerreza.  
Apolinar Santamaria Miranda.  
Jesús Arturo Fierro Coronado.  
Refugio Riquelmer Lugo Gamboa.  
Máximo García Marciano.  
Juan Pablo Apún Molina.

## Sección 2: Zootecnia.

Capítulo 6. 111

**Ácidos grasos poliinsaturados en la calidad seminal y comportamiento sexual en carneros.**

Edgar Mauricio Ramírez Luna.  
Said Cadena-Villegas.  
Griselda Maki Díaz.  
Mauricio Valencia Posadas.  
César Andrés Ángel Sahagún.  
José Antonio Hernández-Marín.

Capítulo 7. 123

**Asociación genómica de la fertilidad y las características de calidad del semen de toros.**

David Urbán Duarte.  
Horacio Álvarez Gallardo.  
Vicente E. Vega Murillo.  
Juan P. Zarate Martínez.  
Eliab Estrada Cortés.

Capítulo 8. 139

**Producción láctea en conejas: aspectos relevantes para la cunicultura.**

Jaqueline Miranda García.  
Luis Eliezer Cruz Bacab.



Capítulo 9. 149

**Harina de pluma hidrolizada para alimentar bovinos en México.**

Ángel Mieles Solorzano.  
Gerardo Antonio Pámanes Carrasco.  
Damián Reyes Jaquéz.  
Elia Araiza Rosales.  
Esperanza Herrera Torres.  
Manuel Murillo Ortiz.

Capítulo 10. 161

**Principales sistemas de producción de leche de bovinos en México: recopilación actual de parámetros productivos.**

Ricardo Avilés Ruiz.  
Oscar Guadalupe Barrón Bravo.  
Rubén Darío Garza Cedillo.  
Miguel Ruiz Albarrán.  
Abner Josué Gutiérrez Chávez.

### **Sección 3: Agricultura.**

Capítulo 11. 179

**Bacterias endófitas como promotores de crecimiento vegetal.**

Lily X. Zelaya Molina.  
Geovanna L. Ortiz Rodríguez.

Capítulo 12. 193

**Abonos orgánicos aplicados en la agricultura.**

Lilia Mexicano Santoyo.  
Tarsicio Medina Saavedra.  
Andrea Marín Sánchez.  
Natalia Martínez Ayala.  
Ernesto Montalvo García.  
Adriana Mexicano Santoyo.

Capítulo 13. 207

**Fertirrigación: optimización del uso de agua y nutrientes en caña de azúcar.**

Juan Patishtan Pérez.  
Oscar Guadalupe Barrón Bravo.  
Zeferino Vicente Hernández.  
Moisés Felipe Victoriano.



Capítulo 14. 219

**Manejo de la nutrición convencional y orgánica en el cultivo de aguacate en Michoacán.**

Luis Mario Tapia Vargas.  
Adelaida Stephany Hernández Valencia.  
Anselmo Hernández Pérez.  
Magaly Ruiz Rivas.

Capítulo 15. 239

**Microorganismos con acción nematicida.**

José Francisco Díaz Nájera.  
Sergio Ayvar Serna.  
José Luis Arispe Vázquez.  
Gabriel Salmerón Porrón.  
Antonio Mena Bahena.  
Susana Elizabeth Ramírez Sánchez.

Capítulo 16. 251

**Uso de potencializadores en herbicidas para el manejo de arvenses en el cultivo de limón.**

José Luis Arispe Vázquez.  
Rocío Toledo Aguilar.  
David Heriberto Noriega Cantú.  
Susana Elizabeth Ramírez Sánchez.  
José Francisco Díaz Nájera.  
Sergio Ayvar Serna.

**Sección 4: Ambiental.**

Capítulo 17. 265

**Nitratos: una alternativa en la disminución de metano producido por el ganado bovino.**

Esperanza Herrera Torres.  
Gerardo Pámanes Carrasco.  
Esther Araiza Rosales.  
Daniel Sierra Franco.  
Carlos Aguirre Calderón.



Capítulo 18.	277
<b>La ganadería y cuantificación de sus emisiones de gas con efecto invernadero en México.</b>	
Elizabeth Yazmin García Piña. Gerardo Antonio Pámanes Carrasco. Esperanza Herrera Torres. Manuel Murillo Ortiz. Daniel Sierra Franco. Rafael Jiménez Ocampo.	
Capítulo 19.	287
<b>Subproductos de biodigestores dentro de un sistema de producción integral sostenible.</b>	
Gerardo Domínguez-Araujo. Alberto Jorge Galindo-Barboza.	
Capítulo 20.	299
<b>Las heces de los perros sin tutor un problema de salud pública en las instituciones.</b>	
Rafael Martin Murray Núñez. Oyolsi Nájera González. Fernando Flores Vilches. Susana Marcelleño Flores. Alethia Aramara Murray Orozco. María Guadalupe Orozco Benítez.	

## Anexo

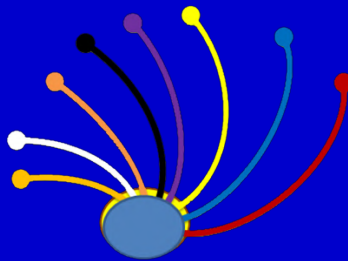
<b>Información de los autores.</b>	311
------------------------------------	-----





## Sección 1

# Medicina veterinaria





# Diversificación del virus causal de moquillo canino en México

Rebeca A. Granado-Gil  
Juan M. Macías-González  
Lizbeth G. Mendoza-González  
Brenda Sandoval-Martínez  
Rogelio A. Alonso-Morales  
Mauricio A. Realpe-Quintero





## Introducción

El género *Morbillivirus* está compuesto de agentes que causan enfermedades altamente contagiosas y mortales en el ser humano y en una gran variedad de especies animales domésticas y silvestres. En la actualidad uno de sus miembros que han tomado más relevancia es el Virus de Distemper Canino (CDV, por sus siglas en inglés) debido a que mientras otros agentes del género cuentan con una sola especie hospedera, el CDV cuenta con un amplio y variado rango de hospederos que con el paso del tiempo se observa en aumento, evidenciando su gran capacidad de evolución y adaptación.

El CDV pertenece a la familia *Paramyxoviridae*, orden *Mononegavirales*, posee envoltura y un genoma de cadena simple de ARN de polaridad negativa, está conformado por 6 proteínas estructurales, la hemaglutinina es una de las de mayor importancia debido a que determina el tropismo y rango de hospederos del agente. Además, mediante su análisis se realiza la clasificación de variantes en los 20 linajes descritos en el mundo.

Después de la Rabia, esta virosis es la principal amenaza a la salud y bienestar de las mascotas y de muchas especies de carnívoros domésticos y silvestres en todo el mundo. El CDV produce una enfermedad multisistémica, altamente contagiosa y potencialmente letal, se estima que la tasa de morbilidad varía entre 25-75% y la de mortalidad varía entre 50-90% en cánidos domésticos. Los cachorros hasta seis meses de edad son los más susceptibles, debido a la pérdida de los anticuerpos maternos y a que su sistema inmune apenas se está preparando mediante vacunación. Sin embargo, los cánidos domésticos de todas las edades y razas son susceptibles a la infección.

Familias del orden *Carnívora* son las principalmente afectadas por la enfermedad causada por este agente, siendo las familias *Canidae* (perro doméstico, perro salvaje, perro australiano, zorro, coyote, lobo y chacal), *Felidae* (León, leopardo, pantera, tigre), *Procyonidae* (mapache, coati) y *Mustelidae* (hurón, tejón) las de mayor prevalencia. Sin embargo, en la actualidad también se reporta infección en los órdenes *Rodentia*, *Primates*, *Artiodactyla* y *Proboscidea* en todo el mundo. La extensión a cada vez más especies da lugar a que el agente mantenga su prevalencia tanto en fauna silvestre como doméstica, imposibilitando su erradicación.

En el continente americano los antecedentes de la presencia del Distemper Canino datan desde el siglo XVIII en Perú por la descripción de signología clínica sugerente de acuerdo a lo que se ha relacionado a esta enfermedad actualmente.

Estos registros no lograron confirmarse ya que se ha relacionado con patógenos distintos, debido a que los estudios filogenéticos actuales no arrojan resultados que permitan conocerlo. Sin embargo, no se descarta la existencia de este agente en épocas pasadas, se sugiere que las variantes antiguas están extintas.



El CDV parece haber desarrollado una estrategia evolutiva basada en su amplio rango de especies hospedero en lugar de concentrarse, infectar y enfermar pocas especies que estén muy relacionadas. Esta tendencia generalista puede concebirse a nivel del rango de hospederos, a nivel del repertorio de receptores celulares que puede utilizar (al menos cuatro, dependiendo del tejido), a nivel del sistema orgánico que afecta en su fisiopatología, y a nivel de la diversidad de variantes genéticas y patotípicas que circulan mundialmente. Se distribuye con alta propagación y no ha podido ser controlada mediante vacunación aunque se dispone de biológicos eficaces disponibles desde los años 70s. Actualmente la administración de vacunas con virus atenuados es la principal estrategia de prevención contra la enfermedad en perros. Sin embargo, con frecuencia se reportan casos de mascotas vacunadas que enferman gravemente.

Sólo se reconoce un serotipo de CDV, sin embargo, se reportan varios linajes/genotipos co-circulantes que varían en virulencia, diferencias en tropismo tisular/celular, y se ha encontrado variaciones de hospedero que podrían implicar distinción en la respuesta inmune de estos. El agente exhibe una amplia variabilidad genética, las mutaciones que cambian epítomos sobre la proteína H requeridos para la unión del virus a sus receptores celulares se asocian con virulencia y aparición de la enfermedad en nuevas especies hospederas. El creciente rango y su persistencia dificultan considerablemente la prevención, control y erradicación de la enfermedad. En esta revisión se resaltan las necesidades de conocimiento para un mejor manejo de la salud y apoyar el bienestar de los animales susceptibles, con miras a establecer programas amplios de vigilancia epidemiológica que apoyen la salud de mascotas y eviten afectación a poblaciones silvestres que pudieran estar en riesgo/amenazadas en sus ambientes naturales.

### **Historia del moquillo canino y su agente causal**

Los primeros registros de la enfermedad indican la sospecha de que el agente se originó en cánidos domésticos de América. En 1746 en una travesía que realizaron Antonio de Ulloa y de la Torre Giral en Suramérica fue que se registró la observación de una enfermedad en cánidos que habitaban en la región de Quito, Perú. Esta enfermedad se describió con signología similar a la que actualmente caracteriza al Moquillo Canino. Sin embargo, en ese momento se creía que era provocada por la infección de bacterias (*Pasteurella canis* y *Bacillus bonquichisiptecus*).

Los primeros casos de cánidos con signos clínicos registrados en Europa datan de 1760, durante una década los registros se extendieron hacia Italia, Inglaterra, España y Rusia. Los reportes de esta época registraron la muerte de 900 perros infectados por día en la ciudad de Madrid. Por lo tanto, esta información dio pie a la investigación por otros científicos. Karle realizó la primera transmisión experimental en perros jóvenes colocando en los labios de cánidos sanos las secreciones obtenidas de cánidos



enfermos, esta información fue muy útil posteriormente, puesto que se confirmó que los cánidos jóvenes (cachorros) resultaban ser más susceptibles a la enfermedad que los adultos.

En 1809, Edward Jenner se dedicó a describir la enfermedad por medio de casos clínicos basados en la signología característica que presentaban los cánidos de Inglaterra; Mencionó que esta enfermedad era semejante a la viruela, y que lo ideal para su prevención sería la inoculación del virus *Vaccinia* que era utilizada como método profiláctico de la viruela.

El agente causal de la enfermedad fue descubierto mediante su aislamiento por Henri Carré en 1905, esto demostró su etiología viral. Por tanto, se le denominó Enfermedad de Carré. A partir de la interacción tan estrecha que existió desde esa época entre los humanos y los perros guardianes en Inglaterra se logró inducir la generación de la primera vacuna contra este agente por medio de hurones, quienes fueron un modelo animal pequeño utilizado para tratamiento de enfermedades respiratorias.

### **Antecedentes históricos de su llegada a América y su diversificación**

Durante los períodos en donde epidemias fueron altamente mortales como el sarampión en América del Sur, aunado a la presencia de diferentes patógenos que propiciaron la muerte de una gran cantidad de la población, se sugiere una gran devastación que existió durante un periodo extenso y hasta por lo menos el siglo XVIII, en un área muy extensa del continente americano localizado en Suramérica. La población americana que estuvo expuesta por primera vez a los *Morbillivirus* fue quien resultó mayormente afectada por las altas tasas de morbilidad y mortalidad que ocasionó esta enfermedad, se registró que en algunas zonas la población ya no era suficiente para cuidar de los enfermos, ni para sepultar a los muertos. Aunque la documentación en estas poblaciones previas a la llegada de los europeos tiene algunas variaciones, se reconoce que la enfermedad fue severa.

Estas situaciones dieron pie a que la especie canina que se mantenía por los indígenas y a los perros que formaron parte de la guardia de seguridad de los españoles para alimentarse de esa población que yacía muerta por infecciones ocasionadas por distintos patógenos, por tanto, la sospecha que a partir de esta exposición a secreciones y tejidos infectados, se dio la ruta que permitió al agente expresar un salto de especie entre humanos y cánidos, puesto que más recientemente se ha dado a conocer que el CDV ha utilizado esta misma vía para la infectar fauna silvestre.

La aparición de epidemias ocasionadas por sarampión que se suscitaron en Europa al mismo tiempo que surgió el Moquillo Canino, no registró la misma gravedad ni la alta mortalidad como sucedió en América, el acercamiento de los perros al consumo de cadáveres infectados no sucedió con la aparición en el Nuevo Mundo, lo que ha



llevado a identificar que la adaptación del agente implica una alta variabilidad para persistir en el ambiente.

Se reconoce que el posible primer evento de migración del virus que se encuentra circulante en Estados Unidos se dio en 1923, posteriormente llegó a Groenlandia y 44 años más tarde se evidenció su migración a Italia (1967), estas variantes italianas expresaron una capacidad de diseminación muy alta, lo que propició su migración a otros países de Europa, y en otros continentes como Asia y América, mismas variantes se identificaron en la década de 1980 y fueron clasificadas dentro de un nuevo linaje.

Con el registro de estos antecedentes se deduce que si la enfermedad de Moquillo Canino se hubiera presentado en América antes de la llegada de los europeos, con la importancia que tenía en los cánidos provenientes del Viejo Mundo, y con las altas tasas de mortalidad y morbilidad que se ha observado desde esas épocas probablemente sería motivo de preocupación entre los conquistadores, lo que hubiera dado lugar a la descripción de la misma enfermedad mucho tiempo antes del que lo que realizaron los exploradores de Europa y las poblaciones de indígenas, porque aunque existe documentación donde se mencionan a los cánidos, no existen registros de alguna enfermedad que haya afectado en esas dimensiones ni con alguna signología similar con el primer contacto que hubo entre los europeos con América.

Existe la posibilidad de que haya ocurrido otro evento en 1926 con migración hacia Sudáfrica, que dio origen al linaje que hoy se conoce como ZA puesto que se asocia con el brote en caninos y fauna silvestre que se suscitó en 1937, lo que pudo haber ocurrido por el tráfico de animales para diversas actividades, sin dejar de lado que el continente africano recibió inmigrantes estadounidenses en ese periodo.

Se tiene como primer registro oficial de Moquillo Canino a la obtenida a partir de la documentación realizada por Antonio de Ulloa, miembro de la Misión Geodésica Francesa de 1735 con motivo de la medición del ecuador. Observó la enfermedad a su paso por Perú y Ecuador (Juan y Ulloa, 1748; Ulloa, 1772; Ulloa, 1806). La explicación dada por él, incluyó la descripción de signología clínica clásica, incluso añadió que la enfermedad se relacionaba con la misma gravedad que se observaba con la viruela que afectaba a los humanos, lo que también se registró posteriormente.

La signología que describió Ulloa se presentaba en perros de menos de un año de edad, comenzaba con decaimiento, pérdida de apetito antes de continuar con convulsiones, vómitos con sangre, debilidad o incapacidad para incorporarse. También describió cuáles eran las características de encefalitis causada por esta enfermedad. Destacó que los perros con signología neuronal no parecían ser agresivos en comparación con los perros enfermos de Rabia y se podía diferenciar porque la enfermedad no era transmitida por mordeduras. Con este patrón confirmado se pudo sugerir que esta afectación en los perros ya estaba establecida y era endémica. Sin embargo, no fue posible comprobarlo.



En la actualidad existen herramientas bioinformáticas con las que se han logrado conocer eventos evolutivos a nivel filogenético que demuestran el comportamiento migratorio del agente con el paso del tiempo. De las variantes de CDV que circulan actualmente se tiene evidencia de sus primeras apariciones en la década de 1880 en Estados Unidos, a partir de algún hospedero doméstico o silvestre. Del virus ancestral se conoce que se diversificó en dos clados que circulan en la actualidad, de los cuales el primero que circuló se diversificó alrededor de todo el mundo y dio origen a ocho linajes que existen actualmente, mientras que el otro clado dio origen al linaje América-1.

Con estos análisis de reconstrucciones filogenética a través del espacio se ha logrado explicar cómo se ha dado la distribución geográfica de las variantes, por tanto, con estos conocimientos se sustenta la alta expansión que existe entre el rango de hospederos donde el virus se puede alojar y destaca la importancia en los hospederos domésticos que pueden estar involucrados en ser reservorios de este agente.

El Virus de Distemper Canino tiene la capacidad de infectar una gran variedad de especies, de aquí radica el alto potencial evolutivo de este agente que resulta ser altamente infeccioso, contagioso y persistente. Este morbillivirus se ha convertido en uno de los más amenazantes del género. Por esta razón, para mayor comprensión de los datos históricos se han utilizado otros morbillivirus para conocer el surgimiento del mismo y sus manifestaciones en sus distintos hospederos, para poder concluir cómo es que ha tenido un gran impacto a nivel patológico, en la evolución y al ser un candidato a ser una amenaza en el futuro por la posibilidad de incrementar la cantidad de especies a las que afecte.

Con base a los antecedentes no se descarta que existieron variantes de CDV previas a las que circulan en la actualidad, no obstante, los descubrimientos de estos mismos estudios han sugerido que las variantes de mayor antigüedad (1886) están extintas, aunque no se descarta que estas puedan permanecer circulando en algún hospedero silvestre en el que aún no se hayan detectado y caracterizado.

### **Importancia de la infección en especies silvestres**

Anteriormente se reconocía a los cánidos domésticos como el principal reservorio de CDV, sin embargo, a partir de la aplicación de vacunas en esta especie en países con alta cobertura se identificó a otras especies como principales reservorios. Las especies identificadas como reservorio cumplen con características como contar con altas densidades de sus poblaciones y además facilitar el contagio entre especies silvestres, especies cautivas y/o domésticas, logrando que las variantes del agente se mantengan circulando en el ambiente, como es el caso de los mapaches (*Procyon Lotor*) en algunos países.





Mediante un estudio realizado en 2020 se clasificaron aislamientos obtenidos en animales de vida silvestre que residen en distintas regiones de Estados Unidos dentro del linaje América-3. Al realizar el análisis comparativo de las secuencias obtenidas, comparándolas con otras pertenecientes al mismo linaje obtenidas de cánidos domésticos, a nivel aminoacídico se identificaron porcentajes de identidad del 98-99%. Debido a presentar alta similitud entre las secuencias se planteó la hipótesis de que este linaje inició circulando cánidos domésticos y posteriormente empezó a circular en fauna silvestre, ya que la detección en estos animales ocurrió 5 años después de la detección en cánidos domésticos, también se planteó la posibilidad de que antes del año 2009 empezó a circular en fauna silvestre pero pasó desapercibida por la falta de vigilancia y evaluación filogenética del CDV en especies de vida silvestre reservorio, como acontece en algunas regiones de México.

El crecimiento de su rango de especies hospederas imposibilita la erradicación de la enfermedad y desempeña un papel importante en su epidemiología en cánidos domésticos. Mediante estudios en los que se realizan análisis filogenéticos de variantes obtenidas en fauna silvestre se ha identificado que aquellas obtenidas de mapaches presentan mayor divergencia con respecto a las obtenidas en otras especies. Un reporte importante acerca de esta especie indicó que se ha evidenciado la detección de más de una variante genética en un mismo mapache, indicando un posible riesgo de recombinación; por lo que se sugiere que esta especie ejerce un papel importante en la evolución del CDV.

Diversos estudios han señalado la importancia de la interacción incontrolada entre cánidos domésticos y fauna silvestre ya que esta facilita la propagación del agente en ambas direcciones, poniendo en riesgo especies de las que se desconoce su estado de conservación.

### **Primeros reportes de la enfermedad en México**

En el centro de México entre los años 1531 y 1595 existió la propagación de tres epidemias, antecedente que tiene relación con lo que se ha descrito recientemente con la enfermedad del sarampión epidémico o endémico en el que se ha observado un patrón típico que tiene que ver esos mismos intervalos en los que se presentaba en el siglo XV. Existe una alta probabilidad de que las primeras epidemias causadas por este virus en Suramérica hayan comenzado de la misma forma en 1531 y que siguieron presentándose hasta el siglo XIX. Para la región ecuatoriana se registraron siete epidemias de sarampión entre los años de 1531 y 1681 recurrente en períodos de 13 años, continuó como brotes esporádicos de esta enfermedad dentro de este mismo país hasta el siglo XVIII, lo que propició una disminución demográfica durante este periodo de tiempo. Fue hasta 1735 cuando se tuvo el primer registro de la observación de signos de la enfermedad por Ecuador y Perú.



Uno de los primeros estudios en México se realizó en 2005, el análisis serológico y parasitológico fecal en una población de mapaches pigmeos (*Procyon pigmeaus*) endémicos de la isla de Cozumel que se considera una especie en peligro de extinción, detectó distintos agentes infecciosos que se relacionaron con la disminución de la población, y encontró bajos títulos de anticuerpos contra CDV en una de las 28 muestras analizadas. En el mismo lugar mediante técnicas de inmunofluorescencia y RT-PCR, dos años después se detectó *Leptospira spp.* y CDV en poblaciones de perros y carnívoros silvestres que habitaban en la isla. Se detectó CDV en 4 perros, 3 mapaches pigmeos y un kinkajú (*Potos flavus*). Un dato destacable del estudio es que la fauna silvestre infectada habitaba en las mismas zonas donde residían los perros domésticos infectados, por lo que empezó a plantearse el riesgo de que fauna doméstica introducida a la isla podría jugar un papel importante en los contagios a fauna silvestre endémica.

En 2010 se publicó un estudio que consistió en la vigilancia de una población de lince que residían en un desierto de Chihuahua, México ubicado al sur de Nuevo México entre los años 2004-2008. Se analizaron muestras de sangre de los 10 miembros de la población con el propósito de diagnosticar distintas patologías de origen infeccioso que afectan a los felinos, incluyendo al CDV. Este únicamente se detectó en uno de los lince, y mediante la vigilancia que se tuvo del ejemplar se reportó que residía muy cerca de población humana y perros domésticos, por lo que se planteó nuevamente la posibilidad de que esta interacción pudo propiciar su contagio.

Mediante estudios realizados entre 2011-2012 se logró caracterizar genéticamente por primera vez las variantes de CDV que circulaban en caninos domésticos de México mediante el análisis de secuencias de los genes N y H. Gracias a los resultados, por medio de la conformación de un árbol filogenético se identificó que las secuencias obtenidas de casos del Estado de México y Jalisco estaban lejanamente relacionadas con el resto debido a que eran genéticamente distintas a las secuencias de variantes reportadas previamente en otros países y a las secuencias de las cepas utilizadas para vacunación; a excepción de una secuencia producto de un estudio realizado en Estados Unidos en 2005. Por consiguiente, con la agrupación de las secuencias de ambos estudios se propuso un nuevo linaje denominado América-3.

En poblaciones susceptibles de cánidos, la enfermedad es severa y extendida en perros de todas las edades. Dentro de las enfermedades virales el moquillo canino se considera una de las de mayor importancia debido a que posee altas tasas de morbilidad y mortalidad. En los estudios orientados a conocer el comportamiento de la enfermedad en distintos aspectos se debe analizar en espacios de tiempo y localidades determinadas para detectar información relevante que pueda ser de valor aplicado bajo circunstancias espacio-temporales específicas, en México existen escasos estudios de epidemiología del CDV.



---

### **Diversidad de fisiopatología y manifestaciones clínicas**

El CDV exhibe tropismo por células linfoides, epiteliales y neuronales, por lo que puede generar infección en casi todos los sistemas orgánicos, provocando signos clínicos respiratorios, digestivos, tegumentarios y ocasionalmente neurológicos; la duración y gravedad de estos dependerá de la especie hospedera, edad, respuesta inmune y la variante viral. El curso de la enfermedad y su patogénesis se asemejan a los del Sarampión en el humano.

Los signos clínicos característicos de la enfermedad son efecto de la inmunosupresión ocasionada por el virus y de su acción en las células epiteliales. Además, frecuentemente se presenta la migración al sistema nervioso central, dando como resultado una enfermedad grave y potencialmente letal. La infección también suele presentarse de forma subclínica, afectando levemente al hospedero o con presencia de signos que pasan desapercibidos.

La patogénesis de la infección por CDV en cánidos domésticos ha sido ampliamente revisada, se estima que el 70% de los casos tienen presentación subclínica; signos leves como fiebre, tos, depresión, conjuntivitis y/o lagrimeo son frecuentes, por lo que la mayoría se recuperan y la enfermedad pasa desapercibida, pero contribuyen a su diseminación excretando virus al ambiente y contagiando a otros animales susceptibles.

En animales silvestres la presentación y gravedad de la enfermedad depende de cada especie afectada y la variante viral. Existen especies con signología muy similar a la que presentan los cánidos domésticos (multisistémica) y también existen especies en las que únicamente se describe la afectación de un sistema.

### **Diversidad de receptores y vías de entrada a la célula**

Al igual que otros agentes del género *Morbillivirus*, la infección por CDV depende de los dos receptores celulares. El primer receptor descrito es la glicoproteína de membrana SLAM/CD150 (Signaling Lymphocytic Activation Molecule) este se relaciona con la activación de respuesta inmune celular CD2-dependiente, se expresa en diferentes poblaciones celulares, siendo esencial en células hematopoyéticas e inducible en linfocitos T y células plasmáticas. La infección de linfocitos depende de la unión de la hemaglutinina viral (proteína H prominente en la superficie del virión), esta glicoproteína contacta inicialmente a SLAM, provocando posteriormente inmunosupresión.

El segundo receptor descrito es la proteína PVRL4/Nectina-4 (Polio Virus Receptor-Ligand4) expresada por células epiteliales. Este hace parte de las uniones adherentes que mantienen enlazadas células vecinas en todos los epitelios, por lo que se distribuye en forma basolateral por debajo de los complejos de unión apical y permite intercambio entre células vecinas. A esto se le atribuye la variabilidad de presentación clínica multisistémica con signología relacionada inicialmente con el tracto respiratorio donde macrófagos alveolares y monocitos tisulares son las primeras células infectadas,



que lo diseminan mediante infiltración mieloide de la lámina propia, para posteriormente migrar hacia otros sistemas vía linfática propiciando la infección generalizada.

Nectina-4 también se asocia a la invasión de células del SNC; sin embargo, se ha reportado que los astrocitos se ven afectados por la infección y estos carecen de los dos receptores celulares anteriormente mencionados. Mediante este descubrimiento se ha propuesto la existencia de un tercer receptor celular denominado GliaR, que se expresa en células de la glía y permite la transmisión célula a célula entre los astrocitos induciendo poros de microfusión.

### **Diversidad de patogénesis y tropismo**

El CDV ingresa al hospedero por vía respiratoria, oral y ocular mediante aerosoles con partículas infectantes. Al contactar mucosas y en ausencia de una respuesta inmune neutralizante, los monocitos y macrófagos se infectan y diseminan el virus hacia otros tejidos. Después de un periodo de incubación con duración de 1-4 semanas se desarrolla fiebre bifásica característica, durante esta primera fase de la infección se presenta infección generalizada de tejidos linfoides. La inmunosupresión profunda se da como consecuencia de la disfunción de los leucocitos. El cuadro clínico multisistémico se manifiesta alrededor del séptimo día post-infección, en este punto la eficiencia de la respuesta inmune del hospedero definirá la gravedad de la presentación clínica.

La segunda fase se asocia con fiebre e infección del tracto respiratorio, el tracto digestivo, sistema tegumentario y el SNC. Durante esta etapa de la infección se presentan diversos signos clínicos, como conjuntivitis, signos respiratorios, secreciones nasales, signos gastrointestinales, anorexia y signos neurológicos. Comúnmente los signos entéricos y respiratorios empeoran por infecciones secundarias. Las manifestaciones en sistema tegumentario características son la hiperqueratosis de las almohadillas y dermatitis pustulosa. En cachorros de cánidos domésticos además se ha descrito hipoplasia de esmalte dental.

La replicación viral en el tracto respiratorio libera partículas infectantes, que coinciden con inicio de signos neurológicos entre la semana dos y tres, con una aparente recuperación de la presentación clínica multisistémica. La infección en SNC puede ser simultánea, o pueden aparecer los signos hasta varios meses después de la infección inicial multisistémica. Existen sospechas de que el CDV exhibe no sólo variabilidad genética, sino también patotípica, mediante variantes que afectan preferentemente SNC. Estas observaciones de atención clínica a pacientes caninos requieren estudios que evalúen esta posibilidad. Los signos relacionados con SNC dependerán de la distribución del agente en este e incluyen hiperestesia, rigidez cervical, convulsiones, paraparesia o tetraparesia con ataxia sensorial.



La viremia multisistémica se da en la fase temprana, mientras que la infección persistente que se caracteriza por invasión del SNC se da con la fase tardía, la cual reduce drásticamente los pronósticos de evolución clínica favorable.

### **Características genéticas del Virus de Distemper Canino**

Los viriones de CDV son pleomórficos envueltos, con un tamaño de aproximadamente 150 nm, su genoma consta de ARN de una hebra con polaridad negativa y está conformado por alrededor de 15,690 nucleótidos que contienen seis unidades de transcripción organizadas de forma lineal que codifican las 8 proteínas del virus. Seis de estas se consideran estructurales, sus funciones incluyen al gen N (codifica la proteína de la nucleocápside) que encapsula el ARN viral, gen P (codifica la fosfoproteína, cofactor de la polimerasa viral), y al gen L (Large, codifica la polimerasa viral). Conjuntamente estas forman el complejo de transcripción/replicación, conocido como ribonucleoproteína. El gen P además codifica las 2 proteínas no estructurales del virión conocidas como C y V, que modulan la virulencia y las actividades de supresión del sistema inmune del hospedero. La membrana que rodea al virión contiene a la proteína de la matriz (codificada por el gen M), y las proteínas de superficie denominadas hemaglutinina (codificada por el gen H) y proteína de fusión (codificada por el gen F) que son los principales antígenos y participan en las primeras interacciones con las células hospederas.

### **Regiones génicas para diagnóstico/detección molecular de CDV**

El diagnóstico de CDV representa un reto en la clínica de pequeñas especies debido a las múltiples manifestaciones clínicas que pueden desarrollar sus hospederos, además la mayoría de técnicas diagnósticas no pueden ofrecer resultados lo suficientemente sensibles y/o específicos debido a que muchos factores (estadío de la infección, tipo y calidad de la muestra, etc) pueden crear señales de falsos negativos mediante su empleo. La técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa acoplada a Retrotranscripción (RT-PCR) se ha convertido en la técnica preferida mundialmente para la detección del agente ya que ofrece la mayor sensibilidad y especificidad en comparación con el resto de técnicas, ofreciendo un diagnóstico óptimo y confiable en términos de costo/beneficio.

En la actualidad se dispone de varios métodos de RT-PCR para el diagnóstico de CDV de acuerdo a la región genética que se considere. Para la realización de estos se utilizan como blanco aquellas regiones del genoma que exhiben un alto grado de conservación, los genes que más se emplean para esta herramienta son los genes N, P y M. En el gen N están las regiones más conservadas entre los *Morbillivirus* y se codifica la proteína más abundante. Un método que amplifica 287 pb se usa ampliamente y permite la comparación entre estudios de distintas regiones. Refinamientos técnicos adicionales usando esquemas de RT-PCR anidada se han basado en este método y en



la detección del gen P que además permite que se use con muestras de sangre.

El gen M se emplea como blanco en algunos estudios cuando se requiere doble confirmación, considerando que en ocasiones se adoptan medidas como restricciones a su movilidad y hasta la eutanasia, en pacientes como parte del correcto manejo para asegurar un adecuado control y evitar diseminación de la enfermedad.

### **Regiones informativas para caracterización de variabilidad genética**

La técnica de amplificación por RT-PCR en tiempo final, secuenciación de los productos y su posterior análisis bioinformático permite conocer y comparar los niveles de variabilidad genética de las variantes virales detectadas en diferentes regiones geográficas y las cepas vacunales. En estudios de caracterización genética se utiliza como blanco a genes o regiones genómicas que exhiben altos niveles de variabilidad.

La variación genética que exhiben los genes que codifican a las proteínas de la envoltura del virión tales como la hemaglutinina y la proteína de fusión, posiblemente da lugar a cambios antigénicos, estos cambios son considerados la principal causa del creciente número de infecciones por CDV en cánidos domésticos y especies silvestres. Estos genes se han utilizado a lo largo del tiempo para clasificar las variantes en los distintos linajes descritos en el mundo, debido a que se ha demostrado que la incidencia de la enfermedad y las variantes están relacionadas con su ubicación geográfica.

El gen H es el que presenta mayores tasas de variabilidad del genoma de los Morbillivirus. A nivel aminoacídico se observan valores de divergencia de hasta el 8% entre variantes de campo y de hasta 11% con cepas vacunales. Con base al análisis de este gen se han definido los linajes de CDV que circulan en el mundo; el criterio de clasificación establece que si las secuencias obtenidas de variantes presentan variación aminoacídica menor al 4% y se agrupan dentro de un mismo clado mediante su análisis filogenético estas pertenecerán a un mismo linaje. En contraste, si las variantes se agrupan en clados distintos y presentan una variación aminoacídica mayor al 4% estas pertenecerán a linajes distintos.

Además, en la hemaglutinina se concentran la mayoría de los epítomos neutralizantes en el hospedero, por lo que el gen que la codifica es de gran relevancia y se utiliza para para la evaluación de los cambios que puedan dar lugar a diferencias antigénicas y análisis de las variantes a nivel filogenético a lo largo del tiempo entre las cepas que se encuentren circulando en diferentes regiones del mundo.

El gen F es el segundo reconocido con mayor variabilidad dentro del genoma de CDV. En este se ha demostrado que la mayor variabilidad se encuentra en la región del péptido señal, por lo que también se utiliza como herramienta para clasificación de variantes. A nivel de su secuencia aminoacídica, la proteína de fusión varía alrededor del 4% entre variantes de campo.



Por otra parte, la secuencia de M-F intergénica es una región muy variable entre los morbillivirus, además intercambiable entre variantes virales e independientes a la virulencia de estas, por tanto, los cambios genéticos que pueden surgir en esta han sido de utilidad para la clasificación interespecie.

Sin embargo, se sabe poco sobre diferencias intraespecies y las distintas funciones que se pueden dar en este segmento del genoma viral no traducido.

La proteína de la nucleocápside representa un papel destacado durante el ensamblaje, replicación y transcripción. El gen N ha sido blanco para desarrollar estudios que han funcionado para demostrar el nivel de diversidad genética entre CDV a partir de variantes circulantes en distintas áreas geográficas. Este gen posee regiones altamente conservadas. Sin embargo, se ha demostrado un nivel de variación con evidencia de cambios genéticos principalmente en las regiones que codifican para el N y C, dominios terminales catalogados como hipervariables, por los que este gen también es candidato para realizar análisis filogenéticos.

### **Hallazgos de variabilidad genética en distintas regiones**

A nivel mundial se han identificado al menos diecinueve linajes principales del Virus de Distemper Canino, a los que se les ha asignado un nombre de acuerdo a su distribución geográfica: America 1-5, Europe Wildlife, Arctic, South Africa, America 1/Europe, South America 1-3, Rockborn-like, Asia1 y un nuevo linaje, identificado como Asia4, el cual fue reportado recientemente en Tailandia y posteriormente en China y Rusia.

Estudios han sugerido ante la diversidad de linajes encontrados, que es conveniente considerar todas las características epidemiológicas posibles de la infección en cada sitio donde se describió cada linaje, dado que la alta morbilidad y mortalidad que representa el virus atentando contra la salud de cánidos domésticos, y también la de otras especies de vida silvestre que también son susceptibles.

En relación a los linajes identificados en Europa a partir de casos de cánidos domésticos, son tres los que han sido descritos en Italia, denominado Europe, estos son, Europe1/South América1, Europe WildLife y Artic-like. El linaje denominado Artic-like, se ha encontrado también en animales silvestres como lobos, tejones y tigres.

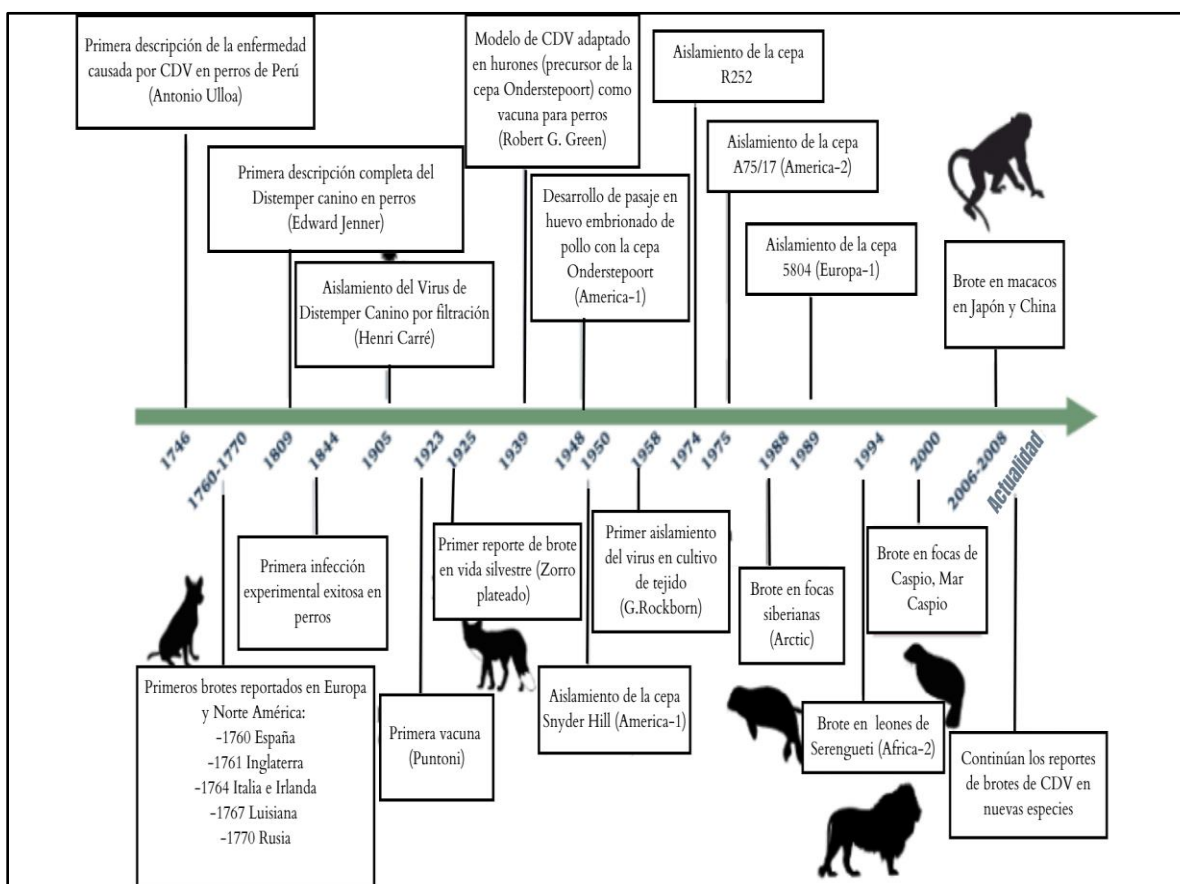
En Asia, fue a partir del estudio del gen H que se logró la identificación del linaje del virus CDV Asia-1, para comprender mejor el comportamiento del mencionado linaje en China. Por otra parte, estudios realizados en Corea describen la presencia del virus que de acuerdo a la gran cantidad de cambios sugerentes a sitios de glicosilación, se agruparon en los linajes Asia-1 y Asia-2.

En África, a partir de los estudios realizados en 2010 se logró identificar variantes circulantes a partir de diferentes especies que se mostraron enfermos, lo que dio lugar a un agrupamiento distinto a lo antes reportado hasta ese año, por lo que se dio a conocer en el estudio filogenético que la enfermedad fue causada por un ancestro en común en



perros domésticos y fauna silvestre, a partir de esto se identificó al linaje South África.

Mediante diversos estudios realizados a nivel global se ha permitido la detección de CDV en distintas especies de fauna silvestre y aislamientos de variantes. De manera cronológica se han descrito estos reportes, donde se ha observado que la gama de hospederos está aumentando (Figura 1).



**Figura 1.** Cronología de reportes de hospederos del CDV a nivel global. Modificado de: Jo *et al.*, 2019.

### Diversidad de linajes reportados en América

Mediante la realización de diversos estudios ha sido posible identificar cinco linajes pertenecientes y circulantes en América, mismos que se han reportado y clasificado de acuerdo a un orden consecutivo a cómo fueron descubiertos, sin dejar de lado que estos mismos ha sido posible identificarlos a partir de muestras extraídas de animales no sólo domésticos, sino de animales de fauna silvestre principalmente en Estados Unidos (America1, America2, America3, America4 y Arctic-like).





Un estudio evidenció que en Colombia se encuentran en circulación los linajes South América 3, South América y North América 4, dentro de zonas metropolitanas, particularmente en la ciudad de Medellín, de estudio fue posible destacar que en la actualidad globalmente se tiene reporte de la circulación de 19 linajes del CDV que infectan y enferman a perros en su totalidad en los que se incluyen 2 posibles nuevos linajes circulantes en Ecuador y Colombia, derivados cambios genéticos a partir del linaje South America-3, mismo que es descrito en Estados Unidos y se ha detectado en perros domésticos y animales silvestres, uno de la propuesta de linaje nuevo encontrado en Colombia se identificó como “South América / North América-4”.

Lo que ha sido reportado en Argentina en 2016, a partir del aislamiento de diferentes muestras colectadas de perros enfermos a lo largo de 10 años (2000 a 2010) en el que a través de microseroneutralización fue posible demostrar que al menos 13 variantes de CDV fueron autóctonas de la región en la ciudad de Santa Fe, esto ha dado lugar a la sugerencia de variabilidad antigénica a consecuencia de importante variabilidad genética respecto a la cepas vacunales, puesto que si bien no se realizó secuenciación no todas los aislamientos fueron neutralizados.

En Uruguay los reportes más recientes han indicado la presencia de dos linajes que co-circulan en esta región, sin embargo, la prevalencia de su circulación es distinta. Los linajes de los que se habla son Europa1/America del Sur1 y un nuevo linaje propuesto denominado como América del Sur2, se refiere que la variación genética que se observa entre los linajes previamente mencionados y las cepas vacunales refleja una divergencia alta. Es por esta razón que se menciona la posibilidad de que esta diversificación sea un factor asociado al surgimiento de casos causados por CDV aun en poblaciones de perros que cuentan con un esquema de vacunación completo.

Un estudio que consistió en la detección de anticuerpos en cadáveres de animales de vida silvestre que residían en Colorado, Estados Unidos entre los años 2013-2016 mediante una campaña para la detección del virus de la rabia y CDV, obtuvo la detección de anticuerpos contra CDV en el 15% de los cadáveres muestreados pertenecientes a mapaches (*Procyon lotor*) en su mayoría y un coyote (*Canis latrans*), el análisis de secuencias del estudio permitió clasificar en dos clados distintos denominados anteriormente América2 y América3, evidenciado que el agente que infecta a estas especies se emparenta con el que causa enfermedad en cánidos domésticos en Norte América y México.

Mediante diversos estudios se han identificado los cinco clados a los que pertenecen los aislamientos que se han documentado extraídos en animales domésticos y salvajes de Estados Unidos: América 1, América 2, América 3, América 4 y Arctic-like. Por lo que es importante concientizar acerca de la importancia de estudios de caracterización genética de CDV detectado en cánidos domésticos y silvestres de México para conocer si aún circula únicamente el linaje América-3 o es posible que uno de los

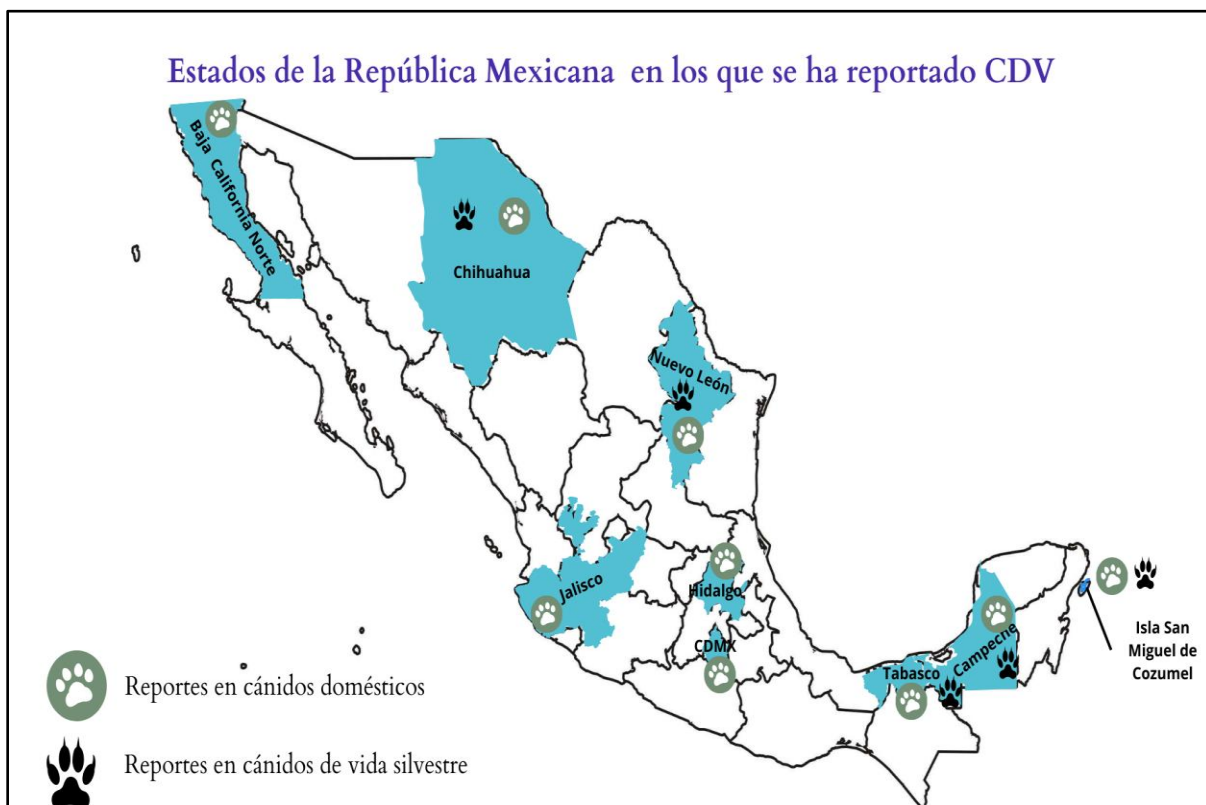


linajes reportados en vida silvestre de Norteamérica u otros países vecinos esté afectando a la fauna mexicana, además de conocer si hay especies en peligro.

Existe una teoría que menciona que la aparición de los linajes del CDV se relaciona con un seguimiento de patrón a nivel geográfico. Sin embargo, su origen geográfico en conjunto con su historial evolutivo es desconocido.

### Reportes de la enfermedad en México

Se conoce poco sobre la ecoepidemiología de CDV en cánidos domésticos que vagan libremente en áreas rurales de México, donde ocurre la interacción entre perros domésticos y fauna silvestre. Los reportes en el país sobre la infección por CDV proceden de varios estados (figura 2).



**Figura 2.** Ilustración de estados de México donde se ha reportado CDV en fauna silvestre.

Mediante el estudio realizado en 2011 se caracterizaron por primera vez las variantes de CDV que circulaban en el país. Mediante su análisis filogenético se determinó que estas no pertenecían a algún linaje de los previamente descritos, pero compartían gran similitud con una variante descubierta en 2005 en estudios de Estados Unidos, fue así que se denominó América-3 a este nuevo linaje presente en ambos



países. Posteriormente en Campeche, la seroprevalencia contra este agente en Jaguares (*Panthera onca*), Pumas (*Puma concolor*) y cánidos domésticos indicó que representaba un peligro para la conservación del jaguar. No fue posible detectar anticuerpos contra CDV en las muestras obtenidas de pumas y jaguares, únicamente pudieron detectarse en muestras obtenidas de perros.

La caracterización genética del CDV en Nuevo León y en el Estado de México permitió conocer que tanto los cánidos domésticos como los mapaches pueden ser hospederos. Las variantes detectadas agruparon con secuencias del linaje América-3. En el estado de México otras muestras de CDMX y Jalisco también agruparon con las reportadas previamente en el linaje América3.

La detección simultánea de CDV y parvovirus en fauna silvestre y cánidos domésticos que habitaban en la Biosfera de Janos, Chihuahua, indicó que 40 de los 84 animales muestreados fueron seropositivos contra CDV, de los cuales únicamente en seis (3 perros, 1 coyote, 1 zorrillo y un zorro) se logró detectar el agente. Las secuencias parciales del gen H y análisis filogenético indicaron alta relación entre las seis secuencias obtenidas, formando un solo grupo monofilético vecino a los linajes americanos previamente descritos.

En Ensenada, Baja California, la caracterización genética mediante secuenciamiento parcial del CDV detectado en 8 cánidos domésticos indicó que 7 se agruparon en el linaje América3. Mientras que la restante, a partir de los genes N y F se agrupó en el linaje América1 y mediante el gen H se agrupó con secuencias similares a la cepa Rockborn. En un hospital veterinario ubicado en Pachuca de Soto, Hidalgo, se analizaron 65 historias clínicas de pacientes hospitalizados entre los años 2017-2018, los datos recabados fueron el sexo al que más afecta, edad de mayor prevalencia y gravedad, razas con mayor predisposición, estación del año en la que más se reportan casos y datos acerca de vacunación y como ayuda a que los pacientes infectados no afecciones graves en comparación con aquellos que no recibieron vacunación. Esta fue la descripción más detallada acerca de la epidemiología de la enfermedad de moquillo canino.

En 2020 mediante un estudio que se formó como parte de un programa de vigilancia activa desde el año 2009 en dos poblaciones de prociónidos de Villahermosa, Tabasco, se detectó CDV en poblaciones de mapaches (*Procyon lotor*) y Coatíes de nariz blanca (*Nasua narica*) que habitaban en esta región. Se analizaron 3 secuencias provenientes de mapache, coatí y cánido doméstico (control), se obtuvo como resultado que las secuencias obtenidas en prociónidos son idénticas entre sí y se asemejan a la secuencia control obtenida de un perro mexicano. Sin embargo, las secuencias obtenidas no se agruparon con secuencias reportadas previamente en genbank, pero se asemejan a secuencias de perros mapaches (*Nyctereutes procyonoides*) y de perros domésticos de Italia, Corea y Japón.



De manera similar, otro estudio que consistió en la aplicación de cuestionarios domiciliarios en zonas rurales aledañas a la biosfera de Janos, Chihuahua para investigar factores de riesgo asociados con la presencia de CDV en cánidos domésticos y de fauna silvestre, y análisis de muestras de suero de 70 perros, un gato montés (*Lynx rufus*), una mofeta rayada (*Mephitis mephitis*) y un zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus*). En este trabajo se detectaron anticuerpos contra CDV en el 62% de las muestras obtenidas de perros y en el gato montés. Mediante las encuestas realizadas a habitantes de la zona se informó que existe interacción directa entre cánidos domésticos y los carnívoros silvestres que residen en la zona, por lo que se señaló la amenaza importante para la posible transmisión del agente.

Mediante un estudio realizado en 2023 en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, se analizó parcialmente el gen H de 8 secuencias obtenidas a partir de muestras provenientes de cánidos domésticos. 6 de las secuencias mostraron alto grado de identidad nucleotídica y aminoacídica, las 2 secuencias restantes mostraron mayor divergencia. El análisis filogenético permitió clasificar las secuencias obtenidas en el linaje América-3, destacando la formación de dos subgrupos de secuencias, uno que se obtuvo sólo en cánidos domésticos, y otro que afecta cánidos domésticos y fauna silvestre.

Los estudios de detección y caracterización de CDV en México (figura 2) indican que la diversidad de linajes está limitada a la variante América-3. Se requiere realizar más estudios para obtener un panorama actualizado de la distribución y abundancia de este patógeno en territorio mexicano. Los datos preliminares de comparación de la diversidad con la que se reporta en Estados Unidos indican que la situación epidemiológica puede ser muy similar notándose la circulación actual del linaje América-3, y se propone que existe diversificación intra-clado donde existen variantes que afectan solamente a cánidos domésticos, y otras que pueden afectar tanto cánidos como fauna silvestre.

Los reportes mencionados antes demuestran que en la última década ha crecido el interés en conocer características detalladas del CDV que circula afectando a fauna silvestre y que existe alta concordancia en cuanto a las variantes que se encuentra enfermando a mascotas caninas. No existen reportes aún que demuestren la direccionalidad de la transmisión como se han realizado en otras regiones del mundo.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Moquillo canino, la enfermedad causada por CDV y su carácter diverso respecto a la infección en diferentes hospederos y el tipo de signología que ocasiona bajo diferentes circunstancias ubica a este patógeno como generalista, afectando a muchas especies de carnívoros y destacando que su prevención y control representa un reto epidemiológico



tan grande como la Rabia. El agente causal exhibe altísima variabilidad genética y esta provoca cambios antigénicos a los que se exponen los animales infectados, incluyendo las mascotas caninas convencionales, aunque cada vez más frecuentemente reportado en especies silvestres a partir de estudios realizados en el continente americano y particularmente en México. El estado del conocimiento sobre esta enfermedad desde una perspectiva histórica y de evolución del patógeno, evidencia que la distribución y abundancia del agente infeccioso respecto a la zona en que circula y la fauna silvestre que se ha visto involucrada en su diseminación se constituyen en piedras angulares de cualquier estrategia orientada a la prevención y control.

La distribución de CDV está influenciada no sólo por las especies a las que enferma, sino también las especies que han sido identificadas como reservorio. En México existen reportes tanto en caninos domésticos como en especies silvestres que podrían ser reservorios, por lo que se requieren estudios epidemiológicos amplios para valorar el estatus y la relevancia de esta enfermedad para la salud animal y la conservación de especies en riesgo de extinción.

Es importante incentivar a la realización de estudios más completos en los que no se incluya sólo la detección del agente infeccioso, sino también su caracterización genética en diferentes regiones de México, para conocer cuáles variantes virales circulan. Estos estudios permitirían además conocer la dinámica epidemiológica de tales variantes requerida para planificar programas de prevención y control de esta enfermedad, y evidenciar el posible salto interespecie que permitan anticipar eventos de diseminación que involucren a los caninos domésticos como origen o como destino de este agente infeccioso.



## Referencias

- Alexander, K. A., McNutt, J. W., Briggs, M. B., Standers, P. E., Funston, P., Hemson, G., Keet, D., & van Vuuren, M. (2010). Multi-host pathogens and carnivore management in southern Africa. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 33(3), 249–265. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2008.10.005>
- Almuna, R., López, A., Sarmiento, R. & Suzán, G. (2021). Drivers of canine distemper virus exposure in dogs at a wildlife interface in Janos, Mexico. *Veterinary Record Open*, 8(1), e7. <https://doi.org/10.1002/vro2.7>
- Alves, L., Khosravi, M., Avila, M., Ader, N., Bringolf, F., Zurbriggen, A., Vanderveelde, M. & Plattet P. (2015). SLAM- and Nectin-4-Independent Noncytolytic Spread of Canine Distemper Virus in Astrocytes. *Journal of Virology*, 89 (10).
- Anis, E., Needle, D. B., Stevens, B., Yan, L., & Wilkes, R. P. (2020). Genetic characteristics of canine distemper viruses circulating in wildlife in the United States. *Journal of zoo and wildlife medicine: official publication of the American Association of Zoo Veterinarians*, 50(4), 790. <https://doi.org/10.1638/2019-0052>
- Beineke, A., Baumgärtner, W. & Wohlsein, P. (2015) Cross-species transmission of canine distemper virus-an update. *One Health*. [https://doi: 10.1016/j.onehlt.2015.09.002](https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2015.09.002)
- Canales, D. (2020). Virus del Distemper Canino: Revisión actualizada del agente y la patogenia de la enfermedad [Tesis de grado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Veterinaria, Escuela Profesional de Medicina Veterinaria.
- Duque-Valencia, J., Sarute, N., Olarte-Castillo, XA, & Ruíz-Sáenz, J. (2019). Evolución y transmisión entre especies del virus del moquillo canino: una perspectiva de los diversos paisajes evolutivos de un virus multihuésped. *Virus*, 11 (7), 582. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/v11070582>
- Freitas, L. A., Leme, R. A., Saporiti, V., Alfieri, A. A. & Alfieri, A. F. (2019). Molecular analysis of the full-length F gene of Brazilian strains of canine distemper virus shows lineage co-circulation and variability between field and vaccine strains. *Virus Research*. doi:10.1016/j.virusres.2019.02
- Gámiz-Mejía, C. E., Simón-Martínez, J., & Fajardo-Muñoz, R. C. (2012). Identification of new genovariants of canine distemper virus in dogs from the State of Mexico by analyzing the nucleocapsid gene. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 44(1), 53–58. <https://doi.org/10.4067/s0301-732x2012000100008>
- García, C. (2018). Genotipificación del virus del Moquillo Canino aislado de perros enfermos y su relación con la eficacia del tratamiento antiviral con nanopartículas de plata [Tesis de posgrado]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, CICESE



- González, A. (2015). Análisis genético y filogenético del gen de la hemaglutinina del virus del distemper canino (vdc) de cepas que circulan en el área metropolitana de Monterrey, N.L. [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Gonzalez, L. (2015). Análisis genético de la hemaglutinina (h) del virus de Distemper Canino en 21 cepas mexicanas y su expresión en baculovirus [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Moreno, K. (2016). Estudio serológico y molecular de distemper y parvovirus canino en comunidades de carnívoros de la reserva de la Biósfera de Janos, Chihuahua. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/306071>
- Ortiz, S. (2015). Investigación epidemiológica del Virus del Distemper Canino en perros domésticos, jaguares y pumas en los alrededores de la reserva de la biosfera de Calakmul en el sur de México. Tesis de maestría en ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Panzer, Y., Sarute, N., Iraola, G., Hernández, M. & Pérez, R. (2015). Molecular phylogeography of canine distemper virus: Geographic origin and global spreading. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 92, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2015.06.015>
- Rendon-Marin, S., da Fontoura Budaszewski, R., Canal, C. W., & Ruiz-Saenz, J. (2019). Tropism and molecular pathogenesis of canine distemper virus. *Virology Journal*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12985-019-1136-6>
- Rentería-Solís, Z., Förster, C., Aue, A., Wittstatt, U., Wibbelt, G., & König, M. (2014). Canine distemper outbreak in raccoons suggests pathogen interspecies transmission amongst alien and native carnivores in urban areas from Germany. *Veterinary Microbiology*, 174(1–2): 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.08.034>
- Rodríguez, R., Martínez, F., Aréchiga, N., López, O., Muñoz, C. I., Aguilar, A., Villalobos, G., Villanueva, C., Verdugo, A., Iturbe, R., & Rendón, E. (2020). Canine distemper in neotropical procyonids: Molecular evidence, humoral immune response and epidemiology. *Virus Research*, 290(198164), 198164. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198164>
- Sakai, K., Yoshikawa, T., Seki, F., Fukushi, S., Tahara, M., Nagata, N., ... & Takeda, M. (2013). Canine distemper virus associated with a lethal outbreak in monkeys can readily adapt to use human receptors. *Journal of virology*, 87(12): 7170-7175.
- Sandoval, B. (2023). Análisis bioinformático y genotipificación del virus causal de la enfermedad de Carré (CDV) que circula dentro de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Tesis para obtener el grado de Licenciada en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Medicina Veterinaria, Universidad de Guadalajara. 75pps.



- Uhl, E. W., Kelderhouse, C., Buikstra, J., Blick, J. P., Bolon, B., & Hogan, R. J. (2019). New world origin of canine distemper: Interdisciplinary insights. *International Journal of Paleopathology*, 24, 266–278. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.12.007>
- Wilkes, R. P. (2023). Canine Distemper Virus in Endangered Species: Species Jump, Clinical Variations, and Vaccination. *Pathogens*, 12(1), 57. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pathogens12010057>
- Wostenberg, D. J., Walker, N., Fox, K. F., Spraker, T. R., Piaggio, A. J., & Gilbert, A. T. (2018). Evidence of two cocirculating Canine Distemper Virus strains in mesocarnivores from Northern Colorado, USA. *Journal of Wildlife Diseases*, 54(3), 534. <https://doi.org/10.7589/2017-09-238>
- Zhao, J., & Ren, Y. (2022). Multiple receptors involved in invasion and neuropathogenicity of canine distemper virus: A review. *Viruses*, 14(7), 1520. <https://doi.org/10.3390/v14071520>



# Conducta terapéutica en las intoxicaciones

Carlos Omar De la Cruz Moreno  
Juan José Fernando Borrayo González  
Sergio Martínez González  
Juan Antonio Hernández Ballesteros  
Fidel Ávila Ramos  
J Bladimir Peña Parra





### **Introducción.**

El protocolo terapéutico de un paciente intoxicado o presuntamente intoxicado habrá de ajustarse en atención al panorama en que se presente a la consulta, que, de manera simplificada puede considerarse como sintomático o asintomático. En caso de presentar un cuadro clínico previo al contacto inicial, se deberá atender todo aquello que ponga en riesgo inminente la vida del paciente (*triage*) y, una vez estabilizado el paciente y de disponer de una historia clínica completa (reseña, anamnesis, examen físico, diagnóstico), es cuando comienza formalmente el tratamiento del paciente intoxicado, que debe enfocarse en 3 objetivos fundamentales:

1. Procurar que el tóxico permanezca el menor tiempo posible en el organismo.
2. Neutralizar los efectos del tóxico.
3. Proporcionar al paciente un tratamiento sintomático.

Para lograr el cumplimiento de estos objetivos, el abordaje clínico debe incluir una secuencia de seis estrategias perfectamente diferenciadas:

1. Evacuante.
2. Neutralizante.
3. Antidótica.
4. Sintomática.
5. Eliminatoria.
6. Complementaria.

En la práctica clínica no es necesario llevar una secuencia estricta en su desarrollo ya que el tratamiento de un paciente intoxicado dista mucho de comportarse como una fórmula matemática perfectamente secuenciada. En este sentido queda claro que, de existir antídoto para el tóxico involucrado, deberá utilizarse con la mayor diligencia posible para procurar una pronta recuperación, independientemente de que se realicen algunas o todas las estrategias terapéuticas previamente referidas.

Es así que el médico veterinario deberá utilizar su criterio para que, en conjunto con la información obtenida durante el contacto inicial con el paciente y, las condiciones que presente este, elija como deberá estructurar su protocolo terapéutico.

### **Determinantes de la conducta terapéutica.**

Existen factores que van a determinar hasta qué punto el facultativo podrá desarrollar las estrategias o por el contrario en qué casos no debe recurrir a ellas, ya sea porque presentan al momento actual una eficacia nula o dudosa o bien, porque definitivamente están contraindicadas. Concretamente hay tres factores que deben tenerse en cuenta al momento de la toma de decisiones:



1. El momento de iniciarse el tratamiento.

En el tratamiento de una intoxicación, un factor determinante del abordaje terapéutico y, posiblemente del desenlace del evento, es el tiempo. Es completamente distinto el panorama de un paciente presentado a la consulta minutos después de haberse expuesto al tóxico o con prontitud una vez que evidenciaron alguna anormalidad a aquel que manifestó enfermedad y los propietarios decidieron esperar un tiempo «a ver si se le pasaba». En este sentido, por el tiempo transcurrido hay prácticas que ya no presentan eficacia, tales como la evacuación y/o neutralización para la vía gástrica, puesto que después de algunas horas el tóxico ya no se encontrará en tracto digestivo.

2. Conocimiento de la naturaleza del tóxico involucrado.

El hecho de conocer la naturaleza del tóxico, entendiendo como tal conocer su identidad, mecanismo de acción, manifestaciones clínicas y evidentemente la mejor manera de abordar terapéuticamente el evento que se presente en el paciente, es sin duda un parteaguas fundamental en el desarrollo del proceso médico. De entrada, nos permite determinar la existencia y disponibilidad de un antídoto, que será el medicamento que deberemos implementar inmediatamente, especialmente en casos de extrema gravedad. Conocer su mecanismo de acción, por otra parte, nos permite determinar cuáles de las manifestaciones clínicas se pueden considerar como acción directa del compuesto lesivo y cuales son consecuencias de las primeras, entendiendo así que deberá el tratamiento enfocarse en los efectos directos y, si las manifestaciones clínicas derivadas no son de alto riesgo para la salud del paciente, podremos permitir que remitan una vez controlada la causa.

3. Gravedad de los síntomas presentes al momento de iniciarse el tratamiento.

Este punto es determinante del proceder del Médico Veterinario. Las intoxicaciones se pueden presentar de 3 formas: aguda, subaguda y crónica. Cada una de ellas plantea un contexto diferente y demanda una actuación diferente.

En los pacientes intoxicados de forma aguda o subaguda podremos encontrar dos panoramas diferentes:

- ❖ **Panorama A** (Paciente asintomático con exposición a un tóxico conocido o desconocido).

Cuando el tóxico es conocido y el paciente esta asintomático, su estado se cataloga como estable y el protocolo terapéutico será enfocado a evacuar y eliminar el tóxico, así como prevenir la posible aparición de signos clínicos (mediante el uso de antídotos para los casos en que se disponga) y en su caso, atender cada uno de ellos (que pueden no presentarse).

En el mismo panorama, pero con un tóxico desconocido, el tratamiento evacuante se deberá realizar con las medidas precautorias



dado el desconocimiento del tóxico y sus posibles contraindicaciones; limitando la posibilidad de utilizar un antídoto por la misma razón (no se puede saber si existe antídoto para un tóxico que no ha identificado).

- ❖ **Panorama B** (Paciente sintomático con tóxico generalmente desconocido). En este caso, es posible que haya transcurrido mucho tiempo desde que el paciente se expuso al tóxico, entendiéndose por mucho tiempo desde horas hasta días y, que posiblemente el propietario o encargado del cuidado del animal, se dio cuenta solo de que «algo» extraño pasaba con él (Manifestaciones como dolor, emesis, convulsiones, incoordinación motora, etc.), con una aparición «espontánea» (porque «5 minutos antes no estaba así», cosa que eventualmente si es cierta a medias, porque seguramente no han sido esos 5 minutos pero sí que se manifestó con relativa rapidez).

En este caso, el abordaje terapéutico parte con una interrogación sobre el paciente y su valoración de forma rápida (A costa de que no sea completa) para proceder con el *triage* en los términos necesarios a la situación clínica para que una vez obtenida, se pueda retomar el interrogatorio y cumplimentar detalladamente el historial del paciente. El seguimiento del tratamiento podrá sustentarse entonces en un diagnóstico presuntivo correctamente sustentado o bien, determinar la necesidad de analíticas que nos conduzcan a la causa del trastorno que aqueja al paciente.

Es importante señalar que pueden presentarse pacientes con ciertos signos clínicos que, cuando el propietario decidió acudir a la consulta, estaban presentes y ahora han remitido o bien, se puedan evidenciar algunos que en su momento no se habían presentado; por lo cual en la anamnesis habrá que indagar oportunamente la cronología y evolución de los signos clínicos.

El panorama en el que se presente el paciente es determinante respecto al desarrollo de las estrategias terapéuticas. En la tabla 1 se esquematizan las características clínicas de las intoxicaciones. En la tabla 2 (A-F) se presentan algunos aspectos relacionados a la viabilidad y/o pertinencia de las diferentes estrategias terapéuticas, en relación al estado de salud del paciente.

**Tabla 1.** Características clínicas de las intoxicaciones.

Aspectos:	Condición:	Panorama:	Observaciones:
Exposición al tóxico:	Reciente.	A	
	Retardada.	B	
Identidad del tóxico:	Conocida.	A	En el panorama A, con frecuencia el propietario sabe cuál es la identidad del tóxico implicado, pero no siempre ocurre así.
	Desconocida.	B	
Cuadro clínico:	Ausente.	A	En el panorama A, si el propietario acude de forma inmediata tras la exposición con el tóxico, con frecuencia el paciente estará asintomático, sin embargo, en ello también incide la dosis de tóxico ingerida y la naturaleza del compuesto.
	Moderado.	A/B	
	Crítico.	B	



**Tabla 2 (A).** Estrategia evacuante para el paciente intoxicado y su viabilidad y/o pertinencia en relación con el tiempo transcurrido y el conocimiento de la naturaleza del tóxico involucrado.

Evacuante		
Naturaleza del tóxico conocida:	Manifestaciones clínicas:	Observaciones:
<b>Sí</b>	Presentes.	Para la vía oral: Es posible que el tóxico no se encuentre en la puerta de entrada, siendo además de alto riesgo dependiendo de las manifestaciones clínicas, especialmente en pacientes con alteración de la conciencia.
	Ausentes.	Se puede realizar sin problema independientemente de la vía de entrada.
<b>No</b>	Presentes.	No es muy recomendado a menos que exista evidencia de que el tóxico aún está en la puerta de entrada, siendo más común en intoxicaciones por vía dérmica; sin embargo dependiendo de las manifestaciones clínicas presentes se deberá valorar la conveniencia o no de realizar esta práctica. El desconocimiento de la naturaleza del tóxico implica un factor de riesgo, porque puede estar contraindicado, por ejemplo en intoxicaciones por agentes cáusticos o cianuro.
	Ausentes.	Para la vía dérmica e inhalatoria se puede realizar sin inconvenientes, mientras que para la vía oral es de riesgo dado el desconocimiento del agente involucrado, por ejemplo en intoxicaciones con agentes cáusticos o cianuro está contraindicado. Generalmente en casos de etiología desconocida, el Médico Veterinario deberá decidir si corre el riesgo o no.



**Tabla 2 (B).** Estrategia neutralizante para el paciente intoxicado y su viabilidad y/o pertinencia en relación con el tiempo transcurrido y el conocimiento de la naturaleza del tóxico involucrado.

Neutralizante:		
Naturaleza del tóxico conocida:	Manifestaciones clínicas:	Observaciones:
<b>Sí</b>	Presentes.	Es posible que el tóxico ya no se encuentre en la vía de entrada (VO) y consecuentemente no tiene sentido realizarlo, con excepción de tóxicos que presentan una semivida de absorción prolongada o eliminación biliar con metabolitos activos.
	Ausentes.	Se recomienda realizarlo y no existe en principio riesgo alguno.
<b>No</b>	Presentes.	Se deberá valorar el cuadro clínico para determinar la pertinencia de implementar esta práctica, aunque el desconocimiento del agente involucrado conlleva a riesgo de fracaso ya que no hay un neutralizante universal.
	Ausentes.	Se puede realizar sin mayor riesgo para la salud, pero si con la posibilidad de que sea una práctica no eficaz debido a que el tóxico no tenga afinidad con el tóxico, sin embargo en estas condiciones si se recomienda.



**Tabla 2 (C).** Estrategia antidótica para el paciente intoxicado y su viabilidad y/o pertinencia en relación con el tiempo transcurrido y el conocimiento de la naturaleza del tóxico involucrado.

Antidótica:		
Naturaleza del tóxico conocida:	Manifestaciones clínicas:	Observaciones:
Sí	Presentes.	Siempre que se disponga de antídoto para el proceso tóxico habrá de utilizarse con la mayor diligencia posible.
	Ausentes.	El médico veterinario habrá de valorar la pertinencia de su uso. Se puede considerar que sí de manera preventiva, sin embargo es importante tener en cuenta que muchos de los antídotos pueden ser poseedores a su vez de un potencial tóxico de relevancia, por lo cual en todo caso debería ser más conveniente la observación cuidadosa del paciente en espera de evidencia del cuadro clínico, a menos que aun estando asintomático, se tenga certeza de que se ha expuesto a una cantidad suficiente para dañarlo.
No	-	Si no hay certeza de la naturaleza del tóxico involucrado es altamente riesgoso utilizar cualquier medicamento con fines de anular la acción lesiva.





**Tabla 2 (D).** Estrategia sintomática para el paciente intoxicado y su viabilidad y/o pertinencia en relación con el tiempo transcurrido y el conocimiento de la naturaleza del tóxico involucrado.

Sintomática:		
Naturaleza del tóxico conocida:	Manifestaciones clínicas:	Observaciones:
Sí	Presentes.	Se deben atender oportunamente, considerando cuales son derivados de la acción del tóxico y cuales son consecuencias de estas, asimismo el médico veterinario debe estar preparado para atender todas aquellas manifestaciones que pueden presentarse posteriormente al contacto inicial con el paciente.
	Ausentes.	Aun cuando el paciente se muestre inicialmente asintomático, de debe monitorear por un tiempo pertinente para que en caso de pasar al estatus de sintomático, sea atendido oportunamente.
No	Presentes.	Es la misma situación que cuando si se conoce la naturaleza del tóxico, aunque en este caso el médico veterinario estará limitado por la falta de información respecto a un mecanismo de acción que contrarrestar.
	Ausentes.	Es la misma situación que cuando la naturaleza del tóxico es conocida.



**Tabla 2 (E).** Estrategia eliminatoria para el paciente intoxicado y su viabilidad y/o pertinencia en relación con el tiempo transcurrido y el conocimiento de la naturaleza del tóxico involucrado.

Eliminatoria:		
Naturaleza del tóxico conocida:	Manifestaciones clínicas:	Observaciones:
Sí	Presentes.	De acuerdo a la vía de eliminación del tóxico se elegirá cual es la mejor alternativa para procurar que su permanencia en el organismo sea lo más breve posible; debiendo tener cuidado de no poner en riesgo la integridad del paciente. Por ejemplo, en un paciente intoxicado por algún AINE derivado arilpropiónico y que ya presente evidencia de insuficiencia renal, no es conveniente la inducción de la diuresis, porque se estaría forzando un órgano con una función limitada y puede conllevar a riesgo de muerte incluso.
	Ausentes.	Se puede implementar sin riesgo alguno, considerando la vía de eliminación del tóxico.
No	-	Independientemente de si el paciente presenta o no un cuadro clínico, si se desconoce la identidad del tóxico causante del evento, y consecuentemente su cinética, no es posible implementar una estrategia eliminatoria específica; en todo caso se puede inducir la diuresis, sin tener la certeza de que funcione para fines de retirar el tóxico del organismo, toda vez que no hay garantía que esta sea la vía de eliminación.



**Tabla 2 (F).** Estrategia complementaria para el paciente intoxicado y su viabilidad y/o pertinencia en relación con el tiempo transcurrido y el conocimiento de la naturaleza del tóxico involucrado.

