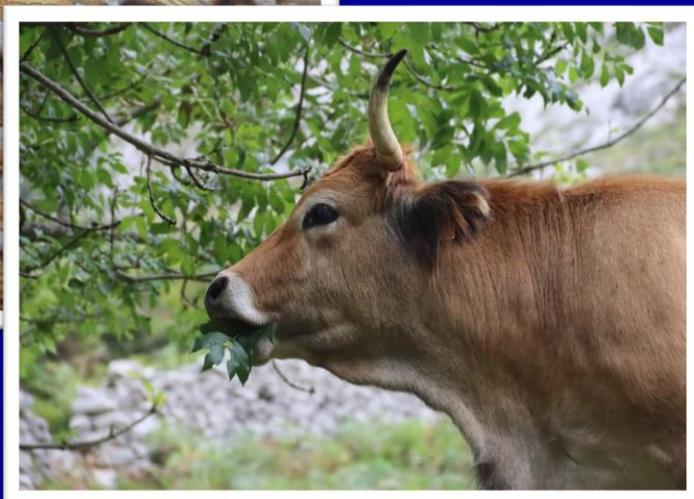
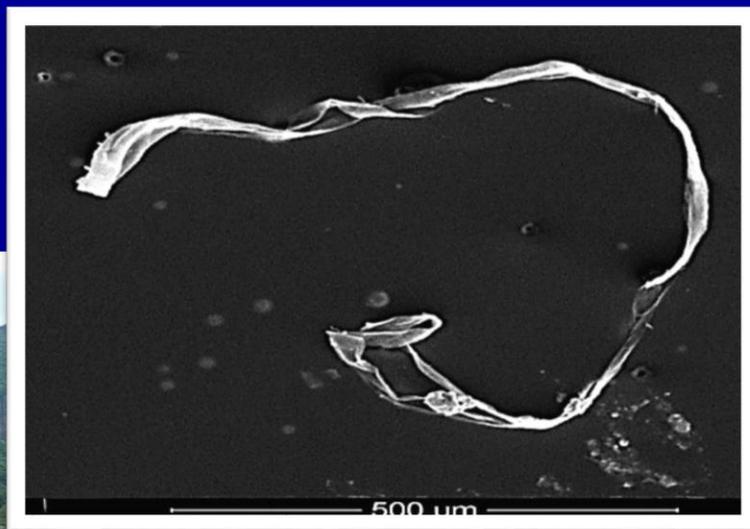


Avances en ciencias veterinarias, zootécnicas, agrícolas, acuícolas y ambientales

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



Abanico Académico

Avances en ciencias veterinarias, zootécnicas, agrícolas, acuícolas y ambientales

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



Abanico Académico

Primera Edición 2024.

ABANICO ACADÉMICO

La presentación y disposición en conjunto de la obra:

Avances en Ciencias Veterinarias, Zootécnicas, Agrícolas, Acuícolas y Ambientales en su primera edición, es publicada en versión digital con 485 páginas, después del proceso de arbitraje 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.

Sergio Martínez González
Fidel Ávila Ramos
Carlos Omar De la Cruz Moreno
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, 2024.

Primera edición

Versión Digital
ISBN: 978-607-26738-0-9
DOI: 10.21929/abanico/2024.2
URL: <https://doi.org/10.21929/abanico/2024.2>

EDITORES

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

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. Perito auxiliar en el Tribunal Superior de Justicia, en la rama de toxicología y medicina veterinaria.

CUERPO DE ARBITRAJE

Ada María Ríos Cortés
Ada María Ríos Cortés
Antonio Ortega Pacheco
Alejandro Espinoza Canales
Ana Lilia Viguera Guzmán
Arturo César García Casillas
Carlos Alfredo Carmona Gasca
Carlos Martín Aguilar Trejo
Diana Isis Llanes Gil
Diodoro Granados Sánchez
Eliezer Cruz Bacab
Esperanza Herrera Torres
Faviola Ortiz Robledo
Flor de Fátima Rosas Cárdenas
Gabriel Arteaga Troncoso
Gerardo Domínguez Araujo
Gregorio Hernández Salinas
Guillermina Barrientos Rivera
Jahdai Hernández Morales
Jaime Herrera Gamboa
Javier Olivares Orozco
Jorge Erick Ruiz Nieto
Jorge Gustavo Dzul Cauich
José Alfredo Carrera Valtierra
José Ángel Zamudio Medina
José Arias Rico