Complementaria:		
Naturaleza del tóxico conocida:	Manifestaciones clínicas:	Observaciones:
Sí	Presentes.	En de gran importancia para favorecer una recuperación en menor tiempo y con mayor bienestar para el paciente.
	Ausentes.	En este caso no será necesaria.
No	Presentes.	Para esta estrategia no es muy relevante la naturaleza del tóxico y aunque será más completa cuando si se conozca, sigue siendo de gran utilidad para favorecer la recuperación del paciente.
	Ausentes.	En este caso no será necesaria.

Es entonces en atención a estas situaciones que, la intervención del médico veterinario debe ser flexible y ajustarse a cada paciente en particular, puesto que nunca será igual que otro caso donde se involucre la misma especie diana y el mismo compuesto tóxico. En este sentido, la conducta terapéutica engloba las seis estrategias en tres tiempos:

### 1. Urgencia inmediata.

Esta se inicia propiamente dicho desde el *triage*, y se continúa con la estrategia evacuante y la sintomática.

Incluye entonces un tratamiento local que consiste en la evacuación del tóxico de las puertas de entrada internas (digestiva, inhalatoria y parenteral) o externas (dérmica y ocular). De igual manera considera la implementación de un tratamiento general enfocado a atender cualquier manifestación clínica que presente el paciente, poniendo especial atención a aquellas que pongan en riesgo su vida. Esta situación suele presentarse en pacientes en los que ya ha



transcurrido un tiempo considerable desde la exposición y absorción del tóxico, que presentan un cuadro clínico de severa gravedad y, eventualmente se desconoce el compuesto tóxico involucrado.

## **2. Urgencia diferida.**

Considera un tratamiento etiológico, mediante el uso de antídotos en aquellos casos en que conocemos la naturaleza del tóxico responsable y, un tratamiento no específico, en el cual básicamente el médico veterinario dará continuidad al tratamiento sintomático, en espera de resultados que confirmen la etiología del caso y, la verificación de existencia y disponibilidad de antídoto o no. Si se dispone de un antídoto, entonces se perfilará como tratamiento etiológico y sino, continuará como no específico.

Es importante aclarar que el uso de antídotos se incluye en la urgencia diferida no porque vaya a dilatarse en exceso su administración al paciente sino porque, como ya se mencionó, en algunos casos deberán esperarse resultados de laboratorios que confirmen la pertinencia del uso de algún medicamento que cumpla esa función en el caso específico y, porque también es necesario estabilizar al paciente para que pueda ser eficaz el uso del antídoto. En algunos casos estos medicamentos irán a la par de la estabilización del paciente, siempre que las condiciones de salud lo permitan.

## **3. Tratamiento complementario.**

La estrategia complementaria no se modifica en absoluto, se desarrolla una vez que el paciente se encuentra estable y el pronóstico de recuperación es alto.

Con el propósito de clarificar más los aspectos previamente analizados, en la tabla 3 se presentan las particularidades del protocolo terapéutico para diez de los tóxicos más frecuentes en animales de compañía:

1. Organofosforados.
2. Anticoagulantes.
3. Amidinas.
4. Chocolate.
5. Abejas y avispas.
6. Piretroides.
7. Cloro.
8. Plantas de ornato.
9. Metaldehído.
10. Marihuana.



Para cada uno de estos compuestos se esclarecen los aspectos concernientes a las puertas de entrada (3 A), particularidades de la evacuación digestiva (3 B), principales manifestaciones clínicas (3 C) y pautas de eliminación (3 D).

**Tabla 3 (A).** Puerta de entrada.

Tóxico:	Puerta de entrada:				
	Dérmica.	Ocular.	Digestiva.	Pulmonar.	Parenteral.
Organofosforados.	X	X	X	X	
Anticoagulantes.	X		X		
Amidinas.	X	X	X	X	
Chocolate.			X		
Abejas y avispas.					X
Piretroides.	X	X	X	X	
Cloro.	X	X	X	X	
Plantas de ornato.	X	X	X		
Metaldehído.			X		
Marihuana.			X	X	



**Tabla 3 (B).** Particularidades de la evacuación digestiva.

<b>Tóxico:</b>	<b>Emesis:</b>	<b>Lavado Gástrico:</b>
Organofosforados.	Ambos procedimientos se pueden realizar sin inconvenientes.	
Anticoagulantes.	Por si mismos pueden producir emesis.	Se puede realizar sin inconvenientes.
Amidinas.	No es eficaz cuando se ingirió un collar. Si la presentación comercial es un concentrado oleoso (Mitaban) está contraindicado.	No es eficaz cuando se ingirió un collar.
Chocolate.	Ambos procedimientos pueden fallar por adherencia del chocolate en tracto digestivo.	
Abejas y avispas.	Ninguno de los procedimientos procede.	
Piretroides.	Ambos procedimientos se pueden realizar sin inconvenientes.	
Cloro.	Está contraindicado por ser caustico.	No se recomienda debido al riesgo de perforación ante las posibles úlceras.
Plantas de ornato.	Algunas pueden ser irritantes por lo que no es recomendado, además del posible fallo ya que los fragmentos de la planta no se eliminan tan fácilmente.	Posible fallo ya que los fragmentos de la planta no se eliminan tan fácilmente.
Metaldehído.	Ambos procedimientos se pueden realizar sin inconvenientes.	
Marihuana.	Posible fallo por efecto antiemético del THC.	Posible fallo cuando la marihuana va en tabletas de chocolate.



**Tabla 3 (C).** Principales manifestaciones clínicas.

Tóxico:	Respiratorio.	Cardiovascular.	Depresión y/o coma.	Convulsiones.	Excitación (SNC).	Dolor.	Hemorragia.	Emesis.	Diarrea.	Infecciones.	Gastritis – Ulceras.	Anemia.	Alergia.
Organofosforados.	X		X	X	X			X	X				
Anticoagulantes.	X	X				X	X	X	X	X		X	
Amidinas.		X			X			X	X	X	X		X
Chocolate.	X	X		X	X	X		X	X				
Abejas y avispas.	X	X	X			X		X					X
Piretroides.	X	X		X	X			X	X				
Cloro.		X				X	X	X	X	X	X	X	
Plantas de ornato*.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Metaldehído.	X	X	X	X	X			X	X	X	X		
Marihuana.		X			X				X				

\* Debido a la gran variedad de plantas de ornato, es para este trabajo complicado de explicar en detalle cada una de ellas, por lo que se aborda en lo general.

**Tabla 3 (D).** Pautas de eliminación.

Tóxico:	Estrategia:
Organofosforados.	Laxantes; lavado dérmico.
Anticoagulantes.	Diuréticos.
Amidinas.	Diuréticos, laxantes, quirúrgico (Ingesta del collar).
Chocolate.	Diuréticos, laxantes.
Abejas y avispas.	En picaduras de abeja se debe retirar el aguijón.
Piretroides.	Diuréticos.
Cloro.	Prohibido para la vía digestiva, lavado dérmico.
Plantas de ornato.	Diuréticos, laxantes, lavado dérmico, quirúrgico.
Metaldehído.	Diuréticos.
Marihuana.	Diuréticos, laxantes.



A continuación se enlistan algunos de los fármacos de uso común en las intoxicaciones previamente citadas:

**Ácido Yatrenico con caseína (estimulante metabólico).**

P: 11.7 mg/25 mg a 117 mg/250 mg; G: 11.7 mg/25 mg a 35.1 mg/75 mg IM / SC cada 48 horas.

**Apomorfina (emético).**

P: 0.04 mg/kg IV; 0.08 mg/kg IM; 0.1 mg/kg SC; 0.25 mg en el saco conjuntival. G: Está contraindicada.

**Atipamezol (antídoto de las amidinas).**

P/G: 0.05-0.2 mg/kg, IM. Revierte la intoxicación en 10 minutos, podrá repetirse a criterio del Médico Veterinario y, es la alternativa a la Yohimbina, por lo cual no deben combinarse.

**Carbón vegetal (neutralizante).**

P/G: 1-4 gr/kg (diluido), procurando usar la dosis más alta, VO, cada 4-8 horas.

**Ciproheptadina (estimulante del apetito).**

P/G: 0.2 mg/kg VO cada 12 horas.

**Diacepam (estimulante del apetito).**

P/G: 2-5 mg VO.

**Espironolactona (diurético).**

P/G: 0.5-2 mg/kg, VO cada 12 a 24 horas.

**Furosemida (diurético).**

P/G: 1-4 mg/kg, VO / IM / IV cada 8 horas. Suplementar potasio o combinar con diuréticos ahorradores de potasio.

**Jarabe de Ipecacuana al 10% (emético).**

P: 10-20 ml. G: 2-5 ml VO. A efecto.

**Lactulosa (laxante).**

P/G: ml/4.5 kg, VO cada 8 horas.

**Pralidoxima (antídoto de los organofosforados).**

P/G: 10-20 mg, IV lento / SC cada 8 a 12 horas. Se puede administrar la segunda dosis 1 hora después de la primera. Solo usar en las primeras 24-48 horas de la intoxicación. En dosis de 100-150 mg/kg puede provocar inhibición de la acetilcolinesterasa.

**Psyllium (laxante).**

P/G: 1 cucharadita / 5-10 kg VO cada 8 a 12 horas, mezclado con la comida.

**Sulfato de atropina (antídoto de los organofosforados).**

P/G: 0.1-0.2 mg/kg, 1/4 dosis IV lenta; resto SC. Cada 20-30 minutos hasta atropinización; 2 dosis adicionales cada 6 horas.





---

**Vitamina K1 (antídoto de los anticoagulantes).**

P/G: Dosis inicial: 5 mg/kg. Mantenimiento: 1.5-2.5 mg/kg; IV / IM / SC / VO cada 24 horas. La duración del tratamiento para compuestos de primera generación será de 2 semanas, mientras que para los de segunda será de 4-6 semanas.

**Xilacina (emético).**

P: 1.1-2.2 mg/kg IV; 0.5-1 mg/kg IM. G: 0.44 mg/kg IM / SC. A efecto. Está contraindicada en intoxicaciones por amitraz.

**Yohimbina (antídoto de las amidinas).**

P: 11 mg/kg, IV lenta, cada 4-8 horas. 0.25-0.5 mg/kg, SC / IM, cada 12 horas. Si el paciente ingirió un collar de amitraz, deberá administrarse la Yohimbina hasta la eliminación del collar.

**Conclusión**

Las intoxicaciones agudas representan un complejo reto para el médico veterinario, en particular en aquellos casos en los que el cuadro clínico es manifiesto, indistintamente de su severidad; así como en aquellos en los que la naturaleza del compuesto deletéreo es desconocida. En estos casos en especial, el facultativo enfrenta un reto que no siempre llegará a un final feliz. Es por ello que, es necesario que en la clínica se disponga de personal capacitado en la atención de animales intoxicados así como protocolos detallados respecto al abordaje de las estrategias terapéuticas, con detalle en los procedimientos, ventajas y desventajas.



## **Referencias**

- Aldrich, J. (2012). Intoxicación por ivermectina. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Intermédica. Argentina.
- Anadón, A., Martínez-Larrañaga, M.R. y Castellano, V. (2012). Poisonous plants of Europe. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Anadón, A. y Gupta, R.C. (2012). Fipronil. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Ashbaugh, E. (2012a). Intoxicación por cinc. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Ashbaugh, E. (2012b). Intoxicación por marihuana. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Bates, N. (2000a). Carbamate insecticides. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Bates, N. (2000b). Paraquat. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Bates, N. (2000c). Pyrethrins and pyrethroids. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Bates, N. y Campbell, A. (2000a). Glyphosate. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Bates, N. y Campbell, A. (2000b). Organophosphate insecticides. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Bates, N. y Campbell, A. (2000c). Ethylene glicol. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Bischoff, K. (2006). Diethylene glycol. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Bischoff, K. (2012). Toxicity of drug of abuse. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Bischoff, K. y Mukai, M. (2012). Toxicity of over-the-counter drugs. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Blodgett, D.J. (2006). Organophosphate and carbamate insecticides. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Bough, M. (2013). Intoxicaciones asociadas a alimentos. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Burkitt, J.M. (2012). Intoxicación por organofosforados. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.



- 
- Campbell, A. (2000a). Hymenoptera. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000b). Poinsettia / Euphorbia pulcherrima. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000c). Metaldehyde. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000d). Anticoagulant rodenticides. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000e). Iron and iron salts. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000f). Tricyclic antidepressants. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000g). Diclofenac sodium. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000h). Ivermectin. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000i). Ibuprofen. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000j). Naproxen. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000k). Paracetamol. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000l). Chocolate / Theobromine. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Campbell, A. (2000m). Cannabis / Marihuana / Hashish. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Carson, T.L. (2006). Methylxanthines. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Casteel, S.W. (2006). Lead. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Colbridge, M. y Campbell, A. (2000). Benzodiazepines. In: Handbook of poisoning in dogs and cats. Blackwell Science. USA.
- Cooper, R. (2012). Intoxicación por acetaminofeno. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Cope, R. (2012). Toxic gases. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Cope, R. (2013). Tóxicos domésticos e industriales. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.



- Delaporte, J. y Means, C. (2013). Plantas. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Dorman, D.C. (2006). Bromethalin. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Duffy, T. (2012). Intoxicación por rodenticidas anticoagulantes. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Dunayer, E. (2013). Raticidas. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Ensley, S.M. (2012a). Organochlorines. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Ensley, S.M. (2012b). Pyrethrins and Pyrethroids. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Fitzgerald, K.T. (2006a). Cyanide. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Fitzgerald, K.T. (2006b). Metronidazole. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Fitzgerald, K.T. (2006c). Carbon monoxide. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Fitzgerald, K.T. y Vera, R. (2006). Insect hymenoptera. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Fitzgerald, K.T. (2012a). Mordedura de araña solitaria marrón. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Fitzgerald, K.T. (2012b). Mordedura de araña viuda negra. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Fitzgerald, K.T. (2012c). Mordedura de serpiente crotalidae. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Fitzgerald, K.T. (2012d). Mordedura de serpiente de coral. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Foss, T. (2013). Zootoxinas. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Garland, T. (2012a). Arsenic. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.



- Garland, T. (2012b). Zinc. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Gupta, R.C. (2012a). Amitraz. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Gupta, R.C. (2012b). Non-anticoagulant rodenticides. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Gupta, R.C. (2012c). Metaldehyde. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Gupta, R.C. (2012d). Aluminium. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Gupta, R.C. (2012e). Mercury. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Gupta, R.C. y Milatovic, D. (2012). Organophosphates and carbamates. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Gwaltney-Brant, S. (2006a). Oxalate-containing plants. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Gwaltney-Brant, S. (2006b). Christmas plants. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Gwaltney-Brant, S. (2006c). Macadamia nuts. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Gwaltney-Brant, S., DeClementi, C. y Gupta, R.C. (2012). Macrocyclic lactone endectocides. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Gwaltney-Brant, S., Dunayer, E. y Youssef, H. (2012). Terrestrial zootoxins. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Gwaltney-Brant, S. (2013a). Incidencia del envenenamiento en pequeños animales. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Gwaltney-Brant, S. (2013b). Medicamentos con receta. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Gwaltney-Brant, S. (2013c). Drogas de abuso. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Gwaltney-Brant, S. y Poppenga, R.H. (2013). Principios toxicológicos fundamentales. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Hall, J.O. (2006a). Lilies. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Hall, J.O. (2006b). Iron. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Hall, J.O. (2012a). Molybdenum. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.



- Hall, J.O. (2012b). Selenium. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Hansen, S. R. (2006). Pyrethrins and pyrethroids. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Hooser, S.B. (2012a). Cadmium. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Hooser, S.B. (2012b). Iron. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Knight, M.W. (2006). Zinc. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Langston, C.E. (2012). Intoxicación por lirios. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Lichtenber, M. (2012). Intoxicación por amitraz. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Lorgue, G., Lechenet, J. y Rivière, A. (1997). Toxicología clínica veterinaria. Ed. Acribia, España.
- Mazzaferro, E.M. (2012a). Intoxicación por metaldehído. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Mazzaferro, E.M. (2012b). Intoxicación por uvas y pasas. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Mealey, K.L. (2006). Ivermectin: Macrolide antiparasitic agents. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Means, C. (2013). Suplementos dietéticos y hierbas. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Meola, S.D. (2012). Intoxicación por chocolate. En: Blackwell's, La consulta veterinaria en 5 minutos: Emergencias en pequeños animales. Inter-médica. Argentina.
- Mostrom, M.S. (2006). Grapes and raisins. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Murl-Bayley Jr., E. (2006). Ricin. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Murphy, M.J. (2012). Anticoagulant rodenticides. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Murphy, M.J. y Talcott, P.A. (2006). Anticoagulant rodenticides. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Naidoo, V. (2012). *Datura* species and related plants. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.



- Navarrete, C.R. y Mesa, S.I. (2015). Cómo llevar a cabo un plan de urgencia. En: Manual clínico del perro y del gato. Elsevier. España.
- Neiger, R.D. (2006). Arsenic. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Nicholson, S.S. (2012a). Cyanogenic plants. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Nicholson, S.S. (2012b). Nitrate and nitrite accumulating plants. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Oehme, F.W. y Mannala, S. (2006). Paraquat. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Panter, K.E., Welch, K.D., Gardner, D.R., Lee, S.T., Green, B.T., Pfister, J.A., Cook, D., Davis, T.Z. y Stegelmeier, B.L. (2012). Poisonous plants of the United States. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Parton, K. (2006). Sodium monofluoroacetate (1080). In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Peterson, M.E. (2006a). Poisonous lizards. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Peterson, M.E. (2006b). Snake bite: North American pit vipers. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Peterson, M.E. (2006c). Snake bite: Coral snakes. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Peterson, M.E. y McNalley, J. (2006a). Spider envenomation: Brown recluse. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Peterson, M.E. y McNalley, J. (2006b). Spider envenomation: Black widow. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Peterson, M.E. y Roberts, B.K. (2006). Toads. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Plumb, D.C. (2010). Plumb: Manual de farmacología veterinaria. 6ª. Ed. Inter-Médica. Argentina.
- Plumlee, K.H. (2006a). DEET. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Plumlee, K.H. (2006b). Nicotine. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Poppenga, R.H. (2013a). Otros pesticidas. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Poppenga, R.H. (2013b). Metales y minerales. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Puschner, B. (2006). Metaldehyde. In: Small animal toxicology. 2ª. Ed. Elsevier-Saunders. USA.



- Raisbeck, M.F. (2006). Organochloride pesticides. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Reyers, F. y Naudé, T.W. (2012). Oxalate-containing plants. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Richardson, J.A. (2006a). Amitraz. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Richardson, J.A. (2006b). Atypical topical spot-on products. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Richardson, J.A. (2006c). Ethanol. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Rumbeiha, W.K. (2006). Cholecalciferol. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- San Andrés, M.I., Jurado-Couto, R. y Ballesteros, M. E. (2000). Toxicología animal originada por plantas. Ed. Complutense. España.
- Schell, M.M. y Gwaltney-Brant, S. (2013). Drogas de venta libre. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.
- Sellon, R.K. (2006). Acetaminophen. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Talcott, P.A. (2006a). Strychnine. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Talcott, P.A. (2006b). Copper. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Talcott, P.A. (2006c). Nonsteroidal antiinflammatories. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Thrall, M.A., Connally, H.E., Grauer, G.F. y Hamar, D. (2006). Ethylene glycol. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Thrall, M.A. y Hamar, D.W. (2012). Alcohols and glycols. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Tegzes, J.H. (2006). Mercury. In: Small animal toxicology. 2<sup>a</sup>. Ed. Elsevier-Saunders. USA.
- Thompson, L.J. (2012a). Copper. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Thompson, L.J. (2012b). Fluoride. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Thompson, L.J. (2012c). Lead. In: Veterinary toxicology: Basic and clinical principles. 2a. ed. Elsevier-Academic Press. USA.
- Villar, D. y Ortiz, D.J.J. (2006). Plantas tóxicas de interés veterinario: Casos clínicos. Elsevier-Masson, España.





---

Volmer, P.A. (2013). Insecticidas. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.

Wismer, T. (2013). Antídotos. En: Fundamentos de toxicología en pequeños animales. Multimedia Edición Veterinaria. España.



# Resistencia de los antihelmínticos utilizados en el control de trematodos de bovinos: revisión de avances de investigación en México

Gerardo Jiménez Penago  
Roberto González Garduño  
Glaforo Torres Hernández  
Oswaldo Torres Chablé  
Efrén Ramírez Bribiesca  
David Hernández Sánchez





## Resumen

Los bovinos se encuentran en constante desafío con parásitos internos que limitan la producción de carne o leche. Entre las principales familias de parásitos que afectan la salud de los bovinos se encuentran los trematodos, entre los que destaca la duela del hígado, *Fasciola hepática*. Sin embargo, existen otros trematodos con importancia productiva y económica, como son las duelas ruminales o paramfistómidos. En la actualidad diversos estudios han destacado los efectos patológicos que los paramfistómidos causan en el sistema digestivo de rumiantes. Además, existe un incremento en los estudios epidemiológicos, donde sobresalen los índices de prevalencia e incidencia de paramfistómidos en rumiantes de diversas partes del mundo. Lo cual ha llevado a considerar las paramfistomosis como enfermedades re-emergentes. Por otra parte, el control de los trematodos se ha realizado exclusivamente mediante el uso de fármacos antihelmínticos. Este hecho ocasionó el desarrollo de la resistencia antihelmíntica (RA) de los trematodos a diversos fármacos. Problema que cada día se extiende en las unidades de producción de bovinos.

La evaluación de la RA se realiza estimando la eficacia de los fármacos, mediante la prueba de reducción en los conteos de huevos en heces (FECRT), el ensayo de eclosión de huevos (EHA) y la prueba de reducción de coproantígeno (CRT). Por tanto, en esta revisión se contempla determinar los fármacos que son usados en la ganadería bovina para el control de trematodos y conocer la eficacia que presentan actualmente, con el fin de mostrar el panorama de la resistencia antihelmíntica de los trematodos que afectan a bovinos criados en México. Es importante establecer mecanismos que conduzcan a un control integrado de trematodos, a fin de disminuir los efectos negativos en la salud y productividad del ganado bovino y salvaguardar la salud de las personas.

## Introducción

México es uno de los principales países productores de carne bovina a nivel mundial y esta es considerada de gran importancia para la economía del país. La ganadería se encuentra limitada por múltiples factores dentro de los cuales destacan las enfermedades parasitarias, que generalmente son mal atendidas. Entre los principales parásitos internos se encuentran los trematodos, un grupo de gusanos del filo de los platelmintos (*Fasciola*, *Clonorchis*, *Fasciolopsis*, *Echinostoma*, *Schistosoma* y *Paramphistomum*, etc.) que afectan a diversos órganos de los bovinos. *Fasciola hepática* se destaca por infectar a bovinos en pastoreo, provoca daños en la salud de los animales, lo que se reflejan en lento crecimiento, signos como diarreas, anemia y en casos de alta susceptibilidad la muerte de animales jóvenes o muy viejos. Otra familia de trematodos que presenta incluso mayor prevalencia que la duela del hígado son los paramfistómidos, los cuales tienen un ciclo de vida similar al de *F. hepática*, aunque su órgano blanco es el rumen.



Ambos trematodos generan daños en la salud animal y son considerados importantes por su presencia cosmopolita y alta prevalencia en el trópico de México. Además, *F. hepática* es zoonótica y ha presentado un incremento de reporte de infección en países como Egipto y Perú. Principalmente, estas infecciones en humanos se dan por el consumo de vegetales que son regados con heces de bovinos infectados previamente con alguna especie de trematodos y que los vegetales al llegar con el consumidor no reciben la limpieza adecuada.

El control de *F. hepática* y de los paramfistómidos se realiza de manera frecuente con el uso de antihelmínticos (AH). En su momento los AH fueron eficaces para eliminar las poblaciones de trematodos, debido a su capacidad para alterar las funciones biológicas del parásito y causarles la muerte. Durante varias décadas fueron considerados como el principal mecanismo de control para incrementar la productividad del ganado. Sin embargo, la aparición de la resistencia ha originado la búsqueda de nuevas moléculas, diferentes a los diversos fármacos que se han liberado al mercado a través de los años, como son: triclabendazol, albendazol, rafoxanida, nitroxinil, closantel y oxiclozanida, entre los más comunes. A pesar de la existencia de varios fármacos antihelmínticos, actualmente muchos de ellos son ineficaces para el control de trematodos, lo cual es una preocupación para los productores y los propios fabricantes, ya que cada vez es más frecuente los estudios de la baja eficacia, porque las poblaciones de parásitos no mueren y siguen generando problemas de salud en los animales, provocando pérdidas económicas por una disminución en la producción y por la necesidad de utilizar fármacos de manera más frecuente lo que aumenta la RA.

Para determinar la eficacia de los fármacos en la mortalidad de los trematodos se han utilizado metodologías que primero fueron aplicadas para conocer la resistencia en nematodos gastrointestinales y posteriormente se realizaron modificaciones. De los principales protocolos utilizados por la asociación mundial para el avance de la parasitología veterinaria (WAAVP, por sus siglas en inglés) se usa la prueba de reducción de los conteos de huevos en heces (FECRT), el ensayo de eclosión de huevos (EHA) y la prueba de reducción de coproantígeno (CRT). Cada una de las pruebas anteriores, son aplicadas para determinar la eficacia de los fármacos en diferentes cepas (susceptibles o resistentes) de *F. hepática* o de paramfistómidos. Las pruebas presentan ventajas y desventajas, que van desde el lugar de aplicación (laboratorio/campo), el tiempo de empleo, el costo y el número de muestras que se pueden determinar, por mencionar algunas. Con estos métodos se han realizado múltiples investigaciones para determinar casos de resistencia antihelmíntica, tanto para fármacos como en diversas especies de parásitos. Generalmente, la mayoría de los informes de resistencia son de *F. hepática* sobre triclabendazol y albendazol, realizados en diversos países del mundo, como el caso de México al tener diversos estudios que evalúan la eficacia de los antihelmínticos y que son importantes de conocer.



Por tal motivo, el objetivo de esta revisión dar a conocer la prevalencia y la resistencia antihelmíntica reportadas para México de los diversos fármacos comerciales empleados para controlar a los trematodos que afectan la salud de los bovinos, lo cual permitirá determinar los avances que se tienen en esta área de la parasitología.

## Impacto de los trematodos en la productividad animal

### *Fasciola hepática*

Los trematodos hepáticos adultos generan daños directamente en el hígado (Figura 1), tanto en su etapa juvenil como en su etapa adulta. En su primer estadio las duelas migran del intestino delgado al hígado y generan lesiones traumáticas, provocando pérdida de sangre que origina anemia. Con altas cargas de duelas inmaduras el animal muere días después de la infección. Mientras que las duelas adultas obstruyen los conductos biliares, causando inflamación, necrosis e hiperplasia celular. De manera clínica, los signos que presentan los animales infectados son la pérdida de peso, anemia, pérdida del apetito, diarrea, edema submandibular y ascitis.



**Figura 1.** Hígado de bovino dañado por la infección de *Fasciola hepática*. Fuente: Propia.

Los daños causados por *F. hepática* se pueden detectar a nivel macroscópico. En el hígado es posible observar las obstrucciones hepáticas, el aumento del diámetro y engrosamiento de los conductos biliares (como resultado de las lesiones en los conductos biliares), así mismo existe una disminución en el grosor de los lóbulos hepáticos y en casos donde el daño es mayor suele generarse la cirrosis hepática. A causa de la disminución de la capacidad del hígado para generar sus funciones normales, se producen alteraciones a nivel sanguíneo, con disminución de las enzimas fosfatasa alcalina, alanina aminotransferasa, aspartato aminotransferasa y también disminuye el



colesterol total y la deshidrogenada láctica.

Aunado a los daños directos que ocasiona *F. hepática* sobre el hígado, existe un gran impacto económico debido a las pérdidas que se originan por un mal manejo de los productos químicos, principalmente del uso desmedido y constatación de un mismo fármaco dentro de un grupo de animales. Además, en los mataderos especializados en la faena de bovinos, se decomisan los hígados que presentan lesiones, los cuales no son considerados en el pago de las vísceras para el productor.

En México el reporte que se tiene sobre las pérdidas económicas que causan las infecciones por *F. hepática*, estima que son US\$ 130.91 por animal, solamente considerando las pérdidas por rendimiento productivo de animales que no son tratados con algún fármaco. Además, en el mismo reporte se determinan pérdidas anuales de US\$ 4,232,667 por decomisos de hígados. Sin embargo, el estudio se realizó considerando un inventario total de bovinos, por lo cual los valores pueden estar subestimados a una misma prevalencia y de similares cargas parasitarias en todas las zonas geográficas del país.

En otro estudio, se han determinado las pérdidas económicas a causa del uso de fármacos utilizados en el control de *F. hepática*, que van de US\$ 76.68 en animales jóvenes y de US\$ 209.47 en vacas adultas en costos anuales. Además, estos autores consideran que los costos en un clima tropical son más altos en un 16.3% y 11.9% en comparación a los climas secos y templados, respectivamente. Lo anterior solamente considera a las duelas hepáticas y a ciertos fármacos, por lo que los costos pueden ser mayores. No obstante, las estimaciones económicas permiten magnificar el problema de la fasciolosis y con ello establecer mecanismos para el buen uso de los fármacos, con la finalidad de reducir los costos de producción.

### ***Duelas ruminales***

Las duelas ruminales o también llamados paramfistómidos, suelen alojarse en el rumen de sus huéspedes (rumiantes) en su fase adulta; se adhieren al epitelio ruminal y en algunos casos en el retículo (Figura 2). Los daños ocasionados por las duelas adultas suelen ser la necrosis en la zona donde se adhieren con su ventosa (acetábulo), que conlleva a la pérdida de las papilas ruminales formando zonas de acantosis del epitelio ruminal e hiperqueratosis, dando paso a una escasa infiltración de células inflamatorias, como eosinófilos, leucocitos, mastocitos o macrófagos. Los daños conducen a una reducción de los ácidos grasos volátiles (AGV), modificando la población bacteriana y acidosis. En consecuencia, se disminuye la absorción de nutrientes, principalmente de AGV que son importantes fuentes de energía para la producción de carne y leche.



**Figura 2.** Duelas ruminales adheridas en: a) rumen y b) retículo. Fuente: Propia.

A pesar de las lesiones ocasionadas por las duelas ruminales adultas, las fases inmaduras generan más daño, ya que las larvas juveniles durante su etapa de migración del intestino delgado al rumen van lesionando la mucosa duodenal, provocando hemorragias severas. Entre los signos más comunes que se pueden observar son la pérdida del apetito, el edema submandibular, diarrea negruzca con olor fétida y en los casos más graves la muerte del animal.

### **Prevalencia de trematodos**

Los trematodos presentan una distribución mundial, y en México, se han generado múltiples reportes de la presencia de *F. hepática* debido a que la zona tropical húmeda del país presenta condiciones climáticas propicias para el desarrollo de los hospedadores intermediarios (caracoles), propiciando altas cargas parasitarias en los bovinos, principalmente en las zonas tropicales. Lo anterior se sustenta con un estudio en matadero, en el que se comparó la prevalencia de *F. hepática* en hígados de bovinos de un clima tropical respecto a un clima templado, siendo mayor la prevalencia en el clima tropical al presentar 26.3% en decomisos. Además, estos autores determinaron que las estaciones (lluvias, nortes y secas), temperatura de la superficie terrestre (día y noche),





índice de vegetación, estacionalidad y regiones climáticas (templadas y tropicales) están relacionadas con la prevalencia de las duelas hepáticas. Aunque en otras investigaciones se tiene el conocimiento de prevalencias en condiciones semidesérticas similares a las de los climas tropicales, constatado mediante dos técnicas, teniendo una prevalencia de 11.4% con la prueba de sedimentación y 24.4% mediante la prueba de ELISA indirecta. De tal forma, que la problemática de la fasciolosis es extendida a todo el país, aunque las maneras para contrarrestar dicha enfermedad deben ser atendidas a las particularidades climáticas y de producción de cada región agroclimática.

Para el caso de los paramfistómidos, los estudios de prevalencia son escasos, la mayoría de los reportes que se tienen documentados son para la región sur de México, específicamente en el estado de Tabasco, y que fueron realizados en la década de los 90`s e inicios de los 2000. Los autores encontraron prevalencias entre 3.33 y 96.67% a lo largo de todo un año, con un promedio de 39.10% que se asemeja a los encontrados en estudios actuales, principalmente en la estación lluviosa. Recientemente, estos parásitos cobraron importancia por los crecientes informes de prevalencia en el mundo y por la alta morbilidad que presentan, aunado al conocimiento de los problemas que causan en la salud animal. Es así, que en el sureste de México se realizaron nuevas investigaciones sobre estos trematodos, identificando tres especies de paramfistómidos con importancia productiva, como son: *Calicophoron brothriophoron* en bovinos de Juárez, Chiapas; *Calicophoron clavula* en bovinos de Huimanguillo, Tabasco y Reforma, Chiapas; y *Paramphistomum cervi* en bovinos de Juárez, Chiapas.

En los últimos cinco años se incrementaron las investigaciones para determinar la prevalencia de paramfistómidos que infectan a los bovinos en México. En un estudio que incluyó los estados de Tabasco, Chiapas y Campeche se obtuvo una prevalencia general por duelas ruminales del 33.4% en 2019, considerando la excreción de huevos en heces como el método para medir el total de animales infectados. Además, los factores que se asocian con la prevalencia de trematodos suelen ser similares a las de *F. hepática*, como las condiciones fisiográficas y el origen de los animales. Por último, los autores determinaron que las hembras suelen tener mayor prevalencia en comparación a los machos, debido a que las vacas suelen estar la mayor parte de su vida productiva en una misma zona de pastoreo, mientras que los novillos suelen estar durante periodos cortos que impiden infecciones mayores por el tiempo que conlleva el ciclo de vida de los paramfistómidos.

### **Control químico**

En la búsqueda de reducir el impacto que generan los trematodos en la salud animal, se desarrollaron productos químicos hace 50 años aproximadamente, y hasta la fecha han sido el principal mecanismo de control.



En la actualidad, existen diversas alternativas que buscan reemplazar el control químico, aunque no lo han logrado con éxito debido a las bajas tasas de efectividad; contrario a lo que producen los fármacos en las diversas etapas de desarrollo de los parásitos.

Diversos fármacos se encuentran en el mercado, aunque algunos suelen ser más comunes por su accesibilidad y facilidad de administración (Cuadro 1). De los principales productos que se utilizan contra las duelas hepáticas y las duelas ruminales, se encuentran: albendazol, triclabendazol, nitroxinil, closantel, oxiclozanida y clorsulón. Cada uno de los fármacos tiene su mecanismo de acción, con acción específica sobre una de las etapas de desarrollo del trematodo.

El éxito de los antihelmínticos en el control de los trematodos radica en su mecanismo de acción, tales como: Los benzimidazoles actúan uniéndose a la beta tubulina del parásito, evitando la incorporación de los microtúbulos y con ello alterando la homeostasis celular, afectando la división celular. Las salicinalidas y fenoles halogenados ejercen su efecto desacoplando la fosforilación oxidativa de las mitocondrias, interrumpiendo la síntesis de ATP que es necesaria para la vida del parásito y las sulfonamidas inhiben las enzimas fosfoglicerato quinasa y fosfogliceromutasa, necesarias en la glucólisis, sin ellas se impide la producción de ATP y causa la muerte del parásito.

**Cuadro 1.** Principales fármacos utilizados en el control de los trematodos de bovinos. Modificado de Kelley *et al.* (2016).

Grupo	Antihelmíntico	Vía de administración	Dosis (mg/kg)	Edad de acción en la duela <sup>1</sup>
Benzimidazoles	Triclabendazol	Oral	12	Inmaduro temprano
	Albendazol	Oral	10	Maduro
Salicinalidas	Closantel	Oral	10	Inmaduro tardío
		Subcutánea	3	Maduro
	Oxiclozanida	Oral	13-16	Maduro
	Rafoxanida	Oral	7.5	Maduro
Fenol halogenado	Nitroxinil	Subcutánea	3	Maduro
		Subcutánea	10	Maduro
Sulfonamidas	Clorsulón	Oral	7	Inmaduro tardío
		Subcutánea	2	Maduro

<sup>1</sup>Edad de los trematodos: inmaduro temprano de 1 a 4 semanas; inmaduro tardío de 6 a 8 semanas; maduro de 12 a 14 semanas.



## **Resistencia antihelmíntica**

Se entiende como resistencia antihelmíntica, a la capacidad de una población de parásitos de sobrevivir a dosis del fármaco que normalmente matarían a la población de la misma especie y estadio. El uso frecuente de los productos químicos, la mala administración de la dosis por no pesar a los animales y el diagnóstico erróneo de la especie parasitaria o la inexistencia de diagnóstico, han contribuido al desarrollo de resistencia antihelmíntica en la mayoría de los fármacos, a los pocos años de salir al mercado.

Sin embargo, existen variación en los conceptos, uno de ellos considera que “la resistencia generalmente se define *in vivo* por una reducción en la eficacia esperada de un antihelmíntico”. Para determinar la eficacia de un fármaco se utilizan diversos métodos pero en general el umbral determinado corresponde a un valor de eficacia en porcentaje de mínimo 95%, valores de eficacia por debajo consideran que el fármaco no es efectivo y el parásito muestra resistencia antihelmíntica. Con los valores de los límites de confianza (<90%) se puede determinar si se sospecha de resistencia a un antihelmíntico.

Otro concepto, define: “la resistencia como un rasgo hereditario que está presente cuando hay una mayor frecuencia de individuos en una población capaces de tolerar dosis de un compuesto en comparación con una población normal de la misma especie”. Es decir, la resistencia se desarrolla cuando los parásitos que sobreviven al tratamiento, transmiten sus genes asociados a la resistencia a su descendencia. Incluso, los autores consideran que los genes resisten el tratamiento, se dividen y se transmiten. Posteriormente, la resistencia dependerá de que los alelos generen mutaciones, siendo estos los que confieren la resistencia antihelmíntica.

## **Métodos para determinar efectividad de los fármacos**

La efectividad de los fármacos se establece con metodologías diseñadas para nematodos gastrointestinales y adaptadas para los estudios en trematodos, los cuales siguen las directrices de la WAAVP.

En primer momento se estableció la metodología “estándar de oro”, que consiste en determinar la eficacia del antihelmíntico al examinar las cargas de los parásitos 21 días después del tratamiento, siendo necesario el sacrificio de los animales. Sin embargo por el alto costo de los animales es un método que se realiza en pocos casos.

De tal forma, que por aspectos económicos se propone la prueba de reducción del conteo de huevos en heces (FECRT, por sus siglas en inglés) como el principal método de evaluación de la efectividad de los antihelmínticos.

Esta es una prueba de campo que consiste en evaluar el número de huevo por gramo de heces (HPG) de los animales infectados antes y después del tratamiento antihelmíntico (14 o 21 días). La eficacia se determina con la siguiente fórmula:



$$Eficacia (\%) = \frac{\text{Media del HPG pretratamiento} - \text{Media del HPG postratamiento}}{\text{Media de HPG pretratamiento}} \times 100$$

El **ensayo de eclosión de huevos (EHA)** es otro método útil para detectar resistencia o reducción de la eficacia de los fármacos, en el cual se evalúa la acción del fármaco *in vitro* sobre el desarrollo de los huevos de trematodos. En este método se determina la actividad ovicida (%) a los 14 días, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Actividad ovicida (\%)} = \frac{\% \text{ de huevos eclosionados en el control} - \% \text{ de huevos eclosionados en el tratamiento}}{\% \text{ de huevos eclosionados en el control}} \times 100$$

La **prueba de reducción de coproantígeno (CRT)** por ELISA es otra alternativa para determinar la resistencia antihelmíntica, el cual consiste en medir los niveles de coproantígeno antes y después del tratamiento. Si no existe reducción en los niveles de coproantígeno posterior al tratamiento, el trematodo sobrevivió al fármaco, caso contrario se considera que las reducciones son por efecto del tratamiento.

### Estudios de resistencia antihelmíntica en México

Los estudios sobre resistencia de los fármacos utilizados contra trematodos son escasos y algunos no están revisados por pares, por lo que pocos aparecen en las fuentes de búsqueda en México. Las investigaciones que aquí se presentan están relacionados a la evaluación de fármacos mediante diferentes métodos y enfatizados a trematodos que infectan a bovinos.

El primer estudio en México, del cual se tiene conocimiento sobre resistencia antihelmíntica en trematodos, fue uno sobre evaluación *in vitro* de los principales fármacos para el control de trematodos utilizados en bovinos de Tabasco y Chiapas, con la finalidad de determinar las dosis letales medias para huevos de las duelas ruminales. En el ensayo de eclosión de huevos (EHA), los autores evaluaron concentraciones de rafoxanida, nitroxinil y closantel, respecto a un grupo testigo (agua). A los 14 días de la aplicación de los fármacos, los autores reportaron que nitroxinil fue el fármaco de mayor eficacia, con una DL<sub>50</sub> de 0.11 a 65 µg/mL, por su parte closantel fue muy variable al tener DL<sub>50</sub> de 17 a 122 µg/mL, mientras que en rafoxanida las DL<sub>50</sub> oscilaban entre 500 y 1713 µg/mL, siendo este último fármaco el de más baja eficacia al permitir el desarrollo de los huevos de las duelas ruminales. Los autores consideran que el ensayo *in vitro* es una técnica de bajo costo y útil para identificar los fármacos con baja eficacia, importante para establecer estrategias que reduzcan los efectos negativos de los trematodos en la salud de los bovinos y reducir la incidencia de resistencia antihelmíntica.



En otro estudio, se determinó la efectividad en campo mediante la prueba de reducción del conteo de huevos en heces (FECRT) de fármacos comerciales de triclabendazol (TCBZ), ivermectina + closantel (IVM + CLOS), ivermectina + clorsulón (IVM + CLOS) y nitroxinil (NITROX) en vacas infectadas en pastoreo por trematodos (*F. hepática* y paramfistómidos) de tres unidades de producción de Tabasco y Chiapas. Los autores encontraron que en una unidad de producción los fármacos fueron muy eficaces en el control de trematodos, con rangos de 95.8% a 96.7% para *F. hepática* y de 83.8 a 92.3% para los paramfistómidos, mientras que en las demás unidades de producción la eficacia fue inferior al 90%, considerando problemas de resistencia antihelmíntica ya que están por debajo del umbral del 95% de efectividad. Si bien el estudio concluye que el nitroxinil fue el fármaco que mayor efectividad tuvo respecto a los demás productos, esto fue en una sola unidad ganadera. Por tanto, los fármacos presentan efectividad diferencial en cada unidad de producción, siendo imperante el diagnóstico de resistencia de los fármacos antes de hacer un programa de desparasitación.

Por otra parte, otros autores evaluaron la eficacia de la combinación de clorsulón y levamisol (intramuscular) en vacas lecheras Holstein-Friesian (n= 16) de una unidad de producción en Tulancingo, Hidalgo, México; las vacas estaban infectadas naturalmente con *F. hepática*. En el día 0 de la investigación, los autores aplicaron clorsulón a dosis de 2.5 mg/mL y levamisol a dosis de 6 mg/mL, mientras que en los días 7, 14 y 21 detectaron 100% de eficacia con la FECRT. Se indicó además que clorsulón es un producto altamente fasciolicida, importante para ser utilizado si existe resistencia de otros fármacos, sin hacer uso frecuente del mismo para no generar resistencia a corto plazo. Sin embargo, los autores no pudieron comparar sus resultados con un grupo testigo (animales infectados sin tratar) debido a los pocos animales infectados, aunque aplicaron una fórmula para estos casos, el estudio deja duda con respecto a sobre si el grupo testigo igual hubiera reducido los recuentos de huevos en heces.

Recientemente, en un estudio evaluaron la efectividad en la reducción de huevos en heces (EHA) de los fármacos de triclabendazol + fenbendazol (TC + FBZ), rafoxanida (RAFOX), closantel (CLOS), clorsulón + ivermectina (CLOS + IVM) y nitroxinil (NITROX), usados principalmente contra las infecciones de *F. hepática* y paramfistómidos de bovinos de los estados de Tabasco, Chiapas y Campeche, México. Todos los fármacos fueron ineficaces para inhibir el desarrollo de los huevos de paramfistómidos, con DL<sub>50</sub> altas, principalmente de RAFOX con 10790 µg/mL, producto que en el primer estudio citado fue el que presentaba menor eficacia para el mismo trematodo. Mientras que el CLOS fue el de mejor eficacia contra las duelas ruminales. Por otra parte, los autores determinaron que el NITROX fue el de mejor eficacia con una DL<sub>50</sub> de 37 a 63 µg/mL en contra del desarrollo de huevos de *F. hepática*, aunque en los resultados el mejor producto fue el TC+FBZ al tener varias repeticiones con 100% de mortalidad. En contra parte, RAFOX fue nuevamente ineficaz, ahora en el control de *F.*



*hepática*. Mediante estos resultados se obtiene un conocimiento general del estado de efectividad de los fármacos en diversas cepas de huevos de trematodos, lo que hace suponer que la resistencia se encuentra extendida en el sureste de México, en algunos fármacos en menor medida que en otros. Además, con este tipo de pruebas se puede evaluar una cepa de huevos de trematodos contra diferentes fármacos y en un mismo momento determinar cuáles presentan mejor eficacia, siendo más fácil que la prueba en campo donde el número de animales positivos limita la cantidad de fármacos a evaluar.

Un estudio complementario al citado anteriormente (en proceso de publicación), autores de la presente revisión determinaron la efectividad en campo de los antihelmínticos de nitroxinil (NITROX), triclabendazol + fenbendazol (TCBZ+FBZ); rafoxanida (RAFOX); albendazol + triclabendazol (ABZ+TCBZ); oxiclozanida + triclabendazol + levamisol + ivermectina (OCZ); triclabendazol + albendazol + ivermectina (TCBZ+ABZ+IVM); usados frecuentemente contra *F. hepática* y paramfistómidos de vacas en pastoreo (n=393), de seis ranchos ganaderos pertenecientes a Tabasco, Chiapas y Campeche. Los autores consideran que los fármacos evaluados tienen eficacias que van del 0 al 85% en los paramfistómidos, mientras que en *F. hepática* la eficacia fue cercana al 100% por parte de NITROX y RAFOX. Las combinaciones de triclabendazol con otros fármacos tuvieron la menor eficacia contra los trematodos, producto que en múltiples lugares del mundo presenta reportes de resistencia y que en este estudio se confirma en la zona sureste del país, correspondiente al trópico húmedo.

Con todas las investigaciones anteriores se puede tener noción de la situación actual de los antihelmínticos contra trematodos, independientemente del método empleado para determinar la efectividad antihelmíntica, la mayor parte de los productos tienen de alta a moderada eficacia en el control de los trematodos. Por ende, se debe trabajar en difundir y establecer los mecanismos necesarios para el correcto uso de los fármacos. Debido a que algunos fármacos tienen el umbral de efectividad por debajo de lo establecido, aunque esto puede mejorar si se establecen los mecanismos propuestos para reducir la aparición de resistencia. Tal es el caso de rafoxanida, un producto que en repetidas investigaciones fue la de menor eficacia, debido a que se utiliza constantemente y que se seguirá aplicando si a los productores no se les da a conocer los planes de acción a corto y mediano plazo. Es imperante que las metodologías de diagnóstico de resistencia sean accesibles para los productores, principalmente para generar los planes de desparasitación dirigidas, que busquen reducir los periodos de desparasitación, selección a solamente animales positivos y selección del fármaco necesario para el parásito en cuestión. Como investigadores se tiene la responsabilidad de seguir estableciendo estudios que busquen mejorar el uso eficiente de los fármacos, si bien son de carácter químico, son el principal método de control y se tiene que utilizar de manera sustentable, en lo que se encuentran alternativas que la sustituyan y que



---

sean totalmente aplicables en campo.

### **Conclusiones**

Se observó alta prevalencia de trematodos en las diversas regiones climáticas de México en donde se desarrolla la ganadería bovina en pastoreo. La zona tropical del país presenta el mayor índice de prevalencia comparado con la zona norte razón por la que en el norte del país no se le considere como un tema importante de investigación.

La mayoría de los principales antihelmínticos comerciales presentan alta eficacia en el control de las duelas hepáticas, pero no en las duelas ruminales. En el trópico de México la eficacia ha sido diferencial con valores equidistantes en cada unidad de producción. Por tal motivo, es necesario aplicar los métodos de detección de efectividad de los fármacos por granja, como herramienta principal para aplicar las estrategias de reducción de la resistencia antihelmíntica. Si bien existen indicios de resistencia, aún existen fármacos que presentan una efectividad alta que pueden ser alternativas en los programas de desparasitación, interrumpiendo la presión de selección a resistencia de un solo fármaco en las poblaciones parasitarias.



## Referencias

- Caicedo-Rivas, R. E., Paz-calderón Nieto, M., Benavides-Bañales, J. A., Leal-Pérez, A. (2021). Fasciolosis effects on the metabolic profile in Creole cattle in México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 29(1–2), 59–65. <https://doi.org/10.53588/alpa.291207>
- Fuertes, M., Pérez, V., Benavides, J., González-Lanza, M. C., Mezo, M., González-Warleta, M., Giráldez, F. J., Fernández, M., Manga-González, M. Y., Ferreras, M. C. (2015). Pathological changes in cattle naturally infected by *Calicophoron daubneyi* adult flukes. *Veterinary Parasitology*, 209(3–4), 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.02.034>
- González-Garduño, R., Ortiz-Pérez, D. O., Alegría-Jiménez, L., Torres-Chable, O. M., Cruz-Tamayo, A. A., Zaragoza-Vera, C. V. (2020). Evaluation of anthelmintic drugs against egg development of rumen flukes recovered from cattle raised in the humid tropics of Mexico. *Journal of Helminthology*, 94, e177. <https://doi.org/10.1017/S0022149X20000607>
- Hernández-Guzmán, K., Molina-Mendoza, P., Olivares-Pérez, J., Alcalá-Canto, Y., Olmedo-Juárez, A., Córdova-Izquierdo, A., Villa-Mancera, A. (2021). Prevalence and seasonal variation of *Fasciola hepática* in slaughtered cattle: the role of climate and environmental factors in Mexico. *Journal of Helminthology*, 95, e46. [doi:10.1017/S0022149X21000444](https://doi.org/10.1017/S0022149X21000444)
- Hernández-Hernández, J. C., González-Garduño, R., Ortiz-Pérez, D. O., Villa-Mancera, A., Arias-Vázquez, M. S., Paz-Silva, A. (2023). Prevalence of flukes (*Fasciola hepática* and paramphistomids) in cattle in south-eastern Mexico. *Helminthologia*, 60(2), 141–151. <https://doi.org/10.2478/helm20230017>
- Ibarra-Velarde, F., Vera-Montenegro, Y., Olave-Leiva, I., Figueroa-Castillo, A., Mendoza, I. C., Ambía-Medina, J. (2022). Evaluation of the Fasciolicidal/Nematicidal Efficacy of an Intramuscular Combination of Clorsulon/Levamisole in Naturally Infected Dairy Cattle. *Pharmacology & Pharmacy*, 13(11), 447–456. <https://doi.org/10.4236/pp.2022.1311033>
- Ico-Gómez, R., González-Garduño, R., Ortiz-Pérez, D., Mosqueda-Gualito, J. J., Flores-Santiago, E. D. J., Sosa-Pérez, G., Salazar-Tapia, A. A. (2021). Assessment of anthelmintic effectiveness to control *Fasciola hepática* and paramphistome mixed infection in cattle in the humid tropics of Mexico. *Parasitology*, 148(12), 1458-1466. <https://doi.org/10.1017/S0031182021001153>
- Jiménez-Penago, G., González-Garduño, R., Torres-Hernández, G., Torres-Chablé, O. M., Ramírez-Bribiesca, E., Hernández-Sánchez, D. (2023). *Fasciola hepática* and Rumen Flukes - *In Vitro* Evaluation of Main Commercial Anthelmintics\*. *Acta Scientiae Veterinariae*, 51(1912). <https://doi.org/10.22456/1679-9216.130294>





- Jiménez-Penago, G., González-Garduño, R., Torres-Hernández, G., Torres-Chablé, O. M., Ramírez-Bribiesca, E., Hernández-Sánchez, D. (En prensa). Efficacy of the main anthelmintics used in the control of bovine flukes in southeastern Mexico.
- Kelley, J. M., Elliott, T. P., Beddoe, T., Anderson, G., Skuce, P., Spithill, T. W. (2016). Current Threat of Triclabendazole Resistance in *Fasciola hepática*. *Trends in Parasitology*, 32(6), 458–469. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2016.03.002>
- Mooney, L., Good, B., Hanrahan, J. P., Mulcahy, G., de Waal, T. (2009). The comparative efficacy of four anthelmintics against a natural acquired *Fasciola hepática* infection in hill sheep flock in the west of Ireland. *Veterinary Parasitology*, 164(2–4), 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.05.017>
- Munguía-Xóchihua, J. A., Ibarra-Velarde, F., Ducoing-Watty, A., Montenegro-Cristino, N., Quiroz-Romero, H. (2007). Prevalence of *Fasciola hepática* (ELISA and fecal analysis) in ruminants from a semi-desert area in the northwest of Mexico. *Parasitology Research*, 101(1), 127–130. <https://doi.org/10.1007/s00436-006-0438-y>
- Nzalawahe, J., Hannah, R., Kassuku, A. A., Stothard, J. R., Coles, G., Eisler, M. C. (2018). Evaluating the effectiveness of trematocides against *Fasciola gigantica* and amphistomes infections in cattle, using faecal egg count reduction tests in Iringa Rural and Arumeru Districts, Tanzania. *Parasites and Vectors*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2965-7>
- Pavan-Kumar, C., Syaama-Sundar, N., Devi-Prasad, V. (2016). Outbreak of immature paramphistomosis in Nellore Jodipi sheep. *Journal of Parasitic Diseases: official organ of the Indian Society for Parasitology*, 40(2), 533–535. <https://doi.org/10.1007/s12639-014-0541-4>
- Rangel-Ruiz, L. J., Albores-Brahms, S. T., Gamboa-Aguilar, J. (2003). Seasonal trends of *Paramphistomum cervi* in Tabasco, Mexico. *Veterinary Parasitology*, 116(3), 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.07.002>
- Rodríguez-Vivas, R. I., Grisi, L., De León, A. A. P., Villela, H. S., Torres-Acosta, J. J. F., Sánchez, H. F., Salas, D. R., Cruz, R. R., Saldierna, F., Carrasco, D. G. (2017). Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. Review. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 8(1), 61–74. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4305>
- Sangster, N. C., Cowling, A., Woodgate, R. G. (2018). Ten Events That Defined Anthelmintic Resistance Research. *Trends in Parasitology*, 34(7), 553–563. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2018.05.001>
- Villa-Mancera, A., Reynoso-Palomar, A. (2019). High prevalence, potential economic impact, and risk factors of *Fasciola hepática* in dairy herds in tropical, dry and temperate climate regions in Mexico. *Acta Tropica*, 193, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2019.03.005>



Wood, A. I. B., Amaral, N. K., Bairden, K., Duncan, J. L., Kassai, T., Malone, J. B., Pankavich, J. A., Reinecke, R. K., Slocombe, O., Taylor, S. M., Vercruysse, J. (1995). World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (W.A.A.V.P.) second edition of guidelines for evaluating the efficacy of anthelmintics in ruminants (bovine, ovine, caprine). *Veterinary Parasitology*, 58, 181–213. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(95\)00806-2](https://doi.org/10.1016/0304-4017(95)00806-2)

# Virus de la diarrea epidémica porcina

Jesús Aurelio Sánchez Álvarez  
Elena Franco Robles  
Carlos Alberto García Munguía





## Introducción

La carne de cerdo es la de mayor consumo a nivel global por lo que la industria porcícola registra constantemente un crecimiento tanto en el número de cabezas como en el volumen de carne. El principal productor a nivel mundial es China alcanzando una producción de carne de cerdo de 38,000 miles de toneladas, seguido de la Unión Europea con un total de 24,000 miles de toneladas, luego EUA con 12,841 miles de toneladas y México en el octavo lugar con un total de 1,450 miles de toneladas representando el 1.48% de la producción mundial. Así mismo, México se encuentra en el octavo lugar en consumo de carne de cerdo con un total de 2,015 miles de toneladas representando el 2.08% del consumo mundial.

No obstante, existen diversas enfermedades que afectan la producción porcina de manera económica y productiva, desde las enfermedades reproductivas, respiratorias, congénitas hasta las enfermedades gastrointestinales (EG). Las EG están incluidas entre las principales enfermedades infecciosas de los porcinos, tanto por su frecuencia de aparición como por el costo económico que representan para los porcicultores. En lechones principalmente las EG pueden causar alta letalidad en los primeros días de vida de los lechones, así como retraso del crecimiento en los cerdos de mayor edad. Las EG producen un cuadro clínico caracterizado por la rápida aparición de diarrea, que se acompaña de vómitos y deshidratación. Los agentes infecciosos comúnmente involucrados son parásitos, bacterias y virus principalmente, tales como *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* tipo C, *Isospora suis*, rotavirus y coronavirus (VGET y VDEP, respectivamente).

Al respecto, el virus de la Diarrea Epidémica Porcina (VDEP) ocasiona la Diarrea Epidémica Porcina (DEP), la cual es una enfermedad viral altamente contagiosa que afecta a los cerdos. Por lo anterior, la rápida y precisa identificación del virus es crucial para controlar su propagación y mitigar las pérdidas económicas en la industria porcina, facilitando su identificación con los diferentes métodos de laboratorio como el diagnóstico molecular, diagnóstico serológico y la hemaglutinación, entre otras. En este capítulo se describirá la patogenia del VDEP y los métodos de diagnóstico actualmente utilizados.

## Etiología

Los coronavirus (CoVs) son partículas envueltas con un tamaño de 100 nm y una cápside helicoidal, así como un genoma lineal (+) ssRNA de ~ 30,000 b. Los CoVs se encuentran en una gran variedad de animales y en el hombre, distribuidos mundialmente y se les ha relacionado con enfermedades entéricas, respiratorias, nerviosas y hepáticas y con distintos grados de severidad. Hasta hace pocos años, se habían descrito solo tres CoVs, el alfa, beta y gama; no obstante, en 2012 se propuso el nombre de un cuarto, llamado delta-coronavirus.



El agente etiológico de la DEP es el VDEP, un alfa-coronavirus de ARN monocatenario con envoltura, que pertenece al orden Nidovirales, familia Coronaviridae, subfamilia Coronavirinae, género *Alphacoronavirus*; correspondiente a un virus ARN de cadena simple que cuenta con una envoltura de polaridad positiva, que no requiere de un ARN mensajero y le permite ser traducido de forma eficiente por la célula hospedada. El VDEP está envuelto y es pleomórfico con un rango de diámetro de 95 a 190 nm, incluidas las proyecciones, que tienen una longitud de aproximadamente 18 nm.

El VDEP tiene un genoma de aproximadamente 28 kb de tamaño (excluyendo la cola poli A) que codifica cuatro proteínas estructurales de espiga (S), envoltura (E), membrana (M) y nucleocápside (N) y cuatro proteínas no estructurales: 1a, 1b, 3a y 3b. Es uno de los virus RNA con un genoma grande, lo que se relaciona con su elevada frecuencia de mutación. Constituido por las regiones 5' y 3', en el extremo 5' está el gen que codifica a la polimerasa seguida de los genes para 4 proteínas estructurales: la glicoproteína S que tiene una acción importante en la actividad de la unión del virus con la célula y en la inducción de una respuesta inmune en el animal; la proteína menor E, que junto con la proteína M, actúan en el proceso de ensamble e inducen la producción de anticuerpos que neutralizan el virus en la presencia del complemento; y finalmente, la proteína N, la cual tiene variables funciones en la replicación viral, interactuando con el ARN genómico del virus y con otras moléculas de proteína N para proteger el genoma viral, lo que también puede alterar la respuesta antiviral como parte de la estrategia de evasión.

El VDEP se encuentra distribuido mundialmente con mayor incidencia en Asia, Europa y América. En el 2010, una cepa altamente virulenta del VDEP apareció en China y se extendió rápidamente por todo el país. En 2013, Japón declaró brotes tras siete años de ausencia de la DEP. Corea del Sur y Taiwán se vieron afectados por las nuevas cepas que emergieron en China. En el continente americano, la DEP fue identificada por primera vez en Estados Unidos de América (EUA) en el estado de Iowa, en mayo de 2013. La cepa responsable tenía un 99.4 % de homología con las cepas en China (AH2012). No existía ninguna infección previa descrita de este virus en Norteamérica, por lo que la susceptibilidad de las granjas era muy elevada diseminándose el virus rápidamente por el país afectando, hasta agosto de 2014 a 7,987 explotaciones. Para diciembre de 2014, se había declarado en 32 estados de los EUA produciendo grandes pérdidas económicas y la muerte de 8 millones de lechones. Posteriormente, fue detectada otra cepa del virus de la DEP que contenía un 94 % de homología con el virus inicial y que fue denominada variante-INDEL (INDEL EE.UU./OH851) con la que resultaron menos graves los signos clínicos en los cerdos. Finalmente, esta variante llegó a México a finales del año 2013 por el movimiento de ganado y fómites con Estados Unidos de América.



Se observa un mayor número de casos de DEP en los meses fríos del año debido a la mayor capacidad de estabilidad del virus en el invierno, mostrando una estacionalidad marcada. El virus es altamente contagioso y puede transmitirse de manera directa por la vía fecal-oral e indirecta a través de fómites contaminados. Las heces diarreicas y/o el vómito y otros fómites contaminados como los remolques de transporte y los alimentos, pueden ser fuentes importantes de transmisión del virus. Otro posible reservorio de VDEP incluye a los portadores, como cerdos mayores con infección asintomática, en los que el virus se propaga de forma subclínica.

### **Patogenia**

La enfermedad clínica detallada y las complicaciones como resultado de la DEP epidémica típica son brotes clínicos en granjas seronegativas que se caracterizaron por una repentina epidemia de diarrea severa y/o vómitos, acompañada de anorexia y reducción significativa del apetito en cerdos de todas las edades. La gravedad de los signos clínicos y la mortalidad están inversamente relacionadas con la edad de los cerdos. La DEP endémica ocurre cuando se presentan reinfecciones de la enfermedad en la granja después del inicio del primer brote, el VDEP se vuelve endémico en esta granja y la infección persiste, por lo que es importante identificar los signos clínicos para proseguir a realizar un diagnóstico correcto de la enfermedad.

El VDEP permanece alrededor de 28 días en el medio ambiente e infecta a las cerdas en lactancia y cuando infecta a los lechones no inmunizados menores a 10 días de nacidos, causa hasta el 100% de mortalidad a consecuencia de la severa deshidratación y la agalactia que afecta a la madre. Las cepas del VDEP son altamente enteropatógenas e infectan de forma aguda a las células epiteliales del intestino delgado y grueso, aunque el yeyuno y el íleon son los principales sitios de infección por lo que producen un cuadro de enteritis grave con diarrea acuosa, acidosis metabólica y vómitos.

En los lechones lactantes infectados, hay una mayor proliferación de células de las criptas, así como un número de células madre LGR5+ de las criptas en el intestino, reorganización del epitelio intestinal dañado y se observa una migración de enterocitos maduros a las puntas de las vellosidades, lo que no es suficiente para prevenir la deshidratación severa en lechones lactantes.

Así, el tiempo que transcurre hasta la deshidratación de los lechones lactantes infectados con VDEP en el campo, es demasiado corto para permitir que los animales se recuperen de la enfermedad a través de una renovación natural de las células epiteliales por parte de las células madre de las criptas. A nivel macroscópico pueden observarse diferentes lesiones en el tracto gastrointestinal causadas por la gran alteración de los enterocitos, caracterizándose por paredes intestinales delgadas y transparentes del duodeno al colon y acumulo de contenido intestinal amarillo. En el estómago se acumula



la leche y esta se cuaja por la disminución del peristaltismo intestinal, además se observa congestión de los vasos y ganglios mesentéricos edematosos. El apetito es bajo y los animales se encuentran en estado de caquexia presentando una diarrea severa persistente.

Respecto a lesiones histológicas, se pueden observar enteritis atrófica grave difusa aguda y vacuolización leve de las células epiteliales superficiales y edema subepitelial en el ciego y el colon. De manera aguda se puede observar enterocitos vacuolados o exfoliación celular masiva en las puntas o en la totalidad de las vellosidades del yeyuno y es evidente la infiltración células inflamatorias en la lámina propia, mostrando un acortamiento severo de las vellosidades después del tercer día de infección.

El ensamblaje del virus en los enterocitos infectados se produce rápidamente mediante la gemación a través de las membranas intracitoplasmáticas, como el retículo endoplásmico y el aparato de Golgi. Durante el período de incubación, se pueden observar células positivas para el antígeno VDEP en todo el intestino delgado entre el 30% y el 50% de estas, lo que concuerda con la excreción en heces de cerdos asintomáticos durante el período agudo etapa de infección. Desde la etapa aguda hasta la etapa intermedia (24 a 60 h después de la aparición de los signos clínicos) de la infección, se pueden observar cantidades de moderadas a grandes de células positivas para el antígeno en todo el intestino delgado y grueso, afectando con frecuencia a todo el epitelio vellosos. Durante la última etapa de la infección (>72 h después del inicio de los signos clínicos), aún se observaba un gran número de células epiteliales infectadas por VDEP, lo que sugiere una reinfección de los enterocitos en regeneración. El VDEP es citolítico y los enterocitos infectados experimentan rápidamente una necrosis aguda, lo que lleva a una marcada atrofia de las vellosidades en el intestino delgado (duodeno a íleon), pero no en el intestino grueso, causando enteritis atrófica aguda y severa acompañada de viremia que conduce a diarrea, vómitos severos, generando deshidratación extensa como resultado de una atrofia severa de las vellosidades.

La replicación intestinal del VDEP se lleva a cabo cuando este se une e infecta a los enterocitos del hospedador que expresan aminopeptidasa N (APN) a través de la glicoproteína transmembrana S viral. Las APN son proteínas transmembrana glicosiladas que se expresan en gran medida los enterocitos del intestino delgado y han sido identificadas como receptores celulares para VDEP generando tropismo celular. La alta densidad del receptor en los enterocitos permite que VDEP ingrese y se replique a través de interacciones virus-receptor. Así, se lleva a cabo la penetración y desenvolvimiento del virus tras la fusión de la envoltura viral y la membrana plasmática, seguido del desensamblado del virus, el genoma viral es liberado en el citoplasma de la célula e inmediatamente son traducidas las poliproteínas pp1a y pp1ab. Estas poliproteínas se seccionan en 16nsps que comprenden el complejo de replicación y transcripción



(Replication and transcription complex, RTC), el cual llevará a cabo la síntesis de la cadena de ARN negativa utilizando como base el ARN genómico. Ambas, la cadena completa y las cadenas subgenómicas negativas son producidas y utilizadas como molde para la síntesis de ARN genómico y ARNm subgenómicos.

Las glicoproteínas y los ácidos nucleicos del virus son patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs) son reconocidos por los receptores de reconocimiento de patrones (PRRs) de las células dendríticas (DCs), macrófagos y linfocitos B (LB) presentes en la lámina propia. Estos son los receptores tipo toll (TLRs), receptores tipo RIG-I (RLRs) y receptores de tipo NOD (NLRs), que tras su unión inducen a su vez la sobreexpresión del factor regulador IFN 3 (IRF3), el factor nuclear kappa B (NF- $\kappa$ B) y ATF-2/c-jun, que se traslocan al núcleo y estimulan la expresión del interferón IFN- $\alpha/\beta$ , lo que conduce a la activación de la inflamación. Sin embargo, diversas proteínas del VDEP tales como nsp15 y nsp16 suprimen las respuestas del interferón (IFN). Además, el VDEP induce la activación del factor de crecimiento epidérmico (EGFR) y la degradación del factor de transcripción STAT1, lo que inhibe la señalización del interferón  $\alpha$  (IFN- $\alpha$ ).

Se ha observado que la cepa S-INDEL del VDEP, induce la producción de citocinas pro-inflamatorias a través de la activación de la vía de señalización de NF- $\kappa$ B mediante el receptor RIG-I; mientras que, la cepa non-S-INDEL, suprime la producción de citocinas pro-inflamatorias y la producción de IFN de tipo I mediante la supresión de la vía de señalización de NF- $\kappa$ B mediante el receptor TLR. Las células asesinas naturales (NK) tienen una importante participación en la destrucción de células infectadas por el VDEP, así como en incrementar la producción de IFN- $\gamma$ , IL-12 e IFN- $\alpha$  lo que disminuye la carga viral. Sin embargo, el VDEP causa una disminución importante en el número de células caliciformes productoras de moco en el epitelio intestinal.

Las DCs, macrófagos y LB del tejido linfoide asociado a mucosas (GALT) presentan los antígenos luminales previamente procesados a los linfocitos T que posteriormente induce la producción de anticuerpos de tipo IgG por los LB, después de 7 a 10 días posteriores a la infección con seroconversión a los 14 días posteriores a la infección. Los anticuerpos IgAs neutralizantes para VDEP solo se detectaron tras la inoculación por vía oral del virus.

### **Diagnóstico**

El diagnóstico clínico de la enfermedad se puede llevar a cabo mediante la historia clínica y los signos reportados de la DEP (vómito, diarrea, deshidratación y acidosis metabólica) los cuales van a depender de la edad de los cerdos, la exposición y el estado inmunológico del animal. Además, para su diagnóstico un punto importante es la mortalidad, la cual está directamente correlacionada con la edad disminuyendo conforme se va desarrollando fisiológicamente. Sin embargo, no es suficiente diagnosticar de





manera clínica ya que existen enfermedades con las que comparte signos clínicos como la gastroenteritis trasmisible (GET) y con algunos otros patógenos con los que comparte algunos signos característicos como lo son los rotavirus, criptosporidiosis, parasitosis por nemátodos, enfermedades gastroentéricas bacterianas (*Clostridium spp.*, *E. coli*, *Salmonella spp.*, *Brachyspira spp.*, *Lawsonia intracellularis*), por lo que es importante diferenciar la enfermedad con técnicas de laboratorios específicas para la identificación del agente causal, el VDEP.

Las muestras que se pueden obtener para el diagnóstico de DEP, así como su colección y almacenamiento se muestran en el Cuadro 1. Se considera que la recolección de las muestras debe de ser en las primeras etapas de la enfermedad y almacenadas adecuadamente según la técnica diagnóstica a realizar para conservar la viabilidad de estas y la conservación de material genético (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Recomendaciones para la obtención de muestras para el diagnóstico de DEP.

Muestra	Colección	Almacenamiento
Heces frescas (diarreas o heces blandas)	Frasco recolector estéril y libre de nucleasas con solución preservante para ARN*	A 4°C por 7 días o a -20°C por un mes, hasta su procesamiento*
Intestino delgado (íleon y yeyuno)	Frasco recolector estéril y libre de nucleasas con solución preservante para ARN* Recipiente limpio conteniendo formalina al 10%	A 4°C por 7 días o a -20°C por un mes, hasta su procesamiento*  A temperatura ambiente durante 48 horas hasta su procesamiento**
Contenidos intestinales	Frasco recolector estéril y libre de nucleasas con solución preservante para ARN*	A 4°C por 7 días o a -20°C por un mes, hasta su procesamiento*
Hisopos rectales	Frasco recolector estéril y libre de nucleasas con solución preservante para ARN*	A 4°C por 7 días o a -20°C por un mes, hasta su procesamiento*
Sangre completa (suero)	Tubo sin anticoagulante	Suero a 4°C por 7 días o a -20°C por un mes, hasta su procesamiento***
Fluidos orales	Frasco recolector estéril y libre de nucleasas con solución preservante para ARN*	A 4°C por 7 días o a -20°C por un mes, hasta su procesamiento*

\*Para diagnóstico molecular. \*\*Para inmunohistoquímica o histología. \*\*\*Para inmunodiagnóstico.



Las técnicas de diagnóstico comprenden la detección o aislamiento del VDEP o la identificación de los anticuerpos en el suero del paciente, así como la evaluación de las lesiones causadas en el tejido intestinal. Cada una de estas técnicas presenta ventajas como la alta sensibilidad y especificidad, y desventajas como los altos costos o por el contrario su baja sensibilidad y especificidad (Cuadro 2). Las técnicas actualmente empleadas son:

### **A) Diagnóstico Molecular**

Es considerado la mejor opción ya que es altamente sensible y específico para la detección del VDEP y se puede realizar con punto final o tiempo real como se describe a continuación:

#### **a) Reacción en Cadena de la Polimerasa Transcriptasa Reversa (RT-PCR)**

Es una técnica altamente especializada que amplifica el ARN viral después de convertirlo en ADN complementario (cADN). Consiste en realizar primero una extracción del ARN viral de la muestra (suero o heces), para posteriormente convertirlo de ARN en cADN mediante la transcriptasa reversa, continuar con la amplificación del cADN usando oligonucleótidos específicos para VDEP y visualizando los productos de amplificación mediante la electroforesis en gel de agarosa. Es recomendable el uso de la RT-PCR en muestras como los fluidos orales, tejidos y en heces. En estos virus se encuentran las siguientes 3 proteínas: la Glicoproteína S o E2, la Fosfoproteína N y la Proteína de membrana M o E1; las pruebas moleculares van dirigidas a ellas y se seleccionan estos sitios como de gran utilidad para el diagnóstico, la epidemiología y patogénesis.

#### **b) RT-PCR tiempo real (RT-qPCR)**

Permite observar la amplificación y cuantificación del virus en tiempo real, mediante un fluoróforo que se une a la cadena amplificada y por medio de un fluorómetro observamos la relación fluorescencia y ciclos transcurridos, teniendo un diagnóstico cualitativo y cuantitativo. El procedimiento es similar al RT-PCR convencional, pero con la adición de un fluoróforo que emite la señal durante la amplificación y es recibida por un termociclador específico para la técnica.

### **B) Diagnostico serológico**

El fundamento se basa en la detección de anticuerpos contra VDEP o el VDEP en suero de cerdos infectados.



a) Ensayo por inmunoadsorción ligado a enzimas (ELISA)

Esta prueba permite detectar el antígeno en hisopos rectales de animales inoculados experimentalmente hasta por 11 días post inoculación. La prueba de antígeno ELISA, que utiliza anticuerpos monoclonales o policlonales, puede usarse para detectar VDEP en granjas endémicamente infectadas y casos de diarrea persistente en granjas de cría donde la cantidad de virus es demasiado pequeña para ser detectada por cualquier otro método. Así también, los anticuerpos anti-VDEP pueden ser detectados alrededor del día 7 realizando un ELISA Indirecto dirigido a la proteína N; pero los máximos títulos se pueden detectar entre el día 7 y 9 postinfección, además de que permite obtener los títulos de los anticuerpos. En esta metodología, se realiza un recubrimiento de placas con antígeno específico de VDEP, se incuba con sueros de los cerdos, posteriormente se adiciona un conjugado de anticuerpo secundario marcado con una enzima y se adiciona un sustrato cromogénico que genera un cambio de color, para finalmente realizar una interpretación de los resultados mediante la densidad óptica en un espectrofotómetro.

Además del ELISA, existe también un inmunoensayo cromatográfico que es muy rápido, cualitativo, altamente sensible y específico y se realiza a partir de muestras de heces, esta prueba nos permite diferenciar entre el GET y el VDEP.

b) Inmunofluorescencia Indirecta (IFA)

Esta técnica se realiza en placas cubiertas con monocapa previamente infectadas con el respectivo virus y se utiliza para la detección de anticuerpos. Se tiene que realizar diluciones del suero y mediante un conjugado fluorescente, se detectan las muestras positivas examinando cada uno de los pocillos bajo un microscopio de fluorescencia, los cerdos infectados experimentalmente con virus DEP desarrollan títulos de anticuerpos detectados por 3 a 4 semanas después de la infección; la muestra se considera positiva arriba de una dilución de 1:40. Se realiza una fijación de muestras en portaobjetos, se incuba con el suero del cerdo y se adiciona un anticuerpo secundario marcado con un fluoróforo y se realiza la visualización mediante un microscopio de fluorescencia.

c) Inmunohistoquímica (IH)

En esta técnica se evalúa el intestino delgado de los cerdos con cuadro clínico agudo. Los tejidos infectados son fijados en formol, se obtienen cortes de cubos de parafina y posteriormente se tiñen con un conjugado monoclonal dirigido hacia la proteína M. Es importante coleccionar muestras de los cerdos gravemente afectados en las primeras 24 horas del inicio de la diarrea para poder visualizar vellosidades con el virus presente.

Para la presencia del virus también puede apoyarse con otras pruebas complementarias como la microscopía electrónica para detectar partículas virales en materia fecal o en tejidos infectados. La identificación de los coronavirus en heces puede



ser difícil debido a que las partículas virales no son fáciles de detectar sin las “espigas”, las cuales se han perdido o no son claramente visibles, por lo que un punto clave es la fijación inmediata de los tejidos al momento de la necropsia.

### **C) Métodos de Aislamiento Viral (AV)**

Es una prueba altamente específica para la determinación del VDEP, se puede aislar a partir de macerados de intestino delgado en la línea celular VERO (riñón de mono verde); sin embargo, tiene la limitante de que el virus es difícil adaptarlo requiriendo de varios pasajes para poder visualizar efecto citopático que consiste en vacuolización de las células y formación de sincitios, y su replicación puede depender de enzimas para poder facilitarlos.

### **D) Histopatología (HP)**

Nos permite identificar lesiones presentes en el intestino delgado las cuales consisten en atrofia de las vellosidades principalmente del yeyuno e íleon. Para el procesamiento de las muestras es necesario colectarlo lo antes posible postmortem y depositarlas en formol al 10% para su correcta fijación, las muestras son segmentos del intestino delgado en su porción del yeyuno e íleon, se continúa con una técnica de deshidratación del tejido y posteriormente una impronta en parafina para poder obtener los cortes histológicos y realizar una posterior tinción para su observación en microscopio y determinar el diagnóstico por la observación de las lesiones microscópicas en el intestino.

### **Tratamiento y profilaxis**

Actualmente no se dispone de recomendaciones terapéuticas específicas para la DEP. Se recomienda administrar el tratamiento del signo de la diarrea, incluido el libre acceso al agua para disminuir la deshidratación y la suspensión del alimento, particularmente en los cerdos en crecimiento. Por otra parte, es necesario tomar medidas sanitarias para prevenir la introducción del VDEP en la granja. La introducción de cerdos persistentemente infectados representa el mayor riesgo. Después del diagnóstico de la DEP, debido a la lenta propagación de la enfermedad, la principal preocupación debe ser el inicio de medidas preventivas para evitar temporalmente la entrada del virus en las unidades de parto.

El VDEP es sensible a éter y cloroformo, pierde la infectividad a 60 °C es susceptible a la formalina (1%), anhídrido carbonato de sodio (4%), disolventes de lípidos, ácido fosfórico en yodóforos (1%), hidróxido de sodio (2%), por otra parte, la desaparición y resurgimiento de VDEP epidémico indica que VDEP es efectivamente capaz de escapar de los actuales protocolos de vacunación, bioseguridad y sistemas de control.



**Cuadro 2.** Principales técnicas de diagnóstico para la DEP.

<b>Técnica</b>	<b>Principio del método</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
RT-PCR	Detección del VDEP	Fácil obtención de la muestra. Sensibilidad > 93% y especificidad del 100%	Requiere equipo especializado y personal capacitado.
RT-qPCR	Cuantificación del VDEP	Más rápido la obtención de resultados, permite obtener la carga viral en la muestra. Sensibilidad y especificidad igual que RT-PCR convencional.	Requiere equipo especializado y personal capacitado. Costo elevado.
ELISA indirecto	Detección de anticuerpos anti-VDEP y título	Relativamente fácil de realizar, Sensibilidad del 78% y especificidad del 76%, además de ser accesible.	Disminución de sensibilidad por mutación del virus y menor sensibilidad en las fases tempranas.
IFA		Sensibilidad del 89% y especificidad del 95%, accesible, rápida y fácil de realizar.	Requiere un microscopio especializado, interpretación subjetiva de los resultados y existen otras técnicas más utilizadas.
IH	Identificación de las proteínas virales	Sensibilidad > 85%, especificidad > 90% y rápida la detección del virus.	Equipo y técnicas especializadas. Costo elevado.
AV	Evaluación del efecto citopático	Confirmación directa de la presencia del VDEP	Resultado tardío, equipo y condiciones adecuadas y especializadas para realizarla, es necesario confirmar la presencia del VDEP con pruebas específicas como el RT-PCR. Instalaciones adecuadas de bioseguridad.
HP	Observación de las lesiones epiteliales	Accesible y costos más bajos en comparación con la técnica de RT-PCR.	Inespecífico ya que comparten lesiones con otros patógenos.



## **Conclusiones**

Para el correcto diagnóstico de la Diarrea Epidémica Porcina es necesario interpretar de manera correcta los resultados considerando la historia clínica, los signos clínicos, los hallazgos epidemiológicos y la realización de pruebas diagnósticas en el laboratorio clínico para su diferenciación.

El diagnóstico preciso y temprano de la Diarrea Epidémica Porcina es crucial para la implementación de las diferentes medidas de control y prevención. Los métodos de diagnóstico serológico, molecular, histopatológico y con el aislamiento viral, constituyen herramientas esenciales para identificar y reportar los brotes. Para la elección del método dependerá de la etapa de la enfermedad, los recursos disponibles, el tiempo requerido para emitir los resultados y emitir los resultados, para dar una solución a la fase de la enfermedad en la que se encuentre la población afectada.

Respecto a los desafíos y perspectivas futuras, se identifica la facilidad del virus para mutar y adaptarse para poder generar una nueva infección, lo que dificulta su control y diagnóstico, sin embargo, es necesario continuar investigando y desarrollando nuevas tecnologías de secuenciación y bioinformática para la detección y caracterización del virus, además de generar estrategias integradas de manejo combinando diagnóstico, bioseguridad, manejo de la granja y vacunación para su control.



## Referencias

- Colina, S. E., Aspitia, C. G., Nogueiras, J. P., Serena, M. S., Echeverría, M. G., & Metz, G. E. (2021). El tercer gran salto: Los coronavirus animales en América Latina. *Analecta veterinaria*, 41(2), 3-3.
- COMECARNE. (2021). Compendio estadístico 2021, Consejo Mexicano de la Carne. [https://comecarne.org/wpcontent/uploads/2021/07/Compendio\\_Estad%C3%ADstico\\_2021\\_VF.pdf](https://comecarne.org/wpcontent/uploads/2021/07/Compendio_Estad%C3%ADstico_2021_VF.pdf).
- Espinoza Parra, D. P. (2022). Prevalencia de diarrea epidémica porcina en cerdos de producción mediante la técnica de ELISA indirecta.
- Jung, K., & Saif, L. J. (2015). Porcine epidemic diarrhea virus infection: Etiology, epidemiology, pathogenesis and immunoprophylaxis. *The Veterinary Journal*, 204(2), 134-143.
- Jung, K., Wang, Q., Scheuer, K. A., Lu, Z., Zhang, Y., & Saif, L. J. (2014). Pathology of US porcine epidemic diarrhea virus strain PC21A in gnotobiotic pigs. *Emerging infectious diseases*, 20(4), 662.
- Langel, S. N., Wang, Q., Vlasova, A. N., & Saif, L. J. (2020). Host factors affecting generation of immunity against porcine epidemic diarrhea virus in pregnant and lactating swine and passive protection of neonates. *Pathogens*, 9(2), 130.
- Lee, C. (2015). Porcine epidemic diarrhea virus: An emerging and re-emerging epizootic swine virus. *Virology journal*, 12, 1-16.
- Li, L., Fu, F., Guo, S., Wang, H., He, X., Xue, M., ... & Liu, P. (2019). Porcine intestinal enteroids: a new model for studying enteric coronavirus porcine epidemic diarrhea virus infection and the host innate response. *Journal of virology*, 93(5), 10-1128.
- Lowe, J., Gauger, P., Harmon, K., Zhang, J., Connor, J., Yeske, P., Loula, T., Levis, I., Dufresne, L., & Main, R. (2014). Role of transportation in spread of porcine epidemic diarrhea virus infection, United States. *Emerging infectious diseases*, 20(5), 872.
- Martínez, B. G., Garrido, G. C., & Muñoz, B. (2016). Situación mundial de las nuevas cepas de la diarrea epidémica porcina. *Albéitar: publicación veterinaria independiente*, 193, 24-26.
- Montero López, E. M., Martínez Gamba, R. G., & Herradora Lozano, M. A. (2015). Alternativas para la producción porcina a pequeña escala.
- Pascual Iglesias, A. (2020). Virus de la diarrea epidémica porcina: Patogénesis y protección.
- Pineda Otiz, M. del P., & Corrales Morales, J. (2017). Prevalencia y factores asociados al virus de la Diarrea Epidémica Porcina (PEDv) en transporte de cerdos a plantas de beneficio en Colombia.
- Puente, H., Rodríguez, H. A., Ares, Ó. M., García, M. G., Pérez, L., Nistal, P. M. R., & Urueña, A. M. C. (2021). Gastroenteritis víricas en el ganado porcino: Situación actual en España. *Suis*, 177, 16-21.



- Reveles-Félix, S., Carreón-Nápoles, R., Mendoza-Elvira, S., Quintero-Ramírez, V., García-Sánchez, J., Martínez-Bautista, R., Saavedra-Montañez, M., Mosqueda Gualito, J. J., & Sánchez-Betancourt, J. I. (2020). Emerging strains of porcine epidemic diarrhoea virus (PEDv) in Mexico. *Transboundary and Emerging Diseases*, 67(2), 1035-1041.
- SAG (2018). *Diarrea epidémica porcina (PED)*. Servicio Agrícola y Ganadero. Ministerio de Agricultura. Chile.  
[https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/f\\_tecnica\\_diarrea\\_epidemica\\_porcina-2018.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/f_tecnica_diarrea_epidemica_porcina-2018.pdf).
- Santiago, N. E., & Carreon, R. (2018). *Técnicas Diagnósticas para los Virus de Gastroenteritis Transmisible y Diarrea Epidémica Porcina*. BM Editores.  
<https://bmeditores.mx/porcicultura/tecnicas-diagnosticas-para-los-virus-de-gastroenteritis-transmisible-y-diarrea-epidemica-porcina-1688>
- SENASICA (2021). Estudio para determinar el impacto Económico de la PPC en México. *Panorama de la porcicultura en México*, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 3-4.
- SIAP (2024). *Porcino, Población ganadera 2012- 2024, Cabezas*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/744955/Inventario\\_2021\\_porcino.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/744955/Inventario_2021_porcino.pdf)
- Stevenson, G. W., Hoang, H., Schwartz, K. J., Burrough, E. R., Sun, D., Madson, D., Cooper, V. L., Pillatzki, A., Gauger, P., & Schmitt, B. J. (2013). Emergence of Porcine epidemic diarrhea virus in the United States: Clinical signs, lesions, and viral genomic sequences. *Journal of veterinary diagnostic investigation*, 25(5), 649-654.
- Thavorasak, T., Chulanetra, M., Glab-Ampai, K., Teeranitayatarn, K., Songserm, T., Yodsheewan, R., ... & Chaicumpa, W. (2022). Novel neutralizing epitope of PEDV S1 protein identified by IgM monoclonal antibody. *Viruses*, 14(1), 125.
- Trujillo-Ortega, M. E., Beltrán-Figueroa, R., García-Hernández, M. E., Juárez-Ramírez, M., Sotomayor-González, A., Hernández-Villegas, E. N., Becerra-Hernández, J. F., & Sarmiento-Silva, R. E. (2016). Isolation and characterization of porcine epidemic diarrhea virus associated with the 2014 disease outbreak in Mexico: Case report. *BMC veterinary research*, 12(1), 1-8.
- USDA. (2021). *Pork Resources. Hogs and Pork Data and Statistics*. U.S. Department of Agriculture. <https://www.usda.gov/topics/animals/animal-production>



**Inhibición de *Vibrio parahaemolyticus*:  
Efectividad de ácidos orgánicos y  
extractos de plantas**

Luis Jesús Cervantes Bellerreza  
Apolinar Santamaria Miranda  
Jesús Arturo Fierro Coronado  
Refugio Riquelmer Lugo Gamboa  
Máximo García Marciano  
Juan Pablo Apún Molina





## Introducción

En los últimos años, la región de Sinaloa ha enfrentado un incremento significativo en las enfermedades bacterianas que afectan los cultivos de camarón blanco, siendo la Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND) o Síndrome de Mortalidad Temprana (EMS) las más preocupantes. Estas enfermedades son provocadas por nuevas cepas de la bacteria *Vibrio parahaemolyticus*, un organismo Gram-negativo que habita en ambientes salinos y es mundialmente conocido por causar enfermedades diarreicas en humanos a través del consumo de mariscos. Este patógeno es particularmente sensible a cambios en el entorno, como variaciones en la temperatura y la salinidad.

El desarrollo del EMS/AHPND ocurre cuando una cepa patogénica de *Vibrio parahaemolyticus* coloniza el tracto digestivo de los camarones, liberando toxinas que afectan el hepatopáncreas. Esto resulta en una notable reducción del tamaño de este órgano y una histopatología característica en la que las células se desprenden en grandes cantidades. La transmisión de la enfermedad se da principalmente por canibalismo y cohabitación entre camarones infectados y sanos, presentando síntomas como nado errático, crecimiento reducido, hepatopáncreas pálido, textura blanda del exoesqueleto y problemas intestinales. Un aspecto crucial es que la infección no se reproduce usando tejidos congelados, solo frescos.

Ante este escenario, se han adoptado diversas estrategias para mitigar el impacto de estas enfermedades. Entre ellas se destacan la producción de líneas de camarón resistentes a patologías y la inclusión de aditivos en la alimentación, probióticos, ácidos orgánicos, plantas medicinales y extractos vegetales. Los ácidos orgánicos han demostrado tener propiedades antibióticas y microbiológicas beneficiosas, mejorando la salud general de los camarones.

Una alternativa natural y prometedora en la acuicultura es el uso de extractos de plantas medicinales, como el ajo (*Allium sativum*) y el orégano (*Origanum vulgare*). Estos extractos no solo combaten patógenos, sino que también mejoran el crecimiento y la resistencia a enfermedades, ofreciendo una solución sostenible y eficaz frente al uso de antibióticos en la acuicultura.

En este capítulo, se exploran las estrategias innovadoras y sostenibles para mejorar la salud y resistencia del camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*), con un enfoque particular en el uso de ácidos orgánicos y extractos vegetales. Este análisis se enmarca en el contexto de los desafíos recientes que ha enfrentado la industria acuícola del mundo, en donde destaca el brote de enfermedades bacterianas como la Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND) o Síndrome de Mortalidad Temprana (EMS).



## **Ácidos orgánicos: beneficios y mecanismos de acción**

La investigación sobre la suplementación de ácidos orgánicos en las dietas de animales acuícolas está ganando atención a nivel mundial como promotor del crecimiento y medida profiláctica contra patógenos bacterianos. Los ácidos orgánicos son compuestos que contienen uno o más grupos carboxilo (-COOH) en su estructura molecular. Estos compuestos abarcan una variedad de tipos, incluyendo ácidos monocarboxílicos saturados de cadena lineal con átomos de carbono que van de C1 a C18, así como sus derivados. Entre estos derivados se encuentran los ácidos insaturados como el cinámico y el sórbico, los ácidos hidroxílicos como el cítrico y el láctico, los ácidos fenólicos como el benzoico y el salicílico, y los ácidos multicarboxílicos como el azelaico y el succínico. La estructura general de estos ácidos se puede representar como R-COOH, donde R es un grupo funcional monovalente.

Comúnmente, estos compuestos son conocidos como ácidos grasos de cadena corta, ácidos grasos volátiles o ácidos carboxílicos débiles. La producción de ácidos orgánicos se realiza principalmente mediante la fermentación microbiana de carbohidratos por diversas especies bacterianas, cada una utilizando diferentes rutas y condiciones metabólicas. Además, algunos ácidos orgánicos de bajo peso molecular, como el acético, el propiónico y el butírico, también se generan en el intestino grueso de humanos y animales en altas concentraciones debido a la actividad de comunidades microbianas anaeróbicas.

Muchos ácidos orgánicos de cadena corta, que tienen entre 1 y 7 átomos de carbono, se encuentran de manera natural en los tejidos de plantas y animales. No obstante, una gran parte de los ácidos orgánicos que se emplean comercialmente en la industria de alimentos y piensos se producen de manera sintética. Además, estos ácidos pueden formar sales simples o dobles cuando se combinan con elementos como potasio (K), sodio (Na) o calcio (Ca), lo que amplía su utilidad en diversas aplicaciones industriales y alimentarias. Los ácidos orgánicos ejercen varios efectos benéficos sobre los camarones criados, como el incremento de la atractabilidad del alimento, mejoramiento de la actividad enzimática (proteasas) y suministro de energía, además de la reducción de microorganismos patógenos ya que la disminución del pH es su principal efecto.

Los ácidos orgánicos, particularmente los ácidos débiles lipofílicos, tienen propiedades antimicrobianas que se han atribuido tradicionalmente a su capacidad para alterar la función de la membrana celular, impidiendo el transporte de moléculas esenciales hacia las células. Sin embargo, su principal mecanismo de acción radica en la acidificación del pH extracelular y citoplasmático al disociarse y liberar iones de hidrógeno.

Las bacterias requieren un pH específico para su crecimiento óptimo y no prosperan en condiciones ácidas extremas (pH < 4.5). Los ácidos orgánicos, al reducir el



pH del entorno, impiden el crecimiento de bacterias sensibles a los ácidos. Los ácidos como el acético, cítrico, benzoico, sórbico y láctico son comúnmente utilizados en alimentos y bebidas para este propósito.

Una vez dentro de la célula bacteriana, estos ácidos se disocian y liberan aniones y protones, reduciendo el pH citoplasmático, lo que inhibe el metabolismo celular y puede llevar a la muerte celular. La molécula disociada penetra en la pared celular de las bacterias patógenas Gram negativas y acidifican su pH citoplasmático, por lo que la célula bacteriana requiere neutralizar su pH a través de la bomba de  $H^+$  - ATP, deben gastar energía en bombear protones fuera de la célula, lo que puede agotar sus reservas de ATP y provocar la muerte. Además, la acumulación de aniones ácidos dentro del citoplasma puede inhibir la síntesis de macromoléculas y la actividad enzimática, contribuyendo aún más a la inhibición del crecimiento bacteriano y la muerte celular. Se informó que a pH bajo, la forma no disociada de un ácido orgánico es lipofílica y puede difundirse pasivamente a través de la pared celular de bacterias patógenas. En el citoplasma más alcalino (pH más alto) de las bacterias, el ácido orgánico se disocia y hace que el pH interno disminuya, esto va a inhibir el transporte de nutrientes bacterianos, el metabolismo celular y la actividad enzimática.

Acorde a lo mencionado, se destaca que los ácidos orgánicos y sus sales son útiles como promotores del crecimiento en la acuicultura por su capacidad para inhibir patógenos intestinales, proporcionar energía y mejorar la digestibilidad de nutrientes. Se han evaluado acetato, butirato, citrato, formiato, lactato y propionato de sodio en *L. vannamei*, demostrando que inhiben especies de *Vibrio* patógenas. Propionato, butirato y acetato de sodio son especialmente eficaces. El propionato y butirato de sodio aumentan la palatabilidad y consumo de alimento, reduciendo la abundancia de *Vibrio* y mejorando la digestión de energía y fósforo. La comunidad bacteriana en camarones alimentados con dietas suplementadas con 1% y 2% de butirato y propionato fue similar a la de los grupos control y al grupo con 0,5% de propionato, encontrándose bajos recuentos de *Vibrio* sp. en los intestinos del grupo de butirato. Resultados similares se observaron en camarones alimentados con 2% de butirato en un sistema biofloc súper intensivo.

### **Tipos de ácidos orgánicos utilizados en acuicultura**

El uso de ácidos orgánicos alimentarios en el cultivo de animales acuáticos ha suscitado recientemente un gran interés comercial y de investigación, ya que los conocimientos actuales sobre el uso de ácidos orgánicos en alimentos acuícolas, hacen énfasis en sus efectos sobre el crecimiento, la utilización de nutrientes, la disponibilidad de minerales, el microbiota intestinal y la resistencia a las enfermedades.



Los ácidos orgánicos de cadena corta (C1-C6), como los ácidos láctico, fórmico, cítrico y propiónico, son los más empleados en la camaronicultura y han demostrado inhibir varias cepas de *Vibrio* spp. in vitro. Sin embargo, esta inhibición depende del tipo y la concentración de ácido. El uso principal de ácidos orgánicos en la dieta se ha centrado en mejorar el crecimiento y la disponibilidad de nutrientes, anqué los resultados suelen ser positivos, dependen del tipo específico de ácido orgánico utilizado y de la especie, por parte del ácido cítrico se ha reportado que mejora la digestión y la inmunidad de los camarones. Al alimentarlos con 2,0 g de CA por kg de alimento, se incrementa la actividad de la proteasa intestinal, lo que facilita la digestión de proteínas debido a la reducción del pH. Además, dietas con 2,0 g/kg y 3,0 g/kg de CA aumentan las actividades enzimáticas séricas y reducen la mortalidad por infecciones, mostrando una mejor resistencia a enfermedades. Esto se debe a que el CA actúa como cofactor inmunoestimulante, antioxidante y generador rápido de energía, mejorando así la inmunidad y resistencia al estrés.

El ácido fórmico es eficaz en la prevención de infecciones por *V. parahaemolyticus*, reduciendo significativamente la cantidad de bacterias *Vibrio* spp. en los camarones. Su uso es más económico y posee propiedades antibacterianas, aunque el ácido fórmico no llega a promover el crecimiento de los camarones y podría afectar negativamente su desarrollo.

Por otro lado, se estudió la toxicidad relativa del ácido fórmico, el ácido acético, el ácido propiónico y el ácido butírico sobre un conocido patógeno del camarón, *V. harveyi*, utilizando un ensayo con discos de papel de filtro. De los cuatro ácidos, el fórmico mostró el efecto inhibitor más potente, seguido del acético, el propiónico y el butírico. La concentración inhibitoria mínima (CIM) del 0,035% de ácido fórmico suprimió el crecimiento de *V. harveyi*. El principal mecanismo inhibitor parece ser el efecto del pH de los ácidos orgánicos.

Además de que los ácidos por si solos demuestran tener ciertos efectos positivos sobre los camarones, se han implementado mezclas de ácidos orgánicos para impulsar su método de acción en el camarón, en un estudio se determinó el efecto de la adición de ácidos orgánicos en la dieta alimenticia del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) para mejorar su crecimiento. Las dietas se prepararon utilizando una marca comercial de ácidos orgánicos (Ácido málico, á. láctico, á. fumárico y á. cítrico), el tratamiento con ácidos orgánicos fue superior al control, pero inferior al de probióticos.

Estos resultados indican que la adición de ácidos orgánicos a la dieta del camarón blanco mejora significativamente su crecimiento en comparación con la dieta de control, demostrando su potencial como complemento alimenticio beneficioso.

### **Uso de extracto de vegetales**

Los extractos de plantas medicinales presentan potencial para ser empleados como



eficaces remedios herbales contra los patógenos de la acuicultura. Las propiedades antibacterianas de los productos vegetales se han estudiado en camarón principalmente mediante pruebas de bioactividad, una de las plantas de interés es el ajo (*Allium sativum*), el cual posee un espectro relativamente amplio, de acción frente a bacterias Gram positivas y Gram negativas ya que contiene un componente activo llamado alicina, que influye en diversas enzimas capaces de alterar el metabolismo de las bacterias virulentas. Además, el ajo contiene compuestos bioactivos que incluyen componentes organosulfurados, fenólicos y flavonoides, los cuales poseen propiedades antioxidantes.

En un estudio reciente examinaron cómo la adición de ajo afecta el crecimiento y la supervivencia del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Tras alimentar a los camarones con diferentes niveles de ajo durante 56 días, se observó que aquellos que recibieron 1% y 1.5% de ajo mostraron mejoras significativas en peso, tasa de crecimiento y supervivencia en comparación con los alimentados con 0.5% de ajo y sin ajo. La concentración óptima para mejorar el rendimiento fue del 1.5% de ajo. Y para la actividad antimicrobiana, se investigó el efecto del extracto de ajo en el crecimiento de la bacteria *Vibrio parahaemolyticus*. Se utilizaron concentraciones de extracto de ajo en solvente de etanol al 96% (20%, 40%, 60% y 80%) y se aplicó el método de difusión en disco de Kirby-Bauer. Los resultados mostraron que el extracto de ajo tuvo actividad antibacteriana contra *V. parahaemolyticus*, con un aumento en el tamaño de la zona de inhibición conforme se incrementaba la concentración del extracto de ajo. Esto sugiere que el ajo puede ser eficaz para combatir esta bacteria, importante en la prevención de la vibriosis en la acuicultura de camarones.

El uso de ajo en la alimentación del camarón ha demostrado tener múltiples beneficios, incluyendo propiedades antimicrobianas y de estimulación del sistema inmunológico. Al incorporar ajo en la dieta de camarones, se ha observado una mejora en la resistencia a enfermedades y un aumento en el crecimiento, lo que lo convierte en un complemento valioso en la acuicultura.

De manera similar, el orégano también se ha estudiado por sus efectos positivos en la alimentación del camarón. Numerosos compuestos bioactivos del orégano son lipofílicos, lo que significa que se disuelven en grasas. Estos incluyen las vitaminas A, D, E y K, los carotenoides y los aceites esenciales. Estos últimos se han propuesto como sustitutos de los antibióticos en la cría de animales para alimentación. El aceite esencial de orégano se considera una alternativa prometedora a los antibióticos en la dieta debido a sus beneficios biológicos. En peces y camarones, su suplementación mejora el crecimiento, la alimentación y la resistencia a enfermedades. El carvacrol, presente en los aceites esenciales de *Origanum vulgare*, es particularmente relevante. El carvacrol y timol tienen un fuerte efecto antimicrobiano, los cuales son polifenoles presentes en plantas que influyen en la salud al regular el metabolismo, el peso y las enfermedades



crónicas, y son importantes en crustáceos por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. El orégano se considera una rica fuente de polifenoles y se utiliza frecuentemente como aditivo alimentario en la acuicultura. El orégano contiene varios compuestos activos que combaten bacterias, como carvacrol, timol, c-terpineno y p-cimeno. Estos componentes, presentes en el aceite de orégano, actúan contra microbios, radicales libres y hongos. Timol y carvacrol, en particular, pueden dañar las bacterias de manera similar al aceite de orégano. Combinados, pueden tener un efecto aún más potente. El aceite de orégano actúa modificando la estructura de la mureína en bacterias gram negativas, lo que a su vez altera su pared celular y hace que estas bacterias sean más susceptibles a este extracto para inhibir sus mecanismos de acción, alterando la morfología celular y las deformidades de los orgánulos.

En ensayos recientes de crecimiento para evaluar el efecto del uso de aditivos alimentarios fitogénicos derivados del orégano en el crecimiento y la inmunidad de camarones blancos (*Litopenaeus vannamei*). Se determinó que los compuestos del orégano, como el carvacrol y el timol, tenían propiedades antimicrobianas. Los camarones alimentados con orégano mostraron mejoras en el crecimiento y la respuesta inmune en comparación con los alimentados con una dieta estándar. En general, la inclusión de orégano en la dieta mejoró significativamente el crecimiento y la respuesta inmunológica de los camarones.

En otro estudio donde buscaban caracterizar la resistencia a antibióticos en *Vibrio* spp aislados de camarones *Litopenaeus vannamei* y probar la capacidad inhibitoria de extractos de orégano (*Origanum vulgare*). Se evaluó la resistencia antibiótica de las cepas frente a 10 antibióticos y se probaron extractos acuosos y etanólicos de orégano, así como extractos purificados. Los extractos acuosos y etanólicos de orégano no mostraron efecto inhibitor, pero los extractos purificados sí lo hicieron, especialmente el extracto purificado que inhibió todas las cepas probadas. Se concluyó que los extractos purificados de orégano podrían ser una alternativa interesante para combatir la resistencia a los antibióticos en *Vibrio* spp.

Estos componentes no solo ayudan a prevenir enfermedades, sino que también mejoran la digestibilidad de los nutrientes y promueven un crecimiento más saludable en los camarones. La inclusión de orégano en la dieta, al igual que el ajo, puede ser una estrategia efectiva para optimizar la salud y el rendimiento de los camarones en cultivo.

### **Aumento de enfermedades por *Vibrio parahaemolyticus* en Camarón**

Recientemente, la región de Sinaloa ha experimentado un aumento en enfermedades bacterianas en los cultivos de camarón blanco, destacando la AHPND (Necrosis Hepatopancreática Aguda) o EMS (Síndrome de Mortalidad Temprana), causadas por nuevas cepas de *Vibrio parahaemolyticus*, la cual es un tipo de bacteria que se encuentra en ambientes salinos, pertenece al grupo de las Gram-negativas, y es conocida por ser



la causa principal de enfermedades diarreicas transmitidas por mariscos en humanos a nivel global. Esta bacteria es sensible a los cambios ambientales, como la temperatura y la salinidad.

La vibriosis, causada comúnmente por *Vibrio parahaemolyticus*, incluye la devastadora enfermedad de necrosis hepatopancreática aguda (AHPND), que puede causar una mortalidad del 100% en camarones en 30-35 días. AHPND afecta principalmente a *L. vannamei* y *P. monodon* y es impulsada por genes de toxinas Pir en el plásmido pVA-1. Otras especies de *Vibrio* y *Shewanella* también causan AHPND, debido a la transferencia de genes de toxinas entre bacterias.

El EMS/AHPND se origina cuando una cepa patogénica de *Vibrio parahaemolyticus* coloniza el tracto digestivo de los camarones, lugar desde el cual se liberan toxinas que afectan al hepatopáncreas, sin presencia inicial evidente de bacterias en éste órgano. La AHPND se caracteriza por una grave reducción del tamaño del hepatopáncreas en los camarones, que muestra una histopatología singular durante la fase aguda de la enfermedad. Esta histopatología se manifiesta que las células se desprenden del tejido en grandes cantidades. La infección se da a través de canibalismo o por cohabitación entre animales enfermos y animales sanos, y puede causar una serie de síntomas en los camarones infectados, incluyendo nado errático, crecimiento reducido, palidez en el hepatopáncreas, atrofia, textura blanda del exoesqueleto y problemas intestinales. Un hecho de gran importancia epidemiológica es que la infección no se ha logrado reproducir utilizando tejidos congelados, lográndose únicamente con tejidos frescos.

Algunas cepas de *Vibrio* llevan un plásmido extracromosómico, el pVA-1, que contiene genes relacionados con la transferencia de virulencia, con potencial de transferir genes de VP AHPND a la microbiota en estanques de camarones. Este plásmido también incluye genes flanqueados por una región codificante de transposasa, lo que sugiere la posibilidad de transferencia horizontal de genes. Los genes están cerca del operón de la toxina Pir, lo que subraya la necesidad de monitorear regularmente cepas patógenas en los sistemas de cultivo de camarones. La probabilidad de transferencia aumenta cuando las bacterias patógenas colonizan densamente el intestino o el hepatopáncreas del camarón. Estas bacterias albergan los genes de virulencia AHPND, incluidas las toxinas Pir A y Pir B, que pueden causar daño hepatopancreático incluso con baja densidad bacteriana. Estas toxinas se han detectado en el intestino, hepatopáncreas y hemolinfa de camarones infectados.

La aparición de enfermedades bacterianas en los cultivos de camarón blanco en Sinaloa, especialmente la AHPND o EMS, ha generado la necesidad de implementar diversas estrategias para reducir su impacto. Una de las alternativas más prometedoras es el uso de ácidos orgánicos, los cuales han demostrado ser efectivos en inhibir el





---

crecimiento de microorganismos patógenos y mejorar la salud de los camarones. Sin embargo, otra opción igualmente viable y natural que se está explorando en el ámbito de la acuicultura es el uso de extractos de plantas medicinales.

### **Conclusión**

El conocimiento sobre el uso alternativo de compuestos naturales y orgánicos para contrarrestar las patologías en la acuicultura debe ser más estudiado y difundido ya que el *V. parahaemolyticus* está ampliamente distribuido la industria del cultivo de camarón y frecuentemente asociado con brotes de enfermedades representando un costo alto en pérdidas económicas y constituye un grave riesgo para la salud pública. La revisión explora varios métodos antimicrobianos para controlar esta bacteria patógena y mejorar al mismo tiempo mejorar el crecimiento en un periodo tradicional de cultivo, además de que la demanda y creciente preferencia por productos del mar mínimamente procesados impulsa el futuro uso de antimicrobianos naturales. La investigación futura debería centrarse en estrategias de manejo de cultivo, comprender los mecanismos antimicrobianos y explorar nuevas combinaciones de opciones orgánicas.



## Referencias

- Chanta, L. E. A. Sánchez-Suárez, H. A., Ordinola-Zapata, A. (2021). Antibiotic resistance in *Vibrio* spp isolated from white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Treatment alternatives with *Azadirachta indica* and *Origanum vulgare* extracts. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i4.19386>.
- Chuchird, N. Rorkwiree, P., Rairat, T. (2015). Effect of dietary formic acid and astaxanthin on the survival and growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and their resistance to *Vibrio parahaemolyticus*. *SpringerPlus*, 4, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1234-x>.
- Flores, P. G. Ruiz, L. D. Ibarra, E. E., Valenzuela, R. B. (2019). Actividad antibacteriana de extractos de orégano (*Origanum* spp.) en bacterias GRAM negativas y positivas. *Ciencias Químicas*, 1(1), 1-8.
- Ghosh, A. K. Panda, S. K., Luyten, W. (2021). Anti-vibrio and immune-enhancing activity of medicinal plants in shrimp: A comprehensive review. *Fish & Shellfish Immunology*, 117, 192-210. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.08.006>.
- Guangxin, G. Li, K. Zhu, Q. Zhao, C. Li, C. He, Z. Hu, S., Ren, Y. (2022). Improvements of immune genes and intestinal microbiota composition of turbot (*Scophthalmus maximus*) with dietary oregano oil and probiotics. *Aquaculture*, 547, 737442. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737442>.
- He, W. Rahimnejad, S. Wang, L. Song, K. Lu, K., Zhang, C. (2017). Effects of organic acids and essential oils blend on growth, gut microbiota, immune response and disease resistance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) against *Vibrio parahaemolyticus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 70, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.09.007>.
- Iperty, C., Alberto, C. (2021). *Ácidos orgánicos y sus efectos antagónicos frente a endoparásitos de Litopenaeus vannamei, mediante aplicación de dos tratamientos comerciales en cultivos de isla Matorillo, Guayaquil* La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6611>.
- Joshi, J. Srisala, J. Truong, V. H. Chen, I.-T. Nuangsaeng, B. Suthienkul, O. Lo, C. F. Flegel, T. W. Sritunyalucksana, K., Thitamadee, S. (2014). Variation in *Vibrio parahaemolyticus* isolates from a single Thai shrimp farm experiencing an outbreak of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND). *Aquaculture*, 428, 297-302. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.030>.
- Li, E. Xu, C. Wang, X. Wang, S. Zhao, Q. Zhang, M. Qin, J. G., Chen, L. (2018). Gut microbiota and its modulation for healthy farming of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(3), 381-399. <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1440530>.
- Li, L. Meng, H. Gu, D. Li, Y., Jia, M. (2019). Molecular mechanisms of *Vibrio parahaemolyticus* pathogenesis. *Microbiological Research*, 222, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.03.003>.

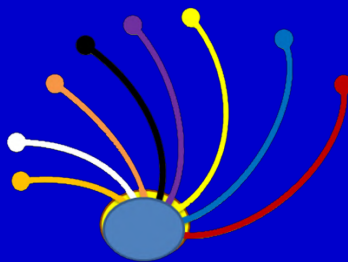


- Lim, C. Lückstädt, C. Webster, C. D., Kesius, P. (2015). Organic acids and their salts. *Dietary nutrients, additives, and fish health*, 305-319. <https://doi.org/10.1002/9781119005568.ch15>
- Mansour, A. T. Eldessouki, E. A. Khalil, R. H. Diab, A. M. Selema, T. A. A. Younis, N. A., Abdel-Razek, N. (2023). In vitro and in vivo antifungal and immune stimulant activities of oregano and orange peel essential oils on *Fusarium solani* infection in whiteleg shrimp. *Aquaculture International*, 31(4), 1959-1977. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01065-z>.
- Mejías, A. V., Navarro, N. P. (2014). Síndrome de la Mortalidad Temprana (EMS/AHPNS) en camarones cultivados: Una revisión. *Repertorio Científico*, 17(1), 25-30.
- Mine, S., Boopathy, R. (2011). Effect of organic acids on shrimp pathogen, *Vibrio harveyi*. *Current microbiology*, 63, 1-7. <https://doi.org/10.1007/s00284-011-9932-2>
- Ng, W. K., Koh, C. B. (2017). The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 9(4), 342-368. <https://doi.org/10.1111/raq.12141>.
- Rafieepour, A. Hajirezaee, S., Rahimi, R. (2019). Dietary oregano extract (*Origanum vulgare* L.) enhances the antioxidant defence in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* against toxicity induced by organophosphorus pesticide, diazinon. *Toxin Reviews*. <https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1550092>.
- Ramadhaniah, V. Indrawati, A., Prasetyo, B. (2023). Activity of Garlic (*Allium Sativum* L.) Extract Against *Vibrio Parahaemolyticus* Bacteria. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1174(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1174/1/012004>.
- Sardar, P. Shamna, N., Sahu, N. (2020). Acidifiers in aquafeed as an alternate growth promoter: A short review. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 20(2), 353-366. <https://doi.org/10.5958/0974-181X.2020.00032.3>
- Silva, J. Jiménez, I. Vivas, J. Mayer, L., Figueredo, A. (2021). Algunas experiencias usando ácidos orgánicos para optimizar el desempeño de una larvicultura comercial de camarón blanco, *Penaeus vannamei*. 1, 11-19. researchgate.net .
- Soto-Marfileño, K. Galaviz-Silva, L., Molina-Garza, Z. (2023). Evaluación de microbiota de las costas de Sonora y Baja California contra cepas patógenas de *Vibrio parahaemolyticus* y *Vibrio harveyi*, agentes causales de la necrosis hepatopancreática en camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 189-195.
- Su, X. Li, X. Leng, X. Tan, C. Liu, B. Chai, X., Guo, T. (2014). The improvement of growth, digestive enzyme activity and disease resistance of white shrimp by the dietary citric acid. *Aquaculture International*, 22, 1823-1835. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9785-3>
- Suiryanrayna, M. V., Ramana, J. (2015). A review of the effects of dietary organic acids fed to swine. *Journal of animal science and biotechnology*, 6, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0042-z>
- Tu, P. T. C. Lien, N. T. K. Ngan, P. T. T. Phu, T. Q., Giang, H. T. (2023). Effects of garlic-supplemented diet on the growth and survival of the whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1234-x>



## Sección 2

# Zootecnia





# Ácidos grasos poliinsaturados en la calidad seminal y comportamiento sexual en carneros

Edgar Mauricio Ramírez Luna  
Said Cadena-Villegas  
Griselda Maki Díaz  
Mauricio Valencia Posadas  
César Andrés Ángel Sahagún  
José Antonio Hernández-Marín





## **Introducción**

Los aditivos son tecnologías que se utilizan para mejorar los parámetros reproductivos en carneros. Estos mitigan factores nutricionales o ambientales, como el fotoperiodo y la ausencia de piensos de calidad que brindan una nutrición adecuada, que actúan como estresores y disminuyen algunos parámetros importantes que favorecen su reproducción. La calidad del semen y el comportamiento sexual en carneros son de gran importancia debido a que ambos caracteres favorecen la aptitud de machos ovinos como sementales. Algunos de estos aditivos que son aprovechados por sus propiedades son los aceites ricos en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés), ya que, aportan beneficios para el mejoramiento en la calidad del semen, por sus propiedades antioxidantes sobre la membrana lipídica de los espermatozoides, volviéndola menos viscosa y por consecuencia, más fluida, lo cual favorece variables que son evaluadas para conocer la calidad seminal de los carneros, como la motilidad, la integridad del acrosoma, la actividad mitocondrial, el porcentaje de espermatozoides normales, entre otras variables. Además, los PUFA estimulan la biosíntesis de colesterol, que es el principal lípido involucrado en la esteroidogénesis de la testosterona, siendo esta, una parte crucial, debido a su integración al eje hipotálamo-hipófisis-testículos que regula la reproducción del carnero y, por ende, su comportamiento sexual.

Por consiguiente, este capítulo describe y explica la función de los PUFA al ser integrados como aditivos para favorecer la calidad espermática y el comportamiento sexual en carneros, por sus acciones como antioxidantes de la membrana lipídica de los espermatozoides y como promotor de la biosíntesis de la testosterona.

## **Ácidos grasos poliinsaturados (PUFA)**

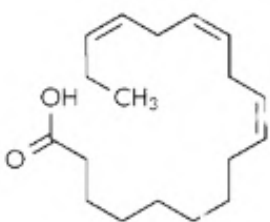

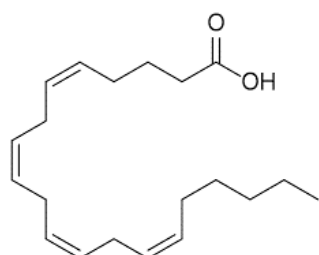
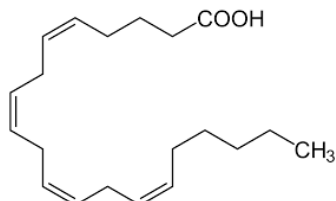
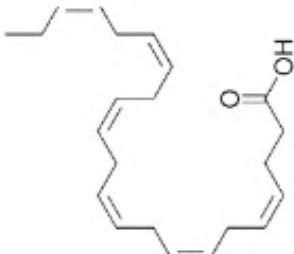
Los ácidos grasos se clasifican por su estructura química, unidos a una cadena de átomos de carbono, aquellos que cuentan con solo un enlace químico son los monoinsaturados y aquellos que contienen más de dos enlaces químicos son poliinsaturados. Estos últimos, son ácidos grasos que se agrupan en dos familias, los omega-3 ( $\omega$ -3) y los omega-6 ( $\omega$ -6; Cuadro 1) dependiendo de la posición de sus dobles enlaces.

Teniendo en cuenta esta clasificación, se encuentran algunos ácidos grasos más importantes de los  $\omega$ -3, el ácido alfa-linoleico (ALA), el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA), que se obtienen principalmente de aceites de pescado, debido a que estos son sintetizados por un grupo de algas que son alimento de algunos peces de aguas frías. Con excepción del ALA que se ha encontrado en bastos porcentajes en aceites de algunas semillas oleaginosas. Por otro lado, la familia de los  $\omega$ -6, cuenta con algunos ácidos grasos más importantes como el ácido linoleico (LA) y el ácido araquidónico (AA), encontrados en mayor porcentaje en aceites de origen vegetal y en aceites de origen animal, respectivamente.





**Cuadro 1.** Agrupación de los principales PUFA y su fuente de obtención.

$\omega$ -3		$\omega$ -6	
Nombre	Fuentes	Nombre	Fuentes
ALA (18:3n-3) 	Aceites vegetales: Aceite de canola Aceite de linaza Aceite de soja Aceite de girasol Aceites de pescado: Aceite de salmón Aceite de arenque Aceite de trucha Aceite de atún Aceite de trucha	LA (18:2n-6) 	Aceites vegetales: Aceite de canola Aceite de soja Aceite de girasol Aceite de maíz Aceite de oliva Aceite de cacahuete Aceite de cártamo Aceite de algodón
EPA (20:5n-3) 	Aceites de pescado: Aceite de salmón Aceite de arenque Aceite de trucha Aceite de atún Aceite de trucha	AA (20:4n-6) 	Aceites de pescado: Aceite de salmón Aceite de arenque Aceite de trucha Aceite de atún Aceite de trucha  Origen animal: Huevo Pollo Res
DHA (22:6n-3) 	Aceites de pescado: Aceite de salmón Aceite de arenque Aceite de trucha Aceite de atún Aceite de trucha		

Dentro de estos principales PUFA, hay que resaltar al ALA y al LA, que son precursores de otros ácidos grasos como el DHA y EPA en el caso del ALA, el AA en el caso de LA. Por efecto de enzimas se va dando esta síntesis del DHA y EPA y el AA, a partir del ALA y LA respectivamente (Figura 1).

La importancia de estos ácidos, tanto los  $\omega$ -3, como los  $\omega$ -6, recae en la función a nivel estructural de diversas células, entre ellas, los gametos masculinos. Debido a que los PUFA de los  $\omega$ -3 como DHA y EPA, son parte fundamental en la membrana plasmática de todo tipo de células, y de los  $\omega$ -6 se encuentran en abundancia en la



membrana proporcionándoles fluidez y permeabilidad para realizar la fertilización. Es por ello, la importancia de los aditivos ricos en PUFA en dietas para aportar componentes fundamentales de los fosfolípidos de las membranas celulares.

Entre los muchos beneficios de los PUFA se encuentra su función como promotor de la biosíntesis del colesterol, un lípido de gran valor en la síntesis de hormonas esteroideas como la testosterona. Esta interacción indirecta con otros sistemas orgánicos como el endócrino, se aprovecha para ejercer un mayor control de sobre ejes como el hipotálamo-hipófisis-testículos, trayendo beneficios a nivel reproductivo en machos.

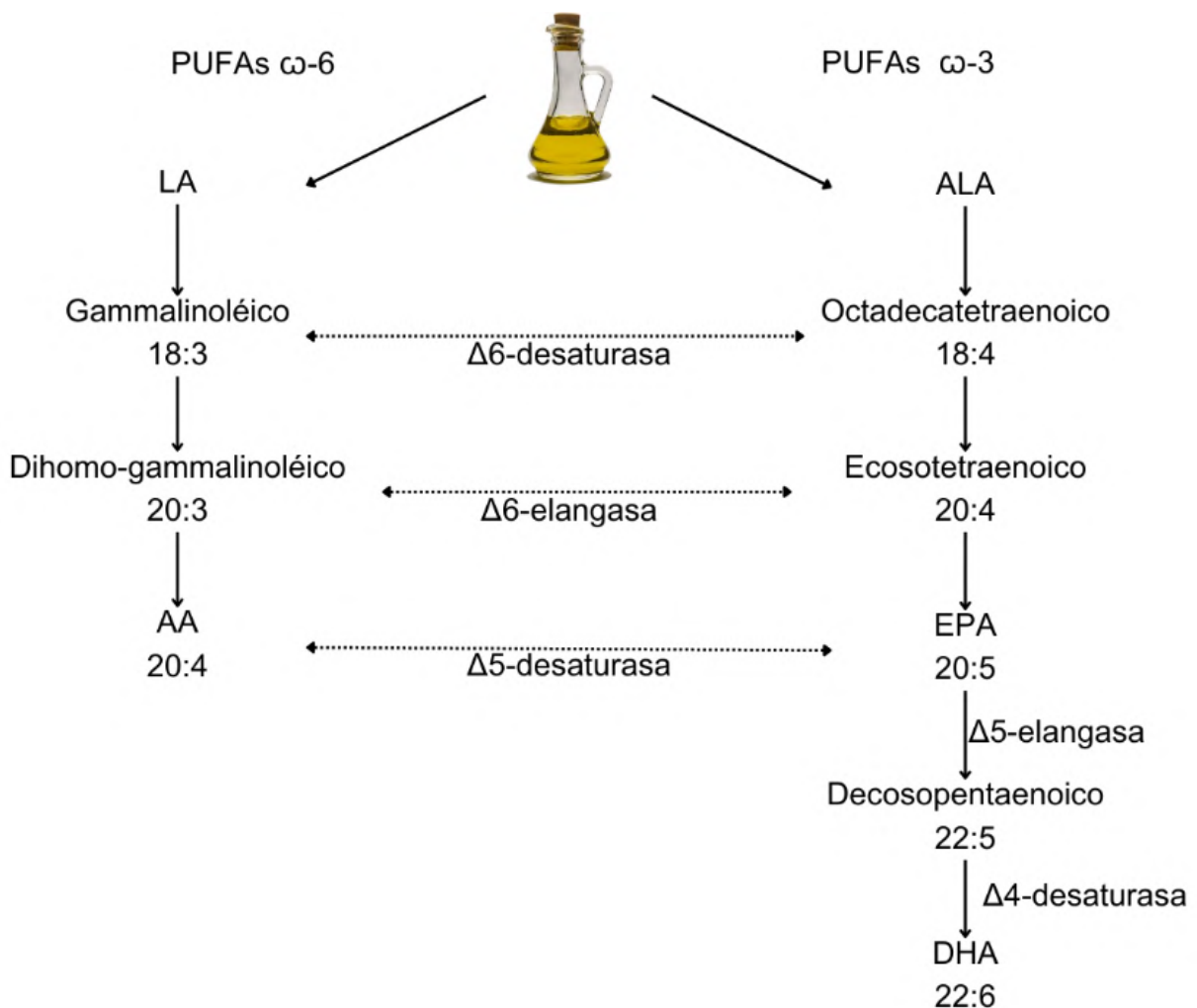
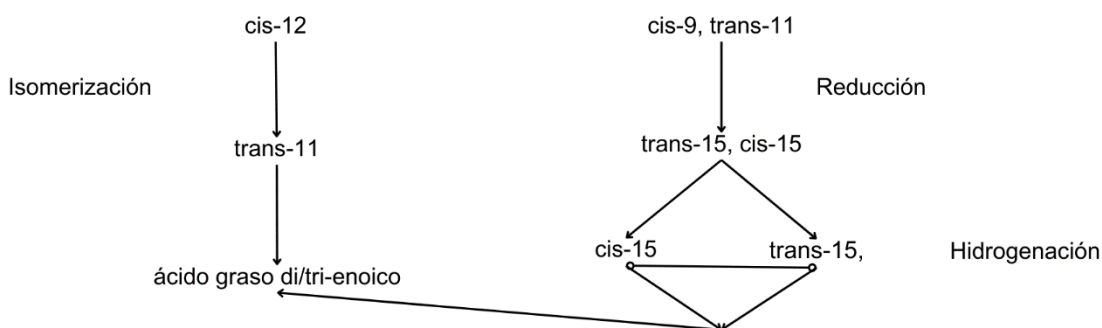


Figura 1. Precursores de PUFA  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6.



## Metabolismo de los PUFA en rumiantes

La hidrólisis y la biohidrogenación son las encargadas de la transformación de los lípidos dietarios cuando llegan al rumen. En primera instancia, la hidrólisis se encarga de deshacer los enlaces de triglicéridos, fosfolípidos y glicolípidos mediante lipasas, galactosidasas y fosfolipasas producidas por la microbiota ruminal. Esto da lugar a la formación de ácidos grasos libres y glicerol. De aquí, el glicerol se fermenta y se obtiene ácido propiónico como producto final. Posterior a la hidrólisis, se produce la hidrogenación en los ácidos grasos libres, afectando la biohidrogenación sobre los ácidos grasos insaturados que son hidrogenados por la microbiota ruminal (Figura 2).



**Figura 2.** Proceso de la biohidrogenación sobre los ácidos grasos insaturados.

La biohidrogenación, se acelera en respuesta al aumento del ALA y el LA, ya que estos son los principales sustratos del proceso, hidrogenándose entre un 70% a 95% y entre un 85% y 100%, respectivamente. Al realizarse estos procesos, continúa la absorción, transporte y captación de los ácidos grasos obtenidos por estos procesos. La absorción de estos se lleva a cabo en la porción media y final del yeyuno.

En los enterocitos, los ácidos grasos de más de 12 enlaces de carbono son esterificados para formar triglicéridos y fosfolípidos y junto a apoproteínas formar quilomicrones y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL). Una vez que se forman quilomicrones y VLDL, estas se transportan por la vena porta para llegar a los tejidos donde son captados.

## Características reproductivas del carnero

Los ovinos (*Ovis aries*) comparten familia con los bovinos y caprinos. Gracias a sus características en la producción de carne y lana, los ovinos fueron una de las primeras especies que fueron domesticadas. Los ovinos son animales estacionales influenciados por el fotoperiodo presente en los días cortos, trayendo consigo factores que afectan su reproducción; tales factores provienen de su genética, nutrición, ambiente, manejo y



procesos endocrinos.

En el caso de los carneros, desórdenes y factores afectan su fisiología reproductiva, influyendo directamente en la fertilidad; la radiación, la salud del animal, disfunciones endocrinas, su nutrición, el manejo del carnero y el ambiente son los principales que afectan la reproducción. La estacionalidad y el fotoperiodo son factores ambientales que influyen en la reproducción de los ovinos en general. En esencia, el carnero en días cortos de la temporada de otoño – invierno marcan la estacionalidad por la disponibilidad de horas luz que estimulan el sistema nervioso, activando la hipófisis y produciendo 16 pulsos cada 12 h, comparándolo a menos de 1 pulso durante el periodo de anestro estacional e incrementando la presencia de testosterona.

El fotoperiodo quizá es el factor ambiental de mayor influencia en la reproducción de los ovinos, debido a la estimulación de la glándula pineal produciendo melatonina en mayor frecuencia por la oscuridad de los días cortos, afectado al eje hipotálamo – hipofisiario – testículos al incrementar de la GnRH y en consecuencia de LH. El fotoperiodo causa cambios en la pulsatilidad de la hormona LH independiente de cualquier acción de esteroides gonadales; después de evaluar la frecuencia pulsátil de la GnRH se consideró que los niveles plasmáticos de LH y FSH se asocian con los pulsos de GnRH, debido a las células de la GnRH (gonadotropos) en el hipotálamo, que a su vez, los esteroides gonadales retroalimentan la secreción de la GnRH y regulan la acción hormonal en el eje reproductivo.

El mismo eje reproductivo modula la fisiología testicular por medio de las gonadotropinas LH y FSH, producidas en la hipófisis anterior. En los machos, estas dos hormonas se encargan del control de la espermatogénesis y esteroidogénesis en los testículos. A su vez, estas dos hormonas trabajan en función de la pulsatilidad de la GnRH, viéndose este efecto con mayor evidencia sobre la hormona LH. Así es como el factor ambiental mediante el fotoperiodo altera la calidad espermática y el comportamiento sexual del carnero. Por su parte, los machos bajo deficiente nutrición o sobrealimentados tienden a tener carencias reproductivas por ausencia de la libido, producen un semen de baja calidad o presentan dificultades para copular.

El desarrollo testicular del carnero se beneficia de un balance energético – proteico, la energía digerible tiene mayor influencia que la proteína. Esto refleja mayor pulsatilidad de la LH. Al haber mayor desarrollo testicular se mejora la síntesis de testosterona, debido a la acción de las células de Leydig. Lo cual influye en las características del comportamiento sexual, debido a la producción y concentración de testosterona, que promueve la libido y estimula la madurez sexual de los carneros.

Parte de la libido se describe durante el comportamiento sexual. Esto es un conjunto de comportamientos, vocalizaciones y acciones que tienen un efecto positivo en la liberación y producción de hormonas y feromonas que estimulan a las ovejas como a



otros machos (efecto macho-hembra o efecto macho-macho). La etología sexual más evidente en los carneros, son el reflejo de Flehmen, baladas de llamado a la hembra, intentos de monta, topes, número de eyaculaciones y tiempo de refracción entre eyaculaciones.

### **Suplementación de aceites ricos en PUFA**

La suplementación busca mejorar lo que no se ha cubierto mediante la dieta, debido a que se agrega un ingrediente de alta calidad en cantidades reducidas para mejorar el estado nutricional en algún estadio productivo o fisiológico del animal. Cumpliendo con la cualidad de ser ingredientes de alta calidad, los aceites son aditivos que se pueden proporcionar como suplemento alimenticio o se pueden aplicar mezclados o adicionados en la dieta, debido a sus características nutrimentales. Los aceites de origen animal o vegetal están compuestos principalmente por triésteres de ácidos grasos y de glicerol, denominado como triglicérido. Estos pueden estar formados por un triglicérido o mezclas de triglicéridos; dependiendo de las condiciones ambientales, se puede tener una presentación sólida o líquida; por lo tanto, una grasa y un aceite comparten la misma estructura química.

En la producción animal, el uso de aceites como aditivo en la alimentación es muy importante, ya que, estos aportan energía y palatabilidad para el consumo de los alimentos; en los últimos tiempos, este enfoque se ha observado por la presencia de PUFAs y ácidos grasos monoinsaturados (MUFA). En específico, los aceites de origen vegetal presentan características que ofrecen beneficios que los hacen funcionales como aditivos en dietas; aceites como el de linaza, aceite de hojuela de arroz, aceite de girasol, aceite de sésamo, aceite de palma, aceite de maíz, aceite de canola, aceite de aguacate contienen PUFA y MUFA, ambos aportando beneficios como grasas saludables. En el caso de los PUFA, se encuentran los  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 que presentan lipoproteínas de baja densidad permitiendo que actúen como acarreadores de colesterol hacia tejidos periféricos.

### **Efecto de los PUFA en la reproducción animal**

A nivel celular, los PUFAs actúan sobre la estructura de diferentes tipos de células, los omega-6 como el ácido linoleico y los omega-3 como el ácido alfa-linoleico, lo cuales ejercen acción sobre la membrana celular en forma de fosfolípidos, donde disminuyen la viscosidad debido a sus múltiples dobles enlaces, lo que permite mayor resistencia a estresores sobre las células. En general, los espermatozoides de los mamíferos están compuestos por PUFAs, valores que oscilan desde 30% a 50% del total de los ácidos grasos componentes de la membrana lipídica de los espermatozoides; lo cual beneficia la fluidez y la función del acrosoma. Los omega-3, participan mayormente en la integridad de la membrana espermática ante estresores que la afecten, principalmente en el flagelo



y la cabeza de los espermatozoides.

El DHA se ha identificado como el principal ácido graso de mayor presencia en las membranas celulares, sin ser excepción, el de la membrana espermática. El uso de algunos aceites ricos en PUFAs para favorecer la reproducción en carneros ha tomado gran importancia, ya que, aportan lípidos que modifican la membrana celular de los espermatozoides y su funcionamiento.

Además, durante la degradación de los PUFA en el proceso de biohidrogenación, se producen lipoproteínas de baja densidad que funcionan como precursores en la síntesis del colesterol. Este aumento de colesterol promueve la biosíntesis de testosterona, ya que el colesterol en conjunto con el estradiol son las hormonas previas para obtener la producción de la testosterona. Se conoce que la conducta sexual y la espermatogénesis están directamente relacionados con la acción de las células de Leydig, debido a la regulación de la LH, mediante la esteroidogénesis y otros procesos fisiológicos que involucran al ácido araquidónico y sus metabolitos, liberándolos rápidamente desde las células de Leydig, fungiendo como intermediario de la producción de testosterona por inducción de la GnRH.

En la actualidad, el uso de aceites ricos en PUFA  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 ha impactado en estudios relacionados con características reproductivas del carnero. Se han reportado diversas investigaciones realizadas en México y otros países, en las cuales se ha optado por el uso de estos aceites para promover cambios en la calidad seminal y en el comportamiento sexual del carnero, debido a la importancia de estos parámetros reproductivos para la elección de un semental apto o un prospecto de semental. Algunos estudios relacionados con la adición de estos aceites se describen en el cuadro 2.

### **Efectos adversos ante la adición de PUFA**

El semen de algunas especies es sensible ante la aparición de radicales libres. Para el caso de los PUFA, estos son vulnerables a las especies reactivas de oxígeno que al actuar sobre ellos se produce la peroxidación de lípidos, dando como resultado la producción de radicales libres. Los ácidos grasos más susceptibles a este proceso son los más insaturados como el DHA, EPA y AA, al ser componentes de la membrana plasmática de los espermatozoides y del medio donde se encuentran comprometen la integridad funcional de las células, reduciendo la fertilidad. A este proceso se le conoce como estrés oxidativo.



**Cuadro 2.** Estudios que reportaron el uso de aceites ricos en PUFAs incluidos en la dieta en función de variables reproductivas en carneros.

Estudio	Fuente de PUFA	Principales PUFA aportados	Dosis de inclusión	Raza	Acción
Tun-Moo <i>et al.</i> , 2022	Aceite de soya	$\omega$ -6	3% y 6%	Pelo	Mejora la actividad mitocondrial del tejido testicular.
Luna-Palomera <i>et al.</i> , 2013	Aceite de palma	$\omega$ -6	3%	Pelo	La capacidad de servicio y el número de montas incrementaron con mayores concentraciones de testosterona.
Díaz <i>et al.</i> , 2017	Aceite de pescado	$\omega$ -3	3%	Lana	La composición de ácidos grasos como el DHA, LA y colesterol incrementó significativamente en plasma. La membrana plasmática y el acrosoma se volvieron más permeables.
Ezazi <i>et al.</i> , 2019	Aceite de girasol	$\omega$ -6	300 mg / kg materia seca	Lana	El volumen de eyaculado, la motilidad individual y la motilidad progresiva incrementaron. La composición de los ácidos grasos en el semen, incrementaron.
Fair <i>et al.</i> , 2014	Aceite de pescado	$\omega$ -3	2%	Lana	La concentración de ácidos grasos como DHA y EPA incrementó en semen. La concentración espermática incrementó y el volumen disminuyó.
Jafaroghli <i>et al.</i> , 2014	Aceite de pescado	$\omega$ -3	2.5%	Lana	El volumen, la motilidad masal, la integridad de la membrana plasmática, el porcentaje de espermatozoides vivos resultaron significativos. El porcentaje total de espermatozoides normales y vivos fueron altamente significativos. Por lo que el porcentaje de inclusión del aceite de pescado es efectivo.
Samadian <i>et al.</i> , 2010	Aceite de pescado	$\omega$ -3	3%	Lana	El conteo de espermatozoides tuvo efecto por el porcentaje de aceite de pescado y la motilidad individual y motilidad progresiva fueron significativas. En la composición de ácidos grasos, solo el DHA incrementó.



### **Conclusiones**

La reproducción del carnero se ve afectada por su estacionalidad, usar ácidos grasos poliinsaturados es una estrategia para contrarrestar los factores que influyen durante los procesos reproductivos. Dependiendo del origen de los aceites que se usen, se aportan ácidos grasos específicos. Si se suplementan aceites vegetales, se obtienen  $\omega$ -6 como el LA en mayor porcentaje, éste al ser precursor del ácido araquidónico se beneficia la síntesis de testosterona por su acción como estimulador en la rápida liberación de LH.

En el caso de los  $\omega$ -3, algunos aceites vegetales pueden aportar ALA, el precursor de otros PUFA o si se brindan aceites de pescado se obtienen ácidos grasos como DHA y EPA, los cuales son importantes en la composición de la membrana plasmática de los espermatozoides, la membrana se beneficia tiene mayor fluidez en los espermatozoides, mejora la integridad de los espermatozoides y su motilidad individual y progresiva.

Esta revisión de literatura resalta las bondades de los PUFA en parámetros reproductivos de carneros cuando son usados como suplemento. Existiendo una diversa gama de aceites que aportan PUFA de la familia de los  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3, siendo una estrategia plausible para mejorar la calidad seminal y el comportamiento sexual del carnero.





## Referencias

- Al-Madhagy, S., Ashmawy, N. S., Mamdouh, A., Eldahshan, O. y Farag, M. (2023). A comprehensive review of the health benefits of flaxseed oil in relation to its chemical composition and comparison with other omega-3 rich oils. *European Journal of Medical Research*, 28 (240): 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01203-6>.
- Díaz, R., Torres, M., Paz, E., Quiñones, J., Bravo, S., Farías, J. y Sepúlveda, N. (2017). Dietary inclusion of fish oil changes the semen lipid composition but not improve the post-thawed semen quality and membrane function of ram spermatozoa. *Animal Reproduction Science*, 183: 132-142. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.05.002>.
- Esmaeili, V., Shahverdi, A. H., Alizadeh, H. A. R., Alipour, H. y Chehrazir, M. (2012). Saturated, omega-6 and omega-3 dietary fatty acid effects on the characteristics of fresh, frozen-thawed semen and blood parameters in rams. *Andrologia*, 46: 42-49. <https://doi.org/10.1111/and.12040>.
- Ezazi, H., Abdi-Benemar, H., Taghizadeh, A., Khalili, B., Seifdavati, J., Jafaroghli, M., Elghandour, M. y Salem, A. (2018). The influence of dietary sunflower oil, rich in n-6 polyunsaturated fatty acids, in combination with vitamin C on ram semen parameters, sperm lipids and fertility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99: 3803-3810. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9602>.
- Fair, S., Doyle, D. N., Diskin, M. G., Hennessy, A. A. y Kenny, D. A. (2013). The effect of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids supplementation of rams on semen quality and subsequent quality of liquid stored semen. *Theriogenology*. 81: 210-219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.09.002>.
- Jafaroghli, M., Abdi-Benemar, H., Zamiri, M.J., Khalili, B., Farshad, A., y Shadparvar, A.A. (2014). Effects of dietary n – 3 fatty acids and vitamin C on semen characteristics, lipid composition of sperm and blood metabolites in fat-tailed Moghani rams. 147 (1–2): 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.03.013>.
- Meza-Villalvazo, V. M. Herrera, J. y Chay, A. J. (2019). Ácidos grasos poliinsaturados: una estrategia para mejorar la calidad ovocitaria y espermática en ovinos de pelo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(2): 75-81. DOI: <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/326>.
- Russo, G. L. (2009). Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated acids: from biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochemical Pharmacology*, 77: 937-946. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2008.10.020>.
- Samadian, F., Towhidi, A., Razayazdi, K. y Bahreini, M. (2010). Effects of dietary n-3 acids on characteristics and lipid composition of ovine sperm. *Animal*, 4(12): 2017-2022. <https://doi.org/10.1017/S1751731110001308>.
- Tun-Moo, M., Ramón-Ugalde, J., Loeza-Concha, H., Rodríguez-Gutiérrez, I., Castellanos-Zacarias, C. y Domínguez-Rebolledo, A. (2022). Inclusión de aceite de soya en la



dieta sobre la criopreservación del semen ovino. *Abanico Veterinario*, 12: 1-15. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2022.23>

Van Tran, L., Ahmad, B., Kumar, S. y Kumar, A. (2016). Polyunsaturated fatty acids in male ruminant reproduction-A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 30(5): 622-637. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.1034>

# Asociación genómica de la fertilidad y las características de calidad del semen de toros

David Urbán Duarte  
Horacio Álvarez Gallardo  
Vicente E. Vega Murillo  
Juan P. Zarate Martínez  
Eliab Estrada Cortés





## Introducción

La mejora de la eficiencia reproductiva es un objetivo importante en la industria bovina especializada tanto para carne como para leche, ya que ésta, afecta considerablemente la rentabilidad de las unidades de producción. Las pérdidas embrionarias afectan sustancialmente a la eficiencia reproductiva. Se estima que las tasas de fertilización se acercan al 90%, mientras que la pérdida embrionaria y fetal se encuentran entre el 40% y el 56% para vacas lecheras. La mayoría de estas pérdidas ocurren durante el período embrionario, que abarca aproximadamente los primeros 45 días de gestación. La muerte embrionaria parece ser mayor dentro de las primeras 3 semanas de gestación y hasta el 24% de estas pérdidas son inherentes al embrión y se producen durante la segunda semana. Estas dependen de factores ambientales y genéticos, los cuales modulan las características de los ovocitos y espermatozoides. Es asumido que el 50% de la fertilidad está asociada a la hembra y el otro 50% al macho. Lo anterior resalta la importancia de analizar las características de los espermatozoides provenientes de los sementales utilizados en los programas de mejoramiento genético. Por lo que, un manejo eficiente de la unidad de producción requiere del uso de semen que cumpla con los estándares de calidad. Existen evaluaciones para determinar la calidad espermática basadas en datos científicos las cuales incluyen la morfología, la motilidad, la vitalidad y la concentración espermática, así como la integridad del acrosoma y del ADN. Sin embargo, estos tienen limitaciones y no se pueden usar de forma aislada como predictores confiables de la fertilidad.

Desde el anuncio del Proyecto sobre el Genoma Humano en 1990, las metodologías para manipular, replicar y determinar la secuencia de bases del ADN se han desarrollado hasta producir equipos automatizados de alto rendimiento para este propósito. Esta situación ha permitido a los científicos generar información sobre el genoma de diversas especies, que puede ser analizado a través de programas computacionales desarrollados para comprender mejor la arquitectura genética de los individuos, así como las vías biológicas involucradas en la expresión de cada rasgo.

Los avances en el estudio del genoma se pueden utilizar en la evaluación de espermatozoides para determinar cómo la arquitectura del ADN presente en los individuos o sus potenciales cambios debido a mutaciones, están asociados con la función de los espermatozoides y consecuentemente, a las características relacionadas a la fertilidad de los machos. Esto es posible gracias a la aplicación de secuenciación de ADN que permite identificar polimorfismos de nucleótidos únicos (SNPs), los cuales se utilizan como marcadores moleculares cuando se dispone de interfaces y herramientas bioinformáticas adecuadas. Dentro de estas herramientas, los estudios de asociación del genoma completo (GWAS) pueden utilizarse para detectar importantes regiones específicas del genoma bovino asociados con rasgos de interés productivo. Por lo que el



objetivo de este capítulo es revisar los avances en la identificación de regiones genómicas específicas asociadas con fenotipos económicamente importantes, como los rasgos de calidad y producción del semen bovino.

### **Asociación genómica para la reproducción del macho**

En machos bovinos se han reportado más de 86 regiones genómicas y locus de rasgo cuantitativo (QTL) a través de prácticamente todos los cromosomas, los cuales han sido asociadas con características reproductivas tales como la edad a la pubertad, astenozoospermia, facilidad del parto de las hijas, circunferencia escrotal, espermatozoides normales, tasa de concepción ligada al semental, fertilidad no-compensatoria (fertilidad después de eliminar la variación que puede compensarse con un aumento en el número de espermatozoides), además del volumen y el peso testicular. Estas asociaciones se han estudiado en diversas razas de ganado, entre las que destacan la Angus, Brahman y Holstein.

A través de un análisis de asociación de SNPs con la fertilidad no-compensatoria de toros Holstein, fue posible identificar 22 regiones del genoma influyentes en este rasgo. Uno de los SNPs más relevantes fue el Hapmap23201-BTC-072836 ubicado en el cromosoma 6 cercano al gen SPP1. Este gen es asociado a la producción de la proteína fosfatasa 1 que tiene participación en la fertilización y sobrevivencia embrionaria temprana. Los SNPs rs29024867 y rs41257187 también han sido asociados con la fertilidad de toros Holstein. El SNP Rs29024867 se encuentra en el gen del colágeno tipo I alfa 2 en el cromosoma 4, mientras que el rs41257187 está en la región codificante del gen de la integrina beta 5 en el cromosoma 1. La disminución de la integrina beta 5 disminuye la habilidad de fertilizar el ovocito, por lo que podría ser utilizada como marcador funcional de la fertilidad del toro.

Otros estudios de asociación han identificado SNPs significativos relacionados con la tasa de concepción del toro en ganado de leche Holstein. Algunos de estos SNPs como el ARS-BFGL-NGS-116417, el ARS-BFGL-NGS-4009, ARS-BFGL-NGS-13853, el ARS-BFGL-NGS-31020, el Hapmap44380-BTA-46707, el ARS-BFGL-NGS-13272 y el Hapmap38225-BTA-43804 se localizan cerca o en medio de genes que cuentan con funciones relacionadas con la fertilidad del macho tales como la reorganización de la cromatina durante la espermatogénesis (gen ZNF541), la meiosis durante la maduración de las células germinales (genes LOC784935, LOC617302 y DYNC112), la capacitación y la reacción del acrosoma (CACNA1H).

La tasa de preñez relacionada al macho en la raza Holstein también ha sido asociada a un SNP (rs29014913), donde el gen candidato SIPA1L2 se encuentra localizado cerca de este SNP. El gen SIPA1L2 codifica una proteína activadora de Rap GTPasa involucrada en la vía de señalización Rap1 la cual desempeña un papel en el proceso de diferenciación de los espermatozoides. Mientras que genes como el



GALNTL6, el HMGB2 y el ADAM29 se han relacionado con la fertilidad. Dichos genes se encuentran en regiones asociadas con la depresión endogámica (pérdida de la variación genética debido al apareamiento entre parientes cercanos), la cual afecta de forma negativa la concentración espermática y la motilidad espermática.

Se cuenta con información limitada respecto a marcadores moleculares en regiones genómicas asociados a características de fertilidad de los toros especializados en ganado de carne. En la raza Angus, se han identificado 40 QTL relacionados con la circunferencia escrotal. Mientras que la raza Brahman, se han encontrado asociaciones significativas de SNPs con la circunferencia escrotal a los 12 meses de edad y el porcentaje de espermatozoides normales a los 24 meses, ubicadas en regiones relacionadas con la edad a la pubertad. Además, estas asociaciones identificaron genes candidatos relacionados con la fertilidad de los toros, como el gen AR que participa en vías de señalización críticas en el desarrollo testicular, espermatogénesis y fertilidad en mamíferos. Otro gen es el SERPINA7, que codifica para la proteína tiroglobulina, la cual se produce en las glándulas tiroideas y participa en el transporte de las hormonas tiroideas en la circulación sanguínea. Debido a ello, este gen se le relaciona con la proporción de espermatozoides normales, debido a la influencia de la hormona tiroidea en la esteroidogénesis y espermatogénesis.

En toros en sistemas de producción tropicales se han asociado los genes SPATA6L y SPATA16 con el porcentaje de espermatozoides normales y la motilidad masal, respectivamente. La familia de genes SPATA son importantes en la fertilidad del macho debido a su participación en la espermatogénesis, maduración espermática y fertilización. También, el grado de inserción de la vaina de los toros se ha asociado al gen HELB, candidato para la regulación inhibina producida por las células de Sertoli y que ha sido propuesto como un importante marcador para el desarrollo sexual del ganado tropical.

### **Asociación genómica para características de calidad del semen**

El semen usado en las unidades de producción debe ser evaluado para tener las mayores posibilidades de éxito reproductivo. Entre los rasgos que se evalúan de forma rutinaria se encuentran el volumen del semen, la concentración espermática, la morfología y la viabilidad y la motilidad de los espermatozoides. Estas evaluaciones ayudan a determinar la calidad del semen, sin embargo, no son suficientemente precisos para predecir con exactitud la fertilidad del toro en el campo. Por lo anterior, la genómica se presenta como una oportunidad estudiar la asociación de marcadores genéticos con las características del semen y su relación con la fertilidad de machos bovinos.