José Castillo Caamal
José Francisco Herrera Moreno
José Ignacio Olave Leyva
José Luis Arispe Vázquez
Josué Vidal Espinosa Juárez
Juan Apolinar Aguilar Castillo
Karla Lissette Silva Martínez
Manuel Emilio Bolio González
María Celina Micaela Llanderal Cazares
Martha Alicia Perera García
Mauricio Alberto Realpe Quintero
Mauricio Arredondo Castro
Mauricio Valencia Posadas
Miguel Ángel Martínez Ortiz
María Eugenia Barreto Arias
Norma Alicia Ramos Delgado
Raúl E. Lara Mendoza
Ricardo Vicente Pérez
Sergio Iván Román Ponce
Sonia Valdez Ortega
Tércia Cesária Réis de Souza
Tzintli Meraz Medina
Vladimir Morales Erasto

PRÓLOGO

El libro Avances en Ciencias Veterinarias, Zootécnicas, Agrícolas, Acuícolas y Ambientales tiene como propuesta principal abordar las diferentes temáticas en las ciencias de la vida; está compuesto por 5 secciones y 32 capítulos que corresponden a su título del libro, donde los autores presentan diferentes temáticas y enfoques. Cada capítulo de revisión recopila, analiza, sintetiza y discute información específica del tema de interés para diferentes lugares donde el lector tendrá en sus manos el estado actual del tema y su utilidad práctica para la sociedad.

Fidel Ávila Ramos.

Índice

Sección 1: Medicina veterinaria.

Capítulo 1. Proteínas recombinantes PLD y CP40, candidatos para vacunas y diagnóstico contra linfadenitis caseosa.	17
Roberto Montes de Oca Jiménez. María Carla Rodríguez Domínguez. Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo. Martha Elba Ruiz Riva Palacio. Mabel Gethsemani Jaimes González. José Antonio Ibancovich Camarillo.	
Capítulo 2. Anestésicos en aves.	39
María Alejandra Valtierra Méndez. Fidel Ávila Ramos. Osmar Antonio Jaramillo Morales. Carlos Omar De la Cruz Moreno.	
Capítulo 3. Compuestos farmacológicos de la miel y su efecto en las heridas.	51
Ramona Guadalupe Hernández-Medina. Osmar Antonio Jaramillo-Morales. Ma. Eugenia Barreto-Arias. Fidel Ávila-Ramos.	
Capítulo 4. Islas de patogenicidad de <i>Corynebacterium pseudotuberculosis</i>.	67
Mabel Gethsemani Jaimes González. Roberto Montes de Oca Jiménez. Siomar de Castro Soares. Martha Elba Ruiz Riva Palacio. Pedro Sánchez Aparicio. María Carla Rodríguez Domínguez.	
Capítulo 5. Ecoepidemiología de <i>Protoparvovirus</i> carnívoro tipo 1, su relación con la parvovirus canina y felina en animales domésticos, y su impacto en poblaciones de carnívoros silvestres.	79
Jael Gómez-Ríos. Lizbeth Mendoza-González. Brenda Sandoval-Martínez. César Pedroza-Roldán. Rogelio Alonso-Morales. Mauricio Realpe-Quintero.	



Capítulo 6. Metabolitos en <i>Larrea tridentata</i> como potencial inhibidor bacteriano.	105
Renata Morales Márquez. Lucía Delgadillo Ruiz. Alfredo Esparza Orozco. Carlos Meza López. Benjamín Valladares Carranza. Rodrigo Flores Garivay. Rómulo Bañuelos Valenzuela.	
Capítulo 7. La Hepatitis entérica viral (HEV): ¿Riesgo zoonótico, ambiental o factor debilitante?	117
Gabriela Ramírez-Díaz. Juan M. Macías-González. Lizbeth G. Mendoza-González. Brenda Sandoval-Martínez. Tzintli Meraz-Medina. Flor Rodríguez-Gómez. Mauricio A. Realpe-Quintero.	