En machos Holstein, se han reportado alrededor de 218 SNPs y 217 genes candidatos través de casi todos los cromosomas, los cuales han sido asociadas con



características de calidad del semen de toros tales como la concentración espermática, la motilidad masal, la motilidad total, la motilidad progresiva, el número de espermatozoides por eyaculado, la concentración espermática (millones por mL) y el volumen del eyaculado (Tabla 1).

La motilidad progresiva ha sido correlacionada con la fertilidad en ganado bovino. El espermatozoides contiene diversas proteínas presentes en la membrana espermática, el flagelo, el citoplasma, el acrosoma y el núcleo que desempeñan funciones clave en la fisiología del espermatozoides. De estas proteínas, algunas participan en la motilidad de los espermatozoides, tanto en la señalización como de forma estructural.

A través de los SNPs asociados a la motilidad de los espermatozoides, se han encontrado genes directamente relacionados como la motilidad espermática. Genes tales como PRMT6, SCAPER, EDC3, DYRK1A y LIN28B han sido relacionados con la motilidad. Estos genes son expresados en los testículos y tienen una influencia en la espermatogénesis. Mutaciones en el gen SCAPER resultaron en azoospermia debido a defectos en las espermatogonias durante el proceso de la espermatogénesis, mientras que el gen CFTR y CATSPER1 se han asociado con la astenozoospermia. Otros genes como el TEC y TXK se encuentran involucradas en la actividad de la tirosina quinasa, la cual tiene una importante participación en la regulación de procesos tales como la maduración en el epidídimo, la motilidad, la capacitación y la reacción del acrosoma de los espermatozoides. También, el gen TRIM36 se transcribe exclusivamente en células germinales testiculares y se expresa en la región acrosomal, lo cual indica su participación en la reacción del acrosoma y la fertilización.

Por otro lado, a través del mapeo de QTL para características seminales de toros Holstein con marcadores microsatélites, se encontraron 11 regiones asociadas a volumen del eyaculado, motilidad, vitalidad y anomalías espermáticas. Las regiones asociadas a la motilidad se encontraron en los cromosomas 7, 11 y 27.

**Tabla 1.** Polimorfismos de nucleótidos únicos (SNPs) significativos, ubicación cromosómica y genes candidatos asociados con características de calidad del semen en toros.

Cromo-soma	Posición	Identificación de SNPs	Fenotipo	Genes candidatos	Raza
8	4.21– 4.66 Mb	52 SNPs	Concentración espermática	GALNTL6, GALNT7, HMGB2, SAP30, SCRG1, HAND2, FBXO8, CEP44, HPGD, GLRA3, ADAM29	Holstein
8	5.02 –6.74 Mb		Concentración espermática		Holstein
3	36.7– 36.9 Mb	71 SNPs	Motilidad progresiva	PRMT6	Holstein
9	42.3 –43.2 Mb		Motilidad progresiva	AFGL1, SNX3, NR2E1, OSTM1, SEC63, SCML4,	Holstein



Capítulo 7. Asociación genómica de la fertilidad y las características de calidad del semen de toros.

9	44.8 –46.3 Mb		Motilidad progresiva	SOBP, PDSS2, BEND3, C9H6orf203, CD24, QRSL1, RTN4IP1, CRYBG1, ATG5, PREP, POPDC3, BVES, LIN28B, HACE1, LOC101902933, TIAM2, TFB1M, CLDN20, NOX3	Holstein
9	92.1– 92.2 Mb		Motilidad progresiva	UBE2Q2, FBXO22, TMEM266, ETFA, ISL2, SCAPER, RCN2, PSTPIP1, TSPAN3, PEAK1, HMG20A, LINGO1, LOC112443149, LOC112443150, ODF3L1, CSPG4, SNX33, IMP3, SNUPN, PTPN9, SIN3A, MAN2C1, NEIL1, COMMD4, LOC101907157, C21H15orf39, PPCDC, SCAMP5, RPP25, COX5A, FAM219B, MPI, SCAMP2, ULK3, CPLX3, LMAN1L, CSK, CYP1A2, CYP1A1, EDC3, CLK3, ARID3B, LOC100138454	Holstein
21	31.6 –31.7 Mb		Motilidad progresiva	ZNF32, ZNF239, TFAM, AGT, COG2	Holstein
28	45649746		Motilidad progresiva	UGP2, VPS54, PELI1	Holstein
11	62497171	rs109345125	Volumen eyaculado del	SP4, DNAH11	Holstein
4	30457993	rs42658121	Volumen eyaculado del	–	Holstein
8	13326953	rs110724711	Volumen eyaculado del	GPAT4, NKX6-3, ENSBTAG00000027629, ENSBTAG00000003275, KAT6A, U6, bta-mir-486	Holstein
4	–	rs109734522	Volumen eyaculado del	–	Holstein
11	62497171	rs109345125	Número de espermatozoides por eyaculado	UGP2, VPS54, PELI1	Holstein
4	30457993	rs42658121	Número de espermatozoides por eyaculado	SP4, DNAH11	Holstein
1	15164443 1	rs41568237	Motilidad masal	DYRK1A, KCNJ6	Holstein
15	64852830	rs109805789	Motilidad masal	U6, HIPK3, KIAA1549L	Holstein
18	23878651	rs109080794	Motilidad masal	IRX6, MMP2, LPCAT2,	Holstein





				SLC6A2, ENSBTAG00000032702, ENSBTAG00000011021, ENSBTAG00000001851, ENSBTAG00000038706, ENSBTAG00000001595, MT2A	
20	45887870	rs110405318	Motilidad masal	–	Holstein
3	11254249 7	rs110742206	Motilidad masal	CSMD2, HMGB4	Holstein
5	11146771 3	–	Motilidad masal	RPL3, SYNGR1, TAB1, MIEF1, ATF4, RPS19BP1, CACNA1I, ENTHD1, MGAT3, ENSBTAG00000044812, SNORD43, ENSBTAG00000042842	Holstein
6	68291351	rs42225290	Motilidad masal	CORIN, NFXL1, CNGA1, NIPAL1, TXK, TEC	Holstein
19	18583031	rs41640016	Motilidad total	RNF135, ADAP2, TEFM, ATAD5, CRLF3, ENSBTAG00000025202, ENSBTAG00000042787, SUZ12, UTP6, SNORA54, U2, SNORA70	Holstein
22	25808620	rs43709733	Motilidad total	–	Holstein
22	37785136	rs29018460	Motilidad total	PSMD6, ATXN7, THOC7, C22H3orf49, SNTN, SYNPR	Holstein
8	18335339	rs42807811	Motilidad total	TUSC1	Holstein
9	56522192	rs42470591	Motilidad total	ENSBTAG00000033083	Holstein
1	8963404	rs41255421	Motilidad progresiva	ADAMTS1	Holstein
1	9,955,276	HAPMAP3888 7-BTA-22281	Motilidad progresiva	APP	Holstein
1	89,358,74 7	rs42359025	Motilidad progresiva	U6	Holstein
1	104,926,5 38	rs42736798	Motilidad progresiva	U6	Holstein
2	32,939,82 4	rs43304396	Motilidad progresiva	FIGN	Holstein
3	55,442,80 1	BTA-07805- NO-RS	Motilidad progresiva	PKN2	Holstein
4	17,109,98 4	rs29026870	Motilidad progresiva	GLCCI1	Holstein
7	73,549,86 5	rs29023533	Motilidad progresiva	ADRA1B	Holstein
8	102,123,1 25	rs43581982	Motilidad progresiva	SNORA71	Holstein
10	96,065,19 1	rs42300887	Motilidad progresiva	7SK	Holstein



Capítulo 7. Asociación genómica de la fertilidad y las características de calidad del semen de toros.

10	98,519,683	rs110137262	Motilidad progresiva	FLRT2	Holstein
11	31,519,537	rs42214341	Motilidad progresiva	FSHR	Holstein
11	36,931,716	rs110931056	Motilidad progresiva	C2orf73	Holstein
11	38,544,853	BTA-93012-NO-RS	Motilidad progresiva	Bta-mir-216b	Holstein
21	29,923,689	rs109658408	Motilidad progresiva	CHRNA7	Holstein
21	31,938,171	rs109762328	Motilidad progresiva	C15orf27	Holstein
21	49,048,548	rs41987007	Motilidad progresiva	CLEC14A	Holstein
24	56,967,385	rs109293969	Motilidad progresiva	WDR7	Holstein
26	21,372,449	Hapmap49238-BTA-60825	Motilidad progresiva	HIF1AN	Holstein
28	26,021,025	HAPMAP47897-BTA-25453	Motilidad progresiva	TSPAN15	Holstein
1	93,892,947	rs29013410	Concentración espermática millones/mL	NLGN1	Holstein
6	105,572,119	HAPMAP23494-BTC-046433	Concentración espermática millones/mL	STK32B	Holstein
23	47,795,608	BTA-121413-NO-RS	Concentración espermática millones/mL	RIOK1	Holstein
24	56,967,385	rs109293969	Concentración espermática millones/mL	WDR7	Holstein
X	30,662,406	HAPMAP44537-BTA-30597	Concentración espermática millones/mL	FMR1	Holstein
X	122,341,165	rs109349108	Concentración espermática millones/mL	MAGEB10	Holstein
X	122,375,570	rs110685046	Concentración espermática millones/mL	HS6ST2	Holstein
X	4,995,135	rs110966399	Volumen del eyaculado	MGC142908	Holstein
X	122,341,165	rs109349108	Volumen del eyaculado	MAGEB10	Holstein
X	122,375,570	rs110685046	Volumen del eyaculado	MAGEB10	Holstein
X	2,108,758	rs29018061	Motilidad masal	KLHL13	Holstein
2	99,881,355	rs110131051	Número de espermatozoides por eyaculado	ERBB4	Holstein



7	77,261,597	ARS-BFGL-NGS-106895	Número de espermatozoides por eyaculado	NUDCD2	Holstein
8	30,596	rs460741022	Número de espermatozoides por eyaculado	HIATL1	Holstein
8	101,446,930	rs43577039	Número de espermatozoides por eyaculado	C8H9orf152	Holstein
8	107,243,184	rs109336730	Número de espermatozoides por eyaculado	PAPPA	Holstein
16	75,262,436	rs111027013	Número de espermatozoides por eyaculado	SYT14	Holstein
X	4,995,135	rs110966399	Número de espermatozoides por eyaculado	MGC142908	Holstein
X	30,662,406	HAPMAP44437-BTA-30597	Número de espermatozoides por eyaculado	FMR1	Holstein
X	66,714,338	rs29010277	Número de espermatozoides por eyaculado	LOC100848828	Holstein
X	122,102,151	rs110419531	Número de espermatozoides por eyaculado	MAGEB10	Holstein
X	122,341,165	rs109349108	Número de espermatozoides por eyaculado	MAGEB10	Holstein
X	122,375,570	rs110685046	Número de espermatozoides por eyaculado	MAGEB10	Holstein
1	1008610	rs41635940	Motilidad progresiva	CRYZL1	Holstein
1	43674721	rs110596818	Motilidad progresiva	LOC785875	Holstein
2	134790382	rs109486217	Motilidad progresiva	ZBTB40	Holstein
2	135680206	rs41618854	Motilidad progresiva	ALPL	Holstein
2	135776020	rs110527332	Motilidad progresiva	ALPL	Holstein
3	103299001	rs110649463	Motilidad progresiva	AGBL4	Holstein
4	53420825	rs43399120	Motilidad progresiva	ST7	Holstein
4	71401611	rs109697710	Motilidad progresiva	HIBADH	Holstein
5	43148473	rs110827324	Motilidad progresiva	PDZRN4	Holstein
5	46707151	rs42601646	Motilidad progresiva	CNOT2	Holstein
5	93798221	rs29011704	Motilidad progresiva	ETNK1	Holstein
6	96023301	rs42801113	Motilidad progresiva	MRPL1	Holstein
7	21586850	rs43509952	Motilidad progresiva	RAPGEF6	Holstein



Capítulo 7. Asociación genómica de la fertilidad y las características de calidad del semen de toros.

8	31194738	rs110670233	Motilidad progresiva	FREM1	Holstein
8	93299392	rs110065449	Motilidad progresiva	GADD45G	Holstein
8	94445313	rs43708772	Motilidad progresiva	SPIN1	Holstein
8	96504586	rs42749302	Motilidad progresiva	GRIN3A	Holstein
10	3459882	rs110083585	Motilidad progresiva	TRIM36	Holstein
10	101153940	rs42048867	Motilidad progresiva	LOC511898	Holstein
11	14543925	rs109677705	Motilidad progresiva	TGFA	Holstein
12	43505391	rs41574912	Motilidad progresiva	KLHL1	Holstein
14	13567900	rs42265807	Motilidad progresiva	FAM84B	Holstein
21	7177723	rs41965546	Motilidad progresiva	FAM169B	Holstein
23	14233003	rs110840260	Motilidad progresiva	LOC100139627	Holstein
24	61591478	rs110876480	Motilidad progresiva	MC4R	Holstein
25	23004098	rs110149073	Motilidad progresiva	PRKCB	Holstein
26	16555868	rs42736384	Motilidad progresiva	CYP2C87	Holstein
26	27856512	rs41636621	Motilidad progresiva	SORCS1	Holstein
26	28806029	rs41616635	Motilidad progresiva	LOC101905219	Holstein
27	25558238	rs110128350	Motilidad progresiva	DLC1	Holstein
27	26841077	rs41646744	Motilidad progresiva	MFHAS1	Holstein
29	44853409	rs109339115	Motilidad progresiva	CDC42BPG	Holstein
29	42323822	rs109416157	Motilidad progresiva	INCENP	Holstein
X	23591084	rs109170505	Motilidad progresiva	OPN1LW	Holstein

Desde el establecimiento de la inseminación artificial como herramienta reproductiva para mejoramiento genético en las unidades de producción bovinas, el semen congelado ha cobrado gran relevancia al ser usado en conjunto con esta técnica. Por este motivo, se han realizado estudios para el entendimiento de la fertilidad de los toros a través del uso de semen congelado. Estos estudios encontraron 49 SNPs y 44 genes candidatos a través de 14 cromosomas, los cuales han sido asociadas con características de calidad del semen de toros post-descongelado, como la vitalidad, la función de las mitocondrias, la motilidad total y la motilidad progresiva (Tabla 2).



**Tabla 2.** Polimorfismos de nucleótidos únicos (SNPs) significativos, ubicación cromosómica y genes candidatos asociados con características de calidad del semen post-descongelado en toros.

Cromosoma	Posición	Identificación de SNPs	Fenotipo	Genes candidatos	Raza
6	18213934	rs41570391	Vitalidad	SEC24B, LOC100297080, COL25A1, LOC100848522,	Holstein
6	18168879	rs109908902	Vitalidad	TRNAS-GGA, ETNPPL, OSTC, RPL34, LEF1, HADH, CYP2U1, SGMS2,	Holstein
6	18723072	rs29011400	Vitalidad	TRNAC-GCA, TRNAG-CCC, PAPSS1,	Holstein
6	18332881	rs42490001	Vitalidad	TRNASTOP-CUA, LOC101904032,	Holstein
6	20507429	rs109246567	Vitalidad	DKK2, GIMD1, AIMP1, TBCK, LOC101904481, NPNT, GSTCD, INTS12, ARHGEF38, PPA2, LOC101905974, TET2	Holstein
12	30967371	rs110481413	Función de mitocondrias	–	Holstein
23	10665897	rs29016513	Función de mitocondrias	–	Holstein
2	47.8–48.4 Mb	26 SNP	Anormalidades de cabeza	ORC4, EPC2, MBD5	Holstein
15	38746059	ARS-BFGL-NGS-29995	Motilidad total	PSMA1	Holstein
21	54879224	HAPMAP51688-BTA-115008	Motilidad total	FSCB, ENSBTAG00000052854	Holstein
4	110457609	BOVINEHD0400031627	Motilidad progresiva	ENSBTAG00000053666	Holstein
7	32855047	BTB-00549286	Motilidad progresiva	SNCAIP	Holstein
14	39616301	ARS-BFGL-NGS-113271	Motilidad progresiva	ENSBTAG00000032944, JPH1	Holstein
17	22820344	rs41833274	Motilidad total	7SK, U6	Holstein
17	4868261	rs109501184	Motilidad total	FHDC1, ARFIP1	Holstein
17	58821993	rs29012166	Motilidad total	U6	Holstein
1	–	BTB-00069838	Motilidad total/progresiva	–	Cruza con Holstein
5	–	BTA-94560-no-rs	Motilidad total/	–	Cruza



			progresiva		con Holstein
7	–	ARS-BFGL-NGS-11368	Motilidad total/ progresiva	–	Cruza con Holstein
7	–	BTA-79723-no-rs	Motilidad total/ progresiva	–	Cruza con Holstein
9	–	BovineHD0900017655	Motilidad total/ progresiva	–	Cruza con Holstein
12	–	BTB-01886351	Motilidad total/ progresiva	–	Cruza con Holstein
5	–	ARS-BFGL-NGS-116417	Motilidad total/ progresiva	LOC784935	Cruza con Holstein
29	–	BTB-01354898	Motilidad total/ progresiva	–	Cruza con Holstein

La motilidad de los espermatozoides post-descongelación se ve afectada por diversos factores, como la edad, la nutrición, y el estado físico de los toros, así como por la época del año, el método de recolección y el proceso de criopreservación. Debido a esto, la identificación de genes candidatos asociados a la motilidad resulta difícil. Genes como el FSCB, SGMS2 y el JPH1 participan en la estructura de la membrana plasmática y la señalización a través del calcio, importantes factores en la motilidad y capacitación espermática. Mientras que otros genes como el LOC784935 estarían participando en funciones clave en la espermatogénesis.

La identificación de variantes genéticas específicas, como una variante en el gen WDR19, ha demostrado estar asociada con la calidad del semen y la fertilidad en toros Suizo Pardo. Esta variante activa un sitio de empalme críptico que reduce la expresión de la proteína WDR19, afectando negativamente la motilidad de los espermatozoides y la fertilidad.

### Conclusiones

La genómica, a través de los marcadores moleculares ha permitido la identificación de regiones genómicas relacionadas con la reproducción y las características seminales de toros. Estos resultados contribuyen a la identificación de genes y vías asociadas a la fertilidad de los machos bovinos. El uso de esta información podría permitir utilizar sementales con mayor fertilidad y mejorar la eficiencia reproductiva del ganado, con los consiguientes beneficios económicos, a través de la selección asistida por marcadores para la fertilidad de toros en las unidades de producción.



---

La selección genómica ha ayudado a la identificación más temprana y precisa de toros para mejorar los rasgos relacionados con la producción de ganado bovino. Sin embargo, pocos son los estudios enfocados en la identificación del potencial genético relacionado con la fertilidad en estos animales. Además, en su mayoría, los estudios se han realizado en ganado de la raza Holstein.

La investigación sobre la asociación genómica de la fertilidad y las características de calidad del semen en toros ha avanzado significativamente. La identificación de SNPs, ha proporcionado valiosas herramientas para mejorar la selección de toros con alta fertilidad. Estos avances no solo mejoran la eficiencia de los programas de inseminación artificial, sino que también contribuyen a la sostenibilidad de la industria ganadera.



## Referencias

- Abril-Parreño, L., Carthy, T. R., Keogh, K., Štiavnická, M., O'Meara, C., Lonergan, P., Kenny, D. A., Fair, S. (2023). Genome-wide association study reveals candidate markers related to field fertility and semen quality traits in Holstein-Friesian bulls. *Animal*. 17(6):100841. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100841>.
- Berg, D. K., Van Leeuwen, J., Beaumont, S., Berg, M., Pfeffer, P. L. (2010). Embryo loss in cattle between Days 7 and 16 of pregnancy. *Theriogenology*. 73(2):250-260. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.09.005>.
- Blaschek, M., Kaya, A., Zwald, N., Memili, E., Kirkpatrick, B.W. (2011). A whole-genome association analysis of noncompensatory fertility in Holstein bulls. *Journal of Dairy Science*. 94:4695–9. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3728>.
- Carrell, D.T. (2008). Contributions of spermatozoa to embryogenesis: assays to evaluate their genetic and epigenetic fitness. *Reproductive BioMedicine Online*. 16:474-484. [https://doi.org/10.1016/S1472-6483\(10\)60454-3](https://doi.org/10.1016/S1472-6483(10)60454-3).
- Dementieva, N. V., Dysin, A. P., Shcherbakov, Y. S., Nikitkina, E. V., Musidray, A. A., Petrova, A. V., Mitrofanova, O. V., Plemiyashov, K. V., Azovtseva, A. I., Griffin, D. K., Romanov, M. N. (2024). Risk of sperm disorders and impaired fertility in frozen–thawed bull semen: a genome-wide association study. *Animals*. 14(2): 251. <https://doi.org/10.3390/ani14020251>.
- Druet, T., Fritz, S., Sellem, E., Basso, B., Gérard, O., Salas-Cortes, L., Humblot, P., Druart, X., Eggen, A. (2009). Estimation of genetic parameters and genome scan for 15 semen characteristics traits of Holstein bulls. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 126(4): 269-277. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2008.00788.x>.
- Feugang, J. M., Kaya, A., Page, G. P., Chen, L., Mehta, T., Hirani, K., Nazareth, L., Topper, E., Gibbs, R., Memili, E. (2009). Two-stage genome-wide association study identifies integrin beta 5 as having potential role in bull fertility. *BMC Genomics*. 10:1-10. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-176>.
- Fortes, M. R. S., Reverter, A., Hawken, R.J., Bolormaa, S., Lehnert, S.A. (2012). Candidate genes associated with testicular development, sperm quality, and hormone levels of inhibin, luteinizing hormone, and insulinlike growth factor 1 in Brahman bulls. *Biology of Reproduction*. 87:51–8. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.112.101089>.
- Ghoreishifar, M., Vahedi, S. M., Salek Ardestani, S., Khansefid, M., Pryce, J. E. (2023). Genome-wide assessment and mapping of inbreeding depression identifies candidate genes associated with semen traits in Holstein bulls. *BMC Genomics*. 24(1): 230. <https://doi.org/10.1186/s12864-023-09298-1>.
- Han, Y., Peñagaricano, F. (2016). Unravelling the genomic architecture of bull fertility in Holstein cattle. *BMC Genetics*. 17(1):1-11. <https://doi.org/10.1186/s12863-016->





0454-6.

- Hering, D. M., Olenski, K., Kaminski, S. (2014). Genome-wide association study for poor sperm motility in Holstein-Friesian bulls. *Animal Reproduction Science*. 146(3-4):89-97. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.01.012>.
- Hiltpold, M., Niu, G., Kadri, N., Crysnanto, D., Fang, Z., Spengeler, M., Schmitz-Hsu, F., Fuerst, C., Schwarzenbacher, H., Seefried, F., Seehusen, F., Witschi, U., Schnieke, A., Fries, R., Bollwein, H., Flisikowski, K., Pausch, H. (2020). Activation of cryptic splicing in bovine WDR19 is associated with reduced semen quality and male fertility. *PLoS Genetics*. 16(5):e1008804. <https://doi.org/10.1101/2020.01.16.907865>.
- Kamiński, S., Hering, D. M., Oleński, K., Lecewicz, M., Kordan, W. (2016). Genome-wide association study for sperm membrane integrity in frozen-thawed semen of Holstein-Friesian bulls. *Animal Reproduction Science*. 170:135-140. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.05.002>.
- McClure, M.C., Morsci, N.S., Schnabel, R.D., Kim, J.W., Yao, P., Rolf, M.M., McKay, S. D., Gregg, S. J., Chapple, R. H., Northcutt, S. L., Taylor, J. F. (2010). A genome scan for quantitative trait loci influencing carcass, post-natal growth and reproductive traits in commercial Angus cattle. *Animal Genetics*. 41(6):597-607. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02063.x>.
- Morado, S. A., Pereyra, V., Breining, E., Sara, R., Cetica, P. D. (2015). Study of sperm evaluation parameters to estimate cryopreserved bovine semen fertility. *Austin Journal of Veterinary Science & Animal Husbandry*. 2(1):1005-1008.
- Özbek, M., Hitit, M., Kaya, A., Jousan, F. D., Memili, E. (2021). Sperm functional genome associated with bull fertility. *Frontiers in Veterinary Science*. 8:610888. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.610888>.
- Peñagaricano, F., Weigel, K. A., Khatib, H. (2012). Genome-wide association study identifies candidate markers for bull fertility in Holstein dairy cattle. *Animal Genetics*. 43:65-71. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02350.x>.
- Porto-Neto, L. R., Alexandre, P. A., Hudson, N. J., Bertram, J., McWilliam, S. M., Tan, A. W., Fortes, M. R., McGowan, M. R., Hayes, B. J., Reverter, A. (2023). Multi-breed genomic predictions and functional variants for fertility of tropical bulls. *PloS ONE*. 18(1):e0279398. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279398>.
- Rodríguez-Martínez, H. (2013). Semen evaluation techniques and their relationship with fertility. *Animal Reproduction*. 10(3):148-159.
- Rohrer, G. A. (2003). An overview of genomics research and its impact on livestock reproduction. *Reproduction, Fertility and Development*. 16(2):47-54. <https://doi.org/10.1071/RD03077>.
- Rosete Fernández, J. V., Álvarez Gallardo, H., Urbán Duarte, D., Fragoso Islas, A., Asprón Pelayo, M. A., Ríos Utrera, Á., Pérez Reynoso, S., Torre Sánchez, J. F. D.



- L. (2021). Biotecnologías reproductivas en el ganado bovino: cinco décadas de investigación en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 12:39-78. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5918>.
- Suchocki, T., Szyda, J. (2015). Genome-wide association study for semen production traits in Holstein-Friesian bulls. *Journal of Dairy Science*. 98(8):5774-5780. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8951>.
- Sweatt, H., Fonseca, P. A. S., Suárez-Vega, A., Livernois, A., Miglior, F., Cánovas, A. (2020). Genome-wide association study to identify genomic regions and positional candidate genes associated with male fertility in beef cattle. *Scientific Reports*. 10:20102. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75758-3>.

# Producción láctea en conejas: aspectos relevantes para la cunicultura

Jaqueline Miranda García  
Luis Eliezer Cruz Bacab





### **Introducción**

La cunicultura es el proceso de cría, engorda y reproducción del conejo, en forma económica para obtener el máximo beneficio en la venta de sus productos y subproductos. Actualmente los conejos se utilizan con fines zootécnicos como la producción de carne, piel, pelo y como mascotas. Históricamente la cunicultura ha sido destacada por la posibilidad de ser desarrollada en superficies pequeñas, por lo que se ha considerado como una actividad complementaria de otras producciones, o como producción familiar para el autoconsumo. Dentro de las finalidades zootécnicas de la actividad cunícola, la producción de carne sigue siendo la de mayor importancia y esto va en relación con sus características nutricionales organolépticas que han sido ampliamente estudiadas y destacadas por la capacidad de actuar en beneficio directo de la salud de los consumidores. Por su naturaleza herbívora los conejos pueden ser producidos en cualquier zona agroecológica del planeta, siendo de gran relevancia las zonas tropicales por la amplia diversidad de recursos para la alimentación de estos animales. En las zonas tropicales se ha buscado ampliamente mediante estudios científicos la identificación de recursos que permitan el adecuado crecimiento de los gazapos a través de recursos locales, así como la mejora continua de la calidad y valor nutricional de la carne. No obstante, la etapa de lactación, en la coneja y sus crías, en las zonas tropicales ha sido poco estudiada. Los conocimientos sobre factores genéticos y ambientales que inciden en la producción de leche de la coneja y su efecto en la supervivencia y crecimiento de la camada son de gran importancia para el desarrollo de la cunicultura en zonas como las regiones tropicales de México y el mundo.

### **Producción de leche en las conejas**

La lactación es una etapa fisiológica que representa una gran demanda nutricionalmente hablando para la coneja. El proceso de la lactación exige a la hembra dirigir grandes cantidades de nutrientes específicamente energía y proteína hacia la producción de la leche que sus crías requieren para un adecuado crecimiento y un destete con peso óptimo para la siguiente etapa de producción. La lactación incide directamente sobre la curva de crecimiento de las crías, debido a que durante los primeros 20 días de edad los gazapos no consumen ningún otro tipo de alimento, por lo que la producción láctea de la madre representa el factor más importante del peso al destete y posterior desempeño del gazapo en la etapa de crecimiento y engorda.

El potencial de producción de leche en la coneja está relacionado con diversos factores como son la genética, calidad y cantidad del alimento que recibe, días postparto, tamaño de la camada, intervalo entre partos y el número de partos. Por otra parte, la lactación tiene gran influencia sobre aspectos como la movilización de reservas corporales de la hembra y el tiempo que transcurrirá hasta la siguiente monta efectiva y



la gestación correspondiente. En conejas de razas especializadas en la producción carne bajo condiciones adecuadas esta etapa ha sido estudiada y delimitada a pautas de manejo precisas y estandarizadas. Sin embargo, la producción de carne de conejo en zonas como los trópicos donde la utilización de razas especializadas es nula dichas pautas no pueden ser extrapoladas de forma directa. El estudio de la lactación bajo condiciones tropicales en conejas mestizas es de gran relevancia para el desarrollo de la cunicultura en estas zonas.

### **Etología de la lactación**

Al igual que otras especies de lagomorfos, los conejos han desarrollado una conducta de amamantamiento con duración breve en una o dos ocasiones por día, lo cual difiere ampliamente en comparación con otras especies de mamíferos. La coneja tiende a realizar un amamantamiento diario de unos 3 a 4 minutos de duración, a pesar que la mayoría de las hembras tienen un ciclo de 24 horas entre dos lactaciones, hay algunas que tienden hacer más de una lactación al día, sin que esto derive en una mayor producción de leche o en un mayor crecimiento de los gazapos. Las conejas han desarrollado una conducta de amamantamiento basada en procesos endocrinos, emiten una feromona conocida como “feromona de búsqueda del pezón” la cual está presente durante la lactación” en el vientre de la hembra. Por otra parte se ha descrito un compuesto volátil en la leche de la coneja que ha sido llamado “compuesto 2-metil-2 butenal” que activa en los recién nacidos la conducta del amamantamiento pero no se ha logrado identificar si corresponde a la “feromona de búsqueda del pezón”. Por lo anterior los gazapos son dependientes del estímulo de la feromona para amamantarse de forma adecuada, de lo contrario serán incapaces de nutrirse y podrían sufrir inanición.

Algunos estudios señalan que esta comunicación endocrina entre la coneja y sus crías tiene efectos directos en el amamantamiento y la sobrevivencia de la camada, debido a que desde el ambiente uterino los gazapos están “expuestos a rastros químicos” de la dieta materna, los cuales posteriormente influirán en la capacidad y preferencia de consumo durante y después del amamantamiento.

### **Efectos genéticos y fisiológicos sobre la lactación**

#### Razas y sus cruzamientos

En cuanto a los aspectos genéticos, se ha estimado que existen diferencias en producción de leche entre razas puras y sus cruza, además de que el índice de heredabilidad para la producción de leche en Nueva Zelanda Blanco, California y sus cruza reciprocas es de 0.12%, sin embargo, este tipo de información no ha sido estudiadas en conejas mestizas. En algunos estudios se ha determinado que los efectos de heterosis, aditivos maternos, aditivos directos no son estadísticamente significativos



para la producción de leche en conejas Nueva Zelanda Blanco, Californianas y sus cruza recíprocas. No obstante, en conejas mestizas es una oportunidad para incrementar la productividad, debido a que pueden implementarse diferentes esquemas de cruzamientos entre razas. Además, la variabilidad genética existente entre razas y cruza de conejos para la producción de leche podría ser importante para maximizar el retorno económico en las granjas comerciales, al obtener pie de cría para la producción comercial utilizando hembras cruzadas y aprovechar la posible heterosis materna para la producción de leche.

### **Efectos anatómicos – fisiológicos**

#### Número de pezones

Como parte de los aspectos genéticos, la conformación mamaria, en específico el número de pezones que presenta la hembra, se ha determinado que guarda relación con el nivel de producción de leche que alcanzará la coneja; se ha reportado que el número de pezones parece ser importante cuando el tamaño de camada rebasa el número de pezones disponibles por coneja, afectando la supervivencia de las crías durante la primera semana de lactación. Sin embargo, la información respecto a la influencia del número de pezones es contradictoria, pues algunos autores reportan que conejas con 10 pezones producirán 10 % más leche que conejas con 8 pezones, mientras que otros señalan que hembras de 8 pezones tuvieron una producción de leche 10 % superior que aquellas con 9 y 10 pezones. En otros estudios se determinó que, en conejas de 9, 10, 8 y 6 pezones fue de 127, 124 y 93 g respectivamente, finalmente otras investigaciones señalan que en hembras con 8, 9 y 10 pezones las producciones medias fueron de 78, 79 y 81 g sin diferencias estadísticas, por lo cual este rasgo del número de pezones podría considerarse irrelevante para la producción láctea de la coneja. No obstante, se considera que un mayor número de pezones disponibles en la anatomía de la hembra favorecerá la viabilidad y sobrevivencia de los gazapos, disminuyendo las posibilidades de morir por inanición.

#### Tamaño de camada

En cuanto al tamaño de camada como factor que afecta a la producción de leche, se ha demostrado que a medida que el tamaño de camada es mayor la producción láctea incrementa, de modo que una diferencia de cuatro gazapos en el tamaño de camada incrementa 5.5% de la producción láctea, por otra parte en camadas de 7 y 12 gazapos se ha reportado producción máxima de leche de 112 g/día y 219.6 g/día respectivamente. Algunos estudios han determinado mediante regresión lineal que a medida que se incrementa el número de gazapos de la camada la producción de leche incrementa



proporcionalmente, señalando que el pico de lactación alcanza una producción de 112 g/día con un tamaño de camada de 7 gazapos. Por otra parte, camadas con menos de 7 gazapos no afectan la producción por lo que se considera que la relación entre la producción de leche y el tamaño de la camada tiene una asociación positiva solo cuando se trata de camadas de gran tamaño; por lo anterior se ha reportado que la producción de leche alcanza su máxima producción (219.6 g) con 12 gazapos/camada y su pico de producción se alcanza al tercer parto y disminuye a partir del quinto parto.

### Estado fisiológico

Por otra parte la producción de leche se verá afectada por el estado fisiológico de la coneja, es decir, que la producción de leche estará determinada, durante el periodo de lactación, si la coneja está o no está gestante. Las conejas gestantes-lactantes produjeron 7.8 % menos leche que las conejas lactantes-vacías, mientras que otros estudios señalan que en el caso de las conejas lactantes - vacías producen un 17.8% más leche en comparación conejas lactantes – gestantes. En este sentido se ha demostrado que la producción de leche en conejas de aptitud cárnica en condiciones de lactación – gestación es de 130 g/día, mientras que en condición de lactante y no gestante es de 141 g/día.

### **Efectos medio ambientales sobre la lactación**

Los efectos del medio ambiente sobre la fisiología reproductiva de las conejas son bien conocidos, especialmente la temperatura ambiental influye directamente sobre la producción láctea de la coneja, se ha reportado que por cada grado de temperatura por encima de los 20 °C la producción láctea disminuirá 7.7 g/día, lo cual es particularmente importante para las zonas tropicales, dado que la temperatura media anual es superior a 20°C y con épocas de temperaturas extremas por encima de los 40°C. Este efecto está íntimamente relacionado con el hecho de que a mayores temperaturas por encima de la zona de termoneutralidad para la especie, el consumo de alimento disminuye proporcionalmente, por lo cual la lactogénesis puede verse limitada.

En diversos estudios se ha reportado que de acuerdo con la época de parto la producción de leche puede modificarse, por ejemplo en los meses de marzo a agosto incrementó la producción de leche hasta 14 % en comparación con los meses de enero a febrero, considerando que en la zona donde el estudio fue realizado las temperaturas ambientales descienden considerablemente; a pesar de que no existen datos que evalúen la producción láctea con respecto a las altas temperaturas del clima tropical, el efecto negativo sobre el consumo de alimento influye directamente sobre la producción de leche, considerando que la temperatura ambiental óptima para los conejos es entre 18 y 22 °C, se ha determinado que temperaturas entre 27 y 31°C disminuyen la producción de leche de la coneja aproximadamente en 10%; en zonas tropicales como el



sureste mexicano donde las temperaturas ambientales pueden superiores a los 35°C no ha sido determinado con precisión el efecto negativo sobre la producción láctea.

### **Efectos de la lactación sobre la condición corporal**

Durante la lactación se ha determinado que las conejas pierden aproximadamente 40 % de sus reservas corporales grasas y 25 – 30 % de la energía contenida en el cuerpo, adicionalmente pierden importantes cantidades de nitrógeno y minerales afectando sensiblemente el consumo de alimento y en consecuencia se establece un déficit nutricional que provoca un efecto negativo sobre la eficiencia reproductiva de la coneja, no obstante estas determinaciones se han realizado principalmente en conejas de razas cárnicas y bajo condiciones controladas de laboratorio, es importante considerar que estos estudios no han sido desarrollados en conejas mestizas las cuales pueden estar adaptadas a condiciones medio ambientales adversas como las del clima tropical. En este sentido la utilización de métodos sencillos y de fácil aplicación como el índice de masa corporal propuesto por Sweet podrían permitir la valoración de las variaciones en las reservas corporales durante la lactación en diferentes condiciones medio ambientales y con animales mestizos o de cruces raciales específicos. Finalmente es importante señalar que la madurez de la hembra juega un papel importante durante la lactación sobre la movilización de reservas y modificaciones sobre la condición corporal, ya que animales jóvenes deben distribuir los nutrientes consumidos entre su desarrollo corporal y el de la camada en gestación, por lo cual en hembras que se gestan jóvenes es común observar que no alcancen posteriormente la talla y peso adulto para la raza.

### **Características de la leche de coneja**

La leche de la coneja se ha reportado con características sobresalientes respecto a su composición nutricional en comparación con otras especies productivas (Tabla 1). Así mismo se ha establecido que además de su alto valor proteíco, graso y mineral, su valor energético alcanza hasta 2.2 Kcal/kg de leche producida.

**Tabla 1.** Comparación de la leche fresca de coneja con respecto a otras especies productivas.

Especie	% en la leche fresca de coneja				
	Materia Seca	Proteína bruta	Grasa	Lactosa	Minerales
Conejas de razas grandes	33.05	13.20	15.15	3.1	1.60
Conejas de razas medianas	28.40	14.00	11.20	0.9	2.40
Vaca	13.00	3.30	3.70	5.0	0.95
Cabra	13.20	2.90	4.50	4.1	0.80
Oveja	19.30	5.5	7.40	4.8	1.00





Se ha demostrado que durante la lactación, la concentración de proteína, los sólidos no grasos, lactosa y caseína son significativamente más altos a partir del día 9 del parto; mientras que el conteo de células somáticas se incrementa al doble del día 14 al 21 de la lactancia. En cuanto al contenido de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) representan alrededor del 13% del total en la leche de la coneja, siendo el ácido oleico el más representativo; mientras que los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) el 9 % representados por el ácido linoleico y los ácidos grasos saturados (SFA) el 75 % representados por los ácidos caprílico, capríco y palmítico en mayor concentración. Por sus funciones a nivel celular y metabólico, la concentración y proporciones de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados en la leche de la coneja resultan de gran importancia para el desarrollo y la salud de los gazapos, que posteriormente se refleja en sus tasas de crecimiento y ganancia de peso.

### **Conclusiones**

El estudio de la producción láctea en conejas representa un aspecto relevante para promover la producción de carne de conejo en zonas con alto potencial de producción como son las zonas tropicales. Así mismo el estudio de este proceso fisiológico en conejas mestizas aporta información de gran valor, dado que este genotipo predomina en los sistemas de producción a pequeña escala.



## Referencias

- Arenas, J. M. C. y Peris, B. (2005). La glándula mamaria cunícola aspectos histofisiológicos y productivos. *Boletín de cunicultura lagomorpha*, (142), 6-16.
- Coureaud, G., Schaal, B., Coudert, P., Hudson, R., Rideaud, P. y Orgeur, P. (2000). Mimicking natural nursing conditions promotes early pup survival in domestic rabbits. *Ethology* 106, 207–225. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2000.00521.x>
- Coureaud, G., Schaal, B., Hudson, R., Orgeur, P. y Coudert, P. (2002). Transnatal olfactory continuity in the rabbit: behavioral evidence and short-term consequences of its disruption. *Developmental Psychobiology*. 40, 372–390. <https://doi.org/10.1002/dev.10038>
- Casado, C., Piquer, O., Cervera, C. & Pascual, J. J. (2005). A mathematical model for the lactation curve of the rabbit does. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, September 7-10, 2004, Pueblo, Mexico, 2005, 778-784 ref. 10*
- D'Amico Tavoloni, J. I. (2006). Estudio de la producción de leche en la coneja. [Tesis de Máster en ingeniería Agronómica Universidad Miguel Hernández] Repositorio Institucional <http://dspace.umh.es/handle/11000/2558>
- Gómez-Ramos, B., Becerril-Pérez, C. M., Torres-Hernández, G., Ortiz-Rodríguez, R., Pró-Martínez, A., y Herrera-Camacho, J. (2008). Efectos ambientales, genéticos directos, maternos y de heterosis en la producción de leche de conejas Nueva Zelanda Blanco, Californiana y sus cruzas recíprocas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8(3), 303-312.
- Gómez-Ramos, B., Ortiz-Rodríguez, R., Becerril-Pérez, C. M., Román-Bravo, R. M., & Camacho, J. H. (2011). Caracterización de la producción de leche de la coneja con énfasis en la supervivencia y crecimiento de la camada en razas nueva Zelanda blanco y California. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(1), 15-33.
- González-Mariscal, G., Poindron, P. (2002). Parental care in mammals: immediate, internal and sensory factors of control. In: Pfaff, D., Arnold, A., Etgen, A., Fahrbach, S., Rubin, R. (Eds.), *Hormones, Brain, and Behavior*. Academic Press, San Diego, pp. 215–298
- González-Mariscal, G., Mc Nitt, J.I., Lukefahr, S.D. (2007). Maternal care of rabbits in the lab and on the farm: endocrine regulation of behavior and productivity. *Hormones and Behavior*. 52, 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.03.028>
- González-Mariscal, G., Dalmán, C. G., & Jiménez, A. (2015). Biostimulation and nursing modify mating-induced c-FOS immunoreactivity in the female rabbit forebrain. *Brain Research*, 1608, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.02.033>
- González-Mariscal, G., Caba, M., Martínez-Gómez, M., Bautista, A., Hudson, R. (2016). Mothers and offspring: the rabbit as a model system in the study of mammalian maternal behavior and sibling interactions. *Hormones and behavior*, 77, 30-41.



- <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2015.05.011>
- Hudson, R., Schaal, B., Martínez-Gómez, M., Distel, H., (2000). Mother–young relations in the European rabbit: physiological and behavioral locks and keys. *World Rabbit Sci.* 8, 85–90. <https://doi.org/10.4995/wrs.2000.424>
- Ludwiczak, A., Składanowska-Baryza, J.; Kuczyn´ ska, B.; Sell-Kubiak, E.; Stanisiz, M.; Skrzypczak, E. (2023) Unveiling the attributes of rabbit milk. *Animal The international journal of animal biosciences* 17 (6), 100848. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100848>
- Matics, Zs., Szendrő Zs., Bessei, W., Radnai, I., Biró-Németh, E., Orova, Z. and Gyovai, M. (2004). The free choice of rabbits among identically and differently sized cages. In: Proc. 8th Congress of the World Rabbit Science Association, Puebla, Mexico, 7–10 Sept. 2004. p. 1251–1256.
- Olazábal, D., Pereira, M., Agrati, D., Ferreira, A., Fleming, A.S., González-Mariscal, G., Lévy, F., Lucion, A.B., Morrell, J.I., Numan, M., Uriarte, N. (2013). Flexibility and adaptation of the neural substrate that supports maternal behavior in mammals. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews.* 37, 1875–1892. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.04.004>.
- Pérez Hernández, F. E. (2023). Consumo de la carne de conejo en el Estado de Morelos [Tesis de licenciatura Universidad Autónoma del Estado de Morelos] Repositorio Institucional <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/3254>
- Rebollar, P. G., Burgos, I., & Lorenzo, P. L. (2005). Efecto de diferentes métodos de sincronización de celo sobre las curvas de lactación en conejas multíparas. Proc. XI Jornadas sobre Producción Animal. Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, ITEA Vol. Extra, (826), 434-436.
- Rödel, H.G., Dausmann, K.H., Starkloff, A., Schubert, M., von Holst, D., Hudson, R. (2012). Diurnal nursing pattern of wild-type European rabbits under natural breeding conditions. *Mammalian Biology.* 77, 441–446. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2012.04.002>
- Rommers, J. M., Kemp, B., Meijerhof, R., & Noordhuizen, J. P. T. M. (1999). Rearing management of rabbit does: a review. *World Rabbit Science*, 7(3). <https://doi.org/10.4995/wrs.1999.390>
- Schaal, B., Coureaud, G., Langlois, D., Giniès, C., Sémon, E., Perrier, G., (2003). Chemical and behavioural characterization of the rabbit mammary pheromone. *Nature* 424, 68–72. <https://doi.org/10.1038/nature01739>



# Harina de pluma hidrolizada para alimentar bovinos en México

Ángel Mieles Solorzano  
Gerardo Antonio Pámanes Carrasco  
Damián Reyes Jaquéz  
Elia Araiza Rosales  
Esperanza Herrera Torres  
Manuel Murillo Ortiz





## **Introducción**

La ganadería es una actividad económica que se encuentra en constante crecimiento debido al crecimiento de la población y como consecuencia existe una tendencia al incremento en los precios de los insumos requeridos en la alimentación animal. Como es conocido el 70% del costo de producción se atribuye a la alimentación del ganado, por lo que en la actualidad es un reto disminuir estos costos. Por eso se han intentado en diferentes investigaciones incluir concentrados proteicos de bajo costo e incluso la creación de nuevos alimentos a base de residuos agroindustriales, con el objetivo de aprovechar estos desechos. Una alternativa es el uso de los residuos de la industria avícola, como lo son las plumas de pollo. Sin embargo, las plumas presentan un problema debido a su alto contenido de queratina, la cual no permite que los nutrientes estén biodisponibles para los animales. No obstante, las plumas pueden ser hidrolizadas a través de diferentes tratamientos para eventualmente incluirlas en la alimentación animal. En este sentido, la complementación de la ración o de dietas para bovinos con harina de plumas de aves hidrolizadas, principalmente pollo, se ha convertido en una alternativa sostenible para ofrecer proteína de buena calidad y a bajos costos.

## **Situación actual de la ganadería en México**

La ganadería es una actividad que el ser humano ha realizado durante milenios tras la domesticación de animales. No obstante, a medida que ha pasado el tiempo, la demanda de esta actividad ha crecido notablemente debido al aumento de la población. Hoy en día, la ganadería genera diversos impactos negativos en el medio ambiente, contribuyendo al deterioro de la calidad del agua, del suelo y del aire. La cría de ganado en México asciende a más de 36 millones de cabezas, desarrolladas bajo diversos sistemas, de los cuales más del 76 % son criados en sistemas extensivos o bajo pastoreo, mientras que en el sistema intensivo se crían cerca de 7.8 millones de cabezas de bovinos, lo que representa el 24 %. Sin embargo, las sequías prolongadas de los últimos años han causado deterioro severo en los pastizales. Esto ha llevado a una disminución en la disponibilidad y calidad del forraje, obligando a los ganaderos a complementar la dieta de sus animales con concentrados proteicos y energéticos para mejorar las ganancias diarias de peso. Como resultado, la demanda de estos concentrados ha aumentado considerablemente, lo que genera una amplia oferta de productos con una variada gama de costos y utilizando diversos ingredientes en su elaboración.

Por otro lado, para el año 2023, la producción anual de carne en México, que incluye bovino, ovino y caprino, ha aumentado hasta alcanzar los 3.9 millones de toneladas al año, un 40 % más que en el año 2000. En el caso específico del bovino, el país produce anualmente más de 1.7 millones de toneladas de carne, de las cuales aproximadamente el 85 % se exporta a Estados Unidos.



De acuerdo con la FAO, para el año 2030 la producción mundial de carne y leche se incrementará 19 % y 33 %, respectivamente, en comparación con los niveles de 2017. Países como Brasil, China y Estados Unidos seguirán liderando el mercado en la producción de carne, pero se anticipa que los países en desarrollo como India, Argentina, México y Pakistán contribuyan con el 77 % del aumento previsto para 2030. Para este mismo año, la producción mundial de carne será de 366 millones de toneladas, y se espera un incremento del 78 % en el mercado de carne y mariscos para el año 2050. Esto implica que países como México deberán aumentar la producción ganadera para satisfacer la creciente demanda global a partir de 2030.

### **Producción de alimentos para consumo animal en México**

En México, el sector agropecuario abarca una extensión de 109.8 millones de hectáreas, lo que representa más del 55.9 % del territorio nacional. Solo en 2019, se cosecharon alrededor de 5.6 millones de hectáreas de forraje destinado a la alimentación del ganado, de un total de 19.3 millones. Estos datos sugieren que aproximadamente el 30 % de la superficie apta para cultivos se destina a la siembra de forrajes y cereales para la alimentación animal. De acuerdo con algunos informes recientes sobre cultivos forrajeros, los pastos, praderas, alfalfa y maíz forrajero representaron el 80 % de un conjunto de cultivos que sumaron 110.7 millones de toneladas en 2019. Debido a esto, la producción de alimentos y forrajes es un sector importante de la agricultura y la producción animal en el país, ya sea para animales en sistemas intensivos o extensivos. México cuenta con una amplia variedad de cultivos utilizados para este fin, como lo son algunos cultivos comerciales, incluidos maíz, sorgo, avena, pastos tropicales y leguminosas forrajeras.

Una dieta elaborada para el consumo animal debe de estar balanceada y contener los mínimos requerimientos que permitan optimizar una ganancia de peso o una producción de leche. A este respecto, hay literatura como la NRC (2000), en la cual se especifican los requerimientos mínimos nutricionales de los bovinos en sus diferentes etapas productivas y que varía dependiendo del propósito final que tenga el animal. Por lo tanto, además del forraje, la dieta animal también utiliza alimentos concentrados, especialmente cuando la fracción forrajera es limitada en algunos nutrientes. Estos alimentos pueden ser el maíz, sorgo, cebada, además de algunos subproductos agroindustriales como el salvado trigo, pulpas y cascadas de cítricos, melaza, entre otros. Estos ingredientes le proporcionan al animal energía y proteínas, principalmente, que le permiten cumplir con sus necesidades fisiológicas de manera eficiente.

### **Desafíos en la producción ganadera y el uso de suplementos**

La producción ganadera y alimentaria en México enfrenta desafíos similares a los del sector agrícola, tales como la variabilidad climática, la disponibilidad de agua, la calidad del suelo y la competencia por el uso de la tierra. Como resultado, se prevé que las



condiciones del suelo afecten negativamente la producción ganadera, especialmente en sistemas extensivos. Esta problemática ha llevado a pequeños y medianos productores a complementar la alimentación de sus animales con suplementos proteicos y energéticos, lo cual impacta considerablemente los costos de producción, pudiendo incrementarse entre el 50 % y el 80 % del costo total. Además, los suplementos de alta calidad, formulados para satisfacer las necesidades nutricionales del ganado en las diferentes etapas fisiológicas, tienden a ser más costosos.

La complementación animal o uso de suplementos alimenticios le proporciona al animal aquellos nutrientes que no pueden obtener de su principal fuente de alimentos: el forraje; la complementación elimina deficiencias nutricionales y mejora la digestibilidad y el consumo, así como el desempeño animal. Hay que poner atención en el uso de suplementos en época de lluvias y en época de secas, ya que las deficiencias nutricionales pueden presentarse en ambas épocas.

Así, durante la época de secas, es común que los animales que no son complementados con suplementos proteicos o energéticos, lleguen a perder peso, ya que afectan la fermentación ruminal y disminuyen el consumo de materia seca. Se ha observado que los animales que dependen exclusivamente de suplementos minerales ofrecidos principalmente en época de secas, tienden a perder peso principalmente por la falta de energía y proteínas necesarias para satisfacer las demandas de los microorganismos del rumen. De esta manera, el uso de suplementos nitrogenados sería la opción más viable. En este contexto, la harinolina y la pasta de soya son los principales concentrados proteicos utilizados, ya que contienen entre 38 y 45 % de proteína cruda, respectivamente, lo que las convierte en opciones populares. Sin embargo, no son las únicas alternativas disponibles. Por otro lado, durante la época de lluvias, la calidad nutricional de los pastos y forrajes son buenas, por lo que sólo bastaría con el uso de suplementos minerales que permitirían incrementar la ganancia diaria de peso hasta en 500 g/d/a.

La complementación animal mediante suplementos con bloques nutricionales también ha sido una alternativa viable. Estos bloques le ofrecen al productor la ventaja de suplementar los nutrientes que le hacen falta al animal en un solo lugar, lo cual reduce costos. Un gran número de productores ha adoptado este sistema de complementación en sus ranchos, ofreciendo nutrientes energéticos, vitamínicos, proteicos y de minerales. En la actualidad, la complementación animal se puede ofrecer en distintas presentaciones: líquidos, en polvos asperjados en la ración, bloques nutricionales, pélets y extrudidos.





### **Utilización de suplementos proteicos de origen animal en bovinos**

La complementación en la alimentación de bovinos con proteína de origen animal es una práctica que ha ganado atención en el sector pecuario en México, en la búsqueda de mejorar el rendimiento animal y optimizar los costos de producción. Esta estrategia utiliza subproductos animales como harina de carne y hueso, harina de pescado y otros derivados para complementar las dietas de los bovinos, especialmente durante períodos de baja disponibilidad de forrajes o en sistemas de producción intensivos.

La presencia y el consumo adecuado de proteínas es esencial para el correcto funcionamiento del organismo de los bovinos. Las proteínas de origen animal ofrecen un perfil de aminoácidos más completo que las vegetales, proporcionando todos los aminoácidos esenciales necesarios para el crecimiento, la reproducción y la producción de leche en los rumiantes. Este equilibrio es crucial para maximizar la eficiencia del crecimiento y la producción en bovinos. Además, este tipo de proteínas son una excelente fuente de zinc y hierro hemínico, así como una fuente importante de micronutrientes como vitaminas y minerales, necesarios para funciones fisiológicas vitales, incluyendo la formación de tejidos, la producción de hormonas y la regulación de procesos metabólicos. Sin embargo, su ingesta puede asociarse con un mayor riesgo de mortalidad y complicaciones cardiovasculares.

Por su parte, las harinas de carne, sangre y pescado son más digestibles que las vegetales, lo que permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes, una mejor conversión alimenticia y mayores ganancias de peso. Las harinas de sangre pueden mejorar la salud inmunológica de los bovinos al proporcionar nutrientes esenciales y factores bioactivos, reduciendo la incidencia de enfermedades. Por otro lado, la harina de pescado es crucial para la alimentación del bovino; se evalúa regularmente para garantizar su digestibilidad y evitar daños a los animales. Actualmente, los compradores de harina de pescado consideran factores como la calidad de la materia prima, el grado de alteración y el valor nutritivo, aspectos que benefician tanto a compradores como a intermediarios.

A pesar de los beneficios que ofrecen el uso de proteínas de origen animal en la alimentación de rumiantes, su utilización enfrenta restricciones y regulaciones en varios países, incluido México. Estas normativas, que buscan prevenir enfermedades como la encefalopatía espongiforme bovina (EEB), limitan o prohíben el uso de ciertos tipos de proteínas animales y siguen las directrices de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) para evitar riesgos sanitarios. Además, el uso inadecuado o excesivo de estas proteínas puede alterar la microbiota ruminal y afectar la salud digestiva de los bovinos, lo que hace esencial contar con asesoría nutricional adecuada y cumplir con las normativas vigentes. Aunque el interés por estas proteínas continúa creciendo, es crucial investigar y desarrollar estrategias de complementación que equilibren la eficiencia productiva con la seguridad alimentaria. A este respecto, se están promoviendo



alternativas seguras, como productos proteicos derivados de insectos y proteínas hidrolizadas de origen animal que ofrecen altos valores nutricionales y pueden representar opciones viables para el futuro. En este sentido, la harina de plumas de aves destaca por su contenido proteico y energía metabolizable. Esta harina contiene calcio, fósforo, magnesio, hierro y sodio, lo que la convierte en un recurso valioso para la industria pecuaria.

### **Subproductos avícolas como alternativa proteica**

La industria avícola en México ha crecido de manera importante en los últimos años. La producción total de carne de aves en el año 2000 fue de aproximadamente 2.3 millones de toneladas, mientras que en el año 2020 se produjeron 4.6 millones de toneladas, presentando un incremento del 100 %. Además, esta industria aporta el 63.3 % de la producción total pecuaria en el país. Respecto a la carne de pollo, tan solo en el año 2019 se produjeron más de 3.7 millones de toneladas de carne con un valor bruto superior a los 99 mil millones de pesos, mientras que, para el año 2020 se incrementó 1.5 %. Durango se encuentra dentro de los principales productores de carne de pollo a nivel nacional, al igual que estados como Veracruz, Aguascalientes, Querétaro y Coahuila.

La comercialización de la producción avícola se da en diversas formas, incluyendo la venta de pollo en estado vivo (37 %), rosticero (37 %), en mercados públicos (9 %), supermercados (3 %), piezas individuales (11 %) y productos de valor agregado (3 %). Esta actividad también genera una cantidad significativa de desechos, como las plumas, que llegan a representar hasta el 5.2 % del peso total del pollo, lo que equivale a un mercado aproximado de 192 mil toneladas de plumas al año. Estas plumas son el subproducto más relevante en la producción de pollo y, debido a su composición y posibles usos, se convierten en una valiosa fuente de proteína. No obstante, su configuración química limita su aplicación.

### **Composición nutricional de las plumas de pollo**

Las plumas son estructuras queratinosas que conforman la cobertura externa de las aves. Éstas desempeñan un papel crucial en el vuelo y sirven como una capa densa y aislante que protege a los animales contra el agua y el frío. En la industria avícola, las plumas, junto con otros subproductos como la sangre, vísceras, y ocasionalmente las patas y cabezas, se consideran residuos. Se estima que se necesitan alrededor de 20 pollos para generar aproximadamente 3 kilogramos de plumas, de las cuales aproximadamente el 80 % está compuesto de queratina.

Las plumas están compuestas principalmente por proteínas, representando el 83 % de su peso seco, siendo la queratina el componente predominante, mismo que se encuentra representado entre el 85 % y el 90 % del total de proteínas. Aunque la



queratina posee un bajo valor biológico en su estado natural, una vez hidrolizada, se pueden encontrar aplicaciones industriales en diversos campos como la cosmetología, la alimentación animal, la agricultura, la industria textil, la producción de bioplásticos y como excipiente en insecticidas.

La queratina, es una proteína rica en azufre que constituye una parte esencial de las capas externas de los vertebrados y sus derivados, como plumas, pelos, cuernos y uñas, otorgándoles resistencia y dureza. En el caso de las aves, la fuente principal de queratina es la pluma, la cual posee un alto contenido proteico, aunque su utilidad se ve limitada en su estado natural debido a su baja digestibilidad. Si bien es cierto que es una proteína de alta calidad, también es un hecho que su estructura química limita el uso de la misma como fuente proteica en la alimentación. Debido a esto, se han empleado diversas estrategias o alternativas que permiten la descomposición de la queratina en proteínas de menor valor molecular o incluso reducirla hasta aminoácidos. De esta manera, el proceso de hidrólisis fracciona las moléculas de queratina en moléculas de proteínas de menor tamaño para que puedan ser aprovechadas en sistemas biológicos, como la alimentación de rumiantes.

### **Hidrólisis proteica**

La hidrólisis, es un proceso químico donde una molécula de agua se divide y sus átomos se unen a otra molécula, es fundamental en numerosos contextos donde el agua actúa como solvente. Sin embargo, la hidrólisis representa una reducción en la materia seca de casi 30 %. La queratina presente en las plumas de aves generalmente se trata mediante hidrólisis química o enzimática biológica, aunque ambos métodos conllevan el riesgo de perder propiedades en la calidad de la proteína. Existen diversos métodos reportados en la literatura para hidrolizar plumas de aves, incluyendo el uso de bases, ácidos fuertes, agua saturada a alta presión, enzimas y microorganismos, todos dirigidos a mejorar la digestibilidad y reactividad de las plumas, según su uso final. El proceso de hidrólisis química, aunque económicamente viable, produce hidrolizados con un grado de pureza limitado y pérdida de valor nutricional. Por otro lado, la hidrólisis enzimática, altamente efectiva en la obtención de péptidos con alto valor nutricional, es costosa, lo que dificulta su aplicación en la producción de productos económicos de fácil acceso.

Una aplicación ampliamente estudiada es el uso de hidrolizados de plumas de pollo en la alimentación animal. Estudios realizados en la década de los setenta en Estados Unidos investigaron la digestibilidad de un suplemento de soya que contenía un 32 % de hidrolizado de plumas en rumiantes, concluyendo que el 62.8 % del hidrolizado era digerible. Además, se evaluó el efecto de los hidrolizados de plumas en la alimentación de ganado en estado de gestación, comparándolo con la harina de soya, y se observó que el ganado alimentado con hidrolizado mostraba pesos similares al ganado alimentado con harina de soya.



Desde otro punto de vista, tan solo las plumas representan 39 % del total de desperdicios del sector. Debido a esto, se torna necesario plantear alternativas orientadas a la preservación del ambiente; las industrias deben manejarse bajo parámetros ecologistas de manera permanente en el proceso industrial, para que su desarrollo no genere impactos negativos. Por tanto, uno de los principales factores que contribuyen hoy en día a mantener la calidad del medio ambiente, es el aprovechamiento de subproductos agroindustriales, entre ellos los avícolas, en la industria alimenticia de cerdos, vacunos, aves, peces y otros, como alternativas nutricionales que permitan reducir costos sin afectar de manera adversa la producción.

### **Utilización de hidrolizados de plumas en la industria pecuaria**

La harina de plumas, tras ser procesada por hidrólisis u otros métodos, se convierte en una proteína altamente digestible, útil en la formulación de alimentos balanceados para rumiantes, aves, peces y otros animales. En este sentido, recientemente el uso de plumas en dietas de aves, peces, cerdos y ganado ha sido una alternativa viable y ampliamente estudiada por diversos grupos debido a su gran potencial nutricional. Al respecto, diversos estudios han reportado un alto valor nutricional en particular de ciertos minerales y aminoácidos esenciales. De esta manera, el calcio, fósforo, magnesio, potasio, sodio e hierro, son los minerales que abundan en las plumas. Por su parte, la lisina, metionina, cisteína, treonina, serina, valina, entre otros, se suman a la lista de aminoácidos obtenidos, aunque algunos de ellos se presentan en pequeñas proporciones, lo que podrían limitar su uso en grandes dosis. La complementación con aminoácidos sintéticos es una solución para compensar estas deficiencias. También se ha comprobado que la harina de plumas de aves es una fuente más económica en comparación con otras fuentes proteicas de origen animal.

Un estudio demostró que la inclusión de harina hidrolizada de plumas en la dieta de rumiantes contribuye a mejorar la eficiencia en la utilización de la proteína comparado con la inclusión de harina de soya. En este sentido, los rumiantes son eficientes para aprovechar subproductos de origen animal como suplemento proteico, lo que mejora la utilización del nitrógeno. Por otro lado, la harina de plumas hidrolizadas se ha utilizado con éxito en la alimentación de cerdos. Se ha demostrado que las plumas promueven el crecimiento y el rendimiento de lechones de granja, y representan una alternativa prometedora en términos de crecimiento, rendimiento y salud intestinal. De la misma manera, se está evaluando su potencial para sustituir insumos convencionales como la pasta de soya y la harina de pescado en suplementos proteicos, donde se ha observado que hasta un 30 % de los insumos tradicionales en dietas pueden ser reemplazados por plumas hidrolizadas. Además, su utilización promueve reducciones importantes en la formulación de dietas y raciones para cerdos estabulados.



---

## **Conclusiones**

El aumento en los costos de la alimentación animal, principalmente de bovinos, ha incrementado la inquietud en los nutricionistas para buscar nuevas opciones de concentrados proteicos y a bajo costo. En este sentido, la complementación de la ración o de dietas para bovinos con harinas de plumas de pollo hidrolizadas se ha convertido en una alternativa sostenible para ofrecer proteína de buena calidad y a bajos costos.



## Referencias

- Bauza, R., Bratschi, C., González, A., Hirigoyen, A., Scaglia, L. and Sierra, F. (2007). Evaluación de la inclusión de dos tipos de hidrolizados de plumas en dietas de credos en engorde. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 15(Supl.1): 385.
- CEDRSSA, (2020). Política Pecuaria y ganadería sostenible: Investigación. Centro de estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la soberanía alimentaria. Bioconversion of chicken feathers by *Bacillus aerius* NSMk2: a potential approach in poultry waste management. Palacio Legislativo de San Lázaro, CDMX, México.
- FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. (2020). Versión resumida del estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables. Roma, FAO.
- Florida-Rofner, N. (2019). Plumas: Implicancia ambiental y uso en la industria agropecuaria. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), 225-237.
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA) (2012). Harina de plumas hidrolizada.  
[http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/harina-de-plumas-hidrolizada-actualizada-nov-2012](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-de-plumas-hidrolizada-actualizada-nov-2012)
- Gómez, & Quesada. (2019). *¿Proteínas de origen vegetal o de origen animal? Una irada a su impacto sobre la salud y el medio ambiente. Controversias.*
- Gómez, A. S., & Yory, S. F. (2018). Aprovechamiento de recursos renovables en la obtención de nuevos materiales. *Ingenierías USBMed*, 9(1), 69-74.  
<https://doi.org/10.21500/20275846.3008>
- Herrera-Torres, Esperanza & A., Pámanes-Carrasco & Araiza-Rosales, Elia & Sánchez-Arroyo, Juan & Palacios-Torres, J. & Murillo, Manuel. (2022). In vitro gas production, rumen fermentation and production performance of steers fed multinutritional prickly pear blocks. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 31. 10.22358/jafs/149991/2022.
- INEGI, (2021). Vectoriales de uso del suelo y vegetación 2017-2021. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- Madrid, H. J. (2014). *Efecto de la sustitución en dieta de harina de pescado con harina de productos de origen animal, en juveniles de corvina golfina, Cynoscion othonopterus* (Tesis de postgrado). Universidad Ensenada, Baja California, México.  
<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/119/1/234591.pdf>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. DOI: 10.17226/19014.
- Núñez-Torres, O.P. (2017). Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. *Journal of the selva Andina Animal Science*. 4(2).
- Parzanese, M. (2018). *Tecnologías para la industria alimentaria*. Recuperado de



[http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha\\_18\\_Subproductos\\_avicolas.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_18_Subproductos_avicolas.pdf)

- Ramos, E., & Rodriguez, A. (2019). *Efecto de la sustitución parcial de harina de pescado por harina de plumas hidrolizada en la ración balanceada para "trucha arcoíris"*. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8429/BC%204832%20RAMOS%20ALDANA%20RODRIGUEZ%20CORDOVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SAGDER. 2022. Ganadería bovina y sus derivados. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Consultado el 31 de marzo de 2022 en la página <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/ganaderia-bovina-y-sus-derivados#:~:text=Los%20principales%20estados%20productores%20de,mil%20millones%20de%20litros%20anuales>.
- Salvador, E., Cano, C., Cano, E. & Tintay, L. (2017). Utilización de harina de subproducto de origen animal como ingrediente alternativo para mejorar la respuesta productiva, costo de alimentación y rentabilidad en la producción avícola. *Actualidad Avipecuaria*. <http://www.actualidadavipecuaria.com/articulos/utilizacion-de-harina-de-subproducto-de-origen-animal-como-ingrediente-alternativo-para-mejorar-la-respuesta-productiva-costo-de-alimentacion-y-rentabilidad-en-la-produccion-avicola.html>
- Sánchez-Villafuerte, M. (2018). Diseño de una planta productora de harina de plumas de pollo, para cubrir la demanda de alimentos balanceados en el sector agropecuario en el Canton Santa Elena, 2018. Tesis. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Escuela de Ingeniería Industrial. La Libertad, Ecuador.
- SIAP, (2022). Anuario Estadístico de la Producción Ganadera 2000 - 2020. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, México.
- Ugaz, F. (2019). *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*. Recuperado de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8053/BC%204447%20UGAZ%20GUZMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UNA. (2021). Compendio de indicadores económicos. Unión Nacional de Avicultores de México. Información consultada el 27 abril de 2021 de la página <https://una.org.mx/indicadores-economicos/> Tubiello FN, Soussana JF, y Howden SM. 2007. Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104(19): 686- 690.





# Principales sistemas de producción de leche de bovinos en México: recopilación actual de parámetros productivos

Ricardo Avilés Ruiz  
Oscar Guadalupe Barrón Bravo  
Rubén Darío Garza Cedillo  
Miguel Ruiz Albarrán  
Abner Josué Gutiérrez Chávez





## Introducción

En nuestro planeta la producción de leche de bovino es de las actividades pecuarias más sobresaliente, esto debido a las demandas de productos de origen animal para satisfacer las necesidades de consumo de la población, especialmente a la infantil y la de adultos mayores. En México, la producción de alimentos de origen animal procedente de los bovinos productores de leche y carne representan el 32% del producto interno bruto del rubro alimentario, cabe destacar que dicha producción pecuaria tiene presencia en todas las regiones y estados de este país. Con respecto a la producción de leche, ésta se desarrolla en las diferentes regiones agroecológicas de México, tanto en regiones áridas y semiáridas, como en templadas y tropicales. Sin embargo, en cada región agroecológica del país se han identificado y caracterizado los sistemas de producción de leche, de acuerdo a su importancia productiva, económica, agroecológica y social, denominándose como: sistema intensivo-especializado, sistema familiar-traspatio y sistema doble-propósito.

A pesar de que existe una clara identificación de los sistemas de producción, estos los podemos encontrar distribuidos en la mayor parte del país. Los sistemas intensivo-especializado radican principalmente en La Comarca Lagunera (Torreón, Matamoros, San Pedro, Francisco I. Madero y Viesca del Estado de Coahuila y Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo y Mapimí del Estado de Durango), Chihuahua y Aguascalientes; los sistemas familiar-traspatio en todo el Altiplano Central mexicano (Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México y Puebla) y los sistemas doble-propósito en regiones tropicales de México. No obstante, como se mencionó anteriormente, en la producción de leche no existen regiones agroecológicas donde se desarrolle un solo sistema de producción de leche en específico. Además, en cada una de las regiones agroecológicas de México existen sistemas de producción de leche, tanto en las zonas rurales marginadas alejadas de las metrópolis (sistemas familiar-Traspatio y sistemas doble-propósito) como cerca de la zona metropolitana de Laguna, Valle de México, Aguascalientes, León y Querétaro (sistemas intensivo-especializado).

Además, existen notables contrastes tecnológicos en la producción de leche en México. Por ejemplo, los sistemas de producción lechera situados en la Comarca Lagunera, intensivo-especializado, son sistemas con un alto grado de tecnificación en términos de instalaciones, equipo agrícola, sistemas de ordeño, conservación de forrajes, elaboración de raciones completamente mezcladas o parcialmente mezcladas, manejo sanitario de la glándula mamaria, uso de biotecnologías en la reproducción como es la inseminación artificial y diagnóstico de gestación por ultrasonido, así como sistemas de gestión de datos, uso de collares y/o podómetros para la identificación animal y monitoreo, finalmente la digitalización de la información. Lo anteriormente mencionado, se traduce en innovaciones tecnológicas que mejoran las prácticas de manejo para la



producción de leche, ya que aseguran la asesoría técnica especializada.

La importancia de los sistemas de producción de leche en México, radica en la contribución que tienen estos a la economía nacional, regional y local, en especial los sistemas familiar-traspatio. El funcionamiento de cada unidad de producción lechera dependerá del poder adquisitivo de cada productor, del fin productivo que se desee (sistema doble-propósito: leche o crías), del precio de venta de la leche, del uso de tecnología y las condiciones generales del entorno donde se establezca. Sin embargo, en todos los sistemas hay factores como sequía, cambio climático, parásitos y enfermedades, entre otras, que representan una problemática, la cual puede impactar en su producción, reproducción, sanidad y manejo en general. En el entendido que la comunicación entre los involucrados en la ganadería, se da por diferentes medios y que en la actualidad producir leche es menos costeable o rentable (alza de los insumos agropecuarios, salarios de jornal, entre otros) conocer las características de los principales sistemas de producción en México provee información a técnicos, investigadores y empresas proveedoras de insumos, entre otros, sobre las problemáticas prioritarias por atender. Por lo que el objetivo del presente capítulo es realizar un análisis comparativo de las características, parámetros productivos, reproductivos, de manejo sanitario de los principales sistemas de producción de leche en México.

### **Características de los sistemas de producción de leche en México**

En la actualidad, existen varias clasificaciones de los sistemas de producción de leche. Sin embargo, se ha considerado la siguiente clasificación, la cual ha sido la más aceptada por los expertos en el tema.

#### **Sistema intensivo-especializado**

La principal característica de este sistema es que las dietas son generalmente subministradas, mezcladas y formuladas con los mismos ingredientes durante todo el año, las dietas que se formulan son mezcladas con una alta cantidad de concentrados y/o con forrajes, estas dietas hacen un balance general de nutrientes más fáciles de controlar. Asimismo, en el sistema estabulado se puede tener una mayor producción junto con una mejor calidad en la leche al proporcionar grandes cantidades de alimento adecuadas. Al encontrarse de forma estabulada los animales, se crea un ambiente artificial y social con el objetivo de maximizar su producción láctea. Por tanto, se debe tomar en cuenta que el ganado depende totalmente del ser humano para cubrir sus necesidades nutricionales, ya que no tiene las posibilidades de conseguir su propio alimento. Entonces, se debe estar preparado con suficiente forraje almacenado para el futuro incierto, debido al cambio climático. Además, este sistema de producción necesita de una inversión económica en infraestructura y equipo agropecuario para lograr una alta



producción de leche. Ya que, de lo contrario esto podría llegar a repercutir en el estrés de los animales y, por lo tanto, en la rentabilidad del hato y no cumplir con el bienestar animal.

En sistemas intensivos-especializados por lo general se cuenta asesoría técnica de especialistas en cada área de esta cadena productiva. Las vacas Holstein son las predilectas para estos sistemas de producción por su capacidad metabólica en la síntesis de componentes lácteos (Figura 1).

### **Sistema familiar-traspatio**

En el centro de México, los sistemas familiar-traspatio son los que predominan y están ubicados principalmente en los estados de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México y Michoacán. Con respecto al estado de Guanajuato, se han contabilizado alrededor de 6,900 unidades de producción láctea. De las cuales el 90% son de lechería familiar. La base de la alimentación son los pastizales nativos, la alfalfa fresca y henificada, los cultivos forrajeros de cereales de grano pequeño como forraje para pastoreo o en ensilaje, las pasturas inducidas de clima templado como el rye grass y el alfafesca combinado con trébol blanco, y el cultivo de maíz para grano y forraje o bien en forma de ensilaje.

En estos sistemas de producción, si bien no hay un programa de mejoramiento genético definido, este se ha logrado debido a la inseminación artificial, biotecnología reproductiva común desde hace varias décadas principalmente por técnicos extensionistas que prestan sus servicios profesionales. Sin embargo, la producción de leche es menor al promedio de los sistemas intensivo-especializado, aunque se utilizan razas especializadas en producción lechera. De acuerdo a los reportes de los últimos estudios en los sistemas familiar-traspatio (Cuadro 1), la producción de leche por vaca oscila entre los 11.0 kg leche/vaca/día hasta los 19 kg leche/vaca/día. Con vacas de raza Holstein y sus cruzamientos con otras razas como la Pardo Suizo. Para mejorar la productividad de los sistemas de producción de leche, la calidad de los productos generados y el ingreso de los productores, además de las estrategias de alimentación, para reducir los costos de producción, se deben diseñar políticas diferenciadas de capacitación y transferencia de tecnología, acordes a las características socioeconómicas y técnico-productivas de los diferentes tipos de productores. Con respecto a la calidad microbiológica de la leche, se ha reportado que estos sistemas muestran las más altas frecuencia de mastitis subclínica.



**Panel A.** Sistema intensivo-especializado.



**Panel B.** Sistema Familiar-traspatio.



**Panel C.** Sistema Doble-propósito.

**Figura 1.** Principal infraestructura en los diferentes sistemas de producción de leche en México.



### **Sistema doble-propósito**

El sistema doble propósito tiene como fin zootécnico obtener dos productos, los cuales son la venta de leche, así como la venta de la cría. Por lo tanto, la ganancia de peso en becerros es un parámetro importante en este sistema de producción pecuario.

En los sistemas en confinamiento en el trópico mexicano, donde predominan las razas Suizo Americano, Holstein y Cebú, los niveles de producción de leche no superan a los niveles de producción los sistemas de traspatio o familiares de la zona centro del México; no obstante, aportan un considerable porcentaje de leche a nivel nacional. En estos sistemas doble propósito, el objetivo de estabular durante la noche es porque el manejo de ordeño se facilita. En algunos sistemas doble-propósito se suele tener en confinamiento a los animales en producción en ciertas horas del día (de las 7 am a las 12 del mediodía e incluso pueden llegar a estar hasta las 5 pm) para brindarles su respectiva suplementación y ordeño, posteriormente el resto del forraje lo obtienen en los potreros. Este sistema demanda menos cantidad de mano de obra que en el sistema intensivo-especializado y familiar-traspatio y las instalaciones suelen incluir corrales, sala de ordeño, galeras y maquinaria para la cosecha de forrajes, entre otros.

Esta ganadería es la más utilizada en las regiones tropicales de México por los pequeños productores, ya que cuentan con pequeñas cantidades de terreno en el cual tienen sembrado alguna variedad de pasto y los animales se alimentan de él. Sin embargo, estos sistemas es muy deficiente su implementación de tecnología, ya que ellos, por lo general no aprovechan al máximo su terreno por ideologías que vienen arrastrando de generaciones atrás, las cuales fueron impartidas por sus padres o abuelos sobre cómo realizar el manejo del ganado.

Generalmente lo que comen los animales no satisfacen las necesidades diarias para que ellos produzcan de manera eficiente, ya sea porque hay poca disponibilidad de comida en los potreros o porque los pastos son de baja calidad. Las necesidades nutricionales que más cuesta cubrir a los animales en producción que están únicamente pastoreando son, la energía y proteína. Sin embargo, los pastos mejorados, o la implementación de sistemas silvopastoriles ayudan a cubrir dichas deficiencias.

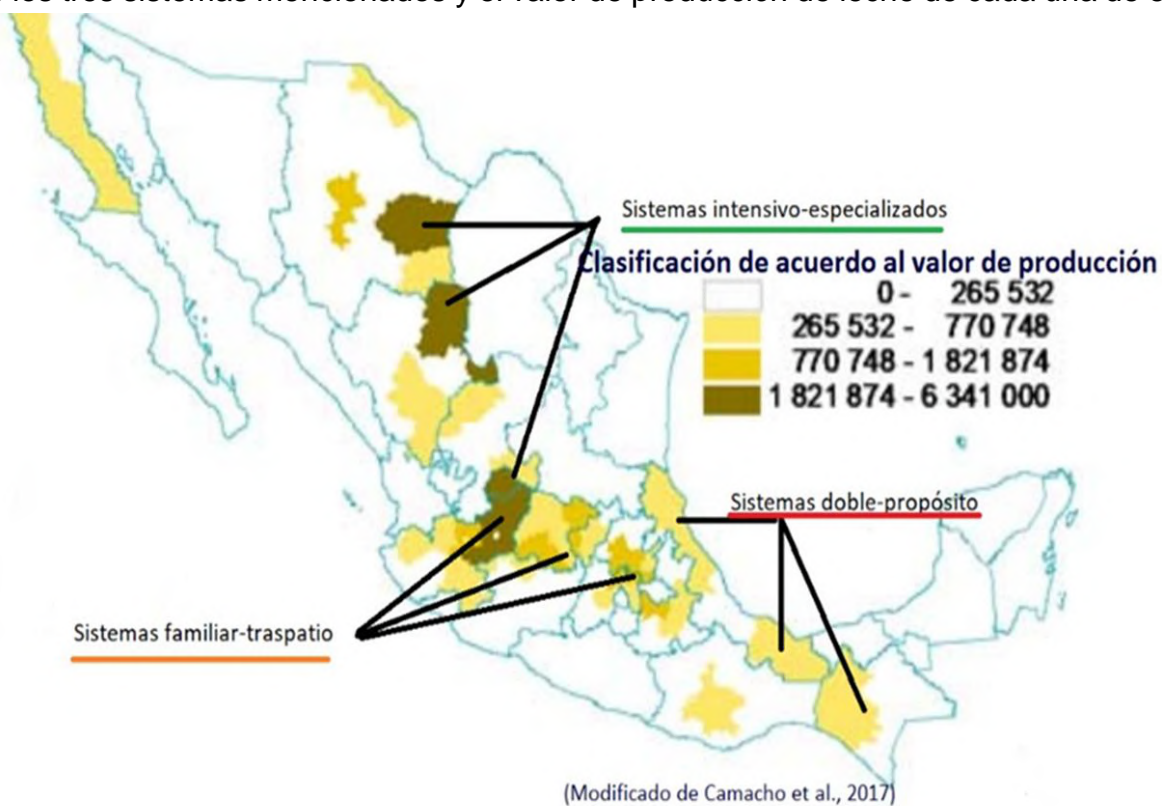
### **Inventario ganadero y producción de leche en México.**

En México la población de bovinos es alrededor de 24,808,075 cabezas, de los cuales 24,553,565 se encuentran en unidades de producción y 254,510 en viviendas (traspatio). El 55.5% de las existencias se concentran en los estados de Veracruz, Jalisco, Chihuahua, Chiapas, Durango, Tabasco, Sonora y Michoacán. El promedio de cabezas por unidad de producción es de 24.5. Del total de la población bovina, la composición según su función zootécnica es 47.1% vacas, 27.5% becerras y becerros, 12.1% en



engorda, 9.8% vaquillas de reemplazo, 3.0% sementales, y 0.5% reses para el trabajo.

Respecto al ganado lechero, se concentra en la región del altiplano central (Chihuahua, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Estado de México y Puebla), la Comarca Lagunera (Durango y Coahuila) y la región tropical (Veracruz y Chiapas; Figura 2). Al cierre del 2022, entre estas 10 entidades produjeron el 79.7 % del valor de la producción de leche a nivel nacional, donde destacan Jalisco y Guanajuato con el 20.9 % y 6.8 %, respectivamente, con mayores hatos del sistema familiar-traspatio de producción de leche; Coahuila con el 11.8 %, Durango con el 11.5 % y Chihuahua con el 9.5 %, siendo estos tres estados representativos con mayores hatos del sistema intensivo-especializado de producción de leche. El sistema de producción predominante en las regiones tropicales del país se conoce como el sistema doble-propósito y los principales estados productores son Veracruz con el 6.1 % y Chiapas el 3.5 % de la producción de leche a nivel nacional. En la figura 2, se presenta la localización geográfica de los tres sistemas mencionados y el valor de producción de leche de cada una de ellas.



**Figura 2.** Distribución geográfica de los principales sistemas de producción de leche en México.



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

### **Comercialización de leche en México de los diferentes sistemas de producción**

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

Por otro lado, el Bajío mexicano y los Altos de Jalisco son un claro ejemplo de diversidad de sistemas de producción de leche, en donde las unidades de producción de tipo familiar-traspatio ocupan un lugar importante. La producción de estos hatos apoya a un grupo de industrias que acopian, procesan, elaboran y comercializan productos como queso, crema, yogurt, helados, por mencionar algunos, los cuales requieren de una materia prima homogénea en cuanto a su calidad nutritiva, sensorial e inocua para el consumidor. Sin embargo, una importante cantidad de esta leche proviene de sistemas





de producción poco competitivos, con poca o nula tecnificación, situación que compromete directamente la calidad de la leche a la venta (Figura 3).



**Figura 3.** Recolección y transporte de leche en un sistema familiar-traspatio.

Con respecto a los sistemas doble-propósito, son considerados como ecosistemas modificados por el productor mediante el manejo del componente bovino (*Bos taurus*), a través de un conjunto estructurado de actividades y decisiones sobre el uso de pastizales, información y tecnología, cuyos efectos interactúan en un entorno agroecológico y socioeconómico con el objetivo de producir carne y leche para el consumo humano; así, con la finalidad de incrementar sus ingresos, el productor decide orientar su producción a la leche o a la carne según las condiciones del mercado. Sin embargo, este sistema varía en función de las condiciones agroecológicas (sequías), la idiosincrasia, la tradición y costumbres, lo que influye en la adopción de tecnología, lo cual es considerado una desventaja.

### **Características productivas de los diferentes sistemas de producción.**

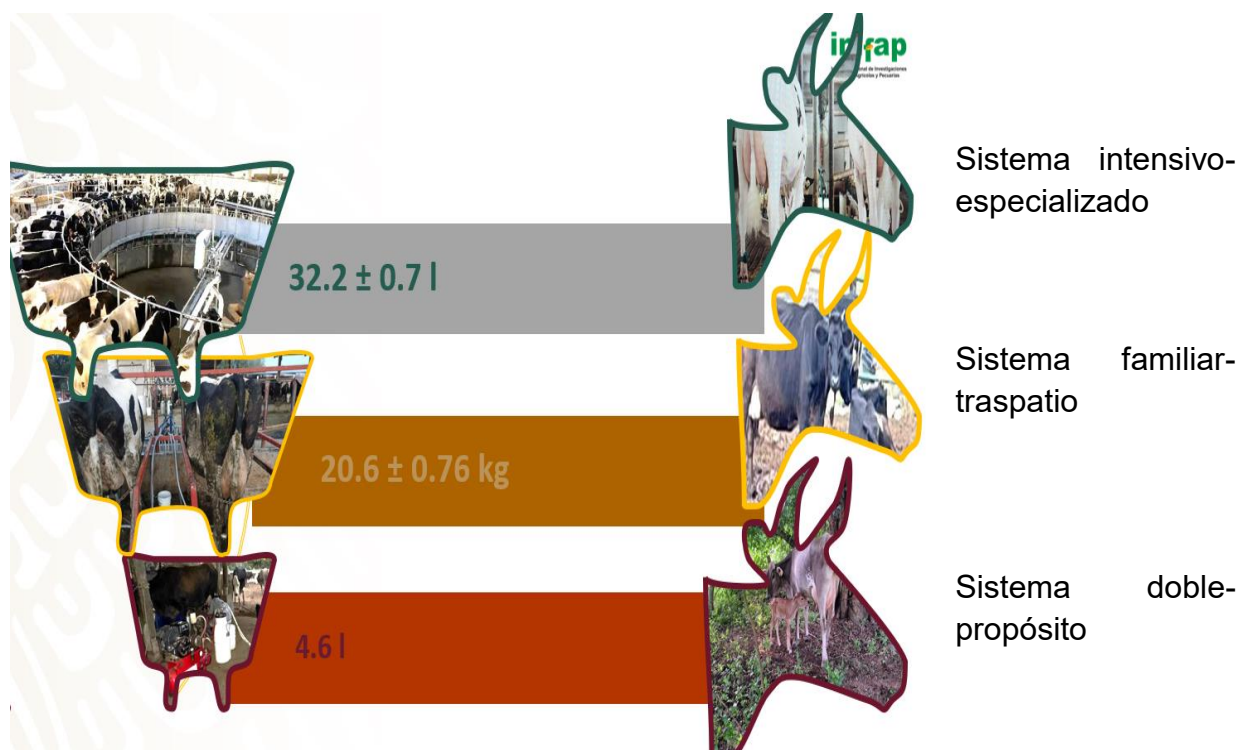
Los parámetros productivos son datos que nos arroja un valor cuantificable sobre ciertas características de los animales. Por ejemplo, nos puede informar acerca de cómo se están lactancia de las vacas en producción en cuestión del kilaje de leche que producen. En este apartado se enfocará a los parámetros productivos en vacas lecheras de los principales sistemas de producción que existen en México.

### **Producción de leche**

Evaluar los indicadores productivos es una actividad esencial para cualquier unidad pecuaria, de estos, un indicador frecuentemente medido en ganado bovino lechero ha sido la cantidad de leche producida por día y, por tanto, por lactancia, ya sea en litros o



en kilogramos. Así, se ha observado que este parámetro ha incrementado año con año en todos los sistemas de producción. En este sentido, en la actualidad se han alcanzado lactaciones por arriba de 10,000 kg de leche por vaca a tres ordeños (figura 4) por lactancia en los sistemas intensivo-especializado y en algunos sistemas familiar-traspatio (cuadro 1). Cabe señalar que, la raza Holstein es la que predomina en los sistemas antes mencionados. Sin embargo, en el sistema doble-propósito predominan las cruza de razas principalmente de la especie *Bos primigenius*, las subespecies *Bos primigenius indicus* (Gyr, Sardo Negro, Guzerat) y *Bos taurus* (Suiza, Holstein, Jersey, Montbeliard y Simmental) en las regiones tropicales (cuadro 1). Estas razas y sus cruza muestran una menor producción de leche en comparación con los sistemas intensivo-especializado y familiar-traspatio, donde se manejan razas puras. Los animales en el sistema doble-propósito generalmente las vacas son ordeñadas una vez al día (figura 4) y posteriormente son enviados a pastoreo durante el resto del día.



**Figura 4.** Sistema de ordeño y producción de leche de los principales sistemas de producción de leche en México.

Una de las preocupaciones actuales, la tendencia hacia que, en el año 2050, habrá menos condiciones ambientales para la crianza de ganado, por consiguiente, se requerirá



ser más eficientes. Al respecto, la eficiencia reproductiva del ganado lechero jugará un rol sobresaliente, la cual está influenciada por la capacidad de reiniciar la actividad cíclica lo antes posible después del parto y, después de la inseminación artificial, mantenerse gestante. En todos los sistemas de producción de leche, el menor tiempo posible de anestro posparto es lo más deseable, dado que es necesario para una siguiente gestación y subsecuente lactancia, lo cual es de suma importancia económica. Sin embargo, el reinicio de la ciclicidad ovárica se puede ver afectada por varios factores, principalmente los factores nutricionales. Al respecto, se ha encontrado que la pérdida de condición corporal y balance energético negativo, desordenes metabólicos y patologías uterinas, salud de la ubre y cojera en vacas altas productoras de leche afectan negativamente, provocando cambios metabólicos en el animal y estos a su vez, tienen efectos negativos en la nutrición del ovocito y el posterior desarrollo del embrión.

### **Cantidad de animales por hato**

En cuanto a inventario ganadero, existe un rango muy amplio comparando los tres sistemas de producción. Por ejemplo, en la región Lagunera (clima semi-árido) existen establos que albergan más de 3,000 vacas en producción. En contraste con los sistemas familiar-traspatio donde existen establos con solo 3 vacas en producción. Para este caso, donde hay muy pocas vacas, la actividad pecuaria es realizada principalmente por la esposa y el sustento familiar es por jornal del esposo, ya sea por giro agropecuario o no agropecuario.

Por otro lado, se ha descrito que la estructura y las características tecnológicas de un sistema doble-propósito en México, es que poseen en promedio 29.9 unidades animal de tamaño de hato en 35.6 ha y 1.2 unidad animal/ha de carga ganadera y la alimentación animal se basa en el pastoreo de pastos nativos (*Paspalum*, *Panicum*, *Bouteloua*, etc.) y residuos de cultivos de pastoreo (52.7%). El 39 % en de las unidades de producción se alimentan con pasturas establecidas para el pastoreo, y en un 22.5% utilizan ensilajes, un 50.4% heno y 30.3% forrajes verdes.

### **Ganancia diaria de peso de los reemplazos**

En cuanto a ganancia diaria de peso en las hembras de reemplazos, se han desarrollado estudios comparando animales de la misma raza y edad alimentadas bajo diferentes sistemas de producción sistema familiar-traspatio versus sistema intensivo-especializado en México alimentadas con alfalfa versus esquimos agrícolas, respectivamente y se ha reportado que bajo los sistemas intensivo-especializado, las becerras tuvieron un mayor desempeño productivo en cuanto a ganancia diaria de peso (895g vs 697g) debido a la inclusión en la dieta de heno de alfalfa, la cual aporta un porcentaje alto de proteína cruda a la dieta.



**Cuadro 1.** Parámetros productivos de sistemas: intensivo-especializado, familiar-traspatío y doble-propósito en México.

Parámetro	Intensivo-especializado	Familiar-traspatío	Doble-propósito	
<b>Producción de leche</b>	Lactancia*	9,690l	6,200kg	1,246l
	Leche/día	32.3 ± 0.7l	20.6 ± 0.76kg	4.6l
<b>Vida en el hato (# de partos)</b>	3.5	-	4.0	
<b>Rango de vacas en ordeño/hato</b>	4,431 - 6,344	3 – 47	20 – 70	
<b>Número de ordeños/día</b>	3	2	1	
<b>Tipo de sala de ordeño</b>	Carrusel, espina de pescado controlada electrónicamente	Tandem y ordeñadoras de carro transportables	Manual y mecánico en sala de ordeño	
<b>Razas utilizadas</b>	Holstein	Holstein	<i>Bos indicus</i> (Cebú) y <i>Bos taurus</i> (Suiza, Holstein, Jersey, Montbeliard y Simmental)	
<b>Nivel de tecnología</b>	Alta	Media	Baja	
<b>Principales problemas que aquejan</b>	-Problemas reproductivos -detección de estro -Estrés térmico	-Dietas inadecuadas -Altos porcentajes de mastitis subclínica	-Sequías -Registros inadecuados -Indefinidos programas de mejoramiento genético -Inadecuada infraestructura -Deficiencia sanitaria y nutricional.	



Se ha observado que, el peso respecto a la edad de los reemplazos es mayor en el sistema intensivo-especializado con respecto al familiar-traspatio y doble-propósito. En relación a este último sistema, en el Sur de Tamaulipas se ha reportado que las crías de reemplazo alcanzan la pubertad y el primer parto a una edad avanzada y un peso bajo al destete de las crías, debido a la baja calidad de las pasturas presentes en las regiones tropicales. Las condiciones de manejo nutricional y la variación de la calidad nutritiva de las pasturas con que son alimentadas las vacas productoras de leche en los sistemas doble-propósito traen como consecuencia que las crías obtienen la ganancia mínima esperada e incluso pérdida diaria de peso si las crías nacen durante los meses de sequía. Para mitigar esta problemática, surge la necesidad de desarrollar estrategias de suplementación de bajo costo para los reemplazos para cada sistema de producción, considerando que estos animales son el futuro del hato.

### **Conclusiones**

La producción de leche se desarrolla bajo tres sistemas de producción principalmente (Sistema intensivo-especializado, familiar-traspatio y doble-propósito) distribuidos en las diferentes regiones existentes de México. Los sistemas intensivos-especializados de producción tienen mejores ventajas de producción comparado con los otros dos sistemas, pero enfrenta un gran reto que es mantener los altos niveles de producción y reducir los costos de producción de leche/vaca, así como mantener el estatus sanitario y los costos de producción competitivos con otras regiones del mundo. No obstante, los sistemas familiar-traspatio y sistemas doble-propósito enfrentan grandes retos en cuanto a lograr ajustarse a los actuales parámetros productivos y reproductivos, los cuales cambian en estos por diversos factores. En los actuales sistemas de producción de leche en México, el cambio climático y altos costos de producción representan amenazas para la subsistencia de la producción de leche.



## Referencias

- Alamu T.W., Schuermann Y., Madogwe E., Yves A.S., Dicks N., Bohrer R., Higginson V., Mondadori R.G., de Macedo M. P., Taibi M., Baurhoo B., Bordignon V., Duggavathi R. 2024. Severe body condition lowers hepatic output of IGF1 with adverse effects on the dominant follicle in dairy cows. *Animal*. 18: 101063. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101063>
- Arce C., Aranda E. M., Osorio M. M., González R., Díaz P., Hinojosa J. A. 2017. Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8:83-91. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4347>
- Avilés-Ruiz R., Valencia-Posadas M., Martínez-Jaime O., Ángel-Sahagún C. A., Lechuga-Arana A., León-Galván F., Gutiérrez-Chávez A. 2018. Evaluación de la salud de la ubre como estimador de la calidad de la leche de vacas en hatos familiares. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3:376-380. [https://www.researchgate.net/publication/374920970\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_Salud\\_de\\_la\\_Ubre\\_como\\_Estimador\\_de\\_la\\_Calidad\\_de\\_la\\_Leche\\_de\\_Vacas\\_en\\_Hatos\\_R\\_ESUMEN](https://www.researchgate.net/publication/374920970_Evaluacion_de_la_Salud_de_la_Ubre_como_Estimador_de_la_Calidad_de_la_Leche_de_Vacas_en_Hatos_R_ESUMEN)
- Bautista-Martínez Y., Herrera-Haro J. G., Espinosa-García J. A., Martínez-Castañeda F. E., Vaquera-Huerta H., Morales A., Aguirre-Guzmán, G. 2019. Caracterización económico-productiva del sistema bovino doble propósito en tres regiones tropicales de México. *ITEA, Información Técnica Económica Agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA)*. 115(2): 134-148. <https://www.aidaitea.org/index.php/revista/contenidos?idArt=618&lang=esp>
- Camacho Vera J. H., Cervantes Escoto F., Palacios Rangel M. I., Cesín Vargas A., Ocampo Ledesma J. 2017. Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: la difusión del modelo tecnológico Holstein. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8(3):259-268. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4191>
- Espinoza-Arellano J. J., Carrillo Á., Orona I., Molina V. M., Torres D., Fabela A. M. 2018. Características técnicas y socioeconómicas de establos del sistema de producción intensivo de leche de vaca de La Comarca Lagunera. *Agrofaz*. 18(1): 101-109. <https://www.researchgate.net/publication/330240797>
- Fernández I. G., Ulloa-Arvizu R., Fernández J. 2018. Milk yield did not decrease in large herds of high-producing Holstein cows in semi-arid climate of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1669-5>
- Galina C. S., Geffroy M. 2023. Dual-purpose cattle raised in tropical conditions: What are their shortcomings in sound productive and reproductive function? *Animals*. 13:2224. <https://doi.org/10.3390/ani13132224>
- González-Orozco T. A. 2022. XVI Seminario de Investigación y Transferencia de



Tecnología Agropecuaria en el estado de Querétaro. Indicadores productivos y reproductivos de referencia en lechería familiar en Guanajuato. Disponible en: [https://youtu.be/A1nIXg2Oi\\_M](https://youtu.be/A1nIXg2Oi_M)

Granados-Rivera L. D., Quiroz-Valiente J., Maldonado-Jáquez J. A., Granados-Zurita L., Díaz-Rivera P., Oliva-Hernández J. 2018. Caracterización y tipificación del sistema doble propósito en la ganadería bovina del Distrito de Desarrollo Rural 151, Tabasco, México. Acta Universitaria, 28:47-57. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1916>

Hernández J. 2016. Fisiología clínica de la reproducción de los bovinos lecheros. Primera edición. Universidad Autónoma de México. Coyoacán, México. 172p. ISBN: 978-607-02-8690-2. [https://fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia\\_Clinica.pdf](https://fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia_Clinica.pdf)

Kusaka H., Yamazaki T., Sakaguchi M. 2023. Association of age at first calving with longevity, milk yield, and fertility up to the third lactation in a herd of Holstein dairy cows in Japan. Journal of Reproduction and Development. Journal of reproduction and development. <http://doi.org/10.1262/jrd.2023-012>

López López Á., Sánchez Crispín Á. 2010. Comarca Lagunera. Procesos regionales en el contexto global. Primera Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Capítulo 14. Ganadería lechera: ¿un sector integrado? Pág. 283.

López-Gatius F., Szenci O., Bech-Sábat G., García-Ispierto I., Serrano B., Santolaria P., Yániz J. (2009). Factors of noninfectious nature affecting late embryonic and early foetal loss in high producing dairy herds in north-eastern Spain. Magy Allatorvosok Lapja 131: 515–531.

North M. A., Frank J. A., Ouweneel B., Trisos Ch. H. 2023. Global risk of heat stress to cattle from climate change. Environmental Research Letters. 18: 094027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aceb79>

Ríos-Mohar J. A., López-Díaz C. A., Hernández-Cerón J., Trueta-Santiago R. 2022. Economic analysis of different pregnancy rates in dairy herds under intensive management. Veterinaria México OA. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2022.631>

Ríos-Utrera Á., Villagómez-Amezcuca E., Zárate-Martínez J. P., Calderón-Robles R. C., Vega-Murillo V. E. 2020. Análisis reproductivo de vacas Suizo Pardo x Cebú y Simmental x Cebú en condiciones tropicales. Revista MVZ Córdoba. 25:e1637. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1637>

Rocha Valdez J., Gonzalez-Avalos R., Avila-Cisneros R., Peña Revuelta B., Reyes-Romero A. 2019. Impacto económico de la mortalidad y morbilidad por enfermedades en becerras lecheras. Abanico Veterinario. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.920>

Rodríguez-Hernández K., Arias L., Villaseñor F., Ochoa E., Contreras-Govea V.,



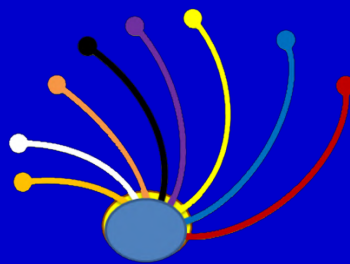
Sánchez-Duarte J. 2020. Comparación del crecimiento de vaquillas de reemplazo en dos sistemas de producción de leche en México. *Ciencia e Innovación*.3:201-207. <https://www.researchgate.net/profile/Karla-Rodriguez-Hernandez/research>

Velázquez H., Galindo L., Barrientos M., Galina C. S., Maquivar M. G., Montiel F. 2020. Effect of the technological status of small cow-calf farm producers on the induction to resumption of ovarian activity of dual-purpose cattle raised under tropical conditions. *Open Journal of Veterinary Medicine*. 10: 195-205. <https://doi.org/10.4236/ojvm.2020.1011017>



## Sección 3

# Agricultura





# Bacterias endófitas como promotores de crecimiento vegetal

Lily X. Zelaya Molina  
Geovanna L. Ortíz Rodríguez





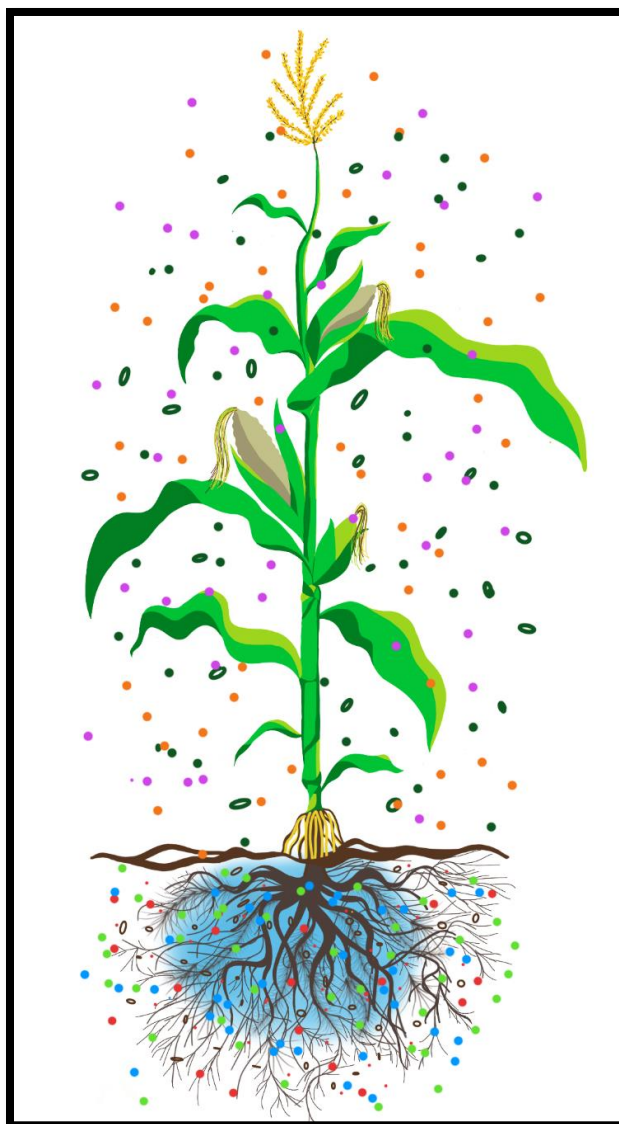
## Introducción

Todos los organismos eucariotas tienen una microbiota que los habita; los microorganismos que conforman esta microbiota establecen diferentes tipos de interacciones con su hospedero. En el caso particular de las plantas, existe una microbiota asociada a cada uno de sus órganos y a cada uno de los ambientes asociados a ellas; esto es la rizosfera, filosfera y endosfera (Figura 1). La diversidad y estructura de estas comunidades microbianas son influenciadas por diversos factores abióticos y bióticos; específicamente, factores como el tipo de suelo, especie de planta hospedadora, edad y genotipo de la planta, etapa de desarrollo de la planta, concentración de hormonas vegetales como el ácido salicílico o el ácido jasmónico, entre otras características. A la vez, las plantas pueden “seleccionar” los miembros de su microbiota, para tener colonizadores benéficos, incluidos los que viven en la rizosfera, dentro de los órganos vegetales y sobre su superficie.

En general, una proporción de los microorganismos asociados a los cultivos vegetales se consideran promotores de crecimiento vegetal, ya que favorecen el desarrollo y rendimiento de las plantas a través de mecanismos directos e indirectos que realizan al establecer diferentes tipos de interacciones simbióticas con las plantas hospedadoras. Los mecanismos directos mejoran el estado nutricional de la planta al incrementar el volumen de exploración y funcionalidad de las raíces, la captación de agua, la disponibilidad y absorción de nutrientes, y la fisiología de toda la planta. Esto se lleva a cabo mediante la producción de reguladores de crecimiento, ácidos orgánicos, enzimas, metaloforos, vitaminas, y otros metabolitos secundarios que impactan directamente en el crecimiento de la planta. Dentro de ellos, las características más buscadas y evaluadas en las cepas microbianas son la solubilización de compuestos inorgánicos que contengan P, K y Fe, fijación biológica de  $N_2$ , producción de ácido indol acético, ACC-desaminasa, metalóforos y enzimas hidrolíticas. Por su parte, los mecanismos indirectos implican la protección contra estrés ocasionado por factores abióticos y bióticos. Uno de los principales aspectos es el control biológico contra fitopatógenos, el cual involucra la activación de la resistencia sistémica inducida o adquirida, inhibición de producción de biopelículas, interferencia en la señalización “quorum sensing”, activación de mecanismos de detoxificación de factores de virulencia, y la producción de enzimas líticas, antibióticos, compuestos volátiles, lipopéptidos, fenazinas, pirrolnitrina, sideróforos y bactericinas. También se considera la tolerancia sistémica inducida al estrés, esto es hacia: acidez, alcalinidad o salinidad del suelo, sequía, radiación solar, temperaturas extremas, toxicidad de metales pesados, o desequilibrio nutricional, que involucran mecanismos como producción de ACC desaminasa, reducción en la producción de etileno, modificación en el contenido de fitohormonas, inducción de síntesis de enzimas vegetales antioxidantes, acumulación de



osmolitos, producción de polisacáridos extracelulares y biopelículas, disminución en la absorción de exceso de nutrientes y metales pesados, inducción de genes de resistencia al estrés abiótico y alteraciones en la morfología de las raíces.



**Figura 1.** Los microorganismos asociados como microbioma están presentes en la endosfera, filosfera y rizosfera de las plantas, los microorganismos endosféricos se encuentran presentes en todos los tejidos internos de la planta.

Es debido a estas características que muchas cepas de microorganismos aisladas tanto de la rizosfera, endosfera y filosfera de las plantas se emplean para el desarrollo de biofertilizantes, los cuales se consideran un método deseable para la introducción de



probiótico al suelo agrícola, ya que mejoran la estructura del suelo y subsuelo, la disponibilidad de nutrientes de los minerales del suelo y la penetración del agua en el suelo. Se ha propuesto que los biofertilizantes también incrementan la biodiversidad microbiana del suelo al romper la dormancia de los bancos en latencia de los microorganismos presentes, debido a un refuerzo en la relación funcional biodiversidad-ecosistema. El incremento en la biodiversidad de la comunidad microbiana fortalece la salud del suelo y controlan las enfermedades del cultivo. Por esto, los biofertilizantes son una de las mejores opciones para lograr los objetivos de la agricultura orgánica y la agricultura sostenible, que ahora están ganando popularidad en todo el mundo. Actualmente, los biofertilizantes se consideran una alternativa al uso de agroquímicos; por ejemplo, entre los microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV) más comunes y estudiados se encuentran cepas de los géneros *Azospirillum*, *Bacillus* y *Pseudomonas*, bacterias que han mostrado generan beneficios en el crecimiento de varias especies de plantas y que inhiben el crecimiento de los agentes causales de enfermedades de importancia económica.

### **Microrganismos endófitos como promotores de crecimiento vegetal**

Los microorganismos endófitos son microorganismos que se encuentran en todos los órganos vegetales, colonizando los tejidos vegetales sanos intracelularmente y/o intercelularmente, como mutualistas o comensales. Así, su asociación puede ser obligatoria o facultativa y no causa ningún daño a las plantas hospederas; esto es, exhiben interacciones complejas con sus anfitriones.

Además, bajo diversas condiciones ambientales, los microorganismos endófitos pueden comunicarse e interactuar con la planta de manera más eficiente y directa que los microorganismos que rizosféricos y filosféricos. Los microorganismos endófitos utilizan la endosfera de la planta como un nicho ecológico protector único, que proporciona un entorno seguro y constante que no se ve afectado por las condiciones ambientales fluctuantes que afectan a los microorganismos rizosféricos y filosféricos. Sin embargo, factores abióticos, incluyendo temperatura, radiación, estación o atributos físicos y químicos del suelo, influyen en la estructura y composición de las comunidades microbianas endófitas.

La transmisión de los microorganismos endófitos a otras plantas se produce de forma vertical, horizontal o mediante vectores. Además, la mayoría de los endófitos tienen un ciclo de vida bifásico que alterna entre los entornos de la planta y el suelo. Se cree que cerca de 300,000 especies de plantas que existen en la tierra albergan uno o más endófitos. Por lo tanto, permiten que su huésped tenga una mejor supervivencia frente a los desafíos bióticos y abióticos y la competencia de otras plantas.



Se han aislado y caracterizado endófitos de diversos tipos de plantas hospedantes; estos incluyen cultivos agronómicos, plantas de pradera, plantas que crecen en ambientes extremos y plantas silvestres y perennes. Así, la endosfera es una fuente enorme de diversidad de posibles microorganismos promotores de crecimiento vegetal, que parecen tener sistemas genéticos y biológicos únicos que pueden tener aplicaciones fuera de la planta anfitriona en la que residen normalmente.

### **Características de los organismos promotores de crecimiento vegetal**

Como ya se mencionó, los organismos endófitos realizan mecanismos directos e indirectos en los ambientes que habitan, a través de las interacciones simbióticas que establecen con sus plantas hospederas, tanto para mejorar el estado nutricional como para conferir tolerancia al estrés ocasionado por factores abióticos y bióticos. Entre las características más buscadas en las cepas microbianas se encuentra la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato, producción de sideróforos, enzimas hidrolíticas (amilasas, pectinasas, celulasas, proteasas) y ácido indolacético.

Los sideróforos son metalóforos que participan en la movilización de iones metálicos del ambiente a las células, los iones metálicos como cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, y zinc son elementos traza esenciales principalmente para el funcionamiento enzimático de los microorganismos y/o plantas. Los metalóforos producidos por los microorganismos son moléculas orgánicas de bajo peso molecular, que en ambientes carentes de iones metálicos o bajo condiciones de estrés abiótico o biótico pueden suministrar a las plantas estos elementos traza, por lo que tienen un papel crítico en la relación planta-microbiota.

Específicamente, los sideróforos son compuestos quelantes de hierro, que no sólo facilitan la absorción de hierro, sino también proporcionan otros elementos traza a las plantas o protección contra toxicidad de metales pesados o iones metálicos en altas concentraciones, ya que metales distintos al hierro pueden activar su producción. El hierro (Fe) es un micronutriente esencial para la vida que participa en el metabolismo celular como cofactor de muchas enzimas y cumple diversas funciones en procesos biológicos como la fotosíntesis, fijación de nitrógeno, respiración y síntesis de clorofila, entre otros. Es el cuarto metal más abundante en los suelos donde se encuentra como silicato de ferromagnesio, hidróxidos u óxidos de hierro, formas poco disponibles para las plantas. Se han identificado alrededor de 500 sideróforos, y por la naturaleza química de los grupos funcionales se clasifican en: catecolatos, carboxilatos e hidroxamatos; aunque también existen algunos que contienen una mezcla de ellos, como la pioverdina de cepas del género *Pseudomonas*. Bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Enterobacter* y *Grimontella* son buenas productoras de sideróforos, mientras que *Klebsiella*, *Stenotrophomonas*, *Rhizobium*, *Herbaspirillum* y *Citrobacter* producen bajos niveles de ellos.



Las plantas pueden asimilar el hierro de los sideróforos bacterianos, y en la rizosfera los sideróforos actúan como activadores eficientes de los sistemas de resistencia inducida en las plantas, por lo que estos microorganismos representan una alternativa en el control biológico de enfermedades importantes, tales como las ocasionadas por especies de los géneros *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Phytophthora*.

Los microorganismos endófitos producen una gran variedad de enzimas hidrolíticas, la mayoría de las cuales son generadas en bajas cantidades y están involucradas en procesos metabólicos celulares. Estas enzimas extracelulares tienen usualmente la función de digerir compuestos insolubles o moléculas poliméricas de gran tamaño tales como: celulosa, proteínas, entre otras. Además, algunas enzimas como las proteasas, celulasas, quitinasas, cumplen con diversas funciones para las células. Las amilasas son un grupo de hidrolasas que pueden romper específicamente el enlace  $\alpha$ -glicosídico del almidón y están ampliamente distribuidas en la naturaleza. Se encuentran en plantas, animales y microorganismos donde cumplen una función nutricional ya que permiten la digestión de los hidratos de carbono. Estas enzimas están involucradas en las vías de degradación de la pared celular y del almidón, los microorganismos benéficos que las producen promueven la germinación; por ejemplo, cepas microbianas de semillas de arroz y legumbres, producen amilasas que hidrolizan el almidón de las semillas en azúcares metabolizables, que proporcionan la energía para el crecimiento de raíces y brotes en las plántulas en germinación.

Las pectinasas son un complejo de enzimas que degradan en conjunto a la pectina, un polisacárido de función estructural en vegetales. Tiene un alto peso molecular, entre 10,000 y 400,000 Da. Es el componente mayoritario que se encuentra en las paredes celulares de los vegetales y plantas. Químicamente, las pectinas son esencialmente polisacáridos ramificados que contienen entre unos cientos y cerca de mil monosacáridos. La pectina es degradada naturalmente en el proceso de maduración de los frutos por pectinasas producidas por la propia planta; sin embargo, también puede ser degradada por enzimas de otros microorganismos como hongos y bacterias; este tipo de enzimas desempeñan diversas funciones en la fisiología celular, el crecimiento, la maduración, así como en la adhesión y separación intracelular. Por otra parte, las celulasas son un complejo de enzimas inducibles que son sintetizadas por muchos microorganismos durante su crecimiento en materiales celulósicos. El producto de la degradación de la celulosa es la glucosa, que es una importante fuente de carbono para el metabolismo celular de los microorganismos. Además, la producción a bajos niveles, tanto de pectinasas como celulasas, se relaciona con microorganismos promotores de crecimiento vegetal que las emplean para poder entrar a la planta huésped, ya que pueden provenir de la rizosfera de la planta o algún hábitat cercano; estos microorganismos entran hasta los espacios intercelulares del córtex de la planta.





Adicionalmente, las proteasas son enzimas hidrolíticas que catalizan la ruptura de enlaces peptídicos de otras proteínas e incluso de ellas mismas, se relacionan principalmente con los mecanismos indirectos de promoción de crecimiento vegetal de los microorganismos, específicamente con la inhibición de crecimiento de hongos fitopatógenos; por ejemplo, las cepas productoras de proteasas *B. polymyxa* BcP26 y *P. alcaligenes* PsA15 inhiben el crecimiento de aislamientos de los hongos fitopatógenos *F. culmorum* y *F. oxysporum*.

El nitrógeno es uno de los constituyentes principales de la mayoría de las macromoléculas de una célula viva, es un componente importante en proteínas, ácidos nucleicos, protoplasma, clorofila y otros compuestos nitrogenados, pero su disponibilidad en el ambiente a menudo es un factor limitante. El nitrógeno es abundante en la atmósfera en forma de gas  $N_2$ , pero esta forma no es asimilada por las plantas. El nitrógeno debe encontrarse como amoníaco o compuestos nitrogenados relacionados, para que pueda ser utilizado por las plantas. La conversión del nitrógeno atmosférico se denomina fijación de  $N_2$ , que se lleva a cabo por procesos biológicos y fisicoquímicos. La fijación biológica de nitrógeno aporta aproximadamente dos tercios del nitrógeno fijado globalmente. La fijación biológica de nitrógeno la realizan los procariontes diazotófos, a través del complejo enzimático de la nitrogenasa, una estructura enzimática compleja que consta de dos subunidades: dinitrogenasa (Componente I, proteína MoFe) y dinitrogenasa reductasa (Componente II, proteína Fe). La capacidad de fijar nitrógeno biológicamente se encuentra en organismos de los dos dominios de procariontes, arqueas y bacterias. Los procariontes endófitos proporcionan nitrógeno directamente a la planta huésped. La endosfera de la planta contiene exceso de carbono y falta de oxígeno, que presenta condiciones adecuadas para la fijación de nitrógeno que luego puede ser transportado por endófitos a su planta huésped. Además de las bacterias que forman nódulos con su planta huésped, las bacterias endofíticas pueden fijar nitrógeno dentro de plantas sin formar nódulos. La mayoría de las bacterias endofíticas fijadoras de nitrógeno pertenecen a los phyla Pseudomonadota, Bacteroidota, Actinomycetota y Bacillota, de ellos los géneros más conocidos son *Burkholderia*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Bradyrhizobium*, *Bacillus*, *Frankia*, *Enterobacter*, *Azospirillum*, *Klebsiella*, *Herbaspirillum* y *Acinetobacter*. Por ejemplo, en Brasil se conocen cepas de *Herbaspirillum seropedicae* y *Acetobacter* como endófitos diazotróficos de plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), que al cultivarse sin fertilizantes nitrogenados pudieron cubrir todas sus necesidades de nitrógeno a partir de  $N_2$  atmosférico. En cuanto a la fijación de nitrógeno, los endófitos funcionan mejor que los microbios de la rizosfera a la hora de promover crecimiento y salud de las plantas, y ayudar a las plantas a prosperar en suelos con restricción de nitrógeno.

El fósforo es un elemento esencial, pero sus formas biodisponibles son una limitante en la mayoría de los suelos. Las plantas únicamente asimilan el fósforo en



forma de los aniones  $\text{HPO}^{-2}$ ,  $\text{HPO}^{-1}$  y  $\text{PO}^{-3}$ ; sin embargo, sólo el 0.1% del fósforo se encuentra en estas formas solubles, debido a su escasez en el suelo, falta de su reposición natural y la alta retención de este elemento en la matriz del suelo. Es por esto que las concentraciones de aniones fosfato solubles en el suelo son insuficientes para sustentar el crecimiento óptimo de las plantas, por lo que es frecuente observar plantas con síntomas correspondientes a la carencia de este elemento. En ambientes carentes de fosfatos solubles, los microorganismos pueden solubilizar y mineralizar el fósforo insoluble a través de diferentes mecanismos, tanto de fuentes de fósforo inorgánico como orgánico. Los microorganismos endófitos, como por ejemplo de los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, *Enterobacter*, *Pantoea*, *Klebsiella*, *Rhodobacter*, *Arthrobacter*, *Serratia* y *Erwinia*, pueden formar parte la comunidad microbiana que suministra un continuo flujo de formas asimilables de fósforo a las plantas. Entre los mecanismos de solubilización de fósforo inorgánico que presentan los microorganismos se encuentran: a) la producción de ácidos orgánicos como el ácido glucónico, ácido 2-cetoglucónico, ácido oxálico, ácido cítrico, ácido láctico, ácido tartárico y ácido aspártico, que disuelven directamente compuestos insolubles como el fosfato dicálcico, fosfato tricálcico, roca fosfórica, entre otros; b) producción fisiológica de protones, donde los protones provenientes de la respiración, asimilación de  $\text{NH}_4^+$ , o activación de la bomba de protones, liberan iones fosfato al sustituir  $\text{H}^+$  por el catión unido al fosfato; y c) la producción de  $\text{H}_2\text{S}$ , que al reaccionar con el  $\text{FePO}_4$  produce  $\text{FeS}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4$ . Los microorganismos también pueden realizar la solubilización de fósforo orgánico por la producción de enzimas, como fosfatasas ácidas no específicas (la fosfomonoesterasas son las más abundantes de este grupo de enzimas), fitasas, fosfonatasas y liasas C-P.

Los microorganismos endófitos pueden producir diferentes hormonas vegetales para, mejorar el crecimiento de sus plantas hospedantes o regular la producción de hormonas en ellas (etileno, auxina y citoquinina), y regulan el desarrollo de las raíces y afectan directamente la absorción y utilización de nutrientes por parte de las células de la raíz. El ácido indol-3-acético (AIA) es la principal auxina en las plantas. Las rutas bioquímicas implicadas en la síntesis, transporte y señalización del AIA son complejas; en los microorganismos se han descrito vías similares a las reportadas en plantas y se conoce que más de una pueden activarse en un microorganismo. El AIA producido por los microorganismos endófitos altera el nivel de AIA de las plantas; por tanto, puede modificar procesos fisiológicos importantes como el alargamiento y división celular, diferenciación de tejidos y respuesta a luz y gravedad; por tanto, las raíces primarias generalmente se alargan y se da la formación de raíces adventicias y laterales. Así, los microorganismos endófitos el AIA promueve el crecimiento de las plantas. Otras



fitohormonas producidas por microorganismos son las giberelinas y citocininas. Las giberelinas (GAs) realizan diversas funciones metabólicas necesarias para la germinación de semillas, elongación del tallo, expresión sexual, floración, formación de frutos y senescencia. Las giberelinas se aislaron inicialmente del hongo patógeno de arroz, *Fusarium fujikuroi*. Aunque se conocen poco sobre la producción de GAs por bacterias endófitas, la ruta completa de biosíntesis de giberelina bacteriana se ha descrito recientemente. Se han reportado algunas cepas microbianas endófitas que producen GAs; por ejemplo, *Acetobacter diazotrophicus* y *Herbaspirillum seropedicae*, producen giberelinas (GA<sub>1</sub> y GA<sub>3</sub>), promueven el crecimiento y el rendimiento general de gramíneas.

También los hongos endófitos *Aspergillus fumigatus* y *Scolecobasidium tshawytschae*, aislados de cultivares de soya bajo estrés ocasionado por factores abióticos, produjeron diferentes tipos GAs fisiológicamente activos; posteriormente, plantas de soya inoculadas con ellas mostraron un aumento significativo en la longitud de la planta y en peso fresco y seco.

También los hongos endófitos *Phoma glomerata* LWL2 y *Penicillium* sp. LWL3 brindaron protección a las plantas de pepino bajo estrés por salinidad y/o sequía, las plantas aumentaron los niveles de ácido salicílico, alteraron los niveles de ácido jasmónico y disminuyeron los niveles de ácido abscísico y las actividades de glutatión, catalasa, peroxidasa y polifenol oxidasa.

### **Microorganismos endófitos en el cultivo *in vitro***

Los microorganismos endófitos se han estudiado por más de cien años, y se sabe que al coexistir con la planta huésped a largo plazo, pueden producir los mismos metabolitos secundarios que la planta huésped, o metabolitos nuevos, como sustancias bioactivas con un gran potencial para la explotación médica, agrícola e industrial.

En los últimos años, se han realizado varios estudios para evaluar su patrón de colonización en los tejidos vegetativos, así como sus efectos en el crecimiento de las plantas. Los endófitos son microorganismos conocidos como promotores del crecimiento vegetal, los cuales se han estudiado ampliamente tanto para el desarrollo de biofertilizantes, biopesticidas o bioestimulantes que faciliten la implementación de una agricultura sostenible, así como para caracterizar las diferentes vías metabólicas de estos microorganismos y su interacción con la planta huésped.

Sin embargo, los microorganismos endófitos siempre se han considerado como contaminantes causantes de problemas en el cultivo *in vitro* de plantas, por lo que se han desarrollado varios procedimientos para su eliminación o manejo, pero sin obtener grandes éxitos, debido a que los microorganismos que habitan el interior de los tejidos y órganos vegetales usualmente no son afectados por estos procesos esterilizantes. Sin embargo, recientemente se ha impulsado el estudio y empleo de estos endófitos en cultivo



*in-vitro*, ya que el co-cultivo *in vitro* de explantes de tejido vegetal con microorganismos benéficos se sabe que induce cambios metabólicos y de desarrollo en las plántulas derivadas, y mejoran su tolerancia a los estreses abióticos y bióticos.

La respuesta de resistencia inducida causada por estos inoculantes se denomina "biotización", que se define como una respuesta metabólica del material vegetal cultivado *in vitro* inoculado con cepas microbianas que conducen a cambios fisiológicos y de desarrollo que mejoran la resistencia al estrés biótico y abiótico de los propágulos derivados.

Así mismo, considerando que en ciertos casos el éxito de la propagación en cultivo *in-vitro* de ciertos materiales vegetales muestra una gran fluctuación a lo largo de los años, a pesar de la manipulación de los medios de cultivo u otras condiciones de crecimiento, por lo que una posible explicación de la variación podría ser la ausencia de diferentes poblaciones bacterianas endófitas. Algunos investigadores han empleado cepas endófitas para mejorar la adaptación de los propágulos del cultivo de tejidos a las tensiones ambientales, principalmente durante la aclimatización; ya que la inducción de resistencia al estrés en propágulos de plantas producidas *in vitro* antes del trasplante, es un objetivo principal de varios grupos de investigación que intentan utilizar inoculantes microbianos en la micropropagación *in vitro*. Además, ciertas bacterias parecen tener un efecto beneficioso sobre los explantes en cultivo *in vitro*; aumentando la multiplicación y enraizamiento, y la calidad de los explantes, y la órgano-embriogénesis de genotipos recalcitrantes.

Entre los ejemplos de evaluaciones de inoculaciones microbianas en cultivo *in vitro* se encuentran: la promoción del crecimiento de bacterias endofíticas durante la aclimatización de cultivos de tejido de fresa y piña, la inoculación de cultivos de tejido de álamo con un aislado de *Paenibacillus* que incrementó el número y longitud de raíces. *Rhodobacter sphaeroides* produce la fitohormona rodestrina que mejora el enraizamiento de los microcortes de morera. Bacterias endógenas incrementan la eficacia de micropropagación de genotipos de *Prunus avium*. También se ha reportado el empleo de endófitos aislados de cultivos agrícolas que se han empleado en cultivo *in vitro*; por ejemplo, cepas de *Bacillus* spp. y *Pseudomonas corrugata* aisladas de plantas de té, se utilizaron como inoculantes microbianos para el endurecimiento de plantas de té obtenidas por cultivo de tejido *in vitro*, antes de su transferencia a campo abierto.

### **Identificación de microorganismos**

La identificación taxonómica de los microorganismos de interés, es un paso crítico para su empleo en desarrollos biotecnológicos. Desde hace varios años este proceso se lleva a cabo mediante técnicas de biología molecular que implican el análisis filogenético de genes o marcadores moleculares específicos que se han establecido como relojes



moleculares. En general, el 16S rDNA, que codifica el 16S rRNA, que sirve como “esqueleto” de la subunidad 30s de los ribosomas de procariontes, se emplea para la identificación de los procariontes, ya que se considera un marco para la clasificación moderna de este tipo de microorganismos, debido a que en su secuencia de DNA posee nueve regiones variables y nueve regiones conservadas, que permiten establecer relaciones de ancestría-descendencia entre ellas. La identificación molecular se realiza mediante la secuenciación Sanger de un fragmento del gen 16S rRNA que se amplifica por PCR utilizando un par de oligonucleótidos universales como: 27F/1492R. Sin embargo, para especies estrechamente relacionadas, el análisis filogenético de este gen puede no llegar a diferenciarlas como especies diferentes, al presentar el mismo valor de similitud nucleotídica (98-100%), que es el que se considera para agrupar cepas en una sola especie.

En estos casos se adiciona el análisis filogenético de genes constitutivos como el gen *gyrA* (que codifica la subunidad A de la enzima ADN girasa) y el gen *rpoB* (que codifica la subunidad  $\beta$  de la ARN polimerasa), los cuales se han utilizado como marcadores para la identificación de cepas conocidas como promotoras de crecimiento vegetal, como por ejemplo *B. subtilis* y taxones relacionados. Por su parte, las cepas fúngicas son eucariotes que generalmente se analizan filogenéticamente con la región ITS, la cual se considera el “código de barras” universal para hongos. Esta región corresponde a un marcador molecular del operón multicopia ribosomal, que comprende el espacio transcrito interno 1 (ITS1), el gen 5.8S rRNA y el espacio transcrito interno 2 (ITS2); esta región se amplifica por PCR generalmente con los oligos universales ITS1/ITS4 o ITS5/ITS4. De igual forma que el gen 16S rRNA para procariontes, para especies crípticas de hongos es necesario emplear el análisis de otros marcadores moleculares para identificar las cepas a nivel de especie, entre los marcadores más comunes se encuentran en gen *tef1 $\alpha$*  (codifica el factor de elongación 1 $\alpha$ ), el gen *rpb1* (codifica la subunidad más grande de la RNA polimerasa) y el gen *rpb2* (codifica la segunda subunidad más grande de la RNA polimerasa).

Actualmente, la revolución genómica ha permitido una muy rápida identificación de potenciales metabolitos secundarios y enzimas involucrados en la capacidad de promoción de crecimiento vegetal de las cepas microbianas. De esta forma, la minería de genomas es una gran oportunidad de examinar el genoma completo de una cepa en busca de genes que codifiquen enzimas beneficiosas que faciliten la adquisición de recursos y la modulación de los niveles de hormonas vegetales, así como de grupos de genes biosintéticos, que codifiquen compuestos antibióticamente activos. Debido a que muchos genes son silenciosos en condiciones de laboratorio, por la ausencia de desencadenantes naturales apropiados o señales de estrés, algunas funciones de las cepas pueden no evidenciarse.



Los análisis del genoma completo revelan el arsenal genético de la cepa, así como sobre su seguridad y virulencia, y permitirán el desarrollo de nuevas oportunidades para aplicaciones biotecnológicas. Por ejemplo, el genoma de la cepa *Celulosimicrobium* sp. JZ28, un endófito de la raíz de la planta del desierto, reveló que la cepa está estrechamente relacionada con *C. aquatile* 3pb, así como la presencia de genes responsables de la protección contra el estrés oxidativo, osmótico y salino, con la producción de osmoprotectores. También contiene genes que desempeñan un papel en la producción de volátiles, como el sulfuro de hidrógeno, que promueven la tolerancia al estrés biótico y abiótico en las plantas. También se ha reportado que la cepa *Enterobacter roggenkampii* ED5, endófito de caña, tiene genes relacionados con la actividad de la ACC desaminasa, producción de sideróforos y hormonas vegetales, metabolismo del nitrógeno y fósforo, simbiosis, colonización de raíces, formación de biopelículas, asimilación y metabolismo del azufre, y respuesta de resistencia hacia estreses bióticos y abióticos, por lo que se considera un recurso ecológico para promover el crecimiento de la caña de azúcar mediante varios mecanismos de acción bajo múltiples tipos de estrés.

### **Conclusiones**

Los microorganismos que habitan en la endosfera de las plantas, tanto en sus raíces, hojas y tallos, constituyen una comunidad microbiana que actualmente se considera para el estudio de selección de cepas microbianas que puedan implementarse para su aplicación en la producción de diversos cultivos agrícolas. Los esfuerzos realizados por diversos grupos de investigación de todo el mundo han obtenido grandes logros, principalmente en la obtención de bio-productos de aplicación al campo. Estas nuevas cepas no sustituyen a las cepas microbianas que tienen su acción en la rizosfera, y a futuro se espera el empleo de cepas que habiten la filosfera. De esta forma se tendrá un arsenal de cepas para su uso en los diferentes ambientes de la planta, y uso independiente o en conjunto, dependiendo de la necesidad y objetivos de los productores y las condiciones en que se desarrolle el cultivo. De esta forma se espera que los microorganismos promotores de crecimiento vegetal contribuyan de forma eficaz y eficiente en la reducción del uso de agroquímicos, y en la consolidación de una producción agrícola sostenible.



## Referencias

- Agbodjato, N. A., Amogou, O. E., Noumavo, P. A., Dagbãenonbakin, G., Salami, H. A., Karimou, R., Alladã, A. M., Adedayo, O., Baba-Moussa, F., Adjanohoun, A., Baba-Moussa, L.S. (2018). Biofertilising, plant-stimulating and biocontrol potentials of maize plant growth promoting rhizobacteria isolated in central and northern Benin. *African Journal of Microbiology Research*, 12(28), 664-672. <https://doi.org/10.5897/AJMR2018.8916>
- Eid, A. M., Fouda, A., Abdel-Rahman, M. A., Salem, S. S., Elsaied, A., Oelmüller, R., Hijri, M., Bhowmik, A., Elkelish, A., & Hassan, S. E. D. (2021). Harnessing bacterial endophytes for promotion of plant growth and biotechnological applications: an overview. *Plants*, 10(5), 935. <https://doi.org/10.3390/plants10050935>
- Eida, A. A., Bougouffa, S., Alam, I., Saad, M. M., & Hirt, H. (2020). Complete genome sequence of the endophytic bacterium *Cellulosimicrobium* sp. JZ28 isolated from the root endosphere of the perennial desert tussock grass *Panicum turgidum*. *Archives of Microbiology*, 202(6), 1563-1569. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01859-2>
- Enebe, M. C. & Babalola, O. O. (2018). The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, 7821-7835. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9214-z>
- Etesami, H., & Maheshwari, D. K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156, 225-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>
- Ceballos, R. F., Esquivel, O. M., & González, M. D. C. B. (2019). Producción de amilasas por cepas de hongos anamorfos aislados de la hojarasca de *Quercus* sp. *Revista Científica*, 29(1), 56-66. <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v29i1.49>
- Garg, G., Singh, A., Kaur, A., Singh, R., Kaur, J., & Mahajan, R. (2016). Microbial pectinases: an ecofriendly tool of nature for industries. 3 *Biotech*, 6, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0371-4>
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
- Ismail, M. A., Amin, M. A., Eid, A. M., Hassan, S. E. D., Mahgoub, H. A., Lashin, I., Abdelwahab, A. T., Azab, E., Gobouri, A. A., Elkelish, A., & Fouda, A. (2021). Comparative Study between exogenously applied plant growth hormones versus metabolites of microbial endophytes as plant growth-promoting for *Phaseolus vulgaris* L. *Cells*, 10(5), 1059. <https://doi.org/10.3390/cells10051059>



- Kramer, J., Özkaya, Ö. & Kümmerli, R. (2020). Bacterial siderophores in community and host interactions. *Nature Reviews Microbiology*, 18(3), 152-163. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0284-4>
- Laraba, I., McCormick, S. P., Vaughan, M. M., Geiser, D. M., & O'Donnell, K. (2021). Phylogenetic diversity, trichothecene potential, and pathogenicity within *Fusarium sambucinum* species complex. *PLoS One*, 16(1), e0245037. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245037>
- Li, X., Zhou, J., Xu, R. S., Meng, M. Y., Yu, X., & Dai, C. C. (2018). Auxin, cytokinin, and ethylene involved in rice N availability improvement caused by endophyte *Phomopsis liquidambari*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37, 128-143. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9712-8>
- Moreno Reséndez, A., Carda Mendoza, V., Reyes Carrillo, J. L., Vásquez Arroyo, J., & Cano Ríos, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68-83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Rana, K. L., Kour, D., Kaur, T., Negi, R., Devi, R., Yadav, N., Sayyed, R. Z. & Yadav, A. N. (2023). Endophytic nitrogen-fixing bacteria: Untapped treasurer for agricultural sustainability. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 11(2), 75-93. <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.110207>
- Raymond, N. S., Gómez-Muñoz, B., van der Bom, F. J., Nybroe, O., Jensen, L. S., Müller-Stöver, D. S., Oberson, A., & Richardson, A. E. (2021). Phosphate-solubilising microorganisms for improved crop productivity: a critical assessment. *New Phytologist*, 229(3), 1268-1277. <https://doi.org/10.1111/nph.16924>
- Shameer, S. & Prasad, T. N. V. K. V. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria for sustainable agricultural practices with special reference to biotic and abiotic stresses. *Plant Growth Regulation*, 84, 603-615. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0365-1>
- Yadav, G., Vishwakarma, K., Sharma, S., Kumar, V., Upadhyay, N., Kumar, N., Kumar-Verma, R., Mishra, R., Kumar-Tripathi, D. & Upadhyay, R. G. (2017). Emerging significance of rhizospheric probiotics and its impact on plant health: current perspective towards sustainable agriculture. En: Kumar, V., Kumar, M., Sharma, S., Prasad, R. (Eds.). *Probiotics and Plant Health*, Singapore, Springer. pp. 233-251. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2_10)



# Abonos orgánicos aplicados en la agricultura

Lilia Mexicano Santoyo  
Tarsicio Medina Saavedra  
Andrea Marín Sánchez  
Natalia Martínez Ayala  
Ernesto Montalvo García  
Adriana Mexicano Santoyo





## **Introducción**

Ante los grandes problemas ambientales que se presentan alrededor del mundo causados por la agricultura convencional debido al uso de fertilizantes químicos como la pérdida de la fertilidad de los suelos, reducción en la capacidad de retención de agua, incremento en la acidez y erosión del suelo, así como en la disminución de las especies microbianas es necesario implementar alternativas que disminuyan el impacto negativo en el ambiente. Una de ellas es la agricultura orgánica que busca mantener y mejorar la salud de los suelos y los ecosistemas.

La agricultura orgánica es un sistema que busca evitar fertilizantes químicos solubles y plaguicidas que puedan afectar de alguna manera el ambiente. Este tipo de agricultura se basa fundamentalmente en hacer uso de los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales. Además, utiliza métodos de fertilización donde su principal característica es que son elaborados con insumos de origen natural.

Es importante resaltar que los abonos orgánicos pueden ser elaborados con los insumos naturales que estén accesibles en cada región donde se elaboren, por tal motivo no hay valores de referencia para establecer la calidad, sin embargo, la composición nutrimental puede variar en función de los sustratos de origen y los parámetros de operación utilizados durante la elaboración o en la digestión en el caso de los fertilizantes líquidos.

En este sentido, un abono orgánico es un compuesto que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica por intervención de los microorganismos presentes en el medio que digieren los materiales y transforman los desechos orgánicos en compuestos benéficos que aportan nutrientes al suelo. Este tipo de abonos contienen nitrógeno, oligoelementos, potasio, calcio, magnesio, además de incorporar materia orgánica en el suelo, lo que favorece al crecimiento y desarrollo de las plantas.

La elaboración de abonos orgánicos es un proceso controlado y acelerado de descomposición de los residuos, que puede ser aeróbico o anaeróbico, teniendo como resultado un producto estable. Durante la elaboración de los abonos orgánicos es necesario llevar un control adecuado, ya que de este depende la obtención de un producto de calidad. De esta manera durante el proceso se logra una buena degradación de la materia orgánica, eliminación de microorganismos patógenos que pudiesen estar presentes en la mezcla inicial. Los fertilizantes aplicados en la agricultura orgánica se pueden clasificar en fertilizantes sólidos y los fertilizantes líquidos.

## **Fertilizantes sólidos**

En la agricultura orgánica se utilizan diferentes tipos de fertilizantes sólidos para aportar materia orgánica, mejorar la fertilidad y capacidad de retención de agua del suelo,



favorecer al crecimiento y desarrollo de las plantas, así como fortalecer la resistencia de los cultivos a las enfermedades. Sin embargo, es fundamental garantizar un control de calidad adecuado durante su elaboración para evitar problemas de contaminación.

Los fertilizantes orgánicos sólidos comúnmente aplicados en la agricultura orgánica incluyen lombricomposta, bocashi, estiércol, composta, humus, polvo de paja, harina de plumas y harina de sangre.

### **La lombricomposta**

Se deriva de un proceso no termófilo que transforma los materiales de desecho orgánico en fertilizante mediante la acción de lombrices y microorganismos mesófilos. Es rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, carbono orgánico, hierro, zinc, cobre, manganeso y reguladores del crecimiento como auxinas y giberelinas. Se ha reportado que una lombricomposta convencional contiene 14.1 mg/g de N total, 11.2 mg/g de K total, 9.3 mg/g de P total, 243.3 mg/g de C orgánico y una relación C/N de 17:1. Es abundante en enzimas como proteasa, amilasa, lipasa, celulasa y quitinasa. Contiene microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo. Cuando se prepara con minerales de roca, puede mejorar significativamente el contenido de nutrientes del suelo, aumentar las actividades enzimáticas y mejorar las propiedades microbianas. Durante su elaboración se pueden obtener derivados como lixiviados, sustancias húmicas y fitohormonas.

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos heterogéneos de alto peso molecular producto de la oxidación química y microbiológica de precursores como lignina, taninos, péptidos, celulosa, lípidos y terpenoides de restos de plantas y animales. Son un constituyente de la materia orgánica en el suelo, contiene grupos OH y COOH. Estos grupos funcionales son los principales responsables en las funciones de los ácidos húmicos como interactuar con iones metálicos, óxidos, hidróxidos, compuestos minerales y orgánicos para transformar compuestos tanto solubles como insolubles en agua. Contienen aproximadamente 60% de carbono orgánico que contribuye al crecimiento de los microorganismos. Además, contienen nitrógeno, oxígeno, azufre. Dentro de los beneficios que otorgan se puede mencionar que mejoran la textura y estructura del suelo, incrementan la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes, ayudan a precipitar metales tóxicos presentes en el suelo y confiere resistencia al estrés en las plantas.

Por otra parte, los lixiviados resultados del proceso de lombricompostaje que se drena a través de lechos de lombrices es un líquido enriquecido con nutrientes. En este sentido, se ha informado que contiene 247 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ , 168 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$ , 1.47 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$ , 834 mg/L de K, 1.59 mg/L de Mg, 84 mg/L de Ca y 46 mg/L de Na. Es rico en material orgánico e inorgánico disuelto en agua, microorganismos, ácidos húmicos y reguladores de crecimiento de las plantas. Los principales reguladores del crecimiento son



fitohormonas, dentro de ellas las auxinas, ácido giberelico y citoquininas, producidas mediante la actividad combinada de las lombrices y los microorganismos.

### **El bocashi**

Es un abono fermentado que se puede elaborar con materiales locales, por lo que se pueden hacer variaciones de acuerdo con la materia prima disponible en la región. Proporciona nutrientes esenciales al suelo como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), materia orgánica (MO) y carbono (C). Algunas investigaciones reportan concentraciones de 0.07-2.01 % para Ca, 0.98-0.1 % para N, 0.05-0.59% para Mg, 0.61-4.29 % para K y 0.74-2.02 % para P. El bocashi aporta una gran cantidad de microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos) que brindan al suelo mejores condiciones de sanidad. También ayuda a mantener una relación C/N estable, contiene niveles bajos de metales pesados y promueve el crecimiento de bacterias benéficas, mostrando una alta actividad y calidad microbiana. Dentro de las ventajas están que puede mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, aumentar las poblaciones microbianas y suministrar nutrientes a las plantas, contribuyendo así a un mejor crecimiento y desarrollo de estas.

Para elaborarlo se pueden utilizar los siguientes insumos: estiércol de ganado o gallinaza que servirán como fuente de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y micronutrientes; suelo, que proporcionará microorganismos a la mezcla, necesarios para que se lleve a cabo el proceso de descomposición de la materia orgánica; residuos vegetales que son fuente de nutrientes para los microorganismos; melaza como fuente de energía para los microorganismos; ceniza, como fuente de potasio; carbón, para mejorar la absorción de calor y humedad en la mezcla, además permite una mejor aireación, ayuda a retener y liberar poco a poco los nutrientes; cal, para neutralizar a acidez del estiércol y como fuente de calcio y magnesio; suero de leche y agua.

La mezcla de sus componentes desencadena un proceso controlado de semi descomposición aerobia termófila. Esta transformación es realizada por los microorganismos adicionados a la mezcla y el resultado es un compuesto estable y biodisponible.

Otro aspecto por considerar es la fuente de nitrógeno que se utilice en la elaboración de este tipo de abono, ya que esta influye directamente en las propiedades y la calidad de este como se muestra en la Tabla 1.

### **El estiércol**

Es el residuo no digerido de materia vegetal que ha pasado por el intestino del animal. La materia fecal resultante es rica en minerales. Cabe resaltar que su contenido nutricional puede variar de acuerdo con la alimentación del animal, sin embargo, se ha



informado que el estiércol bovino contiene alrededor del 1,5 % de N.

Se aplica comúnmente al terreno de forma cruda (fresco o seco), como estiércol compostado o solarizado. El estiércol compostado es un excelente abono orgánico y medio de cultivo para plantas de jardín. Se mezclan con el suelo o se utilizan como abono para plantas y hortalizas como fertilizante rico en nutrientes. Se utilizan comúnmente como insumos iniciales ya que se mineralizan lentamente. El momento adecuado para aplicarlo es antes de plantar el cultivo. Si se aplica y maneja correctamente, puede ser un gran medio para mejorar la calidad del suelo y los cultivos. Por otra parte, el estiércol solarizado proviene de realizar montículos de un metro de alto de estiércol, posteriormente se le agrega agua hasta alcanzar una humedad del 25% y finalmente se cubre con plástico. La temperatura debe ser mayor a 60 °C y el tiempo de solarización es variable según las condiciones climáticas y la estación del año del lugar donde se realice. Existe evidencia de que el estiércol animal puede aumentar el pH de los suelos ácidos. El suelo modificado con estiércol puede tener un pH significativamente más alto que el suelo no modificado.

**Tabla 1. Propiedades del abono tipo bocashi según su fuente de nitrógeno.**

Autor	Tipo de estiércol	N (%)	MO (%)	C/N	pH	CE (dS/m)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>final</sub> (°C)
Mendeliv-Lugo <i>et al.</i> (2020)	bovino	1.50	18.60	nd	9.39	8.96	65	30
Faozi <i>et al.</i> (2018)	bovino	1.16	31.53	15.72	9.35	1.41	55.06	30
Ramos y Terry (2014)	cerdo	1.25	20.38	11.25	8.6	nd	50	30
Quiroz y Flores (2018)	cerdo	1.49	77	29	6.4	4.2	56.8	36
Quiroz y Flores (2018)	gallinaza	1.79	72	22	6.8	5.5	63.6	41.3
Fuente propia	bovino	1.39	33.6	14	7.37	0.30	50	32.4

Fuente: Mexicano *et al.* (2022) disponible en: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/artigo-revista/uso-de-estiercol-bovino-en-la-elaboracion-y-maduracion-de-un-bocashi>.

Por otra parte, la gallinaza es un abono orgánico de origen animal, muy concentrado y de rápida acción, que contiene todos los nutrientes básicos indispensables para las plantas. Es considerado uno de los mejores fertilizantes orgánicos disponibles y es un recurso extremadamente valioso. Mejora la fertilidad del suelo y potencia el desarrollo del sistema radicular y el vigor de las plantas y las hace menos susceptibles a



enfermedades y ataques de plagas. Se mineraliza rápidamente en el suelo produciendo mucho calor; de ahí que no sea recomendable utilizarlo durante las estaciones cálidas. Los impactos adversos resultantes de la aplicación de gallinaza a la tierra pueden prevenirse mediante la implementación de mejores prácticas de gestión.

### **La composta**

Se puede definir como material orgánico particulado sólido resultado del proceso de compostaje, que es un proceso aeróbico en el que la materia orgánica es degradada y transformada por acción de microorganismos. El proceso de compostaje se puede dividir en cuatro etapas o fases. 1) fase mesófila donde la pila se mantiene a temperaturas entre 20-40°C. Durante esta fase, los hongos, actino bacterias y bacterias degradan compuestos ricos en energía y fácilmente degradables como los azúcares y proteínas; 2) fase termófila que comienza cuando la temperatura incrementa a una temperatura por encima de los 45°C, en esta fase ocurre la eliminación de microorganismos patógenos debido al incremento de la temperatura, producto del metabolismo de los microorganismos; 3) fase de enfriamiento comienza con el descenso de la temperatura y se caracteriza por el aumento de microorganismos que degradan celulosa y almidón; 4) fase de maduración, donde la pila se estabiliza, la cantidad de hongos aumenta mientras que la de bacterias disminuye, además de que hay formación de compuestos complejos de lignina-humus. Cabe resaltar que durante el proceso de compostaje es necesario controlar factores como la humedad, la aireación, la temperatura, el pH y la relación carbono-nitrógeno para garantizar la producción de fertilizantes orgánicos de alta calidad.

Dentro de los beneficios que aporta la composta al suelo son la incorporación de materia orgánica y nutrientes; mejorar la aireación, la retención de humedad, prevenir la erosión del suelo, mejorar la composición fisicoquímica del suelo, promover el desarrollo de microorganismos benéficos, favorecer la absorción de rayos solares, aumentar la temperatura del suelo en temporada de frío, entre otros.

Como se mencionó anteriormente, dependiendo el origen de los insumos utilizados para su elaboración, la composición nutrimental puede variar. En la Tabla 2 se presenta la composición nutrimental de tres tipos de compost.

### **El humus**

Las sustancias húmicas se definen como sustancias de peso molecular relativamente alto, de color amarillo a negro, formadas por reacciones de síntesis secundaria (humificación) de plantas, animales y productos de descomposición microbiana. Son los principales constituyentes de la materia orgánica presente en suelos, aguas y sedimentos. Constituyen hasta el 70-80% de la materia orgánica del suelo en suelos agrícolas. Las sustancias húmicas pueden fraccionarse en ácido húmico, ácido fúlvico y



huminas. El ácido húmico es una fracción de alto peso molecular, con un contenido de carbono del 50% al 62%, de color marrón oscuro, altamente polimerizado y que está estrechamente ligado a las arcillas del suelo, además de ser resistente a la degradación; el ácido fúlvico, es la fracción soluble en ácidos y bases, de bajo peso molecular, con un contenido de carbono del 43% al 52% y de color amarillento. Finalmente, las huminas constituyen la fracción no soluble y no extraíble, es la más polimerizada y tiene mayor peso molecular.