Sección 2: Zootecnia.

Capítulo 8. Factores para considerar en la selección y manejo de la cerda de reemplazo hiperprolífica.	145
Juan Romo-Valdez. Laura Espinoza-Aguirre. Ignacio Peralta-Gómez. Jesús Portillo-Loera. Ana Romo-Valdez. Javier Romo-Rubio.	
Capítulo 9. Potencial biotecnológico de hongos aislados del bagazo de <i>Agave durangensis</i> en la industria pecuaria.	161
Rocío Aidé Carrasco-Rubio. Elia Esther Araiza-Rosales. Gerardo Antonio Pámanes-Carrasco. Daniel Sierra-Franco. Rosa Bertha Rubio-Graciano. Esperanza Herrera-Torres.	
Capítulo 10. Aspectos relevantes en el uso de probióticos como promotores del crecimiento en producción animal	173
Tarsicio Medina-Saavedra. Lilia Mexicano-Santoyo. Gabriela Arroyo-Figueroa. Emmanuel Pérez-Hernández. Juan Picazo-Ramírez.	



Capítulo 11. Forrajes nativos como alternativa para la suplementación de conejos chinchilla.	185
Saraí Ramírez-Morales. Litzzy Itzel Soto-Romano. Carlos Alberto García-Munguía. Miguel Alejandro Martínez-Jiménez.	
Capítulo 12. Las fases de la Luna y su relación con eventos reproductivos.	193
Luís A. Saavedra-Jiménez. María B. Bottini-Luzardo. Rosa I. Cortes Rojas. Krisma Julio Gatica. Heladio Moreno-Melo.	
Capítulo 13. Caracterización de las principales regiones de producción de carne de bovino en México.	207
Ricardo Avilés-Ruiz. Oscar Guadalupe Barrón-Bravo. Rubén Darío Garza-Cedillo. Miguel Ruiz-Albarrán. Filiberto Anzures-Olvera.	
Capítulo 14. Estrés calórico en ovejas de pelo lactando durante el verano en el trópico.	225
José Luis Ponce-Covarrubias. Maricela Ruiz-Ortega. Aurora Matilde Guevara-Arroyo. Julio César Gómez-Vargas. Abdelfattah Zeidan Mohamed Salem. Ethel Caterina García y González.	
Capítulo 15. Morera (<i>Morus nigra</i>) como complemento alimenticio de rumiantes.	239
Rómulo Bañuelos Valenzuela. Lucía Delgadillo Ruiz. Carlos Meza López. Norma Gaytán Saldaña. Benjamín Valladares Carranza. María Isabel Chávez Rubalcaba.	

Sección 3: Agricultura.

Capítulo 16. La importancia del beneficio en la calidad de las semillas para la agricultura.	253
Edgardo Bautista Ramírez.	
Capítulo 17. Micropropagación de portainjertos de aguacate como herramienta biotecnológica para el mejoramiento del cultivo.	265
Magali Ruiz-Rivas. Flor de Fátima Rosas-Cárdenas. Luis Mario Tapia-Vargas. Anselmo Hernández-Pérez. Víctor Manuel Coria-Ávalos.	



Capítulo 18. Datos actuales en el cultivo de zarzamora y resultados de un proyecto estratégico en Michoacán.	279
Magali Ruiz Rivas. Rosalba Lira Ortiz. Anselmo Hernández Pérez. H. Jesús Muñoz Flores. J. Trinidad Sáenz Reyes. Lorena Jacqueline Gómez Godínez.	
Capítulo 19. <i>Dactylopius coccus</i> Costa: aplicación de su pigmento y cera en cosméticos.	293
Gabriela Arroyo-Figueroa. Tarsicio Medina-Saavedra. Lilia Mexicano-Santoyo. María Isabel García-Vieyra. Jorge Gustavo Dzul-Cauich. Carlos Hernán Herrera-Méndez.	
Capítulo 20. Evaluación socioeconómica del impacto negativo de <i>Neopestalotiopsis rosae</i> en cultivos de fresa del estado de Michoacán.	303
Rosalba Lira-Ortiz. Magaly Ruiz-Rivas. Anselmo Hernández-Pérez.	
Capítulo 21. Maleza y su control en el cultivo de Nopal en México.	315
Susana Elizabeth. Ramírez-Sánchez. José Luis. Arispe-Vázquez. Lesly Carnero-Avilés. Miguel Ángel Valdez-Hernández. José Francisco Rodríguez- Rodríguez. Néstor Alberto Aguilera-Molina.	
Capítulo 22. Latencia en semilla de teocintle y sus implicaciones en la agricultura.	327
Martín Quintana-Camargo. Adriana Natividad Avendaño-López. Gilberto Rodríguez Pérez. Juan Manuel Pichardo-González. Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez. María Alejandra Torres-Tapia.	
Capítulo 23. Fermentación en estado sólido como medio para aumentar compuestos fenólicos en cereales.	339
Faviola Ortiz-Robledo. Gerardo Antonio Pámanes-Carrasco. Elia Esther Araiza-Rosales. Rafael Jiménez-Ocampo.	