Las sustancias húmicas desempeñan un papel muy importante en la fertilidad y mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo como la textura, estructura, la permeabilidad al agua, la capacidad de retención de agua, la actividad biológica, la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, la amortiguación del pH y secuestro de carbono. Además, ejercen un efecto estimulante para una mejor absorción de nutrientes por parte de la planta y evita la pérdida de nitrógeno en el suelo por volatilización o lixiviación. En las semillas tiene un efecto positivo sobre la germinación y se ha informado que este se logra cuando se aplican los ácidos húmicos a una razón de 20 y 100 mg/litro.

**Tabla 2. Composición nutrimental del Compost a partir de tres insumos diferentes.**

Compost	MO (%)	C/N	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Desperdicio de frutas	6.18	11	0.32	0.14	0.26
Residuos de verduras	6.53	11	0.34	0.18	0.32
Residuos agrícolas	5.98	12	0.28	0.12	0.24

Fuente: Parihar y Choudhary (2022). Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1084/1/012070/pdf>.

### **El polvo de paja**

Es un subproducto de los residuos de cultivos que puede utilizarse como fertilizante orgánico. Cuando se procesa en forma de polvo, se puede utilizar eficazmente para enriquecer el suelo con materia orgánica, promoviendo el crecimiento de microorganismos benéficos y mejorando la fertilidad del suelo. Al incorporar polvo de paja al suelo, proporciona una fuente de nutrientes y material orgánico que ayuda a mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de agua y fomentar el crecimiento de los cultivos. Su descomposición está influenciada por diversos factores como la temperatura, la humedad y la presencia de nitrógeno en el suelo.

En particular la paja de arroz es una buena fuente de nutrientes. Se ha informado que contiene aproximadamente el 40% de N, 30-35 % de P y 80-85 % de K. Estos nutrientes son liberados debido a la presencia de polímeros en la paja como la lignina en un 5-15%, hemicelulosas en un 29- 37 % y celulosa en 32-37 %. En cuanto a la paja de



trigo se ha informado que contiene 8.4 mg/ha de K, 0.62 mg/ha de Mg, 0.27 mg/ha de Fe, 0.031 mg/ha de Mn, 2.8 mg/ha de Ca.

### **La harina de plumas**

Las plumas son un subproducto de la industria avícola, presentan 80.51% de proteínas, 10.05% fibra orgánica, 93% materia orgánica y 12.66% de nitrógeno, convirtiéndolo en un excelente sustrato para la preparación de abonos orgánicos, ya que hasta un 30% de plumas muestran mejoras significativas en la capacidad de retención de agua, materia orgánica, nitrógeno y el contenido mineral, parámetros importantes en la calidad de abonos orgánicos. Las plumas son fuente de péptidos, aminoácidos y minerales para los fertilizantes orgánicos, la degradación y aplicación en suelos podría ser una fuente económica de compuestos nitrogenados para las plantas, y generar aminoácidos, especialmente el triptófano, un precursor de la hormona del crecimiento de las plantas, ácido indol-3-acético fitohormona esencial para la germinación de semillas crecimiento y desarrollo de las plantas, incluida la plasticidad celular, elongación del tejido, embriogénesis y emergencia de las raíces colaterales.

La harina de plumas funciona como un fertilizante de liberación semi lenta; la liberación de nitrógeno llega hasta 65% después de ocho semanas, debido a su resistencia a la descomposición, la acumulación de biomasa microbiana y la descomposición secundaria. Su aplicación en los suelos presenta afectos muy importantes en los indicadores de fertilidad, produciendo efectos significativos en el pH, materia orgánica, N, P y K y sobre la población de bacterias que degradan celulosa y proteínas, favoreciendo así el reciclaje que está directamente relacionada con la fertilidad y el control de enfermedades.

### **La harina de sangre**

La sangre es un líquido de color rojo escarlata, que se obtiene después del sacrificio de los animales. Está formada por el plasma, que es un componente rico en proteínas (albúmina, diversas globulinas y el fibrinógeno) y sales como fosfato potásico, cloruro sódico, Ca, Mg y Fe. La sangre seca de los mataderos de ganado se puede utilizar como fertilizante orgánico ya que contiene aproximadamente del 10% al 13% de nitrógeno orgánico. El componente principal del fertilizante es la hemoglobina, que se caracteriza por la presencia de un grupo protésico que contiene hierro (Fe). La sangre debe secarse antes de usarse. Para lograr esto existen varios métodos de secado, como secado en horno, secado en tambor, secado instantáneo o secado por aspersión y secado solar, para obtener una harina. Se puede aplicar directamente al suelo o puede ser mezclada con composta para reducir la intensidad de liberación de nitrógeno presente en ella una dosis que no exceda los 50 -100 gramos por metro cuadrado.





## **Fertilizantes Líquidos**

Dentro de los abonos líquidos podemos encontrar a los biofertilizantes líquidos y biofertilizantes líquidos fermentados.

### **Los biofertilizantes líquidos**

Son formulaciones que contienen microorganismos eficientes que aumentan la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. Contienen microorganismos vivos como bacterias, hongos y algas que mejoran el crecimiento de las plantas mediante la colonización de la rizósfera y de esta manera proporcionar una mayor disponibilidad de nutrientes en las plantas. Son producto de la fermentación en la cual se cultivan microorganismos seleccionados utilizando un medio nutritivo específico, así como condiciones óptimas de temperatura, pH, agitación y aeración. Estos se pueden agrupar en: en fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, movilizadores de fósforo, proveedores de micronutrientes y promotores del crecimiento vegetal. Contienen nitrógeno, hormonas, amoníaco, aminoácidos y vitaminas.

Existen fertilizantes líquidos, fertilizantes líquidos concentrados en suspensión, los cuáles deben ser diluidos en agua; fertilizantes líquidos en suspensión en volumen ultra bajo, que es una formulación lista para usar y que se puede aplicar mediante maquinaria de pulverización aérea o terrestre en una pulverización muy fina. El fertilizante líquido concentrado de flujo miscible en aceite es una dispersión de ingredientes activos en un líquido orgánico que debe diluirse antes de su uso. El fertilizante líquido de dispersión en aceite que contiene ingredientes activos en aceite o en un disolvente miscible en agua que se puede aplicar como una emulsión o emulsión invertida, es decir, agua en aceite.

En este tipo de fertilizantes el nitrógeno queda disponible para las plantas debido a que nitrógeno atmosférico es catalizado y reducido a  $\text{NH}_4^+$  mediante la acción de bacterias del género *Rhizobiaceae*, *Cyanobacterium*, *Azospirillum* sp. y cianobacterias. Además, algunos microorganismos presentes en el biofertilizante ayudan a solubilizar el fósforo insoluble y producen formas solubles y asimilables para las plantas.

### **Los abonos líquidos fermentados**

Se originan a partir de la fermentación de materia orgánica como estiércol, plantas verdes y frutas a través de la digestión anaeróbica llevada a cabo en un digestor. Sin embargo, su formulación y composición puede variar dependiendo del criterio del productor y los insumos utilizados para su elaboración. Por lo general es elaborado con una mezcla de agua, una fuente de nitrógeno que puede ser estiércol o leguminosas, una fuente de energía como melaza o jugo de caña y puede ser enriquecida con harina de roca y sales inorgánicas, también es necesario adicionar un inóculo microbiano como la levadura, leche o suero de leche, ya que los microorganismos son los responsables de la transformación de la materia orgánica.



Un abono líquido fermentado que se obtiene mediante la digestión anaeróbica de materiales orgánicos provenientes de animales y vegetales como el estiércol o restos de vegetales llevada a cabo en un biodigestor. Es considerado un fito estimulante por su contenido de fitorreguladores resultantes de la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos. Puede ser preparado a partir de estiércol diluido en agua y enriquecido con leche, melaza y ceniza.

El estiércol se utiliza principalmente como fuente de N y P, sin embargo, hay que considerar que su composición nutricional puede variar de acuerdo con el tipo de alimentación del ganado; la leche o suero de leche proporciona bacterias ácido-lácticas necesarias para el proceso de fermentación; la melaza sirve como fuente de energía para los microorganismos y la ceniza como fuente de minerales.

El proceso de fermentación de un abono líquido puede durar 30 días en un biodigestor. El proceso de digestión ocurre en cuatro etapas: 1) hidrólisis, donde ocurre la hidrólisis enzimática de lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos; 2) acidogénesis, donde los productos de la hidrólisis son utilizados por bacterias para producir ácidos orgánicos de cadena corta como el ácido propiónico, ácido butírico, ácido acético, además de producir hidrógeno y  $\text{CO}_2$ ; 3) acetogénesis, en esta etapa ocurre la transformación de ácidos y aminoácidos en compuestos metabolizables para las archaeas metanógenas, microorganismos anaeróbicos estrictos que producen  $\text{CH}_4$ ; 4) metanogénesis, es en esta etapa donde las archaeas transforman el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  y acetato en  $\text{CH}_4$ .

Se ha informado que este tipo de abono puede contener 290 mg/l de N, 17.78 mg/L de P, 111.7 mg/L de K, 153.2 mg/L de Mg, 1.530 mg/L de Fe, 0.300 mg/L de Mn y 0.140 mg/l de Zn. Dentro de los beneficios que se le atribuyen al biofertilizante líquido, está su capacidad de incrementar la solubilidad de los nutrientes, el aporte de nutrientes esenciales que estimulan el crecimiento de las plantas, la fijación del nitrógeno atmosférico al suelo, el crecimiento y desarrollo de las raíces, así como el incremento de la tolerancia de las plantas a la sequía, la salinidad y al ataque de microorganismos patógenos.

### **Conclusión**

Los abonos orgánicos son una buena alternativa para ser utilizados durante la producción de cultivos. Además, pueden ser combinados con fertilizantes químicos y de esta manera reducir el uso de estos y por consecuente, disminuir el impacto negativo en el ambiente generado por dichos fertilizantes. Por otra parte, los abonos orgánicos generan beneficios, ya que mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo y son una fuente de nutrientes, incrementan la cantidad de microorganismos en el suelo y proporcionan fitorreguladores necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas.



## Referencias

- Akter, S., Rashid, H., Sadis M. (2017). Effects of rice hull, rice straw and saw dust application on the primary nutrients of rice plants grown under variable moisture conditions in a saline soil. *Bangladesh Journals Online*. 30(1/2):11-21
- Boza M. S., (2010). Desafío del desarrollo: la agricultura orgánica como parte de una estrategia de mitigación de la pobreza rural en México. *Nósis. Revista de ciencias sociales y humanidades*, 19 (37):92-111.
- Churilova, E., Midmore, D. (2019). Vermiliquer (Vermicompost Leachate) as a Complete Liquid Fertilizer for Hydroponically-Grown Pak Choi (*Brassica chinensis* L.) in the Tropics. *Horticultura*. 5(1):26. Doi:10.3390/horticulturae5010026.
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Beltrán-Morales, A., Ruíz-Espinoza, F. H. & García-Hernández, J. L. (2010). Aprovechamiento de residuos orgánicos de origen animal, vegetal y doméstico para la elaboración y uso de composta en la agricultura orgánica. *Agricultura orgánica*, 69.
- Bondarenko, A. M., Kachanova, L. S., Baryshnikov, A. V., & Novikov, S. A. (2021). Technologies for the production and application of organic fertilizers in agriculture. *The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems* (pp. 897–906). Springer International Publishing.
- Bautista C. A., Cruz Domínguez, G., y Rodríguez, M. D. LN. (2015). Efecto de bocashi y fertilizantes de liberación lenta en algunas propiedades de suelos con maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 217-222.
- Das, D., Abhishek, K., Banik, P., & Swain, D. K. (2022). Comparative evaluation of changes in soil bio-chemical properties after application of traditional and enriched vermicompost. *Environmental Technology & Innovation*, 28(102956), 102956. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102956>
- González M. LC, Félix-Gastélum, R., Sandoval R. JA, Escobedo U. DC, & Longoria-Espinoza, R. M. (2021). Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana*: 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.859>.
- Litterick, A. M., Harrier, L., Wallace, P., Watson, C. A., & Wood, M. (2004). The Role of Uncomposted Materials, Composts, Manures, and Compost Extracts in Reducing Pest and Disease Incidence and Severity in Sustainable Temperate Agricultural and Horticultural Crop Production—A Review. *Plants Sciences*. 23:6, 453-479, DOI:10.1080/07352680490886815.
- Lopes, L. D., Böger, B. R., Cavalli, K. F., Silveira-Júnior, J. F. dos S., Osório, D. V. C. L., Oliveira, D. F. de, Luchetta, L., & Tonial, I. B. (2014). Fatty acid profile, quality lipid index and bioactive compounds of flour from grape residues. *Ciencia e Investigacion Agraria*, 41(2), 15–16. <https://doi.org/10.4067/s0718-16202014000200008>.
- Ortega, R., & Fernández, M. (2007). Agronomic Evaluation of Liquid Humus Derived From



- Earthworm Humic Substances. *Journal of Plant Nutrition*, 30(12), 2091–2104. doi:10.1080/01904160701700574.
- Pooja, Rana, M. K., Sharma, A., Mehla, O. P., Singh, D., Singh, A., & Verma, S. (2022). Vermicompost effect on soil and field crops: A review. *The pharma innovation*, 11(11), 2565–2569. <https://doi.org/10.22271/tpi.2022.v11.i11ae.17113>
- Purnomo, C. W., Noviyani, P., Indarti, S., & Schriefer, G. T. (2022). Synthesis and pot trial of organic fertilizer from solid waste. IOP conference series. *Earth and environmental science*, 963(1), 012052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012052>.
- Ramos A. D. y Terry A., E. (2014). Generalities of the organic manures: Bocashi's importance like nutritional alternative for soil and plants. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59. ISSN digital: 1819-4087.
- Rehman, S., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., Fanizzi, F. (2023). Vermicompost: Enhancing Plant Growth and Combating Abiotic and Biotic Stress. *Agronomy*. 13(4):1134. Doi:10.3390/agronomy13041134.
- Ramos A. D., Terry A. E., Soto C., F., Cabrera R. A., Martín A. G. M., y Fernández Ch. L. (2016). Respuesta del cultivo del plátano a diferentes proporciones de suelo y bocashi, complementadas con fertilizante mineral en etapa de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 165-174.
- Sánchez Ll. I., Fuerte G. L., Ravelo O. R. y Ávila G. O. (2022). Estado del arte de los biopreparados por digestión anaerobia como biofertilizantes y bioestimulantes. *Revista Ingeniería Agrícola*, 12(4):49-61. ISSN: 2306-1545.
- Shaji, H., Chandran, V., & Mathew, L. (2021). Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*, 231–245. doi:10.1016/b978-0-12-819555-0.00013-3.
- Shufeng, L. IU, Wang, H., Zhaoqin, L. V., Jingwei, S. UN, Xinpeng, S. HI, & Wang, J. X. (2022). Analysis and design of solid-liquid mixed fertilizer device for organic fertilizer on solid-liquid two-phase flow. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 66(1) <https://doi.org/10.35633/inmateh--17>.
- Tammam, A. A., Shehata, M. R. AM., Pessaraki, M., & El-Aggan, W. H. (2023). Vermicompost and its role in alleviation of salt stress in plants – II. Impact of vermicompost on the physiological responses of salt-stressed plants. *Journal of Plant Nutrition*, 46(7):1458–1478. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2072742>.
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010). Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. *Plant signaling & behavior*, 5(6), 635–643. <https://doi.org/10.4161/psb.5.6.11211>.
- Virk, A., (2021). Department of Soil Science, Sindh Agriculture University Tandojam,



---

Sindh, 70060, Pakistan. Memon, K. S., Memon, M., & Hussain, S. Formulation of optimum banana residue based compost product and its efficacy on maize and soil properties. *Indian journal of science and technology*, 14(11), 932–941. <https://doi.org/10.17485/ijst/v14i11.1992>.

Zhang, J., Hu, F., Li, H., Gao Q., Song, X., Ke X., Wang, L. (2011). Effects of earthworm activity on humus composition and humic acid characteristics of soil in a maize residue amended rice–wheat rotation agroecosystem. *Applied Soil Ecology*. 51:1-8. doi: 10.1016/j.apsoil.2011.08.004.



# Fertirrigación: optimización del uso de agua y nutrientes en caña de azúcar

Juan Patishtan Pérez  
Oscar Guadalupe Barrón Bravo  
Zeferino Vicente Hernández  
Moisés Felipe Victoriano





## Introducción

La fertirrigación es una estrategia altamente efectiva para abordar el desafío del uso eficiente del agua en la agricultura, especialmente en el contexto del cambio climático y el crecimiento de la población. La caña de azúcar posee altos requerimientos nutricionales debido a su elevada capacidad de producción de material vegetal y la prolongada duración de su ciclo, razón por la cual efectúa una elevada extracción de nutrientes del suelo. La técnica de fertirrigación permite el transporte de agua y nutrientes directamente a las raíces de las plantas a través del sistema de riego por goteo. El riego por goteo actúa como un medio de transporte para suministrar fertilizantes químicos u orgánicos, mejoradores de suelo y otros compuestos diluidos utilizados para el control de plagas y enfermedades.

La implementación de la fertirrigación mejora significativamente la eficiencia del uso del agua, optimiza la entrega de nutrientes y, en consecuencia, aumenta el rendimiento de los cultivos. La fertirrigación, también conocida como fertigación, quimigación o nutrigación, es una técnica agrícola moderna que transporta agua y nutrientes a la zona de raíces de las plantas mediante el sistema de riego por goteo. Esta técnica ofrece la oportunidad de maximizar los rendimientos de cultivos y, al mismo tiempo, reducir la contaminación ambiental, en este aspecto la agricultura a nivel mundial está cada vez más interesada en reducir el daño al ambiente y riesgos de salud causado por las actividades agrícolas, sobre todo con respecto a que son el resultado del uso desmedido de agroquímicos.

La agricultura convencional empezó a ser cuestionada, y en el campo agrícola se están produciendo cambios, la importancia de implementar técnicas de producción agrícola enfocadas al uso eficiente de los recursos que tiende hacia una agricultura sustentable. Los productores invierten mucho recurso en abonos para sus cultivos y al aplicar estos nutrientes tienen que costear jornales que realizan este trabajo, y para aprovecharlos la aplicación se lleva a cabo regularmente en una sola dosis, ya que si la dosis de nutrientes se divide se incrementan los costos 2 a 3 veces.

La fertirrigación en México es poco utilizada en los sistemas de producción de caña de azúcar, lo más común es aplicar fertilizantes mediante aspersión manual, lo cual provoca que la cantidad de nitrógeno necesaria por el cultivo sea superada, quedando un excedente desaprovechado en la superficie, que al no ser absorbido por el cultivo se puede lixiviar a los mantos freáticos.





## Descripción de los sistemas de riego

Los principales sistemas de riego en la Región Noreste de México son el riego rodado, el riego por cañones, el riego por pivote central y el riego por goteo los cuales se describen a continuación:

### El riego rodado:

Es una técnica tradicional de irrigación en la que el agua se aplica directamente sobre la superficie del suelo y se distribuye a través de la gravedad, con una eficiencia aproximada del 45%.

Este método se caracteriza por su bajo costo de instalación y mantenimiento, y su facilidad de implementación. Sin embargo, su baja eficiencia se debe a pérdidas por evaporación y percolación, y requiere terrenos nivelados para su adecuada aplicación (Figura 1).



**Figura 1.** Riego rodado en caña de azúcar en la región Huasteca.

### El riego por cañones:

Emplea grandes aspersores montados en torres o plataformas móviles para distribuir el agua sobre grandes áreas agrícolas. Este método tiene una eficiencia que oscila entre el 70% y el 85%.

Sus ventajas incluyen una cobertura amplia y uniforme, así como la flexibilidad para diferentes tipos de cultivos. No obstante, sus desventajas abarcan un mayor consumo de energía y pérdidas por evaporación y deriva del viento (Figura 2).



**Figura 2.** Riego por cañones en caña de azúcar en la región Huasteca.

### **El riego por pivote central:**

Utiliza un sistema de tuberías montadas sobre torres móviles que giran alrededor de un punto central, aplicando agua de manera uniforme a través de aspersores. Este sistema tiene una eficiencia generalmente entre el 70% y el 90%.

Sus ventajas incluyen una alta eficiencia en la distribución del agua, la reducción de la mano de obra y la posibilidad de automatización para mejorar la gestión del riego. Sin embargo, también presenta desventajas como el alto costo inicial de instalación, la necesidad de un suministro de agua adecuado y constante, y pérdidas por evaporación en condiciones de viento (Figura 3).

### **El riego por goteo:**

Aplica agua directamente en la zona radicular de las plantas mediante emisores, minimizando las pérdidas por evaporación y percolación. Entre sus ventajas, se destacan la alta eficiencia en el uso del agua, la reducción significativa del crecimiento de malezas y la mejora en la uniformidad de la distribución del agua y nutrientes. Sin embargo, presenta desventajas como el alto costo inicial de instalación, la necesidad de un mantenimiento regular para evitar obstrucciones en los emisores y su posible inadecuación para cultivos de cobertura amplia (Figura 4).



**Figura 3.** Riego por pivote central en caña de azúcar en la región Huasteca.



**Figura 4.** Riego por goteo en caña de azúcar en la región Huasteca.



### **Situación actual de riego en caña de azúcar**

En la producción de caña de azúcar, el método predominante es el riego temporal o rodado, utilizado en el 95% de la superficie agrícola. Aunque este método es eficaz, consume grandes cantidades de agua y tiene una eficiencia de riego del 45%. Existen otros métodos de riego, como el pivote central y el cañón viajero o permanente, que tienen eficiencias de riego del 60-70% y del 75-90%, respectivamente. Todos estos sistemas son adecuados para el cultivo de caña de azúcar, pero es esencial mejorar el uso eficiente del agua y los nutrientes en las diferentes etapas del cultivo para lograr un rendimiento óptimo.

### **Reseña histórica de la fertirrigación**

El desarrollo del riego por goteo se remonta a antes de 1920, mientras que los aspersores y los tubos de acero liviano se desarrollaron en la década de 1930. Los primeros experimentos relacionados con la fertirrigación se llevaron a cabo a fines del siglo XIX, pero los avances significativos no se lograron hasta las décadas de 1950 y 1960. En el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Noreste (CIRNE) – Campo Experimental Las Huastecas (CEHUAS), las investigaciones sobre la tecnología de la fertirrigación en caña de azúcar comenzaron en la década de 1990, inicialmente en cultivos hortícolas como el chile jalapeño. Con el tiempo, se generaron conocimientos y tecnologías relacionados con la fertirrigación en varios cultivos, incluyendo la caña de azúcar (Figura 5).





**Figura 5.** Sede de la generación de la tecnología de fertirrigación en caña de azúcar.

### **Rendimientos de cultivos en sistema de fertirrigación**

Bajo el sistema de fertirrigación, se han obtenido rendimientos altos en diversos cultivos. Por ejemplo, se han registrado rendimientos de 50 a 60 toneladas por hectárea en cebolla, 20 toneladas en chile serranillo, 70-90 toneladas en chile serrano estándar, 8-10 toneladas en maíz, y 3 toneladas por hectárea en soya. En el caso de la caña de azúcar, se han alcanzado rendimientos comerciales de 180 toneladas por hectárea en planta, 120 toneladas en soca y 100 toneladas en resoca. Sin embargo, en parcelas experimentales y de validación, se han registrado rendimientos entre 180 y 240 toneladas por hectárea (Figura 6).



**Figura 6.** Parcela demostrativa de caña de azúcar con tecnología de fertirrigación.

### **Importancia de la fertirrigación**

La investigación actual se enfoca en mejorar y actualizar el paquete tecnológico de fertirrigación en cultivos de caña de azúcar, maíz y hortalizas en la región huasteca. Para la caña de azúcar, se están realizando investigaciones en el Sitio Experimental Ébano del INIFAP, San Luis Potosí, así como en otros municipios de El Mante, Xicoténcatl y Gómez Farías, Tamaulipas. La necesidad de actualizar las prácticas de fertirrigación se debe a la escasez y la distribución irregular de la precipitación pluvial, así como a los nuevos materiales genéticos y opciones de fertilización mineral y orgánica disponibles en la región huasteca.



La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es un cultivo agrícola prominente en México debido a su alto rendimiento en sacarosa. Sin embargo, este cultivo agota significativamente los macronutrientes del suelo debido al sistema de monocultivo (Figura 7), fertilización inadecuada y falta de retención de residuos (Hunsigi, 2012). En la práctica, el manejo de fertilización se centra en el uso de nitrógeno (N), fósforo ( $P_2O_5$ ) y potasio ( $K^+$ ) de diversas fuentes comerciales. Las dosis recomendadas de estos nutrientes varían según las condiciones del suelo, las prácticas agronómicas, las variedades y los ciclos de planta, soca y resoca.

Otro punto importante en el uso de la fertirrigación es que se puede usar en combinación con la fertilización orgánica, la cual puede ser superior a la fertilización química en algunos parámetros nutrimentales y de crecimiento, entre estos fertilizantes destaca la cachaza que es un material orgánico que se genera durante el procesamiento de la caña, y por cada tonelada de caña procesada se obtienen de 30-50 kg que pueden usarse como abono, pero se necesitan grandes volúmenes para aportar cantidades suficientes de nutrientes al cultivo, sin embargo, mediante el composteo es posible reducir el volumen y concentrar los nutrientes para fertilizar la caña de azúcar con menores volúmenes de abono.



**Figura 7.** Parcela demostrativa de caña de azúcar con tecnología de fertirrigación en el Sitio Experimental Ébano, San Luis Potosí.



El déficit hídrico afecta significativamente el desarrollo y la productividad de la caña de azúcar. La tecnología “Fertirrigación para alta producción de caña de azúcar con riego por goteo” generada por INIFAP permite aplicar el agua directamente al suelo, en la zona radical de la planta. Este sistema de riego tiene diferentes beneficios como ahorro de agua hasta un 90% en comparación con el sistema de riego convencional, dosificación simultánea de fertilizantes solubles junto con el riego e incremento significativo del rendimiento. La aplicación de esta tecnología tiene potencial en la mayoría de las zonas cañeras del país.

### Estudios de fertirrigación en Las Huastecas

En el Sitio Experimental Ébano del INIFAP Las Huastecas (Figura 8), se han realizado estudios centrándose en la influencia de la fertilización química (FQ) con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K<sup>+</sup>) en el cultivo de caña de azúcar. La dosis comúnmente utilizada es de 180-60-120, con el 50% del fósforo aplicado al fondo del surco durante la pre- siembra junto con el 30% de la fertilización nitrogenada. La dosis de NPK se aplica semanalmente durante las fases de amacollamiento y crecimiento rápido, mientras que el potasio se aplica al comienzo de la fase de crecimiento rápido del cultivo.



**Figura 8.** Siembra de caña de azúcar en el Sitio Experimental Ébano, San Luis Potosí.



### **Evaluación y análisis del crecimiento**

Para evaluar los efectos de la fertirrigación en los parámetros agronómicos de la caña de azúcar, se registran mensualmente datos sobre la población de plantas, diámetro, altura y peso de los tallos molederos, así como el porcentaje de daño causado por el barrenador de tallos a partir del sexto mes después de la siembra. La longitud de los canutos y el contenido total de azúcares en grados Brix ( $^{\circ}$ Brix) se miden en el noveno y décimo mes después de la siembra. Para calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR), se aplica la fórmula propuesta por Patishtan et al. (2018) utilizando datos de número de canutos, altura y peso de los tallos molederos.



**Figura 9.** Medición de contenido de azúcares totales en el Sitio Experimental, Ébano, San Luis Potosí.

### **Azúcares encontrados en caña por otros autores**

En los programas de mejoramiento de caña, el conocimiento y clasificación de los diferentes sitios de pruebas es importante en la determinación de los ambientes necesarios para realizar una evaluación eficiente de genotipos y estudiar la adaptabilidad, la estabilidad del comportamiento de estos y la forma en que interaccionan con los ambientes de evaluación. Respecto a los  $^{\circ}$ Brix, los resultados oscilan de 15 a 20%. Estos resultados son similares a los encontrados por Preciado et al. (2019), quienes registraron un 16.11% de  $^{\circ}$ Brix. Mientras tanto, Reyes-Hernández et al. (2022) en la zona Noreste





---

de México, en el municipio de Mante, Tamaulipas, estudiaron 8 variedades de caña sin usar el fertirriego, la fertilización se dividió en dos aplicaciones, una al momento de la siembra y otra a los cinco meses después de la primera, encontraron 13.3% en °Brix en la variedad CP 72-2086.

### **Conclusiones**

El fertirriego es una innovación en los sistemas de riego que ofrece mayor eficiencia en la nutrición de la caña de azúcar, reduce los costos de operación en la aplicación, así como la contaminación generada por el exceso en las dosis de nutrientes. Los estudios indican un crecimiento significativo en la caña de azúcar con un aumento diario de altura, número y peso de los tallos molederos, además, se observa un incremento en el contenido de azúcares totales al utilizar este sistema, siendo una excelente opción para los sistemas de producción.



## Referencias

- Córdova-Gamas, G., Salgado-García, S., Castelán-Estrada, M., Palma-López, D.J., García-Moya, E., Lagunes-Espinoza, L.D.C., Córdova-Sánchez, S., 2016. Opciones de fertilización para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Tabasco, México. México. Agroproductividad. 9(3): 27-34.
- García-Saldaña, A., Alonso-López, A., 2022. Fertirrigación en un agroecosistema con caña de azúcar. Agro-divulgación. 2 (6). <https://doi.org/10.54767/ad.v2i6.121>
- Hunsigi, G., 2012. Production of sugarcane: theory and practice. Springer Science & Business Media.
- Mata, V.H., 2005. Fertirrigación de caña de azúcar con riego por goteo en el Sur de Tamaulipas. In Folleto Técnico (Ed A. y. P. I. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales).
- Méndez, S.R., Ambriz, C.R., Campos, H.A., 2005. Guía para cultivar Cañá de Azúcar con el Sistema Tipo Piña o Doble Surco en el estado de Morelos.
- Palma López, D.J., Salgado García, S., Obrador Olán, J.J., Trujillo Narcía, A., Lagunes Espinoza, L.C., Zavala Cruz, J., Ruiz Bello, A., Carrera Martel, M.A., 2002. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). Terra Latinoamericana. 20 (3).
- Patishtan, J., Hartley, T.N., Fonseca de Carvalho, R., Maathuis, F.J.M., 2018. Genome-wide association studies to identify rice salt-tolerance markers. Plant, Cell & Environment. 41 (5): 970-982.
- Reyes-Hernández, J., Torres-de los Santos, R., Hernández-Torres, H., Hernández-Robledo, V., Alvarado-Ramírez, E., Joaquín-Cancino, S., 2022. Rendimiento y calidad de siete variedades de caña de azúcar en El Mante, Tamaulipas. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 13 (5): 883-892. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.3232>
- Ruiz, C., Russián, T., Tua, D., 2007. Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de la cebolla. Agronomía Tropical. 57 (1): 7-14. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2007000100002&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2007000100002&lng=es&tlng=es).
- Suárez, J. H.; Menéndez, S. A.; González, M. A.; Delgado, M. I. y Gómez, P. J. R., 2018. Evaluación de genotipos de caña de azúcar en diferentes ambientes en el ingenio Ofelina, República de Panamá. Cuba. Centro Agrícola. 45(1): 24-33. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v45n1/cag03118.pdf>

# Manejo de la nutrición convencional y orgánica en el cultivo de aguacate en Michoacán

Luis Mario Tapia Vargas  
Adelaida Stephany Hernández Valencia  
Anselmo Hernández Pérez  
Magaly Ruiz Rivas





## Introducción

En el estado de Michoacán existe producción de fruto de aguacate durante todo el año, ello diferencia al estado de otras regiones productoras como Nayarit en México y a nivel mundial de otras regiones como Israel, España, California, Chile, Sudáfrica y Australia. El aguacate es un árbol con crecimiento y desarrollo variado, llegando en su hábitat natural a una altura de 10 a 12 m. Con tallo leñoso posee un gran crecimiento vegetativo; en árboles de 25 a 30 años se han encontrado diámetros de 80 cm a 1 m. El hábitat corresponde a las características ecológicas de las especies subtropicales.

El cultivo de aguacate se puede plantar en una diversidad de suelos que van desde los francos hasta los arcillosos, aunque estos son los menos comunes, por su capacidad de retención de agua, dependiendo de la precipitación y las prácticas de cultivo que se utilicen, la característica que debe prevalecer en un huerto de aguacate es que el terreno tenga buen drenaje y de preferencia una buena pendiente, para evitar los problemas de encharcamientos que favorecen la pudrición en las raíces, condición a la cual este frutal es muy susceptible. El aguacate, como cualquier otro frutal, requiere elementos esenciales, es decir, aquellos que no deben faltar para el funcionamiento fisiológico y el desarrollo completo del ciclo vegetativo.

Los criterios de esencialidad de un elemento mineral se determinan porque su ausencia o deficiencia evita que la planta complete su ciclo vegetativo; por otro lado, la falta de un elemento no puede ser reemplazada por otro, la deficiencia se debe atender con el elemento en cuestión. La producción normal de aguacate se da a una edad de seis a ocho años y es conveniente seguir un programa de fertilización. Se consideran 17 elementos esenciales para el crecimiento y producción del aguacate.

## Suelo

Los suelos donde se produce aguacate en México, generalmente son suelos jóvenes desde el punto de vista geológico. La fertilidad para el árbol de aguacate es fundamental y se puede observar desde un punto de vista físico, químico y biológico. Así que para mantener la calidad del suelo se ha de procurar el mantenimiento de sus propiedades e incluso su mejora. Dentro de las propiedades físicas del suelo la más susceptible al deterioro es la estructura cuya presencia influye de manera directa en el resto (Figura 1).

En las propiedades físicas del suelo adecuadas para el crecimiento del cultivo, se contrasta con una limitada disponibilidad de elementos nutritivos para el cultivo; salvo el Luvisol (Charanda), los demás tipos de suelo predominantes, tienen baja fertilidad natural con bajos niveles de capacidad de intercambio catiónico de menos de 20 meq/100 gr de suelo para los suelos Andosoles y Regosoles de la franja aguacatera.

En la mayoría de los huertos de aguacate en Michoacán se presenta una baja disponibilidad de nutrientes entre ellos el nitrógeno, fósforo, calcio y algunos



micronutrientes como el zinc y manganeso, un problema importante en estos suelos es la conformación natural de fosfatos de aluminio que pueden insolubilizar al fósforo, provocando que este no se asimile para el árbol de aguacate.



**Figura 1.** La presencia de materia orgánica, organismos y microorganismos benéficos en un suelo rico.

Entre las causas de deterioro del suelo en las plantaciones de aguacate se encuentran la compactación del suelo por el uso de maquinaria pesada, la poca incorporación de materia orgánica y el uso de sales minerales. Otro punto no contemplado es el riego con aguas de elevada salinidad que puede provocar una excesiva concentración de sodio en el complejo de cambio con el consiguiente deterioro estructural, sobre todo en lo referente a la excesiva dispersión de la arcilla que, si es abundante lleva a consistencias muy duras en seco.

Dentro de las propiedades químicas, el pH se ve afectado, con mucha frecuencia tiende a acidificarse por la excesiva pérdida de bases del suelo. Esta pérdida está relacionada, en muchas ocasiones, con la introducción de especies no adaptadas al tipo de suelo y que requieren unos consumos elevados en determinados elementos, sobre todo cuando el suelo está regado con lo que el crecimiento se incrementa y la demanda crece desmedidamente. Los requerimientos de nutrientes se compensan con los abonos, pero el resto lo toman de las reservas del suelo.

El empleo de abonos acidificantes en suelos de escasa capacidad tampón es otra fuente de acidificación. La solución estriba en cultivar las especies más adecuadas al tipo de suelo y usar los abonos más convenientes según las características de éste; cuando ello no es posible, siempre cabe el mantener una vigilancia adecuada y corregir las pequeñas desviaciones de pH con enmiendas calizas periódicas.





de los productos que se empleen para enriquecerlos. El Cuadro 2 muestra la composición de algunos abonos orgánicos, recomendados para plantaciones de aguacate.



**Figura 2.** Desarrollo de frutos de aguacate bajo un programa nutricional.

**Cuadro 2.** Composición de los abonos orgánicos.

Tipo de abono orgánico	Parámetros					
	Humedad (%)	Relación C/N	M. O. (%)	N (%)	P (%)	K (%)
Estiércol vacuno	80.0	20:1	11.5	0.33	0.23	0.72
Estiércol equino	67.4	30:1	17.9	0.34	0.13	0.35
Estiércol de cerdo	72.8	19:1	15.0	0.45	0.20	0.60
Estiércol de ovino	61.6	15:1	21.1	0.82	0.21	0.84
Compost	75.0	16:1	13.8	0.50	0.26	0.53
Gallinaza	75.0	22:1	15.5	0.70	1.03	0.49
Guano de murciélago	23.00	8:1	13.2	0.96	12.0	0.40
Turba	70.00	42:1	14.4	0.20	0.17	0.12
Humus de lombriz	42.50	15:1	60.4	2.39	0.88	0.22



## Fertilización

El objetivo de la fertilización en el cultivo de aguacate es elevar la producción en calidad y cantidad de acuerdo con criterios económicos. Esta práctica se basa en la nutrición específica, en los niveles óptimos de los distintos macro y micronutrientes. El análisis de los suelos y el análisis foliar permite la predicción de las dosis óptimas que se emplearán, las cuales dependen básicamente de las experiencias de la zona. Las dosis se ajustan en función de la variedad de aguacate del que se trate, la edad de los árboles y las características propias del suelo. Los macronutrientes más importantes para el cultivo del aguacate son el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y el magnesio. Las carencias más comunes de micronutrientes se dan principalmente con el hierro y zinc, llegándose a aplicar altas dosis de este último, el cloro puede provocar una alta toxicidad. Las aspersiones foliares se utilizan para fertilizar a través de la hoja; el aguacate no tiene gran capacidad de absorción foliar; sin embargo, se utilizan para incorporar micronutrientes como el hierro o el zinc, estas aplicaciones son complementarias al plan de fertilización (Cuadro 3). La fertilización en aguacate se puede realizar al incorporarse los fertilizantes en la zona de goteo (cajete) o por medio del fertiriego. Es importante recordar que la fertilización no debe efectuarse en la estación seca, ya que se reducirá aún más la disponibilidad de agua del suelo y puede afectarse al árbol.

## Función de los nutrientes

**Cuadro 3.** Función de los principales nutrientes en aguacate.

<b>Nutrimiento</b>	<b>Forma asimilable</b>	<b>Función de la planta</b>	<b>Síntomas de deficiencia</b>
Nitrógeno (N)	$\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$	Proteínas y clorofila	Amarillamiento general, brotación ausente y frutos pequeños.
Fosforo (P)	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	Activador de fotosíntesis, transferencia de energía, mecanismos reproductivos.	Reducción de crecimiento, tamaño de hojas y quemaduras foliares y de fruto.
Potasio (K)	$\text{K}^+$	Activador fisiológico general, calidad de fruto, resistencia a enfermedades.	Coloración parda y necrosis en lunares de la hoja.
Magnesio (Mg)	$\text{Mg}^{2+}$	Activador enzimático, clorofila y respiración.	Restricción de crecimiento, amarillamiento de las hojas con manchas pardas en los márgenes.





Calcio (Ca)	Ca <sup>2+</sup>	Crecimiento, resistencia a enfermedades y mayor vida en anaquel.	Rigidez celular, quemaduras y deformación foliar.
Azufre (S)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Síntesis de aminoácidos, proteínas y proceso de fotosíntesis.	Amarillamiento foliar y necrosis en márgenes.
Zinc (Zn)	Zn <sup>2+</sup>	Activador enzimático y calidad de fruto.	Amarillamiento intervenal, deformación foliar, frutos redondos y pequeños.
Hierro (Fe)	Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup>	Fotosíntesis, síntesis de proteínas, respiración y transferencia de energía.	Hojas amarillas con nervaduras verdes.
Boro (B)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Crecimiento, reproducción, floración y desarrollo de fruto.	Caída de hojas, hojas nuevas secas, enrollamiento y/o quebradizas. Bajo amarre de fruto.
Cobre (Cu)	Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup>	Fotosíntesis	Coloración pardo-rojiza de nervaduras, defoliación prematura y brotación anormal.
Manganeso (Mn)	Mn <sup>2+</sup>	Crecimiento y reproducción.	Clorosis intervenal, manchas necróticas en hojas, amarillamiento intervenal.
Cloro	Cl <sup>-1</sup>	Fotólisis del agua	Clorosis generalizada

### Fertilización en condiciones de temporal

La aplicación de fertilizantes al suelo (fluctúa entre 200 y 300 kg de N, P y K de cada elemento generalmente), restituye en parte la fertilidad y mantiene al árbol bajo un cierto estándar productivo de 100 kg de fruta de alta calidad. Sin embargo, no debemos perder de vista que los elementos nutritivos son tomados por la planta en diferentes tiempos a lo largo del año y que, sin embargo, el sistema radicular debe tener a los elementos de forma disponible para que este tenga una adecuada productividad.

### Fertiriego en aguacate

Dentro del manejo convencional en la nutrición de aguacate se involucra el manejo a partir del fertiriego. El aguacate requiere agua de buena calidad, baja en sales (<2 dS m<sup>-1</sup>), con pH <7>5.5, los carbonatos, bicarbonatos y sulfatos deben ser menores de 2 meq L<sup>-1</sup>. La oportunidad de la aplicación del agua al cultivo del aguacate depende de la precisión en la estimación de la humedad que presenta el suelo o en la demanda



evapotranspirativa del medio. En este tipo de fertilización del aguacate, es de suma importancia la uniformidad en la aplicación del agua con los nutrimentos disueltos, a su vez esta distribución estará en función de la eficiencia del equipo de fertirrigación en sus tres etapas, motor y bomba que proporcionarán el gasto y la carga hidráulica necesaria al sistema y el conjunto del sistema de riego que conducirá el agua hasta la sección.

Para Michoacán la presencia de las cuatro floraciones es un fenómeno benéfico en la producción, pero llega a representar de igual forma cuatro cosechas al año, al verlo desde la parte nutricional, se genera una extracción continua de nutrientes del suelo que agotara los niveles de fertilidad del suelo, hasta llegar a ser una limitante en el tamaño y calidad de los frutos, así como en diversas funciones fisiológicas. Como ya lo hemos mencionado la disponibilidad de nutrientes a nivel radicular es importante en cualquier etapa fonológica del árbol, debido a que las necesidades nutrimentales de los diferentes elementos no son constantes y cambian en función al estado de desarrollo y del ciclo productivo. Por lo mencionado anteriormente el objetivo de la fertilización por medio del fertiriego es el suministro fraccionado de los nutrimentos. Por otro lado, los nutrimentos son absorbidos generalmente de la solución del suelo, por lo que la presencia de agua en el suelo es fundamental para solubilizar el fertilizante y que los nutrientes queden disponibles para el árbol de aguacate.

### **La agricultura orgánica**

La agricultura orgánica ha presentado un alto crecimiento a nivel mundial tanto en superficie cultivada como en el número de países que la adoptaron oficialmente como un nuevo tipo de manejo agrícola. Existen diversas definiciones de la agricultura orgánica; sin embargo, todas coinciden en que se trata de un método sobre la gestión del ecosistema.

La aplicación de este sistema comienza por tomar los posibles impactos ambientales y sociales al eliminar la utilización de insumos, como fertilizantes y plaguicidas sintéticos, medicamentos de uso veterinario, semillas y especies modificadas genéticamente, conservadores, aditivos e irradiación. Al cambiar estas prácticas por la gestión específica para sitios de interés, que mantengan e incrementen la fertilidad del suelo a largo plazo.

La agricultura orgánica se considera un tipo de sistema holístico de gestión en la producción, cuyo objetivo es fomentar y mejorar la salud del agroecosistema dentro de un equilibrio ecológico, y en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos, y la actividad biológica del suelo. Además, emplea prácticas de gestión con insumos externos de los huertos. Esto a partir de emplear métodos culturales, biológicos y mecánicos.

La promoción de comercialización de la agricultura orgánica para el consumidor o el mercado se reconoce, ya que los productos orgánicos claramente se reconocen



gracias a su certificación y etiquetado. Los consumidores pueden elegir productos producidos, elaborados, manipulados y comercializados en una forma orgánica. El consumidor, en consecuencia, influye mucho en el aumento de la producción orgánica.

### Fertilizantes orgánicos

La materia orgánica es muy importante para mejorar las características del suelo (drenaje, aireación, estructura general, entre otros), y por su aporte potencial de nutrientes. Antes del establecimiento de la plantación se puede incorporar materia orgánica mediante un abono verde que se entierra en el perfil del suelo antes de su floración. También puede abonarse con estiércol, éste debe enterrarse profundamente en el suelo. Esta incorporación de materia orgánica o estiércol, se realiza antes de la plantación del huerto, unos dos o tres meses. El aporte nutricional de cada material orgánico, podemos encontrar las diferencias entre fuentes orgánicas (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Composición nutrimental de fuentes orgánicas.

Material	Elementos nutritivos				Material	Elementos nutritivos			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	M. O.		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	M. O.
Estiércol de res	0.4	0.2	0.4	30	Residuos de lana	0.8	1.2	—	—
Estiércol de res	0.7	0.34	0.65	60	Sangre seca	13.0	2.0	1.0	80
Estiércol de oveja	1.0	0.3	1.0	60	Cuernos y pezuñas	7.15	—	—	—
Estiércol de cerdo	0.5	0.3	0.65	60	Residuos fecales secos	2.0	2.0	—	—
Gallinaza	1.6	1.25	0.9	50	Harina de semilla de algodón	7.0	3.0	2.0	80
Harina de alfalfa	2.5	0.5	2.1	85	Algas oreadas	—	—	1.5	0.5
Paja de alfalfa	1.5	0.3	1.5	82	Turba seca	—	—	—	2.0



## Alternativas de fertilización en la Agricultura Orgánica

### Lombricultura

La cría de lombrices en un ambiente controlado para obtención de humus resultante del proceso de alimentación a partir de materia orgánica, además de obtener materia seca de su propio cuerpo, se conoce como lombricultura. El uso del humus de lombriz, casting o vermicomposta, es una alternativa de fertilización con posibilidades para el manejo agroecológico de la nutrición vegetal; la lombricultura es la explotación intensiva de la lombriz de tierra con el objetivo de producir humus y proteína animal.



**Figura 3.** Manejo de lombrices como fuente de fertilizante orgánico.

### Micorrizas

La micorrización es un tipo de simbiosis que se establece entre las raíces de la planta y ciertos hongos del suelo ocupando una posición ecológica única al encontrarse parcialmente fuera y dentro de la planta a la vez. Las micorrizas originan cambios en los exudados radiculares, cuya función es la descomposición por microorganismos en la rizosfera del suelo. La microbiota del suelo puede afectar la formación y función de las micorrizas, al generarse cierto nivel de simbiosis o así mismo las combinaciones de los agentes de biocontrol y los hongos micorrícicos pueden incrementar el control biológico contra patógenos del suelo (Figura 4).

### Caldos microbiológicos

Los caldos microbiológicos son una combinación de productos orgánicos fermentados a partir de estiércol de animales y residuos de plantas. El objetivo de la elaboración de estos caldos es la colonización de microorganismos benéficos y la obtención de nutrientes por acción de estos mismos. Los caldos dentro la agricultura toman una fuerza a partir del descubrimiento de la función benéfica de los microorganismos en el suelo y las plantas, función que tiene que ver con el mejoramiento de la fertilidad natural del



suelo, el manejo de insectos y enfermedades a partir de algunos microorganismos.



**Figura 4.** Presencia de hongos micorrícicos.

### **Composta**

Este tipo de abono formado por sustancias orgánicas e inorgánicas, tales como basura orgánica (cascarones de huevo, cascaras de frutas y verduras), cal, excremento, hierba, paja, residuos de madera, etc., con la que, después de un proceso de fermentación, se hace una mezcla uniforme que se puede aplicar al suelo. Compostas y otros Insumos Orgánicos.

El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos varios tipos de microorganismos presentes en el compostaje como los hongos, bacterias fototróficas, levaduras, bacterias productoras de ácido láctico y hongos de fermentación. El tiempo de compostaje varía en función de la temperatura interna de la composta. La temperatura varía en función de la actividad biológica de los microorganismos. Presenta cuatro fases: mesófila I, termófila, mesófila II y maduración, y constituye una de las condiciones ambientales determinantes durante el proceso de compostaje. La temperatura es el primer indicador la cual al disponerse el material que se va a comportar en pilas, en un reactor, etc., si las condiciones son las adecuadas, comienza la actividad microbiana. En la Figura 5 se presenta un ejemplo de la infraestructura para el compostaje y la forma de colocar los materiales orgánicos para obtener la composta.

### **Compostaje de residuos agroindustriales**

La agroindustria y la actividad pecuaria generan importantes cantidades de desechos para obtener los alimentos que la población consume, hortalizas, frutas, cereales, derivados de la actividad agroindustrial como ingenios azucareros, lácteos, empacadoras



y procesadoras vegetales, generan una gran cantidad de desechos orgánicos que contaminan y generan problemas sanitarios, malos olores, refugio de vectores de enfermedades humanas y contaminación de manantiales, ríos y vasos de almacenamiento de agua que pueden llegar hasta el mar con toda la problemática que ello conlleva. Los residuos agroindustriales son un problema grave en todo el mundo y contribuyen directamente al cambio climático porque, en última instancia, se eliminan en vertederos abiertos o cuerpos de agua.



**Figura 5.** Proceso de compostaje en infraestructura y llenado con materiales orgánicos en capas para la obtención de la composta.

Las implicaciones ambientales del cultivo y producción de hortalizas, frutales, industriales y pecuarios pueden solventarse con el empleo de las diversas posibilidades para el reciclaje de los residuos generados por esta agroindustria. Los métodos de compostaje deben ser analizados y propuestos como una herramienta fundamental ante esta situación, así como su aplicación en procesos biotecnológicos. Existiendo una amplia gama de usos alternativos. El desarrollo de metodologías afines al concepto de desarrollo sostenible y aplicables en la situación actual, como es el caso de bio-abonos mediante el sistema de compostaje (Figura 6) y la optimización del proceso de maduración del producto final, puede contribuir a reducir el impacto ambiental que generan algunos de los residuos de la producción agrícola.

Una vez procesados los residuos y composteados, es necesario desarrollar tecnologías destinadas a mejorar la calidad del compost, entre las cuales se considera la



inoculación de microorganismos, particularmente de consorcios microbianos nativos aislados de especies vegetales de nuestra región. Mediante la inoculación de microorganismos benéficos existe la posibilidad de obtener un compost con un valor sustancial de fertilizante, que es desconocido, debido a que el potencial de las unidades formadoras de colonias de microorganismos beneficiosos depende de cada especie vegetal. La aplicación de microorganismos eficientes acorta el proceso de compostaje e incrementa la mineralización de la composta, así como los contenidos de macro y micronutrientes, pero no se conoce con certeza como incide los microorganismos benéficos autóctonos en el proceso de compostaje de estiércoles apícolas.



**Figura 6.** Obtención de compostas y lixiviados en infraestructura rústica.

La agroindustria procesadora, empacadora, enlatadora, de azúcar y láctea, genera muchos subproductos y el compostaje es una alternativa para que estos sean transformados en materiales útiles que pueden ser reincorporados al sistema de producción. A partir de las cáscaras, bagazos, material vegetativo, y residuos orgánicos, que son los principales residuos agroindustriales y pecuarios, se pueden elaborar diferentes tipos de vermicomposta para mezclarse con diferentes fuentes de estiércol de aves, equinos, vacunos, ovinos, caprinos o porcinos, y ser combinadas en vermicompostaje a escala industrial o semiindustrial.



### **Problemática de la agricultura orgánica en México**

La agricultura orgánica es una de las mejores opciones, para reducir los impactos negativos atribuidos a la agricultura convencional y a su vez desempeña un papel complementario a ésta, los hallazgos dan cuenta de la presencia de un conjunto de problemas y/o condiciones a lo largo de la cadena producción y consumo de productos orgánicos que además de frenar su dinamismo, pueden generar cambios significativos en su estructura.

En 2010, se realizó una investigación con una muestra de 165 productores orgánicos de entidades con mayor representatividad de producción orgánica, superficie orgánica establecida y el tipo de producto; y se clasificaron los desafíos y/o limitaciones en aspecto: técnico, económico, institucional y social. Entre los resultados, los aspectos técnicos, la baja investigación y generación de información técnica y de insumos (36.9 %) y de formación de profesionales en sistemas de manejo orgánico (67.3 %), constituyen las limitantes técnicas más importantes. Sin embargo, la falta de recursos económicos propios (26.2 %) y de financiamiento (63.9%) para capitalizarlos a este fin, son para la mayoría de los productores el factor más importante en el proceso de decisión sobre su incorporación a la producción orgánica o de expansión de su unidad productiva. Por otro lado, en el marco institucional, aunque se está trabajando en ello, hay pocos avances; la falta de políticas que promuevan el crecimiento y desarrollo de la producción orgánica mientras que la agricultura convencional tiene apoyo en la entrega de insumos y fertilizantes o bien el establecimiento de monocultivos es ejemplo de ello.

### **Respuesta al manejo nutricional químico y orgánico en aguacate**

La nutrición orgánica en el cultivo del aguacate presenta una respuesta benéfica tanto en la fisiología del cultivo como en la calidad y rendimiento de fruto. En el Cuadro 6 se observa que las unidades SPAD (soil plant analysis development), evaluadas en diferentes tratamientos nutricionales en aguacate durante varios años de evaluación. Los valores encontrados en esta variable en diferentes tratamientos nutricionales presentan cierta semejanza, aunque el tratamiento 100% químico tiene un valor mayor pero no es significativo. Una buena combinación de manejo de la nutrición orgánica, de varias fuentes naturales como extracto de pescado, en mezcla con lixiviados de lombriz y composta de caña y estiércoles vacuno o porcino, contienen todos los elementos que requiere una planta, aunque en bajas concentraciones, pero la aplicación en bajas cantidades y de manera frecuente, si puede competir en nutrición con un fertilizante químico complejo, produciendo similares resultados en la fisiología y el rendimiento y calidad de fruto (Cuadro 6).





**Figura 7.** Obtención de compost a escala semiindustrial.

**Cuadro 6.** Fisiología y calidad de fruto en aguacate bajo diferente manejo nutricional químico y orgánico.

Tratamientos	Unidades SPAD (clorofila)	Rendimiento (kg/árbol)	Peso medio fruto (g)
Fertilizante químico complejo +Ca	57.4	55.4	214.7
Fertilizantes químico* + Orgánico	56.2	61.2	248.3
Orgánico al suelo y foliar	52.6	49.7	201.2
Orgánico al suelo	50.4	48.4	175.4

La concentración de nutrientes químicos en el extracto celular de peciolo (ECP), en respuesta al manejo nutricional al suelo y foliar con nutrición química y orgánica del aguacate, se presenta en el Cuadro 7, en general, el manejo químico presenta una mayor concentración de nutrimentos en ECP de nitrógeno nítrico, fósforo y potasio, en los tres periodos estudiados, otoño, invierno y primavera, la superioridad del manejo químico es clara y ello puede explicarse porque el fertilizante proporciona de manera inmediata, iones que la planta asimila de forma muy rápida y éstos son trasladados a las hojas para su utilización en el metabolismo de la planta, aun así, el manejo orgánico también es

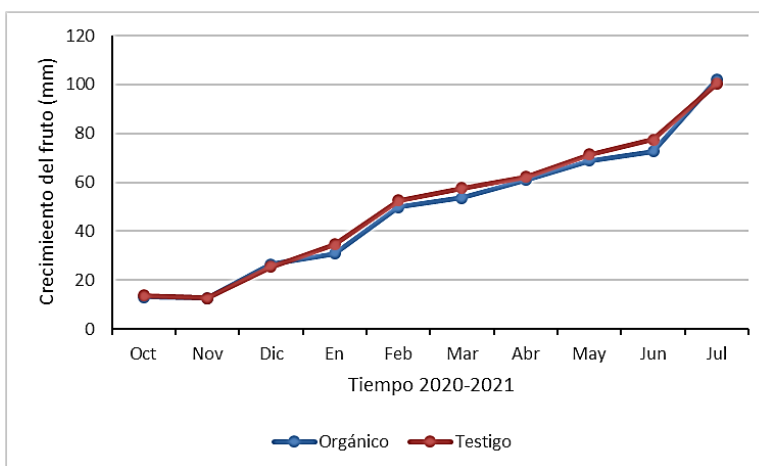


capaz de proporcionar desde un 70% como mínimo hasta un 94% de lo que el manejo químico proporciona en ECP.

**Cuadro 7.** Comparación de medias de las variables de extracto celular de peciolo (2020-2021), en dos tratamientos nutricionales de aguacate en El Mesón, Ziracuaretiro, Michoacán.

Manejo	Otoño			Invierno			Primavera		
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	K	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	K	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	K
Orgánico	206	0.42	2450	198	0.44	2275	205	0.38	2175
Químico	302	0.54	2850	223	0.47	2350	270	0.47	2725

La competitividad del manejo orgánico del aguacate se muestre en la Figura 8 con respecto al crecimiento del fruto de aguacate en el manejo convencional y en el manejo orgánico, se aprecia claramente que el crecimiento de fruto en ambos tratamientos es muy similar y prácticamente no existe diferencia en la distancia longitudinal del fruto, esto prueba que ambos sistemas de manejo nutricional, son semejantes y que el manejo orgánico de la nutrición en aguacate es factible de implementar, sin menoscabo del crecimiento del fruto.

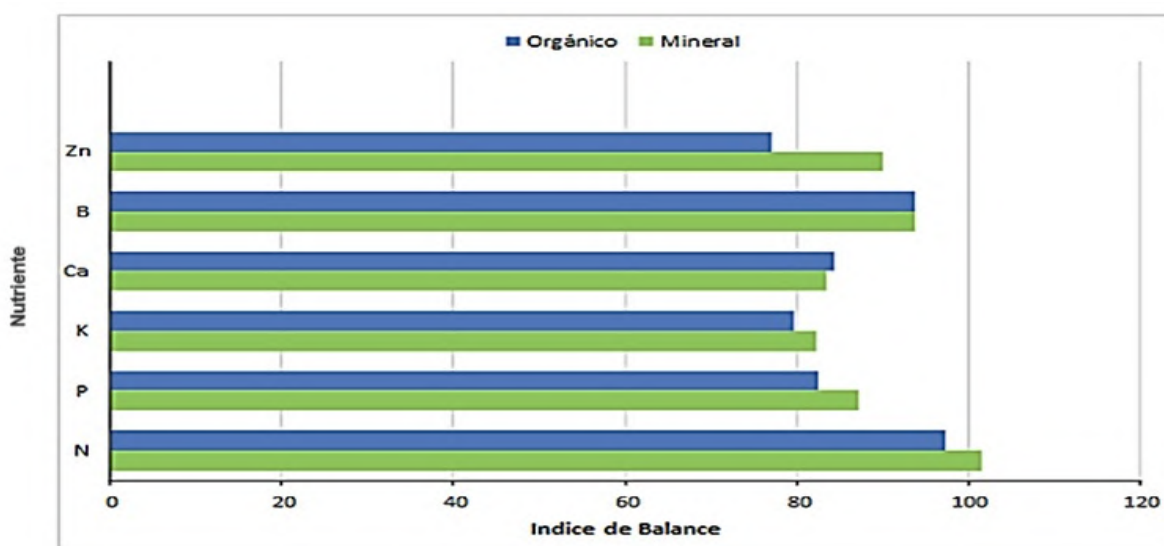


**Figura 8.** Efecto del manejo orgánico y químico de la nutrición, en el crecimiento temporal del aguacate.

Con respecto a la nutrición foliar proporcionada por los dos tratamientos de manejo, convencional y orgánico, en la Figura 6, se presenta el balance nutricional de



cada nutriente (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, boro y zinc), mediante la metodología de Kenworthy, para identificar cada elemento individual y su estado balanceado en la hoja del aguacate, como se aprecia en la Figura 9. En general, todos los nutrientes considerados como más importantes en aguacate, se ubican en los dos tratamientos dentro de los valores 80-120, lo cual indica un balance adecuado, solo se aprecia un poco de desbalance en zinc en el tratamiento convencional con un valor de 76.4, inferior a 80 que es el adecuado para un balance aceptable, en el resto de los elementos nutritivos, los dos tratamientos, si presentan un balance correcto en todos los elementos nutritivos, esto prueba que es factible obtener un buen balance nutricional en el manejo orgánico, con similares resultados al manejo químico en aguacate.



**Figura 9.** Balance nutricional en dos sistemas de manejo nutricional del aguacate, orgánico y químico.

### Conclusiones

Los suelos de Michoacán donde se produce aguacate, aun se consideran suelo jóvenes con una baja fertilidad, hablando en términos geológicos. El suministro de la nutrición dentro del manejo agronómico se convierte en una práctica esencial para la obtención de frutos de buena calidad, peso, tamaño y forma. La forma tradicional de suministrar los elementos esenciales que el suelo no puede proporcionar al cultivo de aguacate se hace por medio del fertilizante al suelo o vía foliar, la fuente de donde provienen estos fertilizantes es importante, ya que el manejo integrado de la nutrición a partir de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, además de ser suministrado en las dosis requeridas, ayuda a reducir el impacto ambiental al disminuir la acumulación de sales en el suelo, lixiviación o volatilización de los nutrientes.



## Referencias

- Afik, O., Delaplane, K. S., Shafir, S., Moo, V., H. & Quezada-Euán, J. J. G. (2014). Nectar minerals as regulators of flower visitation in stingless bees and nectar hoarding wasps. *Journal of Chemical Ecology*, 40: 476-483.
- Alcántar-González, G. E. & Trejo-Téllez, L. I. (2016). *Nutrición de cultivos*. Colegio de Posgraduados. BBA Biblioteca Básica de Agricultura. Texcoco, Estado de México. 345 p.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 298 p.
- Álvarez-Vera, M., J. Vázquez, J. Castillo, F. Tucta, V. Meza. (2018). Potencial de la flora de la provincia del Azuay (Ecuador) como fuente de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria* 9(4): 561-568.
- Basanta, R., M.G. Delgado, J.C. Martínez, H.M. Vázquez, y G.B. Vázquez. (2007). Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: Una revisión sustainable recycling of waste from sugarcane agroindustry: A review. *CYTA-Journal of Food*, 5(4), 293-305.
- Cabezas, C. y Cuevas, J. (2007). Vectores de polinización del aguacate en el sureste español. In: 6th World Avocado Congress. Conference Proceedings 6th World Avocado Congress Viña del Mar, Chile. pp. 12–16.
- Ferreira, R., Selles, G. P., Ruiz, R., Barrera, C., Maldonado, P., y Celedón, J. (2007). Manejo del riego y suelo en palto. Boletín del Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Gobierno de Chile, Ministerio de Agricultura. INIA. La Cruz, Chile. 123 p.
- Ferreira, R., Selles, G. P., Ruiz, R. B. C., Maldonado, P., y Celedón, J. (2007). Manejo del riego y suelo en palto. Boletín del Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA] del Gobierno de Chile. 160:1-123.
- Filippini, M. F. (2011). Principios del Compostaje en Agroecología y Ambientes Rurales. Facultad de Ciencias Agrarias. U.N. Cuyo, Mendoza, Argentina 65 p.
- Francis, H. L. (1996). Girdling trial yield data. South African Avocado Growers' Association Yearbook. 19: 80-86.
- Gardiazábal, F. (2008). Palto y cítricos: Generalidades del cultivo. In Manejo de plagas en paltos y cítricos. La Cruz, Chile). Eds. Ripa R; Larral P. pp. 15-30.
- Guerrero-Peña, A. (2017). Residuos orgánicos de la agroindustria azucarera: retos y oportunidades. *Agro Productividad*, 10(11):13-19.
- Litterick, A. M., L. Harrier, P. Wallace, C. A. Watson, and M. Wood. (2004). The role of uncomposted materials, composts, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production. *Critical Reviews in Plant Science*, 23 (6): 453-479
- Planes, L. M., Calderón, A. J., Terry, L. A., Figueroa, S. I., Utria, B. E. y Abadis, L. (2004). La biofertilización como herramienta biotecnológica de la agricultura sostenible. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10 (1): 5-10.



- 
- Rivas, F., Erner, Y., Alós, E., Juan, M., Almela, V. & Agustí, M. (2006). Girdling increases carbohydrate availability and fruit-set in citrus cultivars irrespective of parthenocarpic ability. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81: 289-295.
- Salazar, G. S., Cossio, V. L.E., Lovatt, C.J., González, D.I.J.L. and Pérez, B.M.H. (2006). Crop load affects vegetative growth flushes and shoot age influences irreversible commitment to flowering of 'Hass' avocado. *Hort. Science*, 41: 1541-1546.
- Sánchez, O.J., D.A. Ospina, S. Montoya. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management* 69: 136-153.
- Sarmiento, S. G. J.; Amézquita A. M. A.; Mena, C. L. M. (2019). Uso de bocashi y microorganismos eficaces como alternativa ecológica en el cultivo de fresa en zonas áridas. *Revista Scientia Agropecuaria*. Arequipa, Perú. 7 p.
- Tapia, V, L, M., Larios, G, A., Hernández, P, A., y Vidales, FI. (2016). Control del riego en línea y tiempo real del aguacatero y eficiencia del uso del agua *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 3 (6): 11-18.
- Wild, A. y Jones, L. P. H. (1992). Nutrición mineral de las plantas cultivadas. In: condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Wild, A. (Ed). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 73-119.



# Microorganismos con acción nematocida

José Francisco Díaz Nájera  
Sergio Ayvar Serna  
José Luis Arispe Vázquez  
Gabriel Salmerón Porrón  
Antonio Mena Bahena  
Susana Elizabeth Ramírez Sánchez





## **Introducción**

En las zonas productoras de tomate, el rendimiento y la calidad es afectado por la incidencia de nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) que son parásitos obligados que penetran en las raíces, provocan deformaciones y agallas, por lo que se reduce la absorción de agua y nutrientes en el suelo y consecuentemente la planta retrasa el crecimiento, sufre clorosis general y marchitamiento, lo que repercute en el menor rendimiento de los cultivos. Se ha estimado que provocan pérdidas de \$ 80 a \$ 157 mil millones de dólares por año.

El control de *Meloidogyne* spp., se dificulta debido a la amplia gama de hospedantes, se encuentran ocultos en el suelo, la falta de variedades resistentes, la prohibición de muchos nematicidas químicos debido a su alta toxicidad, la contaminación del ambiente y el daño a los organismos no objetivo. Por lo tanto, se están utilizando cada vez más como alternativas sustentables, el control biológico y los plaguicidas botánicos. En el control biológico se utilizan principalmente rizobacterias como *Bacillus* y *Pseudomonas*, hongos nematófagos como *Purpuricillium*, *Myrothecium* y *Trichoderma* y algas marinas, *Ascophyllum nodosum*, aplicados separados o en consorcios para combatir los nematodos agalladores en diferentes cultivos de importancia económica global.

El nematodo agallador *Meloidogyne* spp., causa importantes pérdidas económicas en tomate en las regiones productoras del mundo. El control convencional se basa en la aplicación de nematicidas sintéticos, pero causan efectos adversos en el medio ambiente y organismos no objetivo, por lo que ahora se están impulsando como alternativas sustentables el uso de nematicidas biológicos con el afán de disminuir la dependencia de agroquímicos y los daños colaterales que estos ocasionan. En México están disponibles distintos productos biológicos recomendados para el manejo del nematodo agallador en cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, pero el problema es que se desconoce la efectividad que presentan para promover el crecimiento del cultivo de tomate y para contrarrestar el ataque del nematodo.

Por lo anterior, en este capítulo explicaremos la importancia del uso de microorganismos benéficos (*Trichoderma*, *Purpureocillium*, *Paecilomyces*, *Bacillus* y *Ascophyllum*) para el manejo del nematodo fitopatógeno *Meloidogyne* sp.

## **Utilización de *Trichoderma harzianum* contra *Meloidogyne* sp.**

Desde la década de la llamada “Revolución Verde” transcurrida en los años de 1960-1970 para satisfacer la demanda de una población en crecimiento, el consumo de fertilizantes y plaguicidas químicos fue aumentando paulatinamente y finalmente en el siglo XX se convirtió en una necesidad muy peligrosa para el medio ambiente. Para minimizar el impacto negativo de esta tecnología, se comenzaron a investigar y utilizar





*Trichoderma harzianum* y otros microorganismos rizoféricos como agentes de control biológico y promotores del crecimiento vegetal. Esta especie y otras de *Trichoderma* forma parte de formulaciones de productos biológicos que se están utilizando para combatir enfermedades fungosas en distintos cultivos a nivel mundial.

*Trichoderma harzianum* posee buenas cualidades para el control de enfermedades en plantas causadas por hongos fitopatógenos habitantes del suelo, principalmente de los géneros *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium* y *Fusarium*, entre otros; además, actúa como antagonista de los nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.); sin embargo, hay poca información sobre los mecanismos de interacción *Trichoderma* –planta- *Meloidogyne*.

En diversos estudios realizados se han reportado resultados diferentes acerca de la efectividad de *Trichoderma* como agente biocontrolador de nematodos agalladores, se ha determinado que, el tratamiento con *Trichoderma harzianum* (T- 203) disminuyó la cantidad de juveniles en etapa 2 y 3 en un 100 %, en la cuarta etapa tuvieron una incidencia del 0.3 % lo que indica que el hongo afectó principalmente la penetración de los nematodos en las raíces en lugar del desarrollo de los nematodos dentro de estas en tomate cultivados en invernadero. También que la aplicación del tratamiento con *Trichoderma harzianum* BI con esporas ( $1 \times 10^{-7}$ ) en plantas de tomate cultivadas en maceta infestadas con *Meloidogyne javanica* fue el más efectivo con promedios mínimos de 36 agallas por planta. En comparación con el tratamiento testigo 80 agallas por planta.

Del mismo modo se ha documentado que, *Trichoderma asperellum* inhibió significativamente la densidad de huevos del nematodo agallador, (*Meloidogyne incognita*) hasta en un 86 % y un 82 %, favoreciendo también el incremento del rendimiento del tomate en invernadero en comparación con el tratamiento testigo.

También en algunas investigaciones registraron que la aplicación de *Trichoderma harzianum* en concentraciones de  $1 \times 10^4$  UFC  $g^{-1}$  de suelo disminuyó (35.7 $\pm$ 4.0 %) y (32.8 $\pm$ 3.4 %), por otra parte, la aplicación de *T. virens* en concentraciones de  $8 \times 10^3$  inhibió (33.8 $\pm$ 3.7 %) en plantas de tomate cultivadas en invernadero infestadas de *Meloidogyne incognita*. Se ha encontrado que la aplicación de extracto fermentado del cultivo de *T. citrinoviride* disminuyó 66.1, 80.63 y 69.87 % el número de agallas, número de huevos y de juveniles J2 en raíz de plantas de jitomate inoculado con *Meloidogyne incognita*.

### **Utilización de *Purpureocillium lilacinum* (sinónimo: *Paecilomyces lilacinus*) contra *Meloidogyne* sp.**

Este hongo nematófago es común en el suelo y compostas. Algunas especies de se han implicado como patógenos de plantas, animales (principalmente insectos) y humanos. Se asiló por primera vez en 1966 de huevos de *Meloidogyne*. En la actualidad está comprobado que es parásito de huevos, juveniles y hembras de nematodos agalladores



y se utiliza como uno de los principales agentes de control biológico de nematodos; por esta utilidad ha sido el objeto de considerables investigaciones para control biológico desde 1979. Se considera que, tiene un gran potencial para aplicarlo como agente biocontrolador de nematodos en cultivos tropicales y subtropicales. *P. lilacinum* puede controlar estados móviles y hembras sedentarias de nematodos agalladores y otras especies; pero es especialmente agresivo contra los huevos.

El parasitismo de *P. lilacinum* se desarrolla en las fases de: (1) adhesión y germinación de la espora en la cutícula del nematodo, (2) penetración y (3) desarrollo del hongo; lo que resulta en la muerte del hospedante. El proceso de la interacción hongo-nematodo se describe a continuación.

#### Adhesión y germinación de la espora en la cutícula del nematodo.

El hongo coloniza en primer lugar la rizosfera; entra en contacto con plantas enfermas; después, la espora se adhiere a la cutícula del nematodo; ocurre la germinación favorecida por humedad alta (70 % durante 14 h).

#### Penetración.

El tubo germinativo formado por el conidio germinado dentro de una hifa que penetra en la cutícula del nematodo mediante la combinación de presión mecánica y degradación enzimática; coloniza la masa interior de huevos y hembras del nematodo agallador, por lo que disminuye la reproducción. La penetración depende de las propiedades de la cutícula, grosor, esclerotización y la presencia de sustancias antifúngicas y nutricionales.

#### Colonización del hongo.

En el cadáver del nematodo y/o huevos parasitados, el hongo crece, emerge a través de la cutícula y produce conidios que funcionan como inóculo y se dispersa para infectar a otros patógenos. La diseminación puede ser activa o pasiva, dependiendo de las características de la espora que puede adherirse o pasar de un organismo a otro.

En el mercado de agroinsumos existen diversas marcas comerciales que contienen *Purpureocillium lilacinum* como ingrediente activo, incluyendo BioAct Prime, Lila-Sin, *Paecilomyces* – Green, *Paecilomyces*, Nemaroot y otros más, promocionados para el control de nematodos fitopatógenos.

Se han llevado a cabo múltiples experimentos principalmente en condiciones de laboratorio e invernadero, para evaluar el efecto de *Purpureocillium lilacinum* contra *Meloidogyne incognita* y otras especies de nematodos agalladores. Se ha determinado la eficacia de *Paecilomyces lilacinus* para controlar el nematodo agallador en *Capsicum annum*. Donde determinaron que obtuvo un 60.3 % de eficiencia con dosis de 2.62 g del



hongo benéfico, manifestando 25.3 % de severidad sobre el fitonemátodo. También han reportado que, *Paecilomyces lilacinum* redujo 85.3 % el número de larvas de *Meloidogyne incognita*; concluyendo que, el hongo tiene gran potencial antagonista contra el nematodo agallador y que también favorece el crecimiento y rendimiento de la planta.

Por otra parte, se ha investigado que el extracto de *Paecilomyces variotii* (PVE) en el control de *Meloidogyne incognita* obtuvo un efecto de control del 66.7 %, 61.9 % y 71.4 %, respectivamente en plantas de pepino en condiciones de invernadero. Finalmente, han determinado que la cepa de *Paecilomyces tenuis* autóctona de la India, provocó 90 % de mortalidad de juveniles de segunda etapa infectantes (J2) de *M. incognita*, a las 24 h después de la inoculación.

### **Utilización de *Bacillus* spp., para el control de nematodos fitopatógenos**

El género *Bacillus* se encuentra ampliamente distribuida a nivel mundial, debido a la habilidad para formar endosporas, característica que les confiere resistencia y sobrevivencia en diversos ecosistemas acuáticos, terrestres e, incluso, en condiciones desfavorables extremas. Es una bacteria rizógena antagonista de diversos microorganismos patógenos, por lo que ahora, es la más utilizada como agente de control biológico de enfermedades en muchos cultivos agrícolas en el mundo. También actúa como estimulador del crecimiento en plantas de plátano, arroz, tomate, frutales, trigo y frijol.

El estudio de *Bacillus* cobró importancia cuando se descubrió la actividad insecticida de las proteínas Cry producidas por *Bacillus thuringiensis*; pero en la actualidad, también son investigadas las propiedades presentadas por otras especies como *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* y *B. licheniformis*, para disminuir la incidencia de enfermedades de importancia agrícola.

Entre los principales mecanismos de acción de *Bacillus* spp., para controlar diferentes fitopatógenos, se encuentran los siguientes.

#### *Producción de lipopeptidos.*

Estos compuestos interactúan con la membrana citoplasmática de las células bacterianas o fúngicas, provocan la formación de canales o poros y el desbalance osmótico, lo que desencadena la muerte celular de los microorganismos fitopatógenos. Sin embargo, se ha reportado que algunos lipopéptidos pueden también alterar procesos celulares como homeostasis intracelular de calcio, metabolismo energético y síntesis del ARN, que desencadenan la muerte celular.

#### *Producción de enzimas lácticas.*

Entre éstas se incluyen quitinasas (EC 3.2.1.14) y  $\beta$ - glucanasas (EC 3.2.1.6 y EC 3.2.1.39), las cuales, son responsables de la degradación mediante la hidrólisis de los enlaces glucosídicos de los polisacáridos que conforman la pared celular de hongos.



Producción de sideróforos.

Éstos son metabolitos secundarios que actúan como secuestrantes o quelantes de hierro, lo cual permite la formación de complejos  $Fe^{3+}$ -sideróforo. Se ha encontrado que, muchas cepas de *Bacillus* spp., tienen capacidad de sintetizar sideróforos y regulan la concentración de hierro en el medio, a través de su quelación ( $Fe^{3+}$ -sideróforo), por lo que dejan sin este metal disponible para microorganismos patógenos, que lo requieren para su crecimiento y reproducción.

Producción de  $\delta$  endotoxinas.

Son cuerpos paraesporales proteicos conformados por unidades polipeptídicas de diferentes pesos moleculares, producidos durante la fase de esporulación; contienen proteínas Cry (cristal) que tienen efectos tóxicos específicos en organismos objetivo como insectos y nematodos.

En investigaciones realizadas sobre este tema, se han publicado resultados diferentes. Por ejemplo, los tratamientos con *Bacillus turingensis* en concentraciones de 20, 30 y 40 % respectivamente registraron un 8, 4.5 y 2.5 % de eclosión de huevos de *Meloidogyne incognita* en plantas de tomate. Mientras que *B. velezensis* mostró una fuerte mortalidad de J2 con más del 97 %. También se ha encontrado que, las aplicaciones de *Bacillus subtilis* en dos genotipos de caña de azúcar (RB867515 y SP81-3250) disminuyó la incidencia de *Pratylenchus* spp., en ambas variedades en un 49.3 % durante el primer ciclo de producción. Por otra parte, se han evaluado aislados nativos de *B. turingensis* (BC y BD) donde determinaron que el aislado de BC obtuvo una disminución de huevos de un 79.35 %, seguido por BD con 76.09 % respectivamente. Esto fue debido a que, las proteínas cristalinas producidas por la bacteria, podrían ser candidatos potenciales para agentes de control biológico de *Meloidogyne incognita* en condiciones de laboratorio e invernadero.

**Utilización de *Ascophyllum nodosum* contra *Meloidogyne* sp.**

Las algas se han consumido en la dieta de las culturas costeras durante siglos; son fuentes de alimento fácilmente disponibles utilizadas desde la antigüedad en Gran Bretaña, Asia y otros países. Se ha reportado que, la aplicación foliar de extractos de *Ascophyllum nodosum*, aumentan el rendimiento, inducen tolerancia al estrés biótico y mejoran la calidad de los productos. Sin embargo, los mecanismos de acción aún no están claros.

Esta especie de alga actúa como promotor de crecimiento de raíces; favorece desarrollo de brotes, mayor la eficiencia en el uso de nutrientes, la floración temprana; retarda la senescencia; asimismo incrementa la clorofila, flavonoides y nutrientes; la tolerancia al estrés abiótico (sequía, salinidad y congelación) y biótico (nematodos,



hongos, virus, bacterias e insectos), rendimiento de frutos y calidad en postcosecha.

El mecanismo de acción del extracto de algas en la inducción de resistencia contra diferentes organismos patógenos, se asocia con la activación de la vía del ácido jasmónico, que depende del ácido jasmónico y el etileno para la señalización molecular y es activada por microorganismos no patógenos; por lo tanto, no está directamente involucrado en la acumulación de proteínas relacionadas con la patogenicidad. Los productos que contienen extractos naturales de *Ascophyllum nodosum* son ricos en polisacáridos complejos (aminarinas, alginatos y fucoidanos) que, no se encuentran en plantas terrestres. Además, actúan como bioestimulantes de la producción de hormonas del crecimiento (auxinas y citoquininas), la síntesis de azúcares vegetales, responsables de ayudar a la planta, mediante procesos fisiológicos del ácido algínico y manitol, a controlar problemas de estrés biótico y abiótico.

En los reportes de investigación se mencionan resultados variables, algunos investigadores mencionaron que el extracto de *A. nodosum* en dosis de 25, 75 y 100 g L<sup>-1</sup> el extracto redujo el índice de agallas cuando se aplicó como empapado del suelo, teniendo un resultado de (4, 3.5, y 3.8 %). También se han evaluado la penetración y el desarrollo de *M. javanica* en soja (*Glycine max* L. Merr.) tratada con extracto de *Ascophyllum nodosum*. Encontraron que este tratamiento redujo la penetración de nematodos, independientemente del método de aplicación. Cuando se hizo en el surco se redujo 83 y 56 % el número total de nematodos y número de estos por g de raíz; pero en aspersión foliar, los promedios fueron 68 y 70 %, respectivamente. Del mismo modo, se ha determinado la eficacia del extracto de *A. nodosum*, Ca, Mg, Zn, Mn y los nutrientes combinados. Donde el número de *M. javanica* en plantas de jitomate fue de un 60 al 94 % en todos los tratamientos, excepto N y K, donde difirieron en la densidad de población, teniendo una eficiencia de control del 61 al 92 % respectivamente. Finalmente se ha encontrado que, la aplicación del extracto de *Ascophyllum nodosum* (ANE) en diferentes concentraciones 0.01, 0.02, 0.05, 0.10, 0.50 y 1.00 % efectuó la germinación de las semillas de *V. aconitifolia*, sin embargo se obtuvo el porcentaje máximo de germinación ( $96.67 \pm 5.77$ ) con el tratamiento 0.01 % al tercer día, y fue significativamente diferente al testigo debido a que, los fitoconstituyentes bioactivos de los extractos de algas, promueven la productividad agrícola, la absorción de nutrientes y mejoran las propiedades del suelo; además, mejoran la comunidad de rizobios.

## Conclusiones

El nematodo agallador *Meloidogyne* spp., causa importantes pérdidas económicas en tomate en las regiones productoras del mundo. El control convencional se basa en la aplicación de nematicidas sintéticos, pero causan efectos adversos en el medio ambiente y organismos no objetivo, por lo que ahora se están impulsando como alternativas



sustentables el uso de nematocidas biológicos con el afán de disminuir la dependencia de agroquímicos y los daños colaterales que estos ocasionan.

En México están disponibles distintos productos biológicos recomendados para el manejo del nematodo agallador en cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, pero el problema es que se desconoce la efectividad que presentan para promover el crecimiento del cultivo de tomate y para contrarrestar el ataque del nematodo se destacó la importancia y efectos de microorganismos con acción nematocida que se pueden emplear para manejar a *Meloidogyne* en tomate.



## Referencias

- Abad, P., Gouzy, J., Aury, J. M., Castagnone-Sereno, P., Danchin, E. G. J., Deleury, E., Perfus-Barbeoch, L., Anthouard, V., Artiguenave, F., Blok, V. C., Caillaud, M.-C., Coutinho, P. M., Dasilva, C., De Luca, F., Deau, F., Esquibet, M., Flutre, T., Goldstone, J. V., Hamamouch, N. Wincker, P. (2008). Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. *Nature Biotechnology*. 26(8): 909-915. <https://doi.org/10.1038/nbt.1482>.
- Adam, M., Heuer, H. Hallmann, J. (2014). Bacterial antagonists of fungal pathogens also control root-knot nematodes by induced systemic resistance of tomato plants. *PLoS One* 9(2): e90402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090402>.
- Affokpon, A., Coyne, D. L., Htay, C. C., Agbèdè, R. D., Lawouin, L. Coosemans, J. (2011). Biocontrol potential of native *Trichoderma* isolates against root-knot nematodes in West African vegetable production systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(3): 600-608. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.029>.
- Ali, O., Ramsubhag, A., Jayaraman, J. (2016). Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. *PLoS One*. 14:1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216710>.
- Ansari, F. A. Ahmad, I. (2019). Fluorescent *Pseudomonas*-FAP2 and *Bacillus licheniformis* interact positively in biofilm mode enhancing plant growth and photosynthetic attributes. *Sci. Rep.* 9(1): 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40864-4>
- Aranda, F. J., Teruel, J. A. Ortiz A. (2005). Further aspects on the hemolytic activity of the antibiotic lipopeptide iturin A. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*. 17(13):51-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbamem.2005.05.003>.
- Araujo, F. F. D. (2008). Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. *Ciência e Agrotecnologia* 32(2): 456-462. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000200017>.
- Asaturova, A. M., Bugaeva, L. N., Homyak, A. I., Slobodyanyuk, G. A., Kashutina, E. V., Yasyuk, L. V., Sidorov, N. M., Nadykta, V. D. Garkovenko, A. V. (2022). *Bacillus velezensis* Strains for Protecting Cucumber Plants from Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita* in a Greenhouse. *Plants*. 11(3): 275. <https://doi.org/10.3390/plants11030275>.
- Baazeem, A., Alorabi, M., Manikandan, P., Alotaibi, S. S., Almanea, A., Abdel-Hadi, A., Vijayaraghavan, P., Raj, S. R. F., Kim, Y. O. Kim, H. J. (2021). *Paecilomyces formosus* MD12, a Biocontrol Agent to Treat *Meloidogyne incognita* on Brinjal in Green House. *Journal of Fungi*. 7(8): 632. <https://doi.org/10.3390/jof7080632>.
- Bel, Y., Andrés-Antón, M. Escriche, B. (2023). Abundance, distribution, and expression of nematicidal crystal protein genes in *Bacillus thuringiensis* strains from diverse habitats. *Int Microbiol*. 26:295–308. <https://doi.org/10.1007/s10123-022-00307-z>.



- Bellanger, A., Cervoni, J., Faucher, J., Weil-Verhoeven, D., Ginet, M., Deconinck, E. Grenouillet, F. (2017). *Paecilomyces variotii* Fungemia en un paciente con linfoma que necesita un trasplante de hígado. *Mycopathologia*. 182: 761–765. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11046-017-0131-y>.
- Bhat, A. A., Shakeel, A., Waqar, S., Handoo, Z. A. Khan, A. A. (2023). Microbes vs. Nematodes: Insights into Biocontrol through Antagonistic Organisms to Control Root-Knot Nematodes. *Plants*. 12(3): 451. <https://doi.org/10.3390/plants12030451>.
- Caillaud, M. C., Dubreuil, G., Quentin, M., Perfus-Barbeoch, L., Lecomte, P., De Almeida, E. J., Abad, P., Rosso, M. N. Favery, B. (2008). Root-knot nematodes manipulate plant cell functions during a compatible interaction. *Journal of Plant Physiology*. 165(1): 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.05.007>.
- Cao, H., Jiao, Y., Yin, N., Li, Y., Ling, J., Mao, Z., Yang, Y. Xie, B. (2019). Analysis of the activity and biological control efficacy of the *Bacillus subtilis* strain bs-1 against *Meloidogyne incognita*. *Crop Prot*. 122: 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.04.021>.
- Carmody, N., Goñi, O., Łangowski, L. O’Connell, S. (2020). *Ascophyllum nodosum* Extract Biostimulant Processing and Its Impact on Enhancing Heat Stress Tolerance During Tomato Fruit Set. *Frontiers in Plant Science*. 11: 807. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00807>.
- Chahal, V. P. S. Chahal, P. P. K. (2020). Control of *Meloidogyne incognita* with *Bacillus thuringiensis*. En R. J. Wright, V. C. Baligar, & R. P. Murrmann (Eds.), *Plant-Soil Interactions at Low pH* (pp. 677-680). *Springer Netherlands*. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-3438-5\\_77](https://doi.org/10.1007/978-94-011-3438-5_77).
- Choi, T. G., Maung, C. E. H., Lee, D. R., Henry, A. B., Lee, Y. S. Kim, K. Y. (2020). Role of bacterial antagonists of fungal pathogens, *Bacillus thuringiensis* KYC and *Bacillus velezensis* CE 100 in control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* and subsequent growth promotion of tomato. *Biocontrol Science and Technology*. 30(7): 685-700. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1765980>.
- Choudhary, D. K. Johri, B. N. (2009). Interactions of *Bacillus* spp. and plants—with special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiol. Res*. 164 (5): 493–513. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2008.08.007>.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C. Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied Environmental Microbiology*. 71: 4951-4959. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005>.
- d’Errico, G., Greco, N., Vinale, F., Marra, R., Stillittano, V., Davino, S. W., Woo, S. L. D’Addabbo, T. (2022). Synergistic Effects of *Trichoderma harzianum*, 1,3 Dichloropropene and Organic Matter in Controlling the Root-Knot Nematode





- Meloidogyne incognita* on Tomato Plants. 11(21): 2890.  
<https://doi.org/10.3390/plants11212890>.
- De Saeger, J., Van-Praet, S., Vereecke, D., Park, J., Jacques, S., Han, T. Depuydt, S. (2020). Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology*. 32(1): 573-597. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>.
- Desaeger, J. A. Bui, H. X. (2022). Root-knot nematode damage to a cucurbit double crop is increased by chloropicrin fumigation on the previous tomato crop. *Pest Management Science*. 78(10): 4072-4082. <https://doi.org/10.1002/ps.7026>.
- Di Mola, I., Ottaiano, L., Cozzolino, E., Marra, R., Vitale, S., Pironti, A., Fiorentino, N. Mori, M. (2023). Yield and Quality of Processing Tomato as Improved by Biostimulants Based on *Trichoderma* sp. And *Ascophyllum nodosum* and Biodegradable Mulching Films. *Agronomy*, 13(3): 901. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030901>.
- Dos Santos, A. F., Corrêa, B. O., Klein, J., Bono, J. A. M., Pereira, L. C., Guimarães, V. F. Ferreira, M. B. (2021). Biometria y estado nutricional da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) sob inoculação com *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. *Research, Society and Development*. 10(5): e53410515270-e53410515270.
- El Komy, M. H., Saleh, A. A., Eranthodi, A. Molan, Y. Y. (2015). Characterization of Novel *Trichoderma asperellum* Isolates to Select Effective Biocontrol Agents Against Tomato *Fusarium* Wilt. *The Plant Pathology Journal*. 31(1): 50-60. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.09.2014.0087>.
- Engelbrecht, G., Horak, I., Jansen van Rensburg, P. J. Claassens, S. (2018). *Bacillus*-based bionematicides: Development, modes of action and commercialisation. *Biocontrol Sci. Technol*. 28(7): 629–653. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1469000>.
- Errigton, J. (2003). Regulation of endospore formation in *Bacillus subtilis*. *Nature Reviews Microbiology*. 1:117-126. <http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro750>.
- Fan, H., Yao, M., Wang, H., Zhao, D., Zhu, X., Wang, Y., Liu, X., Duan, Y. Chen, L. (2020). Isolation and effect of *Trichoderma citrinoviride* Snef1910 for the biological control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *BMC Microbiology*. 20(1): 299. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-01984-4>.
- Flores-Velázquez, J. Vega-García, M. (2019). Gestión regional del ambiente en un invernadero cenital con dinámica de fluidos computacional (DFC). *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 11(1), 3-20. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.04.007>.



# Uso de potencializadores en herbicidas para el manejo de arvenses en el cultivo de limón

José Luis Arispe Vázquez  
Rocío Toledo Aguilar.  
David Heriberto Noriega Cantú  
Susana Elizabeth Ramírez Sánchez  
José Francisco Díaz Nájera  
Sergio Ayvar Serna.





## Introducción

La agricultura representa una de las fuentes de empleo para México y otros países, convirtiéndose en una base fundamental para el desarrollo de los países, sin embargo, las plagas como insectos, enfermedades y arvenses entre otras, representan un riesgo para la seguridad alimentaria, ya que provocan daños directos o indirectos sobre nuestros cultivos, lo que se refleja en pérdidas económicas para el productor. Desde hace algunas décadas se mencionaba que a pesar de los esfuerzos de los productores, cada año se pierde hasta un 40% de la producción mundial de alimentos debido al impacto de plagas como insectos, arvenses y enfermedades.

En México el cultivo de limón es importante (Figura 1), en el ciclo 2022 se sembraron 218,836.85 ha<sup>-1</sup> de limón con una producción de 3,101,098.58 Mt con un rendimiento medio de 15.44 t por ha.



**Figura 1.** Plagas y enfermedades en el cultivo de limón.

El uso de plaguicidas químicos para el control de plagas, enfermedades y arvenses en los diferentes sistemas de producción de limón y demás cultivos ha provocado costos ambientales de importancia al reducir la fauna benéfica, esto se da comúnmente en algunos lugares, aunando que algunos productores llegan a utilizar altas dosis que no están recomendadas en la etiqueta, así como múltiples aplicaciones por parcela, señalando además el uso del mismos ingredientes activos (I.A.), mismos modos de acción, etc., lo que conlleva no solo a la pérdida de la flora y fauna, sino que estas prácticas traen como consecuencia problemas de que las plagas (entre ellas las arvenses) se hagan resistentes a los plaguicidas.



Las arvenses (arvenses) (Figura 2) constituyen uno de los principales problemas en el cultivo de limón y el resto de los cultivos, ya que causan pérdidas de rendimiento y calidad. Los daños se pueden clasificar en dos tipos: directas e indirectas. Las pérdidas de rendimiento pueden ser hasta de 70% o incluso las arvenses pueden llegar a causar pérdidas del 100%.



**Figura 2.** Incidencia alta de diferentes arvenses con gran cantidad de semillas en distintas parcelas de limón.

En las últimas cinco décadas, los herbicidas químicos fueron la herramienta más utilizada para el control de arvenses en sistemas agrícolas extensivos, con escasas rotaciones y alta dependencia a un número reducido de insumos. Actualmente la creciente prevalencia de arvenses resistentes a herbicidas ha creado un fuerte impulso para desarrollar estrategias novedosas para su control, por lo que la búsqueda de estrategias sostenibles para controlar las arvenses son fundamentales para la seguridad alimentaria y por ende para conservar los ecosistemas y la biodiversidad y así evitar la



aparición de la resistencia o resistencia múltiple de las arvenses a los ingredientes activos de los herbicidas. La efectividad de cada tratamiento dependerá de varios factores, como: las especies de arvenses que se quieran controlar y de las condiciones climáticas. Los herbicidas químicos pueden aplicarse en mezcla y/o secuencia, en algunos casos con efectos sinérgicos (o antagónicos en otros casos), no obstante, cabe recordar que cada herbicida tiene restricciones legales que limitan su uso a ciertos tiempos, dosis y mezclas en el tanque de dosificación.

Por otro lado, algunas plantas poseen potencial alelopático a través de la liberación de aleloquímicos (metabolitos secundarios) que tiene efectos nocivos o beneficiosos sobre otras plantas circunvecinas, es decir, disminuye la competencia en su entorno. La investigación brinda posibilidades para el manejo eficiente de arvenses y para el desarrollo de nuevos herbicidas. Actualmente en algunos países como México existen en el mercado algunos herbicidas comerciales a partir de extractos vegetales y microorganismos. Es probable que la aplicación de productos orgánicos y biológicos ayude a disminuir el uso de herbicidas químicos por parte de los productores lo que se reflejaría en una reducción de contaminación al medio ambiente y por ende disminuiría drásticamente la exposición del personal expuestos a estos productos químicos.

Debido a la contaminación del medio ambiente por las múltiples aplicaciones de herbicidas químicos y el uso de dosis no recomendadas de acuerdo a la etiqueta del herbicida y efectos indirectos hacia el productor y consumidor de los alimentos, se necesita la implementación de estrategias que ayuden a potencializar el uso de los productos para el control de arvenses en la producción de limón para obtener alimentos inocuos y reducir costos de producción. Por lo anterior, en este capítulo explicaremos la importancia de las arvenses y el uso de productos como potencializadores en los herbicidas químicos y orgánicos para el control de las arvenses.

### **Arvenses y su control**

A nivel mundial, existen aproximadamente ocho mil especies de arvenses, las cuales generan diversos problemas, tales como: competencia por luz y nutrientes con los cultivos, hospedadoras de plagas y enfermedades, liberación de compuestos tóxicos que inhiben el crecimiento de otras plantas y las dificultades que presentan durante la cosecha. Los herbicidas, que contienen compuestos complejos, han sido y continúan siendo una herramienta química clave en el manejo de estas especies no deseadas. Sin embargo, es importante destacar que las arvenses tienen una capacidad de evolución rápida frente a los cambios ambientales, como el aumento de temperatura, precipitaciones y niveles de dióxido de carbono, lo que genera un uso más intensivo de pesticidas y hace que la lucha contra ellas sea cada vez más desafiante.



Las arvenses en los cítricos y los demás cultivos compiten con la humedad del suelo, CO<sub>2</sub>, espacio, luz solar etc., lo que conlleva a reducciones considerables en el vigor y crecimiento, especialmente en plantaciones jóvenes de cítricos, provocando desde pérdidas mínimas hasta considerables, es decir pérdidas que van desde pérdidas menores hasta considerables, por lo que deben de tomarse en cuenta para elaborar una estrategia de manejo amigable con el medio ambiente, cuando estas aún son pequeñas (máximo hasta 15 cm) y así no se obtengan problemas de arvenses en etapas del cultivo posteriores, sin embargo, se continúa experimentando para el desarrollo de las mejores prácticas para el manejo del cultivo, incluida la rotación cultivos, labranza reducida, siembra de precisión, tasas y momentos óptimos de fertilización óptimos y manejo de otras plagas como insectos y enfermedades, sin embargo, la aplicación de pesticidas químicos sigue siendo la más preferida sobre todas las demás alternativas para proteger los cultivos incluido las arvenses (Figura 3). Actualmente, en todo el mundo se utilizan aproximadamente 2 Mt de pesticidas, de los cuales el 47,5% son herbicidas, el 29,5% son insecticidas, el 17,5% son fungicidas y el 5,5% son otros pesticidas.



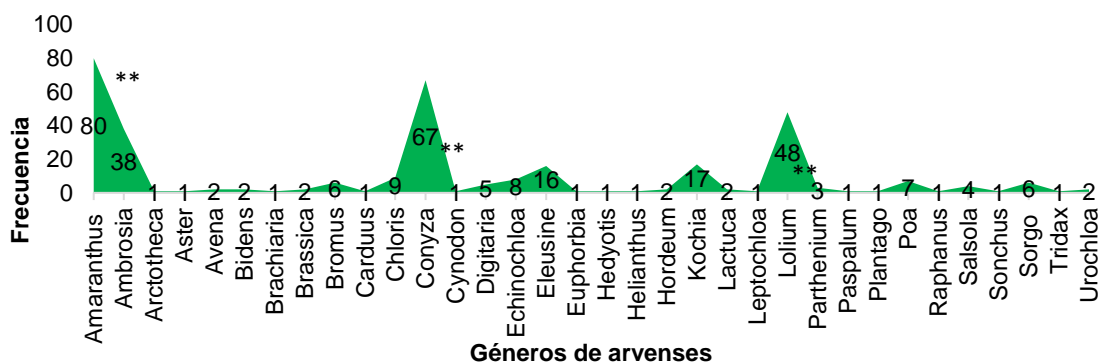
**Figura 3.** Uso de equipo de protección en la aplicación de herbicidas en la parcela de limón.

### **Resistencia de arvenses a herbicidas**

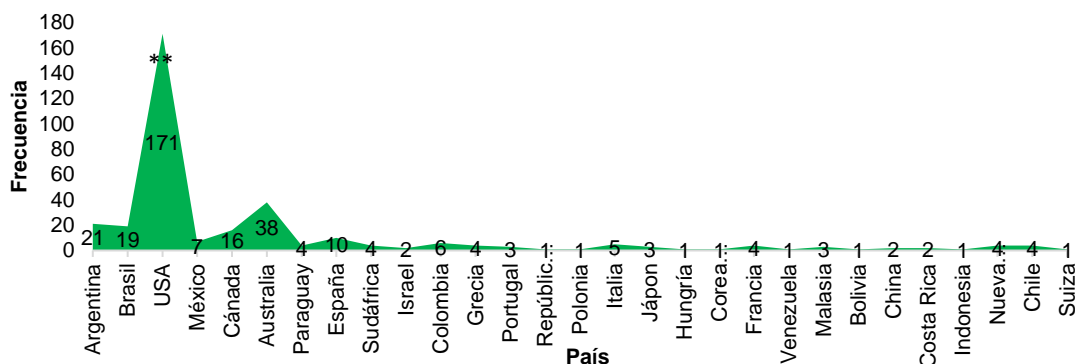
El uso prolongado de herbicidas, a menudo utilizados en múltiples ocasiones durante el mismo año agrícola, conduce al desarrollo de biotipos o poblaciones de arvenses resistentes; se refiere a la capacidad natural y hereditaria de algunos biotipos de arvenses de una población para sobrevivir a una aplicación de algún herbicida. Actualmente la aplicación de herbicidas es una de las principales estrategias para el manejo de arvenses,



sin embargo, sólo en los últimos 26 años se han reportado a nivel mundial 350 casos de resistencia de arvenses al glifosato; sin embargo, se ha registrado resistencia múltiple en 23 especies de arvenses en 17 países alrededor del mundo (Figuras 4 y 5), cabe resaltar que los herbicidas aplicados en dosis altas generalmente seleccionan mutaciones en el sitio objetivo, mientras que las dosis bajas generalmente aumentan la resistencia cuantitativa, incluida la duplicación/sobreexpresión de genes objetivo y la resistencia en el sitio no objetivo.



**Figura 4.** Perspectiva actual de los géneros de arvenses basada en informes mundiales de resistencia al glifosato, \*\*= géneros de arvenses con los informes de resistencia más altos.



**Figura 5.** Países con reportes de especies de arvenses resistentes al glifosato en el mundo, \*\*= países con mayores reportes de especies de arvenses resistentes al glifosato.



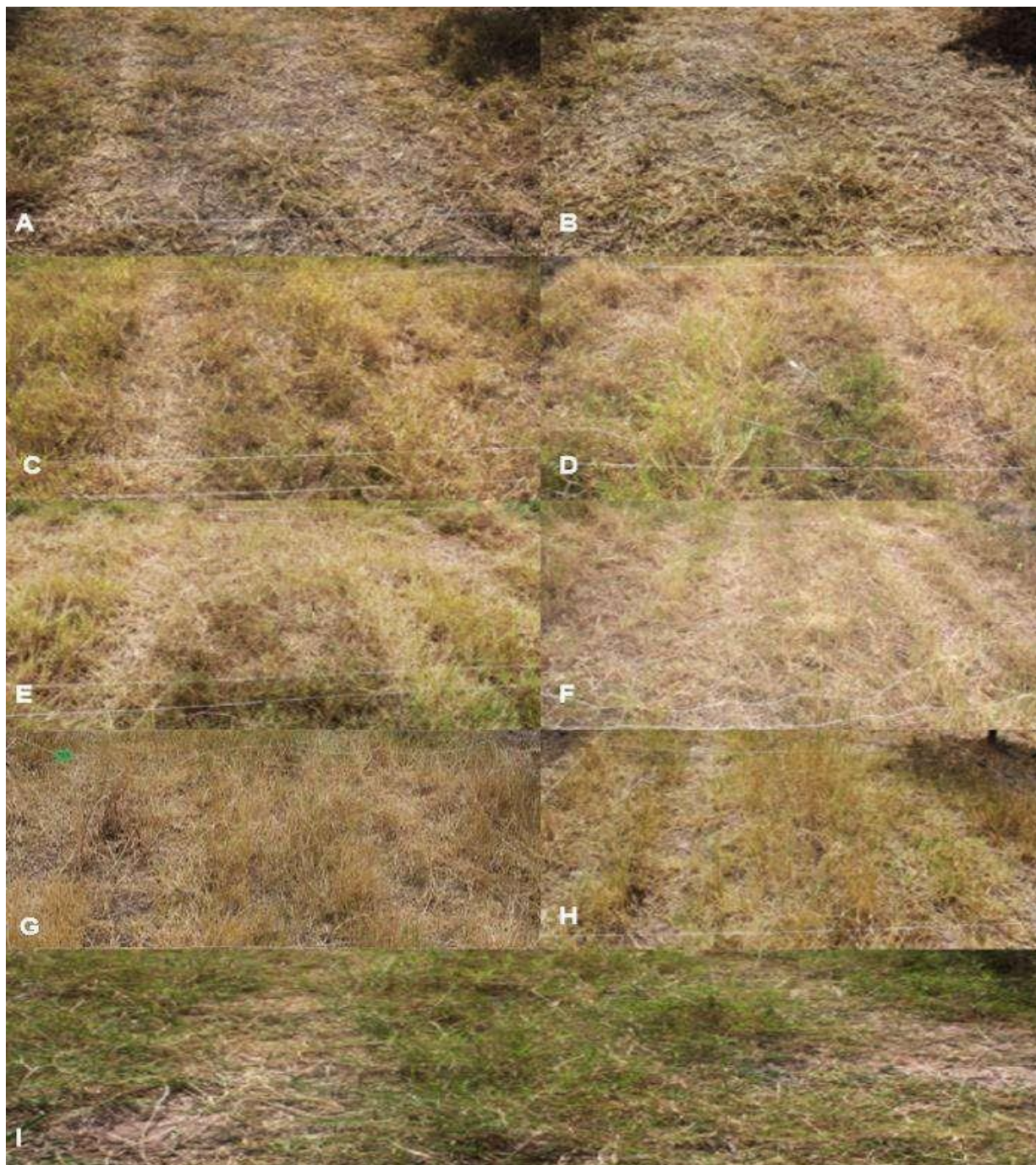


### Uso de potencializadores en herbicidas

Los herbicidas dependen de la absorción, translocación, metabolismo y la sensibilidad de la planta al herbicida y/o sus metabolitos para su actividad biológica. Para actuar eficientemente, el herbicida necesita penetrar la cutícula de la planta, llegar al citoplasma de la célula y luego ejercer su efecto (herbicidas de contacto) o ser translocado al sitio objetivo (herbicidas sistémicos, en la actualidad existen productos comerciales como potencializadores de herbicidas, por ejemplo, algunos solo necesitan usar el herbicida al 70% y 30% del potencializador, aumentando o manteniéndose la eficiencia de trabajo del herbicida, y obteniéndose el beneficio económico del menor costo. Los potenciadores de herbicidas que se pueden aplicar de forma segura a los cultivos sin mostrar ningún daño químico, tienen un excelente efecto de potenciación de varios herbicidas y promueven el crecimiento de las plantas objetivo; y composiciones herbicidas. Estos potenciadores herbicidas contienen como ingrediente activo al menos un miembro seleccionado entre compuestos de alcohol, compuestos de éter y compuestos de éster específicos.

Los bioestimulantes, cuando se usan en combinación con herbicidas en algunos casos, podrían actuar como protectores, reduciendo los efectos dañinos y estresantes de los herbicidas y, como resultado, esta combinación puede considerarse una técnica agrícola relativamente nueva. Sin embargo, también pueden tener efectos adversos o no significativos, algo que se ve fuertemente afectado por los mecanismos de funcionamiento de sus componentes. En la práctica, es necesario identificar los sistemas de trabajo entre especies vegetales, bioestimulantes y herbicidas de todos los actores de la producción agrícola. Otros autores demostraron en su experimento un efecto similar o mayor al usar el herbitech (bioherbicida comercial) y/o glifosato al 60% más el X-pansor (polidimetilsiloxano) es un polímero orgánico de silicio) como potencializador que al usar el herbitech y/o glifosato a dosis del 100% (de etiqueta) (Figura 6).

Otros autores demuestran que la beauvericina; un hexadepsipéptido cíclico, es la toxina más famosa producida por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Hypocreales: Cordyciptaceae), puede potenciar los pesticidas "no eficientes" contra cepas resistentes y reducir el desarrollo de resistencia de cepas susceptibles, no obstante, la absorción de pesticidas en el follaje de las plantas varía según las plantas y los productos químicos y puede verse muy influenciada por los adyuvantes y las condiciones ambientales. Por otro lado, el butóxido de piperonilo se utiliza como potenciador o sinérgico en muchas formulaciones de pesticidas, incluidos carbamatos, organofosforados, organoclorados, piretrinas, piretroides, neonicotinoides y d-limoneno. Disminuye la descomposición de estos pesticidas en el cuerpo del animal o insecto al inhibir las enzimas oxidasas de función mixta (MFO) y hace que el pesticida sea más tóxico para el insecto y el huésped.



**Figura 6.** Efectividad de los tratamientos en el control de las arvenses. A= Glifosato al 60% + 10 g de urea por 1 L, B= Glifosato al 60% + 2 mL de X-pansor por 1 L, C= Herbitech al 100%, D= Glifosato al 60% + 5 mL Aeroil Plus por 1 L, E= Herbitech al 60% + 10 g de urea por 1 L, F= Herbitech al 60% + % + 2 mL de X-pansor por 1 L, G= Glifosato al 100%, H= Herbitech al 60% + 5 mL Aeroil Plus por 1 L, I= Control (agua).



---

## **Conclusiones**

Las arvenses provocan pérdidas importantes no solo en el cultivo de limón, sino en todos los cultivos, por lo que en estos tiempos donde es notable la variación global del clima es necesario buscar alternativas de manejo que ayuden a que las moléculas alternativas químicas u orgánicas ayuden a expresarme del mismo modo o superior al usar dosis menores que hasta el momento se tiene documentada una dosis efectiva al 60% más el potencializador. No obstante, cabe destaca que se necesita la validación de esta estrategia de manejo por los productores en otros cultivos, arvenses y localidades diferentes; de esta forma se disminuirán costos y contaminación al ambiente. Se necesita la implementación de otras alternativas para el manejo de arvenses en todos los cultivos.



## Referencias

- Al Khoury, C., Nemer, N., Nemer, G. (2021). Beauvericin potentiates the activity of pesticides by neutralizing the ATP-binding cassette transporters in arthropods. *Sci Rep* 11: 10865. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89622-5>
- Altieri, M. A. (1983). Agroecología. Bases científicas de la agricultura alternativa. Chile, Centro de Estudios en Tecnologías Apropriadas para América Latina (CETAL).
- Arispe-Vazquez, J.L., Toledo-Aguilar, R., Noriega-Cantú, D.H., Ramírez-Sánchez, S.E., Díaz-Nájera J.F., Ayvar-Serna S. (2024). Uso de potencializadores en el manejo de arvenses en el cultivo de limón: resultados preliminares. Memoria del VI Congreso Internacional Abanico Veterinario, Agroforestal, Ambiental, Pesquero, Acuícola y del Mar, 2024.
- Azim, K.M., Bahadar M.K., Hassan G., & Huissain Z. (2005). Bioherbicidal effects of tree extracts on seed germination and growth of crops and weeds. *Pak J Weed Sci Res* 11(3-4): 89-94.
- Benjamin, L. R., Milne, A. E., Parsons, D. J., & Lutman, P. J. W. (2010). A model to simulate yield losses in winter wheat caused by weeds, for use in a weed management decision support system. *Crop Protection*, 29(11), 1264–1273. doi:10.1016/j.cropro.2010.07.015
- Carvalho, F., Fowler, S., Villeneuve, J., Horvat, M. (1997) Pesticide residues in the marine environment and analytical quality assurance of the results. In: Environmental behaviour of crop protection chemicals. In: Proceeding of an FAO-IAEA international symposium. International atomic energy agency, Vienna. pp 35–57.
- Castro, M.J.L., Ojeda, C., Cirelli, A.F. (2014). Advances in surfactants for agrochemicals. *Environ Chem Lett* 12, 85–95. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0432-4>
- De, A., Bose, R., Kumar, A., Mozumdar, S. (2014). Worldwide pesticide use. In: Targeted delivery of pesticides using biodegradable polymeric nanoparticles. Springer, Berlin, pp 5–6
- Gressel, J. (2011). Low pesticide rates may hasten the evolution of resistance by increasing mutation frequencies. *Pest Manage. Sci.* 67: 253–257.
- Gupta, R.C., Doss, R.B. (2022). Pesticide Potentiating Agent Toxicosis in Animals. <https://www.msduvetmanual.com/toxicology/insecticide-and-acaricide-organic-toxicity/pesticide-potentiating-agent-toxicosis-in-animals>
- Harding, D.P., Raizada, M.N. (2015). Controlling weeds with fungi, bacteria and viruses: a review. *Frontiers in plant science* 6: 659.
- Hayashi, T., Tadayuki, S., Kurita, K. (2009). Herbicide potentiators. European Patent Office. EP1344454A4. <https://patents.google.com/patent/EP1344454A4/en>
- Imaas (2022). Potencializador de agroquímicos (IMAAS 333). <https://imaas.com/agroquimicos/>



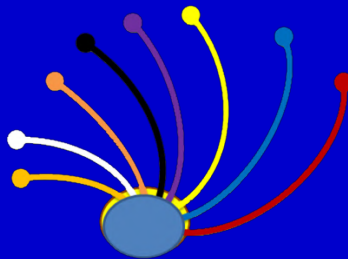
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI). (2017). Los Riesgos de una Mala Aplicación de Herbicidas. [www.intagri.com/articulos/fitosanidad/los-riesgos-de-una-mala-aplicacion-de-herbicidas](http://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/los-riesgos-de-una-mala-aplicacion-de-herbicidas).
- Katsenios, N., Sparangis, P., Vitsa, S., Leonidakis, D., Efthimiadou, A. (2023). Application of Biostimulants and Herbicides as a Promising Co-Implementation: The Incorporation of a New Cultivation Practice. *Agronomy* 13: 2634. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102634>
- MacLaren, C., Storkey J., Menegat A., Metcalfe H., Dehnen-Schmutz K. (2020). An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 40 (4), 24. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00631-6>
- Maiti, P.P., Bhakat, R.K., Bhattacharjee, A. (2008). *Allelopathy Journal* 22: 59-68.
- Mayorga, A.D., Guillen, M.R.E., (2019). Uso de herbicidas en el control de arvenses. importancia de su conocimiento para el profesional agrónomo. *Opuntia Brava* 11(1): 1-7.
- Mendes, K.F., Mielke, K.C., D'Antonino, L., Alberto da Silva, A. (2022). Retention, Absorption, Translocation, and Metabolism of Herbicides in Plants. In: Mendes, K.F., Alberto da Silva, A. (eds) *Applied Weed and Herbicide Science*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-01938-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-01938-8_5)
- Mota-Sanchez, D., Wise, J. C. (2017). *Arthropod Pesticide Resistance Database*. Michigan State University. <https://www.pesticideresistance.org>. Acceso
- Novelli, D., Cámpora, M.C. (2015). Arvenses, la expresión de un sistema: El manejo de las arvenses necesita un abordaje integral y de largo plazo que contribuya a la sustentabilidad de los agroecosistemas. El monitoreo, la rotación y el uso racional de los herbicidas son algunas de las prácticas clave para integrar. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 41(3), 241-247.
- Oerke, E. C., Dehne, H. W., Schönbeck, F., Weber, A. (1994). Crop production and crop protection: Estimated losses in major food and cash crops. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 808 pp.
- Oerke, E.C. (2006). Centenary Review - Crop losses to pests. *J of Agri Sci* 144:31-43
- Pimentel, D. (1997). Techniques for reducing pesticide use: Economic and environmental benefits. John Wiley & Sons, New York, NY. 444 pp.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2018). ¿Cómo beneficia la agricultura a las familias mexicanas? <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/como-beneficia-la-agricultura-a-las-familias-mexicanas>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Soares, M.B., Galli, J.A., Martins, M.H., Oliveira, A.C., Bianco, S. (2021). Weed management in the dry season: interferences in physiology and quality of Persian



- lime fruits. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 5: e67779.
- Weed Science Society of America (WSSA). (1998). Herbicide resistance and herbicide tolerance definitions. *Weed Technology*. 12(4): 789. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00044766>
- Yu, J.Q., Ye, S.F., Zhang, M.F., Hu, W.H. (2003). "Effects of Root Exudates and Aqueous Root Extracts of Cucumber (*Cucumis sativus*) and Allelochemicals, on Photosynthesis and Antioxidant Enzymes in Cucumber," *Biochemical Systematics and Ecology* 3(2): 129- 139. [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-1978\(02\)00150-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-1978(02)00150-3)
- Ziska, L.H., Goins, E.W. (2006). Elevated Atmospheric Carbon Dioxide and Weed Populations in Glyphosate Treated Soybean. *Crop. Sci.* 46:1354–1359. doi: 10.2135/cropsci2005.10-0378
- Zita, P.G. (2010). Provoca arvense, pérdidas de hasta 70 por ciento en rendimiento de cultivos. [https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010\\_177.html](https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010_177.html)

## Sección 4

# Ambiental







# Nitratos: una alternativa en la disminución de metano producido por el ganado bovino

Esperanza Herrera-Torres  
Gerardo Pámanes-Carrasco  
Esther Araiza-Rosales  
Daniel Sierra-Franco  
Carlos Aguirre-Calderón





## **Introducción**

El incremento de la población a nivel mundial ha aumentado de manera exponencial, por lo que se espera para 2050 se llegue a la alarmante cifra de 9,300 millones de habitantes. Esto ha ocasionado un incremento en la demanda de alimentos tanto de origen animal como vegetal, y por ende se requiere de una mayor eficiencia en la producción agrícola y ganadera. Sin embargo, esto puede ocasionar daños a los ecosistemas por lo que se deberá tener en cuenta herramientas y alternativas que permitan estos incrementos de manera sostenible.

El sector agropecuario en México ocupa una superficie de 109.8 millones de hectáreas, lo cual representa el 55.9 % de total. Mientras que, la ganadería extensiva en México ocupa una superficie de 47.6 millones de hectáreas, de las cuales el 43.35 % de la superficie total se dedica a la ganadería. No obstante, Chihuahua, Sonora y Durango reportaron en 2016 un sobrepastoreo y una degradación del suelo estimada en 71, 55 y 52 % respectivamente, esto debido al uso de pastizales naturales por ser la forma natural de alimentar a los bovinos a bajo costo, pero, como se sabe, la mayoría de los pastizales del norte de México se encuentran en un proceso de gran deterioro; a través de los años han sido sobrepastoreados con una carga animal que excede su capacidad natural, provocando la eliminación de especies de alto valor forrajero y la invasión de plantas indeseables o tóxicas. Aunado a esto, en las últimas décadas se han incrementado las sequías prolongadas, incidiendo directamente en la escasez de producción de forrajera para alimentar al ganado; ocasionando que los animales no alcanzan a consumir lo suficiente para llenar sus necesidades de energía para mantenimiento, producción y reproducción.

Cabe resaltar que la ganadería en el estado de Durango es en su mayoría extensiva, donde el forraje producido en agostaderos y praderas son la base principal de la alimentación; las malas prácticas de manejo han ocasionado pérdida de biodiversidad, desertificación y degradación del suelo, esta última ha ocasionado un posible aumento en las emisiones de metano por la gran cantidad de animales que son alimentados bajo este sistema. Este es uno de los factores que son determinantes en el cambio climático, debido a la acumulación de gases en la atmósfera generando lo que se conoce como Efecto Invernadero. La acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera impide la correcta reflexión de la luz solar al espacio, lo que provoca un aumento en la temperatura media del planeta. Al respecto, los últimos informes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aseveran que limitar el aumento de la temperatura global a no más de 1.5 °C ayudaría a evitar los peores impactos climáticos que el planeta y sus habitantes pudieran soportar; el peor de los escenarios vislumbra un incremento de 3.2 °C para finales de siglo.



Por su parte, la actividad ganadera es una de las actividades económicas que más contribuye a la generación de GEI. De esta manera, las actividades propias de la industria, el estiércol y los gases generados en la fermentación entérica de los alimentos en los rumiantes, son los principales generadores de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ) y amoníaco. En 2021, México contribuyó con el 1,4 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), lo que lo ubicó en el segundo lugar en América Latina. Las principales emisiones de México en 2021 fueron de dióxido de carbono (63.9 %), metano (27.7%) y óxido nitroso (5.1 %). De tal manera que, el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, publicado en 2021, indica que México emite más de 6,3 millones de toneladas de metano al año. Mientras que, en el 2018, el ganado bovino cárnico contribuyó con 79 % de ellas y los bovinos de leche con 13 %; el metano representó 90.4 %. Por su parte, la ganadería en México emitió el equivalente a 0.072 GtCO<sub>2</sub>e en 2017, lo cual representara el 2.45 % del total global; el 75 % de este valor proviene de la fermentación entérica ruminal (0.054 GtCO<sub>2</sub>e), siendo los bovinos los mayores emisores de la categoría. Como producto de la fermentación entérica ruminal, el metano es sintetizado de manera natural en el rumen y así mismo, esta síntesis puede ser manipulada a través de la dieta o inclusión de ciertos aditivos alimenticios que contribuyan a reducir la producción de metano en los rumiantes, principalmente bovinos.

### **Gases efecto invernadero**

El crecimiento poblacional en el mundo, la sobreproducción de bienes y servicios, así como la industrialización, han generado la sobreexplotación de los recursos naturales con los que cuenta el planeta. Además, las actividades antropogénicas también producen y emiten GEI a la atmósfera, los cuales son los principales responsables del calentamiento global y el denominado Efecto del Cambio Climático (ONU, 2023).

Desde principios de la década de los 90s, los investigadores se empezaron a preocupar y a ocupar en los cambios climatológicos derivados de la industrialización y sobrepoblación mundial. Debido a esto, en 1997 se estableció el Protocolo de Kioto, en el cuál se exhortaba a los países participantes a disminuir sus emisiones de  $\text{CO}_2$ , principalmente, en un 5 % en comparación con las emisiones que se habían contabilizado en 1990; debido a esto se designó al Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) como los encargados de evaluar las emisiones y avances en los esfuerzos de cada país por lograr su meta (IPCC, 1997). A pesar de que se han hecho reuniones posteriores a la primera de Kioto, y se han establecido nuevas metas en la reducción de emisiones, los avances por países han sido mínimos. Por lo anterior, en el Acuerdo de París en 2015, se estableció que el planeta no podría elevar su temperatura media a más de 2 grados Celsius, ya que se pudiera entrar en un punto de no retorno; sobrepasando este incremento, no se podrán regenerar las condiciones climatológicas y



atmosféricas en el mundo, lo que conducirá, eventualmente, a una inminente catástrofe ambiental (Allen et al., 2018). Debido a esto, todos los países acordaron y se fijaron metas nuevas y más realistas para intentar contrarrestar el daño causado.

Por su parte, el Gobierno Federal Mexicano estableció como objetivo reducir 30 % las emisiones de GEI a la atmósfera. Estas cifras fueron confirmadas en la agenda de Cambio Climático durante la reunión del Acuerdo entre los Estados Unidos, México y Canadá (USMCA); este acuerdo sustituye el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (INECC, 2021). En definitiva, hay diversas actividades antropogénicas que producen exceso de GEI. La Unión Europea establece que la combustión de carbón y petróleo, la deforestación, el desarrollo de la ganadería y las emisiones de aparatos que producen gases fluorados, son las principales causas del aumento en las emisiones de GEI (UN, 2015). Desafortunadamente, la ganadería es una actividad económica de suma importancia en el mundo. Tan sólo en México, se producen 33 millones de bovinos al año; el total de rumiantes en el país asciende a los 54 millones de cabezas (SIAP, 2022). Con estas cifras, México ocupa el décimo primer a nivel mundial en ganadería primaria. A su vez, el estado de Durango contribuye con 1.3 millones de cabezas de bovinos. Sin embargo, así como se indicó anteriormente, la ganadería contribuye de manera sustancial a la generación de GEI. Al respecto, se ha comprobado que el sector agropecuario aporta el 58 % del total de emisiones de GEI a la atmósfera; el metano aporta el 32 % (INECC, 2021). El metano es un gas generado como producto de la fermentación entérica ruminal y posee un poder calorífico hasta 23 veces más potente que el CO<sub>2</sub> (Ribeiro et al., 2015). Tan solo en 2018, se emitieron cerca de 50 GtCO<sub>2</sub>e (50 mil millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalentes) en el mundo; el 5.9 % de esta cantidad corresponde a la ganadería y la producción de estiércol (2.95 GtCO<sub>2</sub>e) (Statista, 2022). Aunado a lo anterior, la ganadería en México emitió el equivalente a 0.072 GtCO<sub>2</sub>e en 2017, lo cual representa 2.45 % del total global (CEDRSSA, 2020); de este valor, el 75 % se atribuye a la fermentación ruminal entérica (0.054 GtCO<sub>2</sub>e), de acuerdo a disposición anatómica e importancia en la producción de GEI, por lo que los bovinos son los mayores emisores de la categoría, aportando el 87.4 % del total de fermentación entérica producido (0.047 GtCO<sub>2</sub>e). Esta serie de datos indican la importante contribución de la ganadería a la producción y emisión de GEI.

### **Ganado bovino como fuente de GEI**

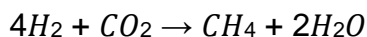
Un problema importante que enfrenta nuestro planeta es el cambio climático que se ha asociado a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de actividades antropogénicas. El efecto invernadero es causado por el aumento en el aire de gases que impiden la salida del calor al espacio exterior, incrementando la temperatura del planeta. Los GEI son principalmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido



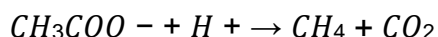
nitroso (N<sub>2</sub>O). El CO<sub>2</sub> es el gas más abundante y el que más aporta al calentamiento global. El CH<sub>4</sub>, segundo GEI en importancia, ha causado el deterioro de la capa de ozono y posee 25-28 veces el potencial de calentamiento global con respecto al CO<sub>2</sub>. Las fuentes principales son actividades humanas como la agricultura (fermentación entérica y producción de arroz) y uso y extracción de combustibles fósiles (Lasse et al., 2008). La ganadería es responsable del 53 % del CH<sub>4</sub> antropogénico del total del sector agrícola, proveniente principalmente de la digestión entérica de los rumiantes (Charmley et al., 2016). El CO<sub>2</sub>, no se considera en la contabilidad del sector, debido a que su emisión por los animales se considera parte del ciclo natural del carbono del planeta. El N<sub>2</sub>O se asocia a las actividades agrícolas y manejo de excretas. Los rumiantes tienen un sistema digestivo que les permite utilizar diferentes alimentos y fermentarlos hasta piruvato, ácidos grasos volátiles, CH<sub>4</sub>, masa microbiana y CO<sub>2</sub>.

### Metanogénesis ruminal

La vía metanogénica consiste en una variante anaerobia de la respiración celular en donde se oxida el hidrógeno molecular y se reduce el dióxido de carbono a metano (metanogénesis hidrogenotrófica), como se observa en la ecuación:



Además del dióxido de carbono, el acetato (metanogénesis acetotrófica) y compuestos metilados pueden funcionar como sustratos del proceso, pero, aun así, el hidrógeno molecular reduce principalmente el CO<sub>2</sub>:



Cuando se analiza la variante acetotrófica, es importante considerar su contraparte acetogénica, proceso en el que se sintetiza ácido acético a partir de dióxido de carbono e hidrógeno diatómico:



Además del acetato, el propionato es otro ácido graso de cadena corta que funciona como intermediario, su oxidación por parte de bacterias libera hidrógeno molecular utilizado como sustrato de la metanogénesis. El proceso metanogénico es realizado por organismos del dominio Archaea. La modificación controlada del microbiota ruminal regula los niveles de metano liberados al ambiente. También se han estudiado los efectos del suministro de residuos agrícolas (rastreo de maíz, semilla de algodón y colza) en los niveles de metano y se ha encontrado una disminución en estos, ya que generalmente



tienen una cantidad elevada de taninos que puede modificar la riqueza de especies metanogénicas en el rumen, influenciando así los niveles de metano. Como ha sido mencionado por algunos autores, la alimentación eficiente e ineficiente hace que la variabilidad en la composición de metanógenos sea menor y mayor respectivamente en términos de las unidades taxonómicas operacionales (técnica utilizada para clasificar organismos emparentados).

### **Estrategias Alimenticias para la mitigación del metano**

Dentro de las estrategias alimenticias que han estudiado diversos autores se encuentra la inclusión de aditivos alimenticios como los siguientes:

- Ionóforos: En la década de los ochentas se reportó que la monensina sódica disminuía la producción de CH<sub>4</sub> desde valores modestos hasta un 25 %, pero el periodo de reducción es corto, los niveles retornan a los valores iniciales, por lo que la reducción en la producción de CH<sub>4</sub> parecía más relacionada con la reducción en el consumo de alimento y no con un efecto directo en la metanogénesis, además de la resistencia a antibióticos y residuos en productos para consumo humano limitaron su uso.
- Aditivos microbianos: Su uso ha sido principalmente como aditivo para mejorar la eficiencia alimenticia, el comportamiento productivo y la salud animal. Existe poca información del efecto de las levaduras sobre los mecanismos de transferencia del hidrógeno y sobre la metanogénesis.
- Aceites esenciales (AE): A fin de evaluar el impacto de algunos AE en las poblaciones ruminales de Archaea, se evaluaron el cinamaldehído, el aceite de ajo y el aceite de junípero, adicionados en dosis de 0.02 g kg MS-1 a dietas para ovejas.
- Grasas vegetales: La adición de lípidos a las dietas para rumiantes impacta en la pérdida de CH<sub>4</sub> por varios mecanismos, incluyendo la biohidrogenación de Ácidos Grasos insaturados, mayor producción de ácido propiónico e inhibición de protozoarios, por lo que son una opción para alterar la producción de CH<sub>4</sub>.
- Ácidos orgánicos: Estos ácidos se encuentran presentes en frutos de diferentes plantas y son de uso común en la elaboración de alimentos para consumo humano. El uso de malato o fumarato es considerado seguro para la alimentación animal y el medio ambiente, estos compuestos han sido investigados con el objetivo de incrementar la producción de carne y leche y su participación en la reducción de CH<sub>4</sub> por acción de competencia por hidrógeno metabólico; la limitante en su utilización está relacionada con el precio comercial, mantener bajas concentraciones por periodos extendidos en el rumen y la falta de estudios que identifiquen las condiciones de su uso óptimo.



- Metabolitos secundarios: Estos incluyen las saponinas, terpenoides, flavonoides, fenoles, glucósidos, taninos, ligninas, alcaloides y polisacáridos. La especificidad de los metabolitos secundarios de los vegetales contra grupos microbianos puede utilizarse para la inhibición selectiva de algunos microorganismos indeseables en el rumen.
- Naringina: Los compuestos fenólicos como los flavonoides presentan una amplia gama de bioactividades en el organismo de humanos y animales, se han reportado aproximadamente más de 4,000 flavonoides en plantas y frutas, las cuales se han agrupado en: Chalconas, Flavonas, Flavonoles, Flavandioles, Antocianinas, Taninos condensados, Auronas y Flavononas. En este último grupo se encuentra la liquiritigenina, eriodictiol y la naringenina presente en la naringina. La estructura de la naringina se presenta en la figura 2. Estos compuestos podrían no solo participar en la mitigación de CH<sub>4</sub>, sino que pueden tener un efecto benéfico en la salud de los animales, mejorando la digestibilidad, la eficiencia alimenticia, reducción en la degradación de proteína a nivel ruminal, balance de la flora ruminal, reducción de acidosis y control de microorganismos patógenos.

### Ácido fumárico

El Ácido fumarico (AF) como aditivo, tiene potencial para disminuir la producción de CH<sub>4</sub> así como de incrementar la glucogénesis y por tanto el rendimiento de leche, pero la cantidad debe restringirse debido al riesgo de acidosis y al consecuente decremento en la digestibilidad de la fibra y del consumo de alimento. El AF es reducido a succinato por H<sub>2</sub> o 2H, el cual es convertido a su vez en propionato. Una mol de AF puede por tanto desviar un máximo de una mol de H<sub>2</sub> de la formación de CH<sub>4</sub>. Se ha suministrado AF encapsulado en una cubierta de aceite parcialmente hidrogenado, mediante la cual ocurrió liberación lenta del AF, con lo que fue posible disminuir en 76 % la producción de CH<sub>4</sub>; 24.6 vs 5.8 L día<sup>-1</sup> para la dieta testigo y la adicionada con AF encapsulado, respectivamente. Se han evaluado distintas dosis de fumarato en cultivos *in vitro*, sobre la fermentación de cinco alimentos concentrados: maíz, cebada, trigo, sorgo y harina de yuca, disminuyendo (P<0.05) linealmente la concentración de CH<sub>4</sub> en todos los sustratos, sin existir diferencia entre niveles de 7 y 10 mM, aunque la disminución fue modesta (2.3, 3.8 y 4.8 % para las dosis de 4, 7 y 10 mM, respectivamente). La mayor respuesta se observó en maíz, por lo que la utilización del fumarato *in vitro* fue dependiente del sustrato y de la dosis utilizada. Si los efectos observados *in vitro* son confirmados *in vivo*, en animales alimentados con dietas concentradas, este compuesto podría ser una alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento, aunque serían necesarias otras pruebas para valorar adecuadamente la influencia del fumarato en diferentes condiciones de alimentación. Contrariamente, al ofrecer 80 g día<sup>-1</sup> de AF a becerros en crecimiento alimentados con dietas altas en forraje con base en ensilado de cebada, no se encontró



efecto en la emisión de CH<sub>4</sub>; 26 y 25 g Kg MS-1 consumida, para la dieta con AF y la dieta control, respectivamente.

Gran parte del H<sub>2</sub> producido en el rumen es removido en forma de CH<sub>4</sub> por los microorganismos. Estos microorganismos, reducen el CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> con ayuda de agentes reductores como la nicotinamida adenina dinucleótido (NADH). El CH<sub>4</sub> resultante a partir de la metanogénesis representa una pérdida energética para el animal y se convierte en un problema ambiental por ser un gas con significativo efecto invernadero.

Aceptores de H<sub>2</sub> diferentes al CO<sub>2</sub> han sido propuestos como estrategia para disminuir la síntesis ruminal de CH<sub>4</sub>. Estas sustancias incluyen ácidos orgánicos como el fumarato, que a nivel ruminal es reducido a ácido succínico, proceso que consume iones de H<sub>2</sub> en la vía de síntesis de propionato; los sulfatos que son reducidos y utilizados por bacterias sulfato reductoras como aceptores de electrones obteniendo como producto final sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y finalmente, los nitratos, que pueden remplazar al CO<sub>2</sub> como aceptor de electrones y generar productos reducidos (amonio) diferentes al CH<sub>4</sub>. Sin embargo, la utilización de nitratos como fuente de nitrógeno en dietas para rumiantes es limitada, dado que en su proceso de reducción se forman nitritos, que al ser absorbidos a través del epitelio ruminal, pasan a sangre donde se unen a la hemoglobina y generan la condición conocida como metahemoglobinemia, que en algunos casos puede llegar a ser letal.

La dosis mínima letal de nitratos para rumiantes no puede ser fácilmente definida debido a que esta depende de variables como la composición de la dieta, consumo y método de administración. Las dosis tóxicas para rumiantes varían entre 198 y 998 mg de nitrato /kg de peso vivo. Sin embargo, los efectos negativos de los nitratos pueden ser reducidos a través de la adaptación gradual de los animales al consumo de esta fuente de nitrógeno y contribuir de esta manera a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

### **Nitratos**

Recientemente, se ha mencionado que los nitratos pueden usarse como fuente de N fermentable en el rumen, siempre y cuando el animal haya sido previamente adaptado, y sin que se observen signos de enfermedad y con el posible incremento en la eficiencia de crecimiento microbiano. Se dice que el uso de nitratos incrementa los requerimientos de azufre a fin de mantener la conversión a amonio sin producir nitritos en exceso. Esto se fundamentó en un estudio en el que la adición conjunta de nitratos y sulfatos a la dieta de ovinos produjo la mayor reducción en la producción de metano, sin ningún signo de metahemoglobinemia, sin embargo, es necesaria más investigación al respecto. La reducción de nitrato de amonio, con nitrito como intermediario, es energéticamente más favorable que la reducción de dióxido de carbono a metano y puede competir la





metanogénesis por reducción de equivalentes. Estequiometricamente, la reducción de nitrato a amonio debe bajar la producción de metano por 25.8 g/100 de  $\text{NO}_3$ . Sin embargo, si la reducción de nitrato a amonio es incompleta, el nitrito podría acumularse en el rumen, y ser absorbido en sangre, y reaccionar con la hemoglobina y formar metahemoglobina, cuya acumulación puede comprometer el transporte de oxígeno y la salud animal.

### **Resultados de la inclusión de nitratos en la alimentación de ganado**

Algunos investigadores han utilizado nitrato de calcio para reducir las emisiones de gas entérico, de hecho observaron una disminución de gas a las 48 h de fermentación con diferentes niveles de nitrato, a su vez, estos mismos investigadores registraron una disminución del 43 % en dietas con 2 % de nitrato de calcio en bovinos en crecimiento, este efecto posiblemente se debe a que los nitratos reducen el amoníaco y esto favorece las reacciones termodinámicas que se llevan a cabo en el rumen, utilizando al amoníaco como un sumidero de hidrógenos en lugar de sintetizar metano. Además, se sabe que los nitratos afectan la presencia de las arqueas las cuales hacen posible la metanogénesis. En investigaciones recientes se han observado una disminución en la relación de arqueas: bacterias, lo cual indica que la reducción en la producción de metano se debe a la acción colaborativa de reducir las bacterias metanogénicas y la promoción a diferentes rutas de captación de hidrógenos.

Además, los nitratos también pueden tener una acción sobre los protozoarios ya sea reduciendo el número de estos a nivel ruminal y promoviendo una reducción en la producción de hidrógenos. También se ha utilizado el propionato de calcio como un aditivo en corderos para reducir el uso de granos, lo cual promueve la formación de propionato ruminal. Además, el potencial para reducir el metano se explica porque durante su disociación captura el ion de hidrógeno reduciendo la disponibilidad para formar metano. Se ha reportado que para reducir las emisiones de GEI se puede favorecer si se mejora la digestibilidad, es decir por encima de los valores mínimos reportados de 60 %, sobre todo cuando los rumiantes están alimentados con dietas con forrajes de baja calidad. Se han sugerido diversas alternativas para administrar aditivos, como lo es incorporándolos en bloques multinutricionales. Algunos investigadores reportaron una disminución del 13 % en las emisiones de metano al suplementar con propionato de calcio en corderos en engorda.

Por su parte, Lee y Beauchemin después de revisar 24 trabajos científicos que emplearon nitratos como aditivos en la alimentación de rumiantes, concluyeron que estos compuestos reducen significativamente la producción de  $\text{CH}_4$  entérico sin afectar el consumo de materia seca y la ganancia de peso vivo. Sin embargo, resaltan que a pesar de que los nitratos reducen la pérdida de energía del alimento en forma de  $\text{CH}_4$ , no redireccionan la energía metabolizable adicional hacia la producción animal y pueden alterar la composición del nitrógeno urinario aumentando las emisiones de amonio y óxido



nitroso desde el estiércol. Es importante resaltar que el empleo de nitratos en dietas para rumiantes debe ser cuidadoso, una vez que los nitratos pueden inducir a una intoxicación por nitritos en el animal debido a la formación de la metahemoglobina (MetHb), compuesto que disminuye la capacidad en el transporte de oxígeno de la sangre. Para reducir el riesgo de intoxicación por nitritos, se sugiere otorgar a los animales un periodo de adaptación gradual al consumo de nitratos, incrementar gradualmente la participación de los nitratos en la ración y la encapsulación o protección de este compuesto, en procura de reducir su velocidad de liberación en rumen.

En otros estudios, diferentes investigadores plantearon el uso de niveles altos de nitratos para reducir las emisiones de metano entérico en el ganado lechero, encontrando como resultado la disminución del 16 al 25 % por kilogramo de materia seca consumida al incluir 21 g de nitratos por kg de MS. Por otro lado, también se reporta que existe un comportamiento lineal en la reducción de metano al incrementar la concentración de nitratos en la dieta consumida por ganado lechero. Además, se comenta que los efectos sobre la producción de metano son evidentes hasta 5 h después de la alimentación; es decir, cuando el nitrato se reduce en el rumen, este desvía el hidrógeno disponible de la metanogénesis. Por lo anterior, la producción de metano puede presentar menos fluctuaciones a lo largo del día con el tratamiento con alto contenido de nitrato en comparación con el tratamiento que no contiene nitrato. La reducción de nitrato a amoníaco es energéticamente más favorable que la reducción de dióxido de carbono, este es un mecanismo por el cual el nitrato reduce la producción de metano.

### **Conclusiones**

El calentamiento global derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero se ha incrementado por la actividad del ser humano, pero también el sector agropecuario contribuye de manera sustancial, por lo que es necesario implementar estrategias que ayuden a disminuir estas emisiones. En el caso del ganado bovino a quien se le atribuye el 85% de las emisiones de metano entérico producto de la actividad agropecuaria, se han establecido estrategias alimenticias, en lo particular, la inclusión de aditivos como los son los nitratos tanto de calcio como de amonía, los cuales de acuerdo a los resultados presentados en esta revisión han promovido una disminución de metano en sistemas pecuarios. Sin embargo, se recomienda que se siga haciendo investigación en relación a este tema y los resultados sean transmitidos al sector social.



---

## Referencias

- Klop, G., Hatew, B., Bannink, A., and Dijkstra, J. (2016). Feeding nitrate and docosahexaenoic acid affects enteric methane production and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99, 1161–1172 <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10214>
- Duthie, C.A., Troy, S.M., Hyslop, J.J., Ross, D.W., Roehe, R., and Rooke, J.A. (2018). The effect of dietary addition of nitrate or increase in lipid concentrations, alone or in combination, on performance and methane emissions of beef cattle. *Animal*, 12, 2, doi:10.1017/S175173111700146X
- IPCC. (2019). Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. *Summary for Policy Makers* (Cambridge: IPCC, <https://www.ipcc.ch/srccl/>)
- Feng, X.Y., Dijkstra, J., Bannink, A., Van Gastelen, S., France, J., and Kebreab, E. (2020). Antimethanogenic effects of nitrate supplementation in cattle: A meta-analysis. *Journal Dairy Science*, 10, 11375–11385. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18541>.
- Lee, C., Araujo, R.C., Koenig, K.M., and Beauchemin, K.A. (2015). Effects of encapsulated nitrate on enteric methane production and nitrogen and energy utilization in beef heifers. *Journal Animal Science*, 93, 2391–2404. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8845>
- Li, L., Davis, J., Nolan, J. and Hegarty, R. (2012). An initial investigation on rumen fermentation pattern and methane emission of sheep offered diets containing urea or nitrate as the nitrogen source. *Animal Production Science*, 52, 653–658. <https://doi.org/10.1071/AN11254>
- Ungerfeld, E. M. (2015). Shifts in metabolic hydrogen sinks in the methanogenesis-inhibited ruminal fermentation: A meta-analysis. *Front. Microbiol*, 6, 37–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00037>
- Olijhoek, D.W., Hellwing, A.L.F., Brask, M., Weisbjerg, M.R, Højberg, O., Larsen, M.K., Dijkstra, J., Erlandsen, E.J., and Lund, P. (2015). Effect of dietary nitrate level on enteric methane production, hydrogen emission, rumen fermentation, and nutrient digestibility in dairy cows. *Journal Dairy Science*, 99, 6191–6205. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10691>



# La ganadería y cuantificación de sus emisiones de gas con efecto invernadero en México

Elizabeth Yazmin García Piña  
Gerardo Antonio Pámanes Carrasco  
Esperanza Herrera Torres  
Manuel Murillo Ortiz  
Daniel Sierra Franco  
Rafael Jiménez Ocampo





## Introducción

La ganadería en México es un sector clave en el desarrollo debido a su importancia económica y social, al ser una actividad primaria que involucra en su producción a millones de personas. Debido a los sistemas de producción, así como las particularidades y diversidad de los ecosistemas en los que se desenvuelve esta actividad, México es un país exportador de relevancia. Sin embargo, este sector presenta grandes retos relacionados con un aumento en las emisiones de GEI que son reflejo de un incremento poblacional que demanda productos y servicios, aproximadamente el 22% de las emisiones de GEI totales del país emanan de este sector. Asimismo, la falta de una legislación y de una línea base en emisiones de GEI en este sector, impide evaluar de manera puntual las estrategias llevadas a cabo para una mitigación en las emisiones de gases a la atmósfera provenientes de este sector.

## Situación actual de la ganadería en México

La ganadería es una actividad de suma importancia en países en vías de desarrollo, ya que proporciona proteína de alta calidad biológica a los habitantes, aparte de generar ingresos económicos en toda la cadena de abastecimiento. México actualmente cuenta con un inventario superior a las 36.6 millones de cabezas de ganado bovino destinado para leche y carne, además de más de 8.8 millones de cabezas de ganado ovino y caprino; estas especies representan la mayor producción pecuaria en el país. Asimismo, se estima que se producen más de 613 millones de aves de granja, 19.2 millones de porcinos y 2.3 millones de colmenas. Estas cifras ubican a México en décimo lugar en la producción ganadera primaria a nivel mundial. El Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera informó que en 2022 se exportaron principalmente carne de bovino y porcino, así como la exportación de bovinos en pie, mismos que representaron una generación de divisas superior a los 3,700 millones de dólares.

Por su parte, el Gobierno de México llevó a cabo la primera Conferencia Mundial sobre la Transformación Sostenible de la Ganadería, misma que se desarrolló con el objetivo de generar enfoques que promuevan una producción más eficiente de alimentos de origen animal y que sea respetuosa con el ambiente.

## Sistemas de producción pecuaria en México

México destina cerca de 109 millones de hectáreas para la actividad ganadera. En esta extensión de tierra se desarrollan los dos principales sistemas de producción ganadera: extensiva e intensiva. La ganadería extensiva utiliza grandes extensiones territoriales; dichos territorios son tan diversos, que alrededor de la extensión territorial se cuenta con una gran variedad de climas que le confieren ciertas características al ganado criado en esa región. En este sentido, se ha vuelto una práctica común dividir al país en norte y sur, debido a la similitud de condiciones que se pudieran encontrar en ambas clasificaciones; en el norte predominan las zonas áridas, semiáridas, con temperaturas templadas a frías y poca precipitación pluvial, mientras que, en el sur, predominan regiones tropicales con temperaturas más cálidas y mayor precipitación pluvial. El INEGI a través de la Encuesta Agraria, estimó que en este sistema de producción se encuentran alrededor de 26



millones de cabezas de ganado bovino, entre libre pastoreo y pastoreo controlado. Este sistema de producción es el que contribuye con el mayor número de ganado a nivel nacional, equivalente a 27 millones de cabezas de bovinos, los cuales representan el 76 % de la producción nacional bovina. Cabe destacar que este sistema de producción se desarrolla principalmente en el norte del país, en los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí y Guanajuato, donde se albergan más de 26 millones de cabezas de ganado bovino.

Por otra parte, en la ganadería intensiva se mantienen estabulados los animales en una superficie reducida, lo cual limita sus movimientos; se promueve la cría de un gran número de animales en un espacio limitado con la finalidad de obtener la máxima producción y el máximo rendimiento de los animales confinados en estas áreas. Además, esto permite que se puedan proporcionar dietas que permitan obtener mejores rendimientos. Además, se puede controlar la calidad de la alimentación, ya que en ella se le suministran dietas balanceadas a base de forrajes, granos, leguminosas, minerales y otros ingredientes proteicos o energéticos que sean necesarios para cumplir con los requerimientos nutricionales del animal. En este rubro, la Encuesta Ganadera indica que el sistema intensivo abarca una población de 7.9 millones de cabezas de bovinos, los cuales representan el 24 % del total de la producción nacional de bovinos en México.

### **Situación actual de los pastizales en México**

Los pastizales pueden describirse como las tierras en las que la vegetación es predominante, en los que se incluyen pastos, herbáceas, leguminosas, matorrales y arbustos, mismos que son catalogados como fuente de alimentación en la ganadería. Los pastizales cubren aproximadamente el 45 % de la superficie terrestre del mundo y el 84 % de esta superficie, se destina a la producción ganadera. Así mismo, los pastizales se encuentran extendidos por la mayoría de los continentes; a excepción de la Antártida, poco más de la mitad de estos ecosistemas se encuentran en zonas áridas. De la misma manera, los pastizales representan el sustento de millones de personas, debido a que el ganado que se desarrolla en estas áreas genera una derrama económica importante. Tan solo en los países en vías de desarrollo, representa la principal actividad económica para más de 2 millones de personas. De igual forma, en Asia Central y Mongolia el 60 % de la superficie de pastizales es destinada a la ganadería. A diferencia de, Estados Unidos de América y Canadá donde se ha reportado la pérdida de estos ecosistemas, al ser transformados en superficies de cultivos o en sistemas de producción minera.

En México, los pastizales ocupan aproximadamente el 6.1 % del territorio nacional (118.3 km<sup>2</sup>). Los pastizales abarcan áreas en regiones semiáridas y de clima templado (norte y sur), con un rendimiento promedio de 20.8 toneladas de forraje por hectárea; los estados de Jalisco, Oaxaca y Yucatán fueron los mayores productores de forraje en pastizales, lo cual se le atribuye a un manejo adecuado. Por otra parte, los pastizales del norte del país (zona árida y semiárida) cuentan con una superficie cercana a 9.7 millones de hectáreas; sin embargo, en las últimas décadas han sufrido reducciones de un 14 %,



ocasionado principalmente por el sobrepastoreo. Los pastizales áridos y semiáridos están constituidos principalmente por gramíneas, las cuales se consideran de aporte nutricional considerado de bajo a medio.

El pastizal es considerado como la principal fuente de forraje y en el norte del país representa la principal fuente de alimento en el sistema de producción vaca-becerro, además de la explotación de caprinos y ovinos bajo condiciones extensivas. También, la disminución de precipitación pluvial, el sobrepastoreo y la compactación del suelo causa la disminución de la cubierta vegetal y la calidad de las mismas. Los factores mencionados anteriormente, repercuten de manera negativa y significativa en la calidad nutricional de los pastizales, provocando pérdidas económicas a los productores. Sin embargo, el cambio climático a través del tiempo ha modificado los ecosistemas, debido a la disminución en el periodo de lluvia e incremento del periodo seco; mientras que, en el sur se cuenta con periodos de lluvia extendidos, lo cual provoca desastres naturales o catástrofes ambientales.

Es posible que en los próximos 50 años se experimente un aumento de temperatura media anual de 2°C y una disminución de 100 mm de precipitación media anual en el norte del país. Considerando que a nivel mundial se contabiliza la pérdida de estos ecosistemas de un 25-50 %, motivo por el cual se han enfocado los esfuerzos para tener datos acerca del estado en que se encuentran en la actualidad, la problemática que enfrentan y las medidas para contrarrestar esto, iniciando con la creación del Atlas de Pastizales a nivel mundial.

### **Emisiones de GEI en sistemas agropecuarios**

El efecto invernadero es un fenómeno natural que se ha modificado a través del tiempo; este suceso ayuda a regular la temperatura del planeta mediante la captación de los rayos ultravioleta provenientes del sol y su posterior reflexión hacia el espacio. De manera antropogénica, la concentración de gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>), se ha incrementado de manera considerable en la atmósfera, impidiendo una correcta reflexión de los rayos ultravioleta, lo cual provoca un incremento de la temperatura terrestre. Este incremento en la temperatura del planeta provoca el denominado calentamiento global.