Capítulo 24. Fertilización orgánica en la producción de forrajes.	351
Oscar Fabián Aguirre-Córdova.	
Gerardo Antonio Pamanes.	
Roberto Valencia Vázquez.	
Elia Araiza Rosales.	
Ixchel Abby Ortiz Sánchez.	
Jorge Armando Chávez Simental.	
Capítulo 25. Parámetros de calidad del lixiviado en lombricomposta producida con estiércol de bovino.	365
Oscar Guadalupe Barrón-Bravo.	
Patishtan Pérez Juan.	
Ricardo Avilés-Ruiz.	
César Andrés Ángel-Sahagún.	
Rubén Darío Garza-Cedillo.	
Itzel Mar-Baltazar.	
Capítulo 26. Impacto de los cultivos asociados en la mejora de la fertilidad del suelo y la producción de caña de azúcar.	379
Juan Patishtan Pérez.	
Oscar Guadalupe Barrón-Bravo.	
Zeferino Vicente-Hernández.	
Moisés Felipe-Victoriano.	

Sección 4: Acuícola y Pesquera.

Capítulo 27. Microplásticos y su relación con la microbiota de organismos acuáticos.	393
Emmanuel Ortiz-Espinoza.	
Viridiana Peraza-Gómez.	
José Vladimir Trejo-Flores.	
Capítulo 28. Monogéneos en tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).	405
Socorro M. Salgado-Moreno.	
Carlos A. Carmona-Gasca.	
Sergio Martínez-González.	
Selene A. Noris-Oliveros.	
Katia G. Bermúdez-García.	
Martín Pérez-Solís.	
Capítulo 29. Aspectos biológicos del chihuil prieto y anormalidad en la pigmentación.	419
J. Raúl Tapia-Varela.	
Carlos A. Romero-Bañuelos.	
Juan G. Casilla-Cueto.	
José T. Nieto-Navarro.	
Raquel Enedina Medina-Carrillo.	
Lisset del C. Ramos-Ramírez.	



Sección 5: Ambiental.

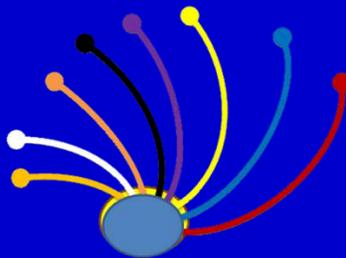
Capítulo 30. Investigación y educación nivel superior en desarrollo sustentable. Rubén Cornelio Montes-Pérez.	433
Capítulo 31. El glifosato, retos y expectativas en el sector agrícola, ambiental, social, económico y tema de controversia en la salud humana. Jesús Tadeo Hernández-Moreno. Dolores Vargas-Álvarez. Miguel Ángel Reyes-González. Zuleyma Martínez-Campos.	449
Capítulo 32. Parásitos gastrointestinales en heces de perros en parques públicos: riesgo en salud pública. Francisco Méndez-Ortiz. Javier Ventura-Cordero. Juan Vargas-Magaña. Ángel Pérez-Roque.	463

Anexo

Información de los autores.	477
-----------------------------	-----

Sección 1

Medicina veterinaria



Proteínas recombinantes PLD y CP40, candidatos para vacunas y diagnóstico contra linfadenitis caseosa

Roberto Montes de Oca Jiménez
María Carla Rodríguez Domínguez
Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo
Martha Elba Ruiz Riva Palacio
Mabel Gethsemani Jaimes González
José Antonio Ibancovich Camarillo





Introducción

La Linfadenitis caseosa (LAC), es una enfermedad que causa importantes pérdidas económicas en la industria ganadera de los pequeños rumiantes. El agente etiológico es *Corynebacterium pseudotuberculosis* biovariedad *ovis*, bacteria pleomórfica, Gram positiva e intracelular facultativa. La enfermedad se caracteriza por la formación de abscesos cutáneos y viscerales, con afectaciones en la producción de carne, leche y lana, ocasionando pérdida de peso, inmunodepresión y desordenes reproductivos. La LAC también afecta a los humanos por lo que es una enfermedad de importancia zoonótica, existen vacunas comerciales disponibles fundamentalmente en los principales países productores de ovinos y caprinos; sin embargo, la efectividad de estas varía entre rebaños y no se logra una protección completa. Las proteínas PLD y CP40 constituyen factores de virulencia conservados involucrados en la patogénesis, que han sido evaluados *in vivo* como inmunógenos y como antígenos para medios diagnósticos contra la Linfadenitis caseosa. El uso de la tecnología del ADN recombinante constituye una alternativa para obtener estas proteínas de forma económica, segura y con elevado grado de pureza. El presente trabajo tiene como objetivo exponer la temática relacionada con la obtención de los antígenos PLD y CP40 de *Corynebacterium pseudotuberculosis* biovariedad *ovis* mediante la tecnología de ADN recombinante y sus aplicaciones para el diseño de vacunas y como antígenos para el diagnóstico contra Linfadenitis Caseosa.

Linfadenitis caseosa

La Linfadenitis caseosa es una enfermedad bacteriana causada por *Corynebacterium pseudotuberculosis* biovar *ovis* (*C. pseudotuberculosis*), cuya lesión característica es la formación de abscesos en nódulos linfáticos superficiales (manifestación cutánea) e internos, así como en órganos (manifestación visceral). En la forma cutánea los abscesos son visibles y palpables a través de la piel y su localización depende del punto de ingreso del microorganismo. Las lesiones pueden aparecer como abscesos organizados, con inflamación, encapsulación fibrosa, pérdida de pelo sobrepuesto y ruptura eventual, dando como resultado la descarga del contenido purulento. En la manifestación visceral, los abscesos se forman en los nódulos linfáticos internos, así como en órganos como: pulmones, bazo, hígado y riñones, causando pérdida de peso, inmunodepresión, daños sistémicos, con el desarrollo de un curso crónico.

La infección primaria tiene lugar en la región de ingreso de la bacteria al hospedero, con diseminación hematogena y linfática formando abscesos en los nódulos linfáticos más cercanos al sitio de entrada de la bacteria (parótidos, submandibulares, prefemorales, preescapulares, poplíteos o mamarios). El ingreso del microorganismo puede ocurrir a través de lesiones en la piel generadas durante el manejo de los animales, como cortes de cola, marcaje de orejas, castración, esquila o en algunos casos lesiones



generadas durante la alimentación con forraje espinoso que daña la mucosa oral.

El periodo de incubación varía tanto en ovejas como en cabras y se han observado intervalos de días o de meses. La infección secundaria se origina con la formación de abscesos en nódulos linfáticos (torácicos, bronquiales y mediastínicos) y en órganos viscerales. La enfermedad se instaura de modo insidioso y adopta un curso crónico, cuando el contenido purulento escapa al exterior evoluciona hacia la recuperación, al contrario de lo que ocurre en las formas viscerales graves donde se causa daños sistémicos.

Es característico en ovinos que los nódulos linfáticos con abscesos tengan apariencia de «capas de cebolla» al presentar una distribución en láminas concéntricas fibrosas separadas por material caseoso. Por el contrario, en cabras los nódulos no presentan esta conformación, sino que usualmente la apariencia es de pasta uniforme seca. En el análisis histopatológico de los abscesos se puede apreciar en general un centro amorfo y eosinófilo de necrosis rodeado por una capa de linfocitos, células plasmáticas, algunas células epiteloides y polimorfonucleares neutrófilos, rodeado por una red de fibroblastos. Se destacan como características clínicas la anemia, leucocitosis con neutrofilia y altos valores de fibrinógeno, incremento de inmunoglobulinas (IgG) e Interferón gamma (IFN- γ).

C. pseudotuberculosis ha desarrollado mecanismos de resistencia para protegerse ante la acción del sistema inmune. Las enzimas antioxidantes Superóxido Dismutases (SODs) y las Catalasas, intervienen en la eliminación de algunas moléculas generadas en la cascada de reacciones iniciada por NADPH oxidasa fagocítica. También es capaz de minimizar la acción de los componentes reactivos del Nitrógeno, mecanismo del sistema inmune que actúa a través de la enzima NOS (óxido nítrico-sintetasa), la cual combina el oxígeno molecular con el nitrógeno guanidino de la L-arginina, para generar óxido nítrico (NO), que es tóxico para bacterias. Estudios *in vitro* de cepas de *C. pseudotuberculosis* mutantes del Factor Sigma, son más susceptibles a concentraciones de óxido nítrico, por lo que se propone que la presencia de este, protege ante este tipo de estrés oxidativo. Por otra parte, en esta bacteria la capa de LPS queda protegida por los ácidos corynomicólicos, lo que dificulta que el sistema inmune se active por el reconocimiento de esta estructura. Existe una correlación positiva entre el contenido de estos lípidos, el grosor de la capa lipídica y la habilidad de producir lesiones en nódulos poplíteos de oveja. Los lípidos de la pared celular constituyen un factor piogénico, relacionado con la infiltración masiva de leucocitos polimorfonucleares neutrófilos, que transportan las bacterias a los nódulos linfáticos, y con el efecto leucotóxico que origina degeneración y lisis de macrófagos.



Factores de Virulencia PLD y CP40

La exotoxina Fosfolipasa D es considerada el factor de virulencia principal de *C. pseudotuberculosis*, es una proteína de 31.4 kDa codificada por el gen *pld*. Las fosfolipasas son un grupo variado de enzimas capaces de hidrolizar uno o más enlaces éster en glicerofosfolípidos. La secuencia de la proteína PLD presenta similitud con la Fosfolipasa A2; sin embargo, PLD no pertenece a la familia de las Fosfolipasa y es clasificada como una Esfingomielinasa D (SMasa D; EC 3.1.4.41), también conocidas como esfingomielina fosfodieasterasas D o fosfolipasa D (PLD), que cataliza la escisión hidrolítica de la esfingomielina para producir colina y ceramida 1-fosfato o colina y ácido lisofosfatídico (LPA). Estas enzimas están presentes en diversos organismos como arañas, bacterias, garrapatas, ácaros y hongos.

PLD de *C. pseudotuberculosis* presenta un 30% de similitud con las SMDasa de *Loxosceles spp.* y funciones biológicas semejantes como la agregación plaquetaria, hiperpermeabilidad endotelial, hemólisis y necrosis cutánea dependiente de polimorfonucleares neutrófilos. La estructura de la PLD es de tipo barril TIM ($\beta\alpha$), compuesta por hojas β y hélices- α intercaladas, así como una cola-SMD en el extremo C-terminal con motivo de residuos conservados ATXXDNPW.

La PLD es una exotoxina cuya actividad biológica depende de magnesio, catalizando la disociación de la esfingomielina de las membranas celulares endoteliales, lo que aumenta la permeabilidad vascular, la diseminación y persistencia de la bacteria en los fagocitos, que la transportan a nódulos linfáticos donde se desarrollan los microorganismos. Aunque su acción no se ha considerada directamente hemolítica, se ha informado que es capaz de producir hemólisis sinérgica. La secuencia de aminoácidos de la PLD se encuentra conservada entre diferentes cepas, y la modificación de esta, disminuye la capacidad de producir la enfermedad.

La proteína CP40 se ha caracterizado como antígeno con potencialidades inmuno protectoras contra la LAC. El gen presenta un marco abierto de lectura de 1,137 pb y se encuentra ubicado corriente abajo del gen *pld*. Es una proteína que se ha detectado en el sobrenadante del medio de cultivo de *C. pseudotuberculosis* mediante inmunoensayo, por lo que se caracterizó como proteína extracelular secretada por la bacteria. La actividad biológica de esta proteína fue inicialmente descrita como enzima proteasa de serinas; sin embargo, a través del análisis filogenético permitió su agrupación más cercana junto a otras enzimas endoglicosidasas y más lejos de las secuencias de proteasas de serina. La actividad enzimática desarrollada por esta proteína es de endoglicosidasa mediadoras de la hidrólisis de enlaces glicosídicos, con similitud con el dominio a- Endo E perteneciente a *Enterococcus faecalis*. El análisis de la secuencia del sitio activo en CP40, permitió establecer sus similitud con las enzimas Endo S (*Streptococcus pyogenes*) y Endo E (*Enterococcus faecalis*), solo con cambios en uno o



dos aminoácidos respectivamente.

La actividad de CP40 como factor de virulencia está dada por la capacidad de degradar la región Fc de anticuerpos IgG. La endoglicosidasa CP40 no hidroliza los glicanos en las IgG bovinas y caprinas, mientras que sí hidroliza la IgG ovina y la IgG equina. Por el contrario de la endoglicosidasa Endo S, CP40 es una enzima más pequeña y carece de un sitio de unión a dominios de carbohidratos lo que podría explicar la falta de actividad contra los glicanos IgG con GlcNAc bisectante. La comparación de los cromatogramas de las moléculas hidrolizadas, resultado de la actividad de CP40 y Endo S, indican que el sitio de escisión de glicanos por parte de CP40 es idéntico al de Endo S. En los últimos años se han desarrollado evaluaciones de esta proteína como candidato para el desarrollo de vacunas y medios diagnósticos.

La expresión y secreción de las proteínas PLD y CP40 se identificó en una infección experimental, donde mediante ensayos de inmunoblot se detectó la producción de anticuerpos dirigida en un 88% al reconocimiento de proteínas de 30-31KDa (PLD) y en un 75%-88% hacia proteínas de 38-41KDa (CP40). Por otra parte, el análisis del exoproteoma de la cepa 1002 de origen brasileño, antes y después de la reactivación de la virulencia tras 2 pases en ratones BALB/c, mostró dos perfiles proteicos diferentes. El análisis por espectrometría de masas permitió la identificación de las proteínas PLD y CP40 únicamente en la cepa cuya virulencia fue reactivada. También a través de PCR en tiempo real se identificaron *in vitro* e *in vivo* la expresión de varios genes involucrados en la virulencia entre ellos *pld* y *cp40*. Aún se continúa con el estudio de los factores de virulencia de *C. pseudotuberculosis*, para la obtención de moléculas con potencialidades para el desarrollo de vacunas potentes y eficaces; sin embargo, estas proteínas antes mencionadas han sido de las más evaluadas y con resultados prometedores.

Tecnología de ADN recombinante: Obtención de PLD y CP40 recombinantes

La tecnología del ADN recombinante y la optimización de los bioprocesos, constituyen una fuente confiable para la obtención de proteínas heterólogas que pueden ser utilizadas con fines farmacológicos, industriales y de investigación. Las proteínas recombinantes o heterólogas se caracterizan por ser obtenidas de organismos diferentes al nativo, como resultado de la manipulación genética. Los sistemas especializados en la producción de proteínas heterólogas, permite su obtención en grandes volúmenes y con características similares a la proteína de origen natural. La purificación a partir del organismo original requeriría implementación de metodologías complejas y específicas, costosas y de riesgo biológico en caso de proceder de agentes patógenos.

El sistema de expresión está conformado principalmente por el organismo hospedero y el vector o plásmido de expresión que contiene los elementos génicos, formando ambos la maquinaria para la transcripción y traducción del gen de interés. El sistema de expresión óptimo dependerá del origen biológico y las propiedades de la



proteína de interés, las características de crecimiento del hospedero, los niveles de expresión y la localización celular de la proteína, la existencia de modificaciones post-traduccionales, la actividad biológica de la proteína, así como el costo económico de todo el bioproceso.

Los plásmido o vectores son moléculas de ADN circular que pueden ser de origen bacteriano y constan de diversas regiones especializadas como: el sitio de origen