A nivel mundial, en el año 2022 se alcanzó una emisión máxima histórica de 57.4 Gg eCO<sub>2</sub>, lo que representa un incremento de 1.2 % con respecto al año anterior. Uno de los sectores que más contribuyen de manera antropogénica a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es el sector pecuario, ya que representa hasta el 22 % de las emisiones totales. Dentro de las emisiones que se contemplan en este sector, se tiene la quema de combustible empleado en la industrialización de los productos finales de la ganadería y de la agricultura (Maquinaria, procesos de producción, manejo de





residuos, entre otros), las emisiones por los incendios de las parcelas o áreas de contención animal, la fermentación entérica y finalmente el manejo de las heces del ganado (bovino, ovinos, caprinos, entre otros).

Según reportes del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), a través del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), en México se emitieron 84,089 Gg eCO<sub>2</sub> en el año 2021 tan solo de la fermentación entérica ruminal, los bovinos son los responsables de 80,326 Gg eCO<sub>2</sub>, respecto a la emisión proveniente de la gestión del estiércol genero 28,31 Gg eCO<sub>2</sub>, de los cuales de la ganadería bovina provienen 19,62 Gg eCO<sub>2</sub>.

Dentro de las emisiones generadas por este sector, el gas metano es el de mayor consideración, debido a que el poder calorífico que posee y que ha sido cuantificado hasta 21 veces mayor que el del dióxido de carbono. Como se mencionó anteriormente, los bovinos, ovinos y caprinos son los principales emisores de este gas, contribuyendo con el 55 % de las emisiones antropogénicas de metano a nivel mundial. La síntesis de metano y CO<sub>2</sub> se lleva a cabo en el sistema digestivo de los rumiantes debido a la degradación de los alimentos, principalmente forraje. No obstante, la producción de metano, representa una pérdida de energía para los animales, la cual se ha estimado en un 12 %. Aunado a esto, las heces de los rumiantes también contribuyen a la generación de GEI, por la acción de la descomposición de la materia orgánica y el manejo inadecuado que se le da a este desecho. Esta actividad genera principalmente óxido nitroso el cual se contabiliza hasta en 22 % del total de emisiones de este gas.

Por el momento, el Panel Intergubernamental ante el Cambio Climático (IPCC) ha propuesto diferentes metodologías para la contabilización de las emisiones de GEI en sistemas pecuarios. Sin embargo, no todos los países tienen información confiable en sus inventarios ganaderos, lo cual limita a sobremanera la efectividad y eficacia de los modelos matemáticos sugeridos por el IPCC. En este sentido, en países en vías de desarrollo como México, donde la mayor producción ganadera es con animales de traspatio, con pequeños productores y en sistemas extensivos, se vuelve complicado llevar a cabo una medición precisa en la producción de GEI en el sector, lo cual lo convierte en un área de oportunidad para los investigadores del tema.

### **Regulación de las emisiones de GEI**

A nivel mundial, la disminución y mitigación de los gases de efecto invernadero generados de manera antropogénica se ha considerado un tema de importancia. Debido a esto, se han promovido diversos acuerdos, así como protocolos entre diversos actores internacionales. Tal es el caso del origen del Panel Intergubernamental ante el Cambio Climático (IPCC) en 1988, y sus posteriores acuerdos derivados de este, como el Protocolo de Kioto (1997), la Estrategia de la OMI sobre los GEI (2011), el Acuerdo de París (2015) y su última versión en 2021. De manera particular, la mayoría de los países



cuentan con organizaciones, secretarías o dependencias encargadas de evaluar y regular las emisiones de GEI. Éstas, a su vez, son regidas o son supervisadas por organizaciones internacionales externas. Por ejemplo, el IPCC cuenta actualmente con 195 miembros, que acordaron trabajar en conjunto para lograr los acuerdos correspondientes para la mitigación del cambio climático. En este sentido, todos los países pertenecientes al IPCC acordaron disminuir las emisiones de GEI; no obstante, no todos los sectores se encuentran regulados.

El sector Transporte ha tomado medidas alrededor del mundo para regular las emisiones, mediante el uso limitado de vehículos terrestres y aéreos por ciertos periodos de tiempo, además de la mejora del transporte público o el empleo de combustibles sustentables o el uso de energías limpias. Con base en estos cambios y desde 2016, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) se ha encargado de monitorear, informar y verificar las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vuelos internacionales, buscando compensar estas emisiones con la compra de bonos de carbono; los bonos de carbono son resumideros de CO<sub>2</sub> y la transacción en la compra de éstos, asegura el mantenimiento y resguardo de predios forestales alrededor del mundo.

Por su parte, las emisiones de GEI en el sector pecuario a nivel mundial son monitoreadas y evaluadas en conjunto por la FAO y la GRA (Global Research Alliance), mediante el análisis de las emisiones y el monitoreo del progreso de las acciones para reducir las emisiones provenientes de esta actividad. Sin embargo, no hay acciones puntuales para la compensación de sus emisiones, como los bonos de carbono empleados en la aviación. Por esto, hay investigaciones que proponen el establecimiento y la compra de bonos o certificados de carbono en sistemas pastizales. No obstante, no se ha establecido una metodología que pueda ser replicada y certificada para la evaluación de la captura de CO<sub>2</sub> en los pastizales existentes en el planeta. No obstante, para poder evaluar las acciones y estrategias que se lleven a cabo en la mitigación de emisiones de GEI en sistemas pecuarios extensivos, principalmente, se debería de contar con líneas base de producción de GEI. A este respecto, en México no existe alguna ley u organismo que promueva esta idea.

En México, se creó la Estrategia Nacional de Cambio Climático con base en la Ley General de Cambio Climático, donde surgió el SINACC (Sistema Nacional de Cambio Climático) el cual, a su vez, es conformado por la CICC (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático), INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático), C3 (Consejo de Cambio Climático), las entidades federativas, las asociaciones de autoridades municipales y el Congreso de la Unión. En esta estrategia se designó al INECC como el instituto de investigación capaz de coordinar, realizar estudios y proyectos de investigación científica y tecnológica en materia de cambio climático, además de elaborar con el análisis sectorial. Debido a lo planteado en la Ley se propone



mejorar las prácticas agropecuarias y preservar los sumideros de carbono, para lo cual se deben instrumentar mecanismos de medición, reporte, verificación, monitoreo y evaluación de la emisión de GEI del sector pecuario. Para atender estos puntos se consideró en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero por sector y actividad, apoyados de las consideraciones del manual del IPCC, así mismo, como las metodologías y nivel de información generada.

Actualmente, la SADER (2022) elaboró el Plan Estratégico de Cambio Climático para el Sector Agroalimentario (PLECCA), con el propósito de guiar y dar seguimiento a las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático de los subsectores agrícola, pecuario, acuícola y pesquero. Dentro de sus acciones de mitigación se incluyen: reducir las quemas agropecuarias, fomentar sistemas silvopastoriles y agroforestales. Sin embargo, no se puntualizan las acciones ante las emisiones de la ganadería (fermentación entérica ruminal), lo cual crea un área de oportunidad para los investigadores y productores en la generación de información precisa y confiable, con el objetivo de lograr atender las diferentes estrategias a nivel nacional respecto a las emisiones de GEI, su cuantificación, mitigación y evaluación.

### **Conclusiones**

Las emisiones de GEI emanadas del sector pecuario son una constante realidad que va en aumento debido a un incremento de la demanda de servicios y productos. Las estrategias que han llevado a cabo los grupos de investigación, así como los productores, una línea base que marque un punto de partida en el cual se mida el avance o retroceso de las mismas. Además, es imperativo que se legislen leyes en materia de emisiones de GEI en el sector pecuario que insista a los productores y consumidores a elevar el grado de preocupación y ocupación en mantener ecosistemas para las generaciones futuras.



## Referencias

- Araiza-Ponce K., Murillo-Ortiz M., Herrera-Torres E., Valencia-Vázquez R., Carrete-Carreón F. O. y Pámanes-Carrasco G. A. (2020) *Leucaena leucocephala* y *Opuntia ficus-indica* reducen la producción de metano in vitro. *Abanico veterinario* 10(1):1-13.
- Cesín-Vargas A. (2018). Manejo de pastizales en la ganadería extensiva SEP, IPN, CIIDIR, UNAM. *Agricultura, sociedad y desarrollo* 15(3): 465-468.
- CNANP “Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas”. (2021). Degradación de CONABIO “Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad”. (2024). Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/pastizales>
- DOF “Diario Oficial de la Federación”. (2015). Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero.
- EPA “Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos”. (2024). Emisiones de dióxido de carbono.
- Espino-García J.J., Almaraz-Buendía I., González-Lemus U., Reyes-Munguía A., Aguirre-Álvarez G. y Campos-Montiel R.G. (2023). Los rumiantes: Actores Importantes del cambio climático. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 9(17), 5:8.
- European Union “EU”. (2024). Causas del cambio climático. Recuperado de: [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_es#:~:text=El%20principal%20motor%20del%20cambio,provocando%20as%C3%AD%20el%20calentamiento%20global](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_es#:~:text=El%20principal%20motor%20del%20cambio,provocando%20as%C3%AD%20el%20calentamiento%20global).
- FAO “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura”. (2023). FAO en República Dominicana: La ganadería representa 12% de las emisiones de gases de efecto invernadero. <https://www.fao.org/republica-dominicana/noticias/detail-events/es/c/1675383/>
- FAO. (2014). Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Roma.
- Gómez Villalva J., Cobos Mora F. y Hasang Moran E. (2019). Sostenibilidad de los sistemas de producción de ganadería extensiva. *Journal of Science and Research* 4:180-195.
- Gutiérrez Borroto, O. (2015). La fisiología digestiva del rumiante, objeto de investigación en el Instituto de Ciencia Animal durante cincuenta años. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(2), 179-188.
- ILRI, IUCN, FAO, WWF, UNEP and ILC. 2021. Rangelands Atlas. Nairobi Kenya: ILRI
- INECC “Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático” y SEMARNAT “Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales”. (2021). Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio



Climático. INECC/Semarnat, México.

INEGI “Instituto Nacional de Estadística y Geografía” (2024). Extension territorial: Cuéntame de México.

<https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/extension/default.aspx?tema=T#:~:text=Extensi%C3%B3n%20Territorial.,Cu%C3%A9ntame%20de%20M%C3%A9xico&text=La%20superficie%20de%20M%C3%A9xico%20se,Marco%20Geoestad%C3%ADstico%20Nacional%202020.&text=5%2C120%2C679->

,FUENTE:%20INEGI.,lugar%2014%20a%20nivel%20mundial.&text=FUENTE:%20CIA.,\*INEGI.&text=1%2C960%2C189\*-,FUENTE:%20CIA.,\*INEGI

IPCC “Intergovernmental Panel on Climate Change”. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Cap 10, Vol 4.

Juárez-Delgado J.C., Monroy-Martínez R., Colin-Bahena H., Monroy-Ortiz R. y Dorado-Ramírez O. (2018). Los subsidios de las unidades productivas tradicionales a la ganadería extensiva en Huautla Morelos, México. *Polibotánica* 46: 327-340.

Jurado-Guerra P., Velázquez-Martínez M., Sánchez-Gutiérrez R.A., Álvarez-Holguín A., Domínguez-Martínez P.A., Gutiérrez-Luna R., Garza-Cedillo R.D., Luna-Luna M. y Chávez-Ruiz M. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 12(3): 261-285.

Martínez, C. J. (2021). Estimación de la producción de metano en caprino lechero y su papel sobre el cambio climático y la sostenibilidad. *Albétar*, (248), 20-22.

OACI. (2022). CORSIA Eligibility Framework and Requirements for Sustainability Certification Schemes.

ONU “Organización de las Naciones Unidas”, (1988). Protocolo de Kioto: Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kioto a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> 2.

ONU “Organización de las Naciones Unidas” (2023). Informe sobre la Brecha de Emisiones 2023. [https://www.unep.org/interactives/emissions-gap-report/2023/es/#section\\_0](https://www.unep.org/interactives/emissions-gap-report/2023/es/#section_0)

ONU “Organización de las Naciones Unidas”. (2015). Acuerdo de París. Convención Marco. [https://unfccc.int/si/Delaware/archivos/spanish\\_p.pdf](https://unfccc.int/si/Delaware/archivos/spanish_p.pdf)

ONU “Organización de las Naciones Unidas”. (2024). Convención para combatir la Desertificación: La desaparición silenciosa de los pastizales amenaza el clima, la alimentación y el bienestar de miles de personas.

Ordoñez-Vargas W. F., Posada-Ochoa S. L. y Rosero-Noguera R. (2023). Emisiones de gases de efecto invernadero por aplicación de excrementos bovinos al suelo, *Información tecnológica*, 34(1): 101-116.



- SADER “Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural”. (2022). Plan Estratégico de Cambio Climático del sector Agroalimentario. Ciudad de México, SADER.
- Saynes Santillpan V., Etchevers Barra J. D., Paz Pellat F. y Alvarado Cárdenas L. O. (2016). Análisis de estrategias de manejo sobre las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del suelo: Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México, *Terra Latinoamericana* 34(1): 83-96.
- SEMARNAT “Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales”. (2021a). Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024.OACI “Organización de Aviación Civil Internacional”. La asociación y el medio ambiente. Ed. 63.
- SEMARNAT “Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales”. (2021b). Estimación de existencias de ganado bovino según forma de manejo, (Número de cabezas).
- SIAP “Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera” (2024). Población ganadera, [https://nube.siap.gob.mx/poblacion\\_ganadera/](https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/)
- Valero, R. G., Van Oudenhove, M., y Cutillas, P. P. (2023). Análisis de la reflectividad espectral del suelo en la contaminación por purines procedente de la ganadería intensiva. Espacio Tiempo y Forma. Serie VI, *Geografía*, (16), 25-41.

# Subproductos de biodigestores dentro de un sistema de producción integral sostenible

Gerardo Domínguez-Araujo  
Alberto Jorge Galindo-Barboza





## **Introducción**

En México, de acuerdo con el inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), tales como Metano ( $\text{CH}_4$ ) y Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), fue de 64,943.717 de Gg de  $\text{CO}_2\text{e}$ , que en porcentaje representa el 12%, debido a las actividades pecuarias (fermentación entérica del ganado y manejo de estiércol).

En granjas porcinas confinadas se generan varios tipos de desechos, siendo los residuos orgánicos los que representan el mayor porcentaje de producción. La acumulación de dichos residuos provoca aumento en los niveles de nitrógeno y fósforo en suelo, grandes emisiones de amoníaco en el medio ambiente y descarga de nitritos y nitratos en cuerpos de agua cercanos alrededor de las granjas (eutroficación). Aunado al mal manejo o en algunos casos nulo de los residuos orgánicos. Es por ello que debemos conceptualizar la excreta, dentro del sistema de producción pecuaria, que factores afectan la cantidad y calidad de las mismas, conocer su composición de nutrimentos y clasificarla de acuerdo a su forma física (sólida o líquida). Previendo así, su impacto negativo al medio ambiente y brindar el manejo (recolección) adecuado y tratamiento (proceso) a la misma.

El manejo y tratamiento de las excretas sólidas (composteo) y líquidas (biodigestor) se deben conjuntar en alternativas de procesos físicos, químicos y en instancia final biológicos, caracterizados estos procesos por una fácil adopción, a un costo razonable en su implementación, que trabajando en coordinación dichas tecnologías generan subproductos (abonos orgánicos, biogás y aguas residuales tratadas) para su aprovechamiento en el entorno ambiental de esas mismas granjas o establos.

## **Granjas Porcinas**

En el territorio nacional la actividad porcícola se encuentra en tres estratos de producción: a) Traspatio 1 a 20 vientres; b) Semi-tecnificada 21 a 500 vientres; c) Tecnificada >500 vientres. La primera, la densidad animal es baja, localizadas principalmente en zonas rurales, las medidas de bioseguridad no existen, no hay un manejo de los animales como tal, el grupo familiar se encarga de los cuidados. El tipo de alimentación no es el adecuado. La salud animal generalmente es muy cuestionada, sin programas de vacunación, ni desparasitación, en cuestión ambiental no hay manejo de residuos orgánicos, acumulando niveles de nutrientes, poniendo en riesgo el entorno natural de las mismas comunidades y del medio ambiente. Las instalaciones no están diseñadas para optimizar los parámetros productivos, elevando más aún los costos de producción, resultando poco rentable la actividad. Con estas condiciones, se abre la oportunidad para los granjeros de aplicar tecnologías básicas con miras a obtener productos de calidad (carne) para el autoconsumo. La segunda, cuentan con control de bioseguridad, con





limitaciones de medidas externas e internas, cuentan con programas de sanidad completos, pero con deficiencias, su genética es de buena a alta calidad, cuestionando su sistema de producción por algunos manejos (corte de flujos, instalaciones subutilizadas, hacinamientos), la alimentación es a base de dietas balanceadas y racionando de acuerdo a la etapa fisiológica. Las instalaciones están diseñadas para el confinamiento lo que conlleva acumulación de desechos orgánicos, resultando en descargas al medio ambiente, debido al mal manejo o en ocasiones a tratamientos de los residuos orgánicos que son ineficientes. Debido a que la producción semi-tecnificada aplica buenas prácticas porcícolas en algunos rubros, siempre será importante impulsar a las mejoras, para incrementar la sustentabilidad en sistemas de producción porcina y así por sí sola, mantenerse en la actividad. La mejor manera de encausar las condiciones deficitarias de producción es la incorporación de tecnología, manejo productivo de crianza, insumos de primera calidad, mejoramiento genético, salud animal e impacto ambiental con el aprovechamiento de residuos, enfocado a programas de gestión y control ambiental, con el fin de hacer más eficientes, rentables y sostenibles las granjas.

La cantidad y calidad de las excretas en granjas porcinas varía de acuerdo a la composición de la dieta, al estado de salud, edad y etapa fisiológica del animal, así como las instalaciones de la unidad en cuestión. Los residuos orgánicos (heces y orina), se clasifican en: 1) Sólidos: que son de forma pastosa, con un promedio de humedad variable de acuerdo a la especie animal, van de un 40-70%; 2) Semilíquidos: es la proporción de 50% sólido y 50% orina, considerando una buena fuente de nutrientes y de metabolitos, esta forma es la más complicada de manejar y tratar, ya que si considera para composteo el grado de humedad es muy alto y si se considera para fermentación anaerobia (biodigestor) el porcentaje de sólidos es muy elevado. 3) Líquidos: el agua de lavado de instalaciones arrastra excreta, la cantidad de este tipo de residuo es basto, lo que representa un desafío el manejo y tratamiento.

Con todo lo anterior, la acumulación de excretas producidas en granjas de pequeña y mediana escala ha provocado aumento en los niveles de nitrógeno y fósforo que se aportan al suelo, debido a que la mayoría de las pilas o fosas que contienen el estiércol en las granjas, se encuentran al aire libre, permitiendo que la lluvia y el aire disuelva los nutrientes solubles. Al mismo tiempo, se tiene un aumento en las emisiones de amoníaco al medio ambiente, y por consiguiente el mal olor que estos emiten, además de filtración de nitritos y nitratos en cuerpos de agua cercanos alrededor de las granjas (eutroficación). Esto como el resultado del mal manejo o, en algunos casos, nulo de los residuos orgánicos generados. Caracterizando la excreta, se prevé el impacto negativo al medio ambiente y/o considerar al residuo como una oportunidad, brindando un buen manejo (recolección) y tratamiento (procesos de composteo o biodigestores) a la misma.



### **Manejo y tratamiento de residuos orgánicos**

En principio de cuenta, el buen manejo de los residuos orgánicos de las granjas porcinas, inicia con la limpieza de los corrales (forma manual con pala y carretilla), con la finalidad de 3 principios, 1) la separación de los residuos orgánicos, fracción sólida y líquida, 2) conservación natural de nutrientes y microorganismos de las excretas y 3) privilegiar el recurso agua, de esta forma de lavado se ahorra agua, aunado a este tercer principio el drenaje de los corrales debe ser el idóneo para almacenar en fosas o cárcamo. El manejo se refiere a una buena separación y recolección del residuo orgánico, de aquí se parte para un buen tratamiento, fracción sólida el compostaje y fracción líquida direccionada a un biodigestor a escala.

#### Composteo

De la fracción sólida de los residuos orgánicos, se deben destinar a una plancha de concreto con pendiente de 2% para recolección de lixiviado y evitar la filtración a los subsuelos. Para alcanzar un balance de C: N (30:1), el porcentaje recomendado es de 90-95% de fuente de N (excreta) y de 5-10% de fuente de carbono (paja, podas o aserrín molido). Los parámetros ideales en el proceso inician con una temperatura mesofílica (20-40°C) los primeros 14 días, en la tercera semana alcanza una temperatura termofílica (50-70°C) que sigue hasta la cuarta semana de iniciado el proceso, en la quinta y sexta comienza a descender a temperatura ambiente, promedio 24°C, considerando un proceso estabilizado. El tiempo promedio de proceso es entre 5–7 semanas, dependiendo las condiciones climáticas de cada región. Durante todo el proceso es importante someter aireación cada tercer día, manteniendo una humedad de 60-70%. El compostaje es un proceso biológico aerobio, que junto con una buena técnica estabiliza y trata residuos orgánicos biodegradables, el factor de calor principalmente, de fase termofílica, destruye bacterias patógenas, huevos de parásitos, así como eliminación de productos tóxicos, además de eso ayuda al desdoblamiento de nutrientes y microorganismos benéficos.

#### Vermicomposteo

Es la cría masiva, sistemática y controlada de lombrices compostaedoras, es una técnica que involucra varios procesos biológicos, que aceleran la transformación y mineralización de residuos orgánicos en descomposición y lo convierte en abono para las plantas. El ente vivo más común es la lombriz roja californiana y debe cumplir con ciertas características. Esta lombriz requiere de un cantero o lombricario donde nacerá, crecerá y producirá humus. Donde el primer paso es sembrar la lombriz en el cantero con una biomasa de 4 kg de lombriz/m<sup>2</sup>, se coloca material composteado y se humedece con un 70-80%, esta humedad permitirá a la lombriz, desplazarse, tomar alimento y reproducirse,



la temperatura óptima para el crecimiento de la lombriz oscila entre 12-25°C. El pH óptimo va de 5 a 8.4. Con riegos frecuentes y con alimentación adecuada se da la cosecha de lombriz que en condiciones óptimas se puede triplicar la cantidad con la que se inició, una vez separada la lombriz se cosecha el humus, este tiene que tener un manejo ideal para el secado, almacenaje y tamizado, esto para su empaquetado final.

### Biodigestor

La fracción líquida almacenada en una fosa o cárcamo se debe direccionar a un biodigestor, que cuente con una pila de entrada y una pila de descarga, en conjunto deben contar con una pendiente del 2% para garantizar la salida del efluente conforme se vaya alimentando, en este punto se sugiere que sea de flujo continuo, ya que la generación de residuo líquido es diario. Es por ello que el reactor debe de diseñarse de acuerdo al gasto de agua diaria que genera la explotación, garantizar un tiempo de retención hidráulico adecuado y diseñar un tren de tratamiento lagunar para dar seguimiento al efluente, ya que dicho efluente no cumple con la NOM-001 SEMARNAT-2021, que establece los límites máximos permisibles.

Los parámetros operacionales en los cuales debe de trabajar un biodigestor de baja escala es de temperatura mesofílica (25-35°C) al exterior y una interior (24-28°C), con agitación mecánica por gravedad, un TRH de 25-30 días y la carga orgánica se refiere a la proporción de materia orgánica y de agua que se debe de calcular de acuerdo a las dimensiones del biodigestor, en el caso de lavado manual, la menor cantidad de agua utilizada y arrastre del remanente de excreta que queda en el corral, se estima una carga orgánica entre 8-10%. Con el monitoreo constante de los parámetros, en un biodigestor de este tipo se puede medir el porcentaje de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> producido, la cantidad en metros cúbicos de producción y de acuerdo al almacén de biogás, podemos calcular el tiempo de combustión de biogás. El biodigestor es una cámara herméticamente cerrada. Donde la materia orgánica (remanente de excreta), junto con el agua de lavado instalaciones, se llevan a cabo reacciones anaeróbicas (sin presencia de aire). Las cuales son efectuadas por la acción de diversas bacterias y microbios que producen biogás, considerando tres etapas de fermentación: Hidrólisis, acidificación y metalogénesis.

Para resolver el problema de la contaminación causada por la producción animal intensiva, el Campo Experimental Centro Altos de Jalisco-INIFAP ha desarrollado un "Sistema Integrado de Manejo de Residuos Pecuarios", el cual considera la interacción del sector pecuario con la actividad agrícola. Este sistema cuenta con un modelo de integración de tecnologías generadas, validadas, adoptadas y transferidas, para dar solución integral a estos residuos contaminantes.



### **Los biodigestores como parte de un sistema integral de manejo de residuos**

Para implementar un biodigestor como parte de un sistema integrado de manejo de residuos, es el tipo de sistema pecuario, la ubicación determinado cierta distancia entre granjas, además de identificar recursos naturales alrededor de las mismas y al interior de estas las medidas de bioseguridad correctas (accesos, cambios de ropa, vados). Las instalaciones juegan un papel importante, considerando que deben tener la capacidad de albergar el total de los animales de cualquier edad, además de que la red de drenaje debe contemplar pendientes y causes idóneos para que los residuales líquidos lleguen a una fosa o cárcamo para un posterior tratamiento de aguas residuales. La población animal juega un papel importante, debido a que se debe estimar la cantidad de material fecal para proporcionar un buen tratamiento.

#### *Sistema de lavado.*

En este apartado se conjunta con el tema anterior, ya que la limpieza constante de la granja se reflejará en cuanto al alcance de los parámetros productivos, además esta agua residual, tiene que ver con la implementación de un biodigestor, siendo el sustrato para la alimentación del mismo (Cuadro 2).

En los tres primeros las formas físicas de las excretas son semilíquidas, lo cual hace más difícil de manejar y tratar. Con el último la separación de las excretas es evidente, iniciando así una buena gestión de los desechos orgánicos de las granjas.

**Cuadro 1.** Estimación de gasto de agua en litros por Kg de heces frescas en granjas porcinas.

<b>Sistema de lavado</b>	<b>Agua (Litros )</b>	<b>Heces frescas (Kg)</b>
Acarreo Hidráulico	10	1
Charca Inundada	10	1
Lavado a presión	5	1
Recolección Manual (pala y carretilla)	1	1

#### *Cantidad de sólidos*

Este rubro es importante en la implementación de esta tecnología, debido a que, el tamaño del biodigestor es proporcional con la CO del influente (máximo 15%) y el TRH,



es importante disminuirlos y evitar un costo elevado y su azolve. Lo recomendable es separar la excreta manualmente o con separador de sólidos para el proceso de fermentación aeróbica (composta).

### Gasto de agua

Con maquinaria los sistemas de lavado mencionados, el gasto de agua es abundante, por lo que se debe de considerar que tipo de sistema de lavado se debe implementar en la granja con fines de privilegiar el recurso agua.

### Carga orgánica

Se refiere a la proporción MO / agua, la primera es la fracción de Sólidos Volátiles (SV) que contienen los compuestos orgánicos que pueden convertirse en Metano ( $\text{CH}_4$ ). Las excretas porcinas contienen un porcentaje de Materia Seca (MS) de 26.4 %, también denominado Sólidos Totales (ST), con este dato, la dilución juega un papel importante debido a que una misma cantidad de material biodegradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua. Para lograr la fermentación en la producción de biogás, es necesario mantener un porcentaje entre la Carga Orgánica. Se recomienda que los canales de desagüe, lo que resulta de la limpieza de los corrales de la línea de engorda y destete principalmente conecten a la pileta de carga del biodigestor, cuidando la proporción de ST y cantidad de agua. Debido a que, no es útil para la producción de gas que la carga este demasiado concentrada o diluida. Con bajas concentraciones, la tasa de aprovechamiento de las cargas sería alta, pero escasa la producción de gas. Por el contrario, con una alta concentración se obtendrá gran cantidad de bigas, pero una baja utilización de la carga. En zonas rurales comúnmente se usa una concentración de 5 a 7 % de ST (excreta en MS), pudiendo llegar a un 15%, y considerar el resto del porcentaje en agua.

### **Subproductos derivados de un biodigestor y tratamientos complementarios**

Los biodigestores producen biogás, el cual se combustiona generando energía calorífica, del efluente sólido se recuperan los lodos, que con un tratamiento complementario se desecan y se disponen como abono orgánico en actividades agrícolas, del efluente líquido su tratamiento complementario es pasar por un tren lagunar, conectado a la pileta de descarga del biodigestor para el saneamiento del agua pre-tratada.

### Biogás

Es una mezcla de gases que se produce durante la fermentación anaeróbica dentro de la cámara, compuesto de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y trazas de sulfhídrico. La llama limpia tiene un color azul, su principal aplicación es como generador de energía calorífica y eléctrica. Al implementar un biodigestor se debe de definir el destino final del



subproducto, en ambos casos se debe de añadir un filtro (comercial o artesanal) para purificación del metano y para remoción de azufre evitando riesgos de intoxicación en el entorno ambiental. El monitoreo debe ser constante, la cantidad se lleva a cabo con un medidor especializado o convencional de gas LP, registrando y llevar un control eficiente del mismo a través del tiempo, la calidad se emplean equipos más sofisticados, buscando los rangos idóneos de porcentaje de gases.

### Lodos

Es la fracción sólida del efluente, los “lodos” orgánicos digeridos conservan los nutrientes de la excreta, Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), siendo esenciales para las plantas, utilizados como abono composteado. Los sólidos sedimentables (SS) salen a la pileta de descarga con características físico-químicas y nutritivas estables, es decir, al ser una fracción sólida absorbe los nutrientes, proporcionando así la cualidad de biofertilizante en la agricultura.

Sin embargo, para llegar a utilizar este subproducto, deberá de considerarse tratamientos complementarios en el manejo y aprovechamiento de los lodos. Lo primero es bajar el grado de humedad de los lodos, a 20-40%. Se debe de contar con área de secado al aire libre y verter este tipo de subproducto, considerando volteo constante, en un lapso de 7 a 14 días promedio.

### Agua residual y tren lagunar

Al efluente líquido del biodigestor se le denomina “agua residual”. Al ser expulsado llega a la pileta de descarga (en muchos casos es el componente final del biodigestor). En este punto se da por hecho que puede ser utilizado como fertilizante orgánico, debido a sus componentes nutritivos que contiene, Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), los cuales se disuelven en la fracción líquida del efluente. Los parámetros físico-químicos se debe determinar el olor, color, turbidez, pH y Demanda Química de Oxígeno (DQO) son menores a la del influente. El muestreo se sugiere del tubo de salida del biodigestor en la pila de descarga en su forma física líquida (efluente líquido), para después verter en conos de sedimentación Imhoff, determinar Sólidos Sedimentables Totales (SST) y conservar la fracción líquida en botes de L, a una temperatura de 4°C, para su posterior análisis.

En laboratorio se miden los principales parámetros, DQO, N-Total y P-Total. Ahora bien, si bien hay remoción en algunos parámetros como DQO, P y SST, el efluente líquido sigue sin cumplir los límites permisibles de la Norma Oficial Mexicana vigente. Por lo que es necesaria la implementación de sistemas adicionales al biodigestor para el tratamiento de aguas residuales. En este sentido, se propone un Tren Lagunar, adyacente a la pileta



de descarga del biodigestor, contemplando 3 fosas adicionales, con la finalidad de brindar un pos tratamiento aeróbico natural, basado en la cantidad de CO<sub>2</sub>, las dimensiones de estas fosas para captar la descarga diaria del efluente y de acuerdo al tamaño de cada laguna se va a determinar el factor tiempo, para hacer más completo el tratamiento complementario. Entre cada fosa los SST van disminuyendo, esto ayuda al color y turbidez del agua tratada, más aún, se sugiere monitorear con el mismo proceso de la pileta de descarga, entre cada fosa. Para considerar el reusó de esta agua tratada en recircular en distintos puntos, dentro de la misma granja porcina como: reutilización en lavado de instalaciones, humectación para los procesos de composteo de residuos orgánicos, puede ser aprovechado como reingreso al mismo biodigestor y sobre todo puede ser aprovechado como riego para praderas de pequeños rumiantes, además de que en la tercera fosa pueda ser descargada a un cuerpo de agua, cumpliendo con las NOMs establecidas. Este sistema de tren lagunar se traduce en una práctica de un sistema semicerrado con características de integralidad dentro de un sistema de producción porcina.

### **Conclusiones**

Dado lo anterior resulta relevante generar conocimiento que permita hacer un uso adecuado y racional de los residuos orgánicos (sólidos y líquidos), registro de datos constante de información generada, para la toma de decisiones en campo y uso eficiente de los subproductos para su aprovechamiento. Los biodigestores se ven y se estudian como ahorradores de energía y por ende como solución del medio ambiente en zonas rurales con actividad ganadera, considerándolos como única opción, debido a que mitigan el potencial contaminante de los residuos orgánicos (estiércoles de animales). Sin embargo, debe ser considerado como parte importante de un sistema integrado de manejo de residuales. Se debe resaltar que un sistema de generación de biogás consume una buena cantidad de agua, y está al final de este proceso alternativo, no cumple con las especificaciones de los límites máximos permisibles relacionados en la NOM-001-SEMARNAT-2021, con una sola pileta de descarga. Los efluentes siguen siendo un problema por falta de capacitación a los productores, falta de recursos y sobre todo falta de conciencia ambiental. Por otro lado, para producir metano como energía alterna debe ser monitoreada constantemente y alcanzar la mitigación de gases efecto invernadero, pero sobre todo para que la tecnología sea redituable en los sistemas de producción porcina.



## Referencias

- Alonso, E., Lorenzo AY, Díaz CYM, Sosa CR, & Angulo ZY. (2014). Tratamiento de Residuales Porcinos Para la Producción de Biogás. *ICIDCA. Derivados de La Caña de Azucar*, 48(3), 16–21. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223132853003>
- Barrera-Cardoso, E., Odales-Bernal, L., Carabeo-Pérez, A., Alba-Reyes, Y., & Hermida-García, F. (2020). Compilation of theoretical aspects on biogas production technologies at rural scale. *Tecnología Química*, 40(2), 303–321. <https://doi.org/http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v40n2/2224-6185-rtq-40-02-303.pdf>
- Cabos, S., Bardales VCB, León TCA, & Gil RLA. (2019). Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa*, 26(3), 1165–1176. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26321>
- Chao, E., Sosas CR, & Capdesuñer YD. (2012). Gasto de agua de limpieza y tratamiento del residual en naves de ceba porcina. *Mecanización Pecuaria*, 21(3), 69–72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93223725012>
- Chibás, G., Casanovas CE, & Pérez PA. (2017). Comparison of the efficiency of the fixed dome and geo-membrane biodigesters in the swine production systems in the Cienfuegos province. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(1), 79–83. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- Cubillos, S., Huertas HDM, & Contreras LH. (2018). Evaluación de la Eficiencia de Remoción de Materia Orgánica de un Biodigestor Tubular Anaerobio a Escala Piloto. *Ciencia e Ingeniería*, 5(1), 43–57. <http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei>
- DOF. (2021). *NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gs\\_c.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gs_c.tab=0)
- Domínguez-Araujo, G., De la Mora-Orozco, C., González-Acuña, I., Galindo-Barboza, A., & Arias-Castellanos, J. (2023). Calidad de subproductos derivados de un biodigestor alimentado con dos cargas orgánicas de residuos porcícolas. *Abanico Veterinario*, 13, 1–13. <https://doi.org/10.21929/abavet2023.5>
- Galindo, B., Domínguez AG, Arteaga GRI, & Salazar GG. (2020). Mitigation and adaptation to climate change through the implementation of integrated models for the management and use of livestock residues. Review. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 11, 107–125. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V11S2.4697>
- Garzón, Z. & Buelna G. (2014). Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista. Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 65–79.





- <https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a6.pdf>
- Lansing, S., Botero, R. & Martin JF. (2008). Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*, 99(13), 5881–5890. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.090>
- Martínez Hernández, C., & Francesena López, Y. (2018). Tratamiento y utilización de efluentes de instalaciones de biogás como abonos orgánicos, revisión y análisis. *Centro Agrícola*, 45(2), 83–92. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v45n2/cag12218.pdf>
- Penafiel, A., Collahuaso E, Pérez MA, & Diéguez SK. (2021). Caracterización del Funcionamiento de un Biodigestor Tubular Alimentado con Estiércol Porcino en la Amazonia Ecuatoriana. *Ingenio Magno*, 12(1), 6–24. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2306/1961>
- Riascos-Vallejos, A. R., Apráez-Guerrero, J. E., Vargas M, D. P., & Londoño-Arcila, A. (2018). Efecto de la suplementación con ensilaje porcino sobre los indicadores productivos en bovinos Hartón del Valle. *ORINOQUIA*, 22, 34–40. <https://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/477>
- Sepúlveda, C., Hernández GJ, Sepúlveda VR, Tejada BH, Espinosa CD, & Wilches BC. (2020). Modelo de biodigestores para la producción porcina en la granja La Nueva Gloria. In *Alternativas de sostenibilidad ambiental para comunidades en el departamento de Córdoba* (Vol. 1, pp. 105–123). Editorial Universidad Pontificia Bolivariana. <https://doi.org/10.18566/978-958-764-908-6>
- Somagond, A., Vinay B, Khan SS, Wankhade P, Miranda C, & Kanaka K. (2020). Mitigation of Odour in Swine Production Facilities: A Scientific Approach. *International Journal of Livestock Research*, 10(4), 1–12. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20>
- Trejo, L., González VLB, Uicab JA, Castillo CJ, Caamal MA, Belmar CR, & Santos RR. (2014). Eficiencia de remoción de materia orgánica de aguas residuales porcinas con biodigestores en el Estado de Yucatan, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(2), 321–323. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93931761025>



# Las heces de los perros sin tutor un problema de salud pública en las instituciones

Rafael Martin Murray Núñez  
Oyolsi Nájera González  
Fernando Flores Vilches  
Susana Marcelaño Flores  
Alethia Aramara Murray Orozco  
María Guadalupe Orozco Benítez





## Introducción

Los parásitos intestinales se encuentran ampliamente diseminados en la población canina y los efectos de estos parásitos son considerablemente mayores en lugares donde los perros no reciben ninguna atención como en la calle. Desde el punto de vista de la salud pública, los perros no solo tienen importancia por la agresión a las personas, accidentes de tránsito, aversión, sino que, son fuente de contaminación ambiental de sus heces y/u orinas por, los microorganismos que transportan en estos desechos orgánicos, entre otros. Los caninos son hospederos de diversos parásitos, como son los nematodos gastroentéricos, cestodos y protozoarios. A nivel internacional diversos estudios epidemiológicos han permitido identificar diferentes helmintos y protozoarios gastrointestinales en perros.

Cabe destacar, que muchos de estos parásitos, son potencialmente patógenos, tanto para el animal como para el hombre, teniendo por lo tanto un interés zoonótico. Hay muchos agentes parasitarios transmisibles al ser humano y comportamientos como la geofagia, falta de higiene y condiciones de saneamiento ambientales deficientes que posibilitan la exposición a la fuente infectiva.

El estrecho contacto con perros o gatos es motivo de contagio de los parásitos de las mascotas al hombre. El contagio de los parásitos intestinales se establece en niños por contacto con la tierra, debido a que en ella y a través de la materia fecal se depositan los huevos de parásitos. Pasados unos días y si la temperatura y la humedad son adecuadas, los huevos se transforman en estadios infectantes; en el verano se acelera la eclosión de los huevos, aunque las temperaturas extremas producen su desecación y la destrucción de ciertas formas larvarias.

La contaminación de los suelos con materia fecal de perros es un problema de magnitud considerable en cualquier parte del mundo, incluso en países desarrollados, como lo indican las tasas de infestación del suelo con huevos de *Toxocara canis* (*T. Canis*) registradas en Londres, Inglaterra, 6.3%; Marche, Italia, 26.2%; Tokushima, Japón, 87.5%; Connecticut, Estados Unidos de América, 14.4%; Dublín, Irlanda, 32%.

Entre los parásitos intestinales que afectan a los caninos se encuentran: *Ancylostoma caninum*, *Trichuris vulpis*, *Strongyloides stercoralis*, *Dipylidium caninum* y *Toxocara canis*, entre otros; estos ocasionan deterioro de la salud animal debido a que afectan el bienestar y la vitalidad del hospedero y, en casos extremos, ocasionan la muerte. Los perros afectados experimentan anorexia y excreción de parásitos adultos en el vómito o las heces, mientras que, en el hombre, las migraciones larvarias de *T. canis* y *Ancylostoma* spp., pueden eventualmente producir los síndromes clínicos denominados larva migrans visceral–larva migrans ocular y larva migrans cutánea, respectivamente.

Lo anterior plantea problemas sanitarios graves, y frente a ellos tendría que desarrollarse acciones de control, como desparasitaciones, vigilancia epidemiológica,



educación y protección del medio ambiente, medidas destinadas a disminuir la carga parasitaria en perros, por tanto, la magnitud de esa fuente de infección, reduciendo la posibilidad de transmisión al ser humano.

No se puede imaginar al hombre sin la compañía del perro, los cuales se completan en muchos aspectos: fieles e inseparables se han ayudado recíprocamente en múltiples dificultades de la vida. Al perro se le encuentra en cualquier parte donde viva el hombre, incluso los pueblos más pobres, más barbaros y atrasados dan cobijo en sus hogares a los perros.

A nivel mundial, el perro (*Canis familiaris*), es el principal vertebrado empleado como mascota por el ser humano. Un hecho que se observa empíricamente, principalmente en las zonas urbanas, es el creciente interés de las poblaciones humanas por adquirir una mascota, especialmente los perros, que como se mencionó anteriormente es el más empleado como mascota. Este factor ha incrementado el número de caninos, incluyendo a los que no tienen dueño, lo que conduce a un estrecho contacto entre estos y los humanos, particularmente con los niños.

Por consiguiente, en este capítulo explicaremos investigaciones en relación con la existencia de pleonasmos de perros que se encuentran en la vía pública son un foco de contaminación ambiental y representan un problema sanitario grave por la cantidad de huevecillos o larvas infectantes de parásitos gastrointestinales que se encuentran en las heces siendo esto realmente un problema de salud pública para el ser humano.

## **Parásitos intestinales comunes en caninos**

### ***Toxocara Canis***

El parásito *Toxocara canis* es un helminto de distribución mundial que parasita perros y otros cánidos. Los ejemplares adultos de *T. canis* son unisexuales (muestran dimorfismo sexual), miden desde 9 a 18 cm, son de coloración blanca a amarillenta, y se encuentran en el intestino de sus hospedadores definitivos. En los perros adultos, la infección es normalmente asintomática, mientras que la infección masiva de *T. canis* en los cachorros puede ser mortal.

### ***Ancylostomiasis***

Los Ancylostomas o anquilostoma son parásitos muy perjudiciales para los perros y gatos. Su presencia en muchos animales jóvenes causa gran interés por el potencial significativo de mortalidad debido a la pérdida de sangre. Las hembras adultas de anquilostoma depositan gran número de huevos en los intestinos de los huéspedes. Los huevos provenientes de las heces pasan a los animales. Las larvas provenientes de los huevos se transforman en contagiosas en 2 a 8 días, dependiendo de la temperatura. Las bajas temperaturas retrasan el desarrollo larval; el calor extremo y la sequedad



pueden matar a las larvas. Con la temperatura y humedad favorecen la infestación. El ciclo vital se repite cuando las larvas infectantes son ingeridas o penetran la piel de un nuevo huésped.

Esta especie parasita en el intestino delgado del perro, gato, zorra y rara vez el hombre. Posee tres dientes ventrales a cada lado de la abertura de la cavidad bucal, y en la profundidad de la capsula bucal un par de dientes dorsales triangulares un par de dientes ventrolaterales.

### ***Trichuris vulpis***

El *trichuris vulpis* es un nematodo, también denominado gusano látigo por su forma, es un nematodo que parasita cánidos, especialmente perros, lobos y zorros y, ocasionalmente, al hombre (por lo que es importante considerar a la trichuriasis como zoonosis). Los adultos viven en colon y ciego, son verdaderos gusanos chupadores de sangre, por esta razón se denominan hematófagos. El contagio en todas las especies se produce a través del contacto con las heces infectadas e ingestión de huevos.

Se encuentra en el ciego del perro y del zorro. Tiene de 45 a 75 mm de largo. Los huevecillos miden de 70 a 89 micras de largo por 37 a 40 micras de ancho.

### ***Dipilidium caninum***

El cestodo adulto presenta una longitud variable, de 20 - 75 centímetros. Tienen la apariencia de un listón largo y plano. El cuerpo cuenta con estructuras comunes a otros cestodos ciclofilídeos: escólex con cuatro ventosas, ganchos, cuello, y estróbilo con proglótidos inmaduros, maduros y grávidos; cada proglótido presenta dos poros. En los segmentos grávidos se localizan los paquetes que contienen entre 8 - 15 huevos, esféricos, con una delgada membrana y medidas de 30 - 40µm; Los proglótidos recién eliminados con heces han sido comparados con semillas de pepino, calabaza o granos de arroz. También pueden confundirse con larvas de mosca. Miden 0.5 - 1.0 cm de longitud y 0.1 - 0.2 cm de grosor y es notoria su movilidad cuando se les encuentra recién expulsados. Son muy lábiles ante la desecación.

### ***Giardia***

Los miembros de este género tienen un cuerpo de piriforme a ovoide, con simetría bilateral. El extremo anterior es redondeado y ancho y el posterior se agudiza. El carácter más destacado es un gran disco adherente anterior que ocupa más de la mitad del lado ventral; la cara dorsal es convexa. *Giardia* tiene dos núcleos anteriores, dos varillas delgadas de posición media o axostilos, cuatro pares de flagelos y un par de cuerpos medianos teñidos de oscuro. Produce a si mismo quistes que tienen de dos a cuatro núcleos y cierto número de restos fibrilares de las organelas del trofozoíto.



### ***Isospora***

El tamaño de los ooquistes en general es de 20-30  $\mu\text{m}$  por 10-20  $\mu\text{m}$ . Como coccidio se multiplica en las células del aparato digestivo y forman ooquistes que son excretados al medio ambiente con las heces. En el perro, *Isospora canis* ooquistes grandes de 40x30  $\mu\text{m}$ .

### **Muestreo**

Para realizar el muestreo no se considera el sexo, edad o raza de los perros, debido a su situación de calle. Se deben realizar dos muestreos por día en las primeras horas de la mañana y por la tarde; el muestreo fecal se efectúa de forma directa del suelo tomando en cuenta solo las heces más frescas, colocándolas en bolsas de plástico transparentes, identificadas con datos como: número de muestra, fecha de recolección, nombre de la calle y colonia; para la conservación de las muestras se utiliza una hielera de polietileno con gel refrigerante para su transporte.

En el laboratorio de análisis clínicos se procesan las muestras utilizando la técnica de flotación de Willis con la finalidad de identificar muestras positivas y negativas, utilizando un microscopio óptico con el objetivo de 10x. Las muestras que resultan con presencia de huevecillos se procesan con la técnica de McMaster para cuantificar el número de huevecillos por gramo presentes en la muestra. Los resultados obtenidos se registran para determinar la prevalencia de huevecillos encontrados en las muestras de heces fecales.

### **Métodos de diagnósticos para cuantificar parásitos gastrointestinales**

#### **Técnica de McMaster**

El método cuantitativo de McMaster es utilizado para el conteo de huevecillos de nematodos gastrointestinales y quistes de protozoarios en las heces de los perros. El fundamento de la técnica consiste en hacer flotar los huevos que se encuentran en la muestra, concentrándose en la superficie del recipiente que los contiene. Materiales: Solución saturada de NaCl al 48%, microscopio compuesto, envases graduados en 100 mL, uno con tapa hermética, colador común, cámara de Mc Máster, pipeta plástica.

#### **Desarrollo.**

Se llenó la probeta con solución saturada de cloruro de sodio al 48%, hasta la marca de 28 mL, Se agregaron 2 gr. de heces que se midieron por desplazamiento de 2 mL, se llenó la probeta con Solución salina y se homogeneizó su contenido vigorosamente, se tomó suspensión con un gotero y se llenaron los compartimentos de la cámara de Mc Master y se dejó reposar por 10 minutos, a fin de permitir la flotación de los huevos.



La muestra se observa en microscopio compuesto con objetivo 10 X, de acuerdo con la fórmula el número de huevos encontrados en una muestra de heces se multiplicó por 100 y el resultado se dividió entre dos, puesto que se utilizaron 2 gr. de heces, expresándose el resultado como huevos por gramo de heces (h/g).

### **Técnica de flotación o de Willis**

La técnica se puede utilizar en el análisis de muestras para observar los huevecillos y/o quistes de los parásitos más comunes en caninos y otras especies domésticas. El fundamento de esta técnica es hacer flotar los huevecillos hasta la superficie para identificar la presencia de huevos de nematodos, cestodos y quistes de protozoarios.

Esta técnica se puede utilizar con tinciones, siendo la más utilizada el yodo Lugol al 5%. Esta tinción puede resaltar los blastómeros y estructuras internas de los huevos y quistes de algunos parásitos, para facilitar su identificación. Otra tinción que comúnmente se utiliza es la tinción de Ziehl-Neelsen, que se emplea en la detección del género *Cryptosporidium* y algunas especies de coccidias. Se utiliza una solución de fucsina básica que tiñe específicamente los parásitos, para permitir su identificación al microscopio.

Las técnicas de flotación en combinación con las de tinción puede mejorar la sensibilidad y la especificidad del diagnóstico parasitológico, y de las heces radica en su capacidad para mejorar la visibilidad de los parásitos y sus estructuras. Esto es especialmente notable en casos donde los parásitos son pequeños, transparentes o presentan características morfológicas similares, lo que proporciona su identificación y ayuda a diferenciar entre especies.

Es importante tener en cuenta que no todas las técnicas de flotación de heces requieren el uso de tinciones y las técnicas dependen de los recursos disponibles en el laboratorio veterinario para su realización. Materiales: Solución saturada de NaCl al 48%, microscopio compuesto, vasos de plástico, colador, cuchara, asa de platino, porta y cubre objetos.

#### **Desarrollo:**

Colocar 50-100 mL solución saturada de NaCl al 48% con 1.180-1.200 grados Baume de densidad, colocar de 3-5 gramos de muestra de heces, Homogeneizar y colarla a otro vaso, dejar reposar 10 minutos, Tomar la muestra con un asa de platino, colocar la muestra en el porta objetos, colocar el cubre objetos y observar al microscopio óptico con el objetivo de 10X (Álvarez-Guerrero, 2000).





### La prevalencia de parásitos caninos

La importancia de la prevalencia de los datos obtenidos al analizar las muestras fecales con la técnica de Willis demostró que en el 63% de estas muestras no se encontraron huevecillos de parásitos gastrointestinales lo que significa que son (negativas); en el 37% de las muestras si se observaron estructuras parasitarias (positivas). Los parásitos intestinales se encuentran ampliamente diseminados en la población canina y los efectos de estos parásitos son considerablemente mayor en lugares donde los perros no reciben ninguna atención.

### Con la técnica de Willis

Con la técnica de Willis, de acuerdo con las investigaciones actuales las estructuras parasitarias más observadas al microscopio óptico en las heces, y que son encontrados con mayor frecuencia correspondió al parásito *Ancylostoma caninum* con un 70%. Los *Ancylostomas* o anquilostoma son parásitos muy perjudiciales para los perros y gatos. Lo anterior evidencia problemas sanitarios de importancia por la contaminación ambiental que estas heces provocan, y también por el problema de salud pública que representan estos parásitos para el hombre ya que *Ancylostoma caninum*, *Toxocara canis* y *Trichuris vulpis* tienen gran potencial zoonótico; los resultados que se presentan en la tabla 1. son las evidencias encontradas en la literatura científica relacionada en la cual se muestra una alta prevalencia de estos parásitos; resultados que coinciden con diferentes autores en diversas investigaciones realizadas en el país.

Tabla 1. **Porcentaje de parásitos gastrointestinales en heces de perro.**

Parásito encontrado	frecuencia	Porcentaje
<i>Ancylostoma caninum</i>	57	70%
<i>Toxocara canis</i>	9	11%
<i>Trichuris vulpis</i>	6	8%
<i>Amibas spp.</i>	6	7%
<i>Coccidias spp.</i>	2	3%
<i>Isospora canis</i>	1	1%

### Conclusiones

En esta revisión se destacó que los parásitos gastrointestinales se encuentran ampliamente diseminados en la población canina en situación de calle, las heces depositadas en el suelo generan contaminación ambiental y problemas de salud pública en las instituciones se debe al alto potencial zoonótico que *Ancylostoma caninum*, *Toxocara canis* y *Trichuris vulpis* presentan.



Desarrollar algunas actividades de control como desparasitaciones, vigilancia epidemiológica, educación en el cuidado de las mascotas y protección al medio ambiente son acciones destinadas a disminuir la posibilidad de transmisión de estos parásitos al ser humano.



## Referencias

- Alarcón, Z. K., Juyo, V., Larrotta, J.A. (2014). Caracterización epidemiológica de parásitos gastrointestinales zoonóticos en caninos con dueño del área urbana del municipio de la Mesa, Cundinamarca. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=407640815003>  
<http://dx.doi.org/10.15446/rfmvz.v62n1.49382>
- Alfaro, A.M. (2011). Prevalencia de *Ancylostoma caninum* en *canis lupus familiaris* en el área urbana y periurbana de la colonia Zacamil, del municipio de Mejicanos, San Salvador. Facultad de ciencias agronómicas departamento de veterinaria. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UES.87799/Details>
- Burgio, F., Sabalet, T.M., Fariñas, G.F. (2011). Zoonosis frecuentes por parásitos helmínticos caninos y felinos. Instituto de patología y enfermedades zoonóticas. Málaga, España. [https://www.researchgate.net/profile/Federica-Burgio-2/publication/266583700\\_Zoonosis\\_frecuentes\\_por\\_parasitos\\_helminticos\\_caninos\\_y\\_felinos/links/58aff997aca2725b54113dd6/Zoonosis-frecuentes-por-parasitos-helminticos-caninos-y-felinos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Federica-Burgio-2/publication/266583700_Zoonosis_frecuentes_por_parasitos_helminticos_caninos_y_felinos/links/58aff997aca2725b54113dd6/Zoonosis-frecuentes-por-parasitos-helminticos-caninos-y-felinos.pdf)
- Dwight, D. (2011). *Georgis: Parasitología para veterinarios*. Elsevier 9na edición, Barcelona España.
- Encalada, M.L., Duarte, U.E., Vargas, M.J., García, R.J., Medina, H.R. (2011). Prevalencia de parásitos gastroentéricos de caninos en la ciudad de Escárcega. Campeche, México. *Redalyc* Vol. 27 N°2 Pag 2. [https://www.esccap.org/uploads/docs/3sbvfy71\\_ESCCAP\\_Guide\\_6\\_spanish\\_version\\_def.pdf](https://www.esccap.org/uploads/docs/3sbvfy71_ESCCAP_Guide_6_spanish_version_def.pdf).
- Guía ESCCAP no.6 (2013). Control de protozoos intestinales en perros y gatos. Consejo europeo para el control de las parasitosis de los animales de compañía. En línea: [mailto:https://www.esccap.es/wp-content/uploads/2016/06/guia6\\_2015\\_G6\\_1-ed.pdf](mailto:https://www.esccap.es/wp-content/uploads/2016/06/guia6_2015_G6_1-ed.pdf)
- Manual Merck, de Veterinaria. (2007). Sexta edición, Oceano/Centrum Merial, Barcelona, España. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792011000200010&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792011000200010&script=sci_abstract)
- Martínez, B.J., Gutiérrez, C.E., Aguilar, V.E., Pimienta, L.J., Shea, M. (2011). Frecuencia de geo helmintos en canes domiciliados de siete delegaciones de la ciudad de México. Cd. De México. *Redalyc* Vol.42 N°1 Pág. 83-91. <https://www.redalyc.org/pdf/423/42318919008.pdf>
- Martínez, B.J., Gutiérrez, C.E., Alpízar, S.E., Pimienta, L.R. (2008). Contaminación parasitaria en heces de perros, recolectadas en calles de la ciudad de San Cristóbal de las casas Chiapas México. Chiapas, México. <https://www.redalyc.org/pdf/423/42339206.pdf>
- Moreno, M.G. (2016). Análisis coprológicos en perros de parques y jardines de Cáceres. Cáceres, España. <http://hdl.handle.net/10662/6757>



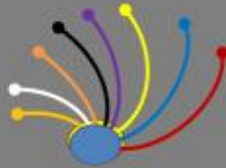
- Ortega, A.E., Ruiz, P.L., Rodríguez, T.L., Hernández, Y.A. (2012). Contaminación por heces de caninos en calles de Santa Clara un riesgo potencial para la transmisión de enfermedades parasitarias zoonóticas. Santa Clara, Cuba. REDVET Vol.13 N°5. <mailto:https://www.redalyc.org/pdf/636/63624434009.pdf>
- Peña, I.G., Florangel, V.F., del Toro, R. A., Hernández, A., Zapata, M.M. (2017). Zoonosis parasitarias causadas por perros y gatos, aspecto a considerar en Salud Pública de Cuba. Camagüey, Cuba. Vol. 18 N°10. [www.redalyc.org/articulo.oa?id=63653470002](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63653470002)
- Ramsey, I. (2019). Vademécum farmacológico para perros y gatos 9na edición parte A. Lexus, Barcelona, España.
- Ruiz, A.A. (2012). Tesis sobre Determinación de parásitos gastrointestinales mediante la técnica coprológica de flotación en perros en la ciudad de Quito, sector Alangasí, Universidad Estatal de Bolívar. Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Guaranda Ecuador.
- Uribarren, T. (2019). DIPYLIDIOSIS O DIPILIDIASIS, (en línea) Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina, UNAM. México. Disponible en: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/parasitologia/dipylidiosis.html>
- Vázquez, O., Campos, T. (2009). Giardiasis. La parasitosis más frecuente a nivel mundial, Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle, vol. 8, núm. 31, pp. 75- 90 Universidad La Salle Distrito Federal, México. <https://www.redalyc.org/pdf/342/34211305006.pdf>

## Anexo

# Información de los autores

### Actualidades en Ciencias Veterinarias, Zootécnicas, Agrícolas y Ambientales

Carlos Omar De la Cruz Moreno  
Sergio Martínez González  
Fidel Ávila Ramos  
Editores



Abanico Académico







## Información de los autores

### Sección 1: Medicina veterinaria.

Capítulo 1.

#### **Diversificación del virus causal de moquillo canino en México.**

Rebeca A. Granado-Gil<sup>1</sup>, Juan M. Macías-González<sup>1</sup>, Lizbeth G. Mendoza-González<sup>2</sup>, Brenda Sandoval-Martínez<sup>2</sup>, Rogelio A. Alonso-Morales<sup>3</sup>, Mauricio A. Realpe-Quintero<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>Doctorado en Ecofisiología y Recursos Genéticos, Hospital Veterinario de Pequeñas Especies. Departamento de Medicina Veterinaria, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México. <sup>2</sup>Laboratorio de Investigación en Ciencias Animales, Departamento de Medicina Veterinaria, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México. <sup>3</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

rebeca.granado@academicos.udg.mx

juanm.maciasg@academicos.udg.mx

lizbeth.mgonzalez@alumnos.udg.mx

brenda.smartinez@alumnos.udg.mx

ralonsom@unam.mx

\*\*mrealpe@academicos.udg.mx



Capítulo 2.

**Conducta terapéutica en las intoxicaciones.**

Carlos Omar De la Cruz Moreno<sup>1</sup>, Juan José Fernando Borrayo González<sup>1</sup>, Sergio Martínez González<sup>1</sup>, Juan Antonio Hernández Ballesteros<sup>1</sup>, Fidel Ávila Ramos<sup>2</sup>, J Bladimir Peña Parra<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit. Carr. Cuota Compostela – Chapalilla, km 3.5, 63700, Compostela, Nayarit, México.

carlosdelacruz@uan.edu.mx

<sup>2</sup>División Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Campus Irapuato-Salamanca, 36500. Irapuato, Guanajuato, México.





---

Capítulo 3.

**Resistencia de los antihelmínticos utilizados en el control de trematodos de bovinos: revisión de avances de investigación en México.**

Gerardo Jiménez Penago\*<sup>1</sup>, Roberto González Garduño\*\*<sup>2</sup>, Glafiro Torres Hernández<sup>1</sup>, Oswaldo Torres Chablé<sup>3</sup>, Efrén Ramírez Bribiesca<sup>1</sup>, David Hernández Sánchez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México, México. <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria Sursureste, Teapa, Tabasco, México. <sup>3</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias, Villahermosa, Tabasco, México.

\*Autor responsable: Jiménez-Penago Gerardo. \*\*Autor de correspondencia: González-Garduño Roberto, km 7.5 Carretera Teapa-Vicente Guerrero, Teapa, Tabasco, México. CP. 86800.

gerardo.jimenez@colpos.mx

rgonzalezg@chapingo.mx

glatohe@colpos.mx

oswaldo.torres.chable@gmail.com

efrenrb@colpos.mx

sanchezd@colpos.mx



Capítulo 4.

**Virus de la Diarrea Epidémica Porcina: patogenia y diagnóstico.**

Jesús Aurelio Sánchez Álvarez<sup>1, 2</sup>, Elena Franco Robles<sup>2\*</sup>, Carlos Alberto García Munguía<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria. División de Ciencias de la Vida. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato. <sup>2</sup> Departamento de Veterinaria y Zootecnia. División de Ciencias de la Vida. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato.

ja.sanchezalvarez@ugto.mx

e.franco@ugto.mx\*

munguia.ca@ugto.mx.



Capítulo 5.

**Inhibición de *Vibrio parahaemolyticus*: Efectividad de ácidos orgánicos y extractos de plantas.**

<sup>2</sup>Luis Jesús Cervantes-Bellerreza, <sup>1</sup>Apolinar Santamaria-Miranda, <sup>3</sup>Jesús Arturo Fierro-Coronado, <sup>3</sup>Refugio Riquelmer Lugo-Gamboa, <sup>2</sup>Maximo García-Marciano, \*<sup>1</sup>Juan Pablo Apún-Molina.

<sup>1</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional, Guasave C.P. 81100, Sinaloa, México; <sup>2</sup> Programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional, Guasave C.P. 81100, Sinaloa, México; <sup>3</sup> Programa de Doctorado en Red en Ciencias en Conservación del Patrimonio Paisajístico, CIIDIR Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional, Guasave C.P. 81100, Sinaloa, México. \* Autor de correspondencia: Apún-Molina Juan Pablo.

lcervantesb2300@alumno.ipn.mx

asantama@ipn.mx

jfierroc@ipn.mx

rlugog2115@alumno.ipn.mx

maxrmarciano@gmail.com

japun@ipn.mx



## Sección 2: Zootecnia.

Capítulo 6.

### **Ácidos grasos poliinsaturados en la calidad seminal y comportamiento sexual en carneros.**

Edgar Mauricio Ramírez-Luna<sup>1</sup>, Said Cadena-Villegas<sup>2</sup>, Griselda Maki-Díaz<sup>3</sup>, Mauricio Valencia-Posadas<sup>4</sup>, César Andrés Ángel-Sahagún<sup>4</sup>, José Antonio Hernández-Marín<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Tabasco, México. <sup>3</sup>Departamento de Arte y Empresa, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. <sup>4</sup>Departamento de Veterinaria y Zootecnia, División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

em.ramirezluna@ugto.mx

scadena@colpos.mx

g.maki@ugto.mx

posadas@ugto.mx

csahagun@ugto.mx

jahmarin@ugto.mx\*



---

Capítulo 7.

**Asociación genómica de la fertilidad y las características de calidad del semen de toros.**

<sup>1</sup>David Urbán-Duarte, <sup>1</sup>Horacio Álvarez-Gallardo, <sup>2</sup>Vicente E. Vega-Murillo, <sup>3</sup>Juan P. Zarate-Martínez, <sup>4</sup>Eliab Estrada-Cortés.

1Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP, Jalisco, México. 2Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 3Campo Experimental La Posta, INIFAP, Veracruz, México. 4Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, INIFAP, Jalisco, México.

urban.david@inifap.gob.mx

vvega@uv.mx

zarate.juan@inifap.gob.mx

alvarez.horacio@inifap.gob.mx

estrada.eliab@inifap.gob.mx



Capítulo 8.

**Producción láctea en conejas: aspectos relevantes para la cunicultura.**

Jaqueline Miranda – García, Luis Eliezer Cruz – Bacab\*.

División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa km 25, ranchería la Huasteca, Villahermosa, Tabasco, México. C. P. 86298.

\*lecb82@gmail.com



---

Capítulo 9.

**Harina de pluma hidrolizada para alimentar bovinos en México.**

Ángel Mieles Solorzano<sup>1</sup>, Gerardo Antonio Pámanes Carrasco<sup>2</sup>, Damián Reyes Jaquéz<sup>3</sup>, Elia Araiza Rosales<sup>4</sup>, Esperanza Herrera Torres<sup>5</sup>, Manuel Murillo Ortiz<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango - Maestría Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Durango, Dgo. México, <sup>2</sup>CONACYT-UJED-Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Blvd. Guadiana #501-Ciudad Universitaria, C.P. 34120.Durango, Dgo. México, <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Durango, Blvd. Felipe Pescador #1830 Ote., C.P. 34080, Durango, Durango, México, <sup>4</sup>CONACYT-UJED-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Durango-El Mezquital km 11.5, Durango, Dgo. Mex. C.P. 34170, <sup>5</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. México. Carretera Durango-México Km. 22.5, Villa Montemorelos, Dgo. Mex. C.P. 34160, <sup>6</sup>UJED-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Durango-El Mezquital km 11.5, Durango, Dgo. Mex. C.P. 34170.

damian.reyes@itdurango.edu.mx



Capítulo 10.

**Principales sistemas de producción de leche de bovinos en México: recopilación actual de parámetros productivos.**

<sup>1</sup>Ricardo Avilés-Ruiz, <sup>1\*</sup>Oscar Guadalupe Barrón-Bravo, <sup>2</sup>Rubén Darío Garza-Cedillo, <sup>3</sup>Miguel Ruiz-Albarrán, <sup>4</sup>Abner Josué Gutiérrez-Chávez.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), CIRNE, Campo Experimental Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México; <sup>2</sup>INIFAP, CIRNE, Campo Experimental Río Bravo, Río Bravo, Tamaulipas, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. <sup>4</sup>Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Guanajuato, Irapuato Guanajuato, México. \*Autor de correspondencia:

barron.oscar@inifap.gob.mx

aviles.ricardo@inifap.gob.mx

garza.ruben@inifap.gob.mx

miguel.ruiz@docentes.uat.edu.mx

guca731023@hotmail.com.





## Sección 3: Agricultura.

Capítulo 11.

### **Bacterias endófitas como promotores de crecimiento vegetal.**

Lily X. Zelaya Molina<sup>1\*</sup>, Geovanna L. Ortiz Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP. Av. de la Biodiversidad No. 400, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. C.P. 47600. México .<sup>2</sup>Centro Universitario de Tlajomulco-UDG. Carretera Tlajomulco-Santa Fe Km. 3.5 No.595, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. C.P. 45641. México.

[lilyzelayam@yahoo.com.mx](mailto:lilyzelayam@yahoo.com.mx)\*

[geoortizrodriguez@gmail.com](mailto:geoortizrodriguez@gmail.com)



Capítulo 12.

**Abonos orgánicos aplicados en la agricultura.**

Lilia Mexicano Santoyo<sup>1</sup>, Tarsicio Medina Saavedra<sup>1\*</sup>, Andrea Marín Sanchez<sup>1</sup>, Natalia Martínez Ayala<sup>1</sup>, Ernesto Montalvo García<sup>1</sup>, Adriana Mexicano Santoyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Privada Arteaga s/n, Col. Centro, C.P. 38900, Salvatierra, Gto.

<sup>2</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil #1301 Pte. A.P. 175 C.P. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas.

\* tarsicioms@ugto.mx



---

Capítulo 13.

**Fertirrigación: optimización del uso de agua y nutrientes en caña de azúcar.**

<sup>1</sup>Juan Patishtan Pérez, <sup>1\*</sup>Oscar Guadalupe Barrón-Bravo, <sup>2</sup>Zeferino Vicente-Hernández,

<sup>1</sup>Moisés Felipe-Victoriano.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CIRNE-INIFAP), Campo Experimental Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas; <sup>2</sup>Prestador de servicio profesional en el INIFAP-Las Huastecas. \*Autor de correspondencia:

barron.oscar@inifap.gob.mx

patishtan.juan@inifap.gob.mx

zvicente.zvh@gmail.com

felipe.moises@inifap.gob.mx



Capítulo 14.

**Manejo de la nutrición convencional y orgánica en el cultivo de aguacate en Michoacán.**

Luis Mario Tapia-Vargas<sup>1</sup>, Adelaida Stephany Hernández-Valencia<sup>2\*</sup>, Anselmo Hernández Pérez<sup>1</sup>, Magaly Ruiz Rivas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Av. Latinoamericana 1101. Uruapan, Michoacán, México. C. P. 60150. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados. Instituto de Fitosanidad. Carr. México-Texcoco km 36.5, C.P. 56264. Montecillo, Edo. de México. \*Autor de correspondencia:

tapia.luismario@inifap.gob.mx

hernandez.adelaida@colpos.mx\*

hernandez.anselmo@inifap.gob.mx

ruiz.magali@inifap.gob.mx



---

Capítulo 15.

**Microorganismos con acción nematocida.**

José Francisco Díaz-Nájera<sup>1\*</sup>, Sergio Ayvar-Serna<sup>1</sup>, José Luis Arispe-Vázquez<sup>2</sup>, Gabriel Salmerón-Porrón<sup>1</sup>, Antonio Mena-Bahena<sup>1</sup>, Ramírez-Sánchez Susana Elizabeth<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, CP. 40580. Cocula, Guerrero. México. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan, Colonia Centro Tuxpan C.P. 40000, Iguala de la Independencia Guerrero, México. <sup>3</sup>INIFAP C.E Centro Altos Jalisco.

\*Correo:

francisco.najera@csaegro.edu.mx\*

sergio.ayvar@csaegro.edu.mx

arispe.jose@inifap.gob.mx

gabriel.salmeron@csaegro.edu.mx

antonio.mena@csaegro.edu.mx

ramirez.susana@inifap.gob.mx



Capítulo 16.

**Uso de potencializadores en herbicidas para el manejo de arvenses en el cultivo de limón.**

José Luis Arispe-Vázquez<sup>1\*</sup>, Rocío Toledo-Aguilar<sup>1</sup>, David Heriberto Noriega-Cantú<sup>1</sup>, Susana Elizabeth Ramírez-Sánchez<sup>2</sup>, José Francisco Díaz-Nájera<sup>3</sup>, Sergio Ayvar-Serna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan, Colonia Centro Tuxpan C.P. 40000, Iguala de la Independencia Guerrero, México. <sup>2</sup>INIFAP C.E Centro Altos Jalisco. <sup>3</sup>Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Fitotecnia. Iguala Guerrero, 40000, Estado de Guerrero, México.

arispe.jose@inifap.gob.mx\*

toledo.rocío@inifap.gob.mx

noriega.david@inifap.gob.mx

ramirez.susana@inifap.gob.mx

francisco.najera@csaegro.edu.mx

sergio.ayvar@csaegro.edu.mx



## Sección 4: Ambiental.

Capítulo 17.

### **Nitratos: una alternativa en la disminución de metano producido por el ganado bovino.**

Esperanza Herrera-Torres<sup>1</sup>, Gerardo Pámanes-Carrasco<sup>2</sup>, Esther Araiza-Rosales<sup>3</sup>, Daniel Sierra-Franco<sup>4</sup> y Carlos Aguirre-Calderón<sup>4\*</sup>.

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, <sup>2</sup>CONAHCYT-Instituto Silvicultura y la Madera-UJED, <sup>3</sup>CONAHCYT-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UJED. <sup>4</sup>CONAHCYT-Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico del El Salto.

aguicar@hotmail.com

hetoes99@yahoo.com.mx



Capítulo 18.

**La ganadería y cuantificación de sus emisiones de gas con efecto invernadero en México.**

Elizabeth Yazmin García Piña<sup>1</sup>, Gerardo Antonio Pámanes Carrasco<sup>2\*</sup>, Esperanza Herrera Torres<sup>3</sup>, Manuel Murillo Ortiz<sup>4</sup>, Daniel Sierra Franco<sup>4</sup>, Rafael Jiménez Ocampo<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>UJED, Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, <sup>2</sup>UJED, Instituto de Silvicultura e Industrias de la Madera, Del Guadiana 501, SAHR, 34104 Durango, Dgo. <sup>3</sup>Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, México km 45, 34323, Villa Montemorelos, Dgo., <sup>4</sup>UJED, Facultad de Veterinaria y Zootecnia, Mezquital Km 11.5, Durango, Dgo., y <sup>5</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, campo experimental del valle de Guadiana kilómetro 4.5 Carretera Durango-El Mezquital, Durango, Dgo. C.P. 34170.  
Elizabeth.garciapina14@gmail.com  
gerardo.pamanes@gmail.com\*  
hetoes99@yahoo.com.mx  
manuelmurillo906@gmail.com  
d\_sierra@ujed.mx  
rafax77@hotmail.com





---

Capítulo 19.

**Subproductos de biodigestores dentro de un sistema de producción integral sostenible.**

Gerardo Domínguez-Araujo y Alberto Jorge Galindo-Barboza.

Campo Experimental Centro Altos de Jalisco-INIFAP. Av. Biodiversidad # 2470  
Tepatlán de Morelos, Jalisco, México. C.P. 47600.  
gerardo.araujo88@gmail.com



Capítulo 20.

**Las heces de los perros sin tutor un problema de salud pública en las instituciones.**

<sup>2</sup>Rafael Martin Murray Núñez, <sup>2</sup>Oyolsi Nájera González, <sup>2</sup> Fernando Flores Vilches, <sup>2</sup>Susana Marceleno Flores, <sup>3</sup>Murray Orozco Alethia Aramara, <sup>1\*</sup>María Guadalupe Orozco Benítez.

<sup>1</sup>Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit<sup>2</sup>Secretaría de investigación y posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit.

<sup>3</sup>Estudiante de la Maestría en Salud Pública.

ramurray@uan.edu.mx

oyolsi@uan.edu.mx

vilchez@uan.edu.mx

susana.marceleno@uan.edu.mx

alemurraydm@gmail.com

mgorozco@uan.edu.mx



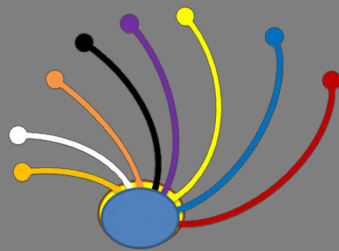


Versión Digital  
**Actualidades en Ciencias Veterinarias, Zootécnicas, Agrícolas y Ambientales**

se terminó de editar  
el 18 marzo de 2025  
en las instalaciones  
de Abanico Académico  
Valle Bravo 16, Colonia Valle Dorado.  
Tepic, Nayarit, México.

abanicoacademico@gmail.com  
[www.abanicoacademico.mx](http://www.abanicoacademico.mx)





**Abanico Académico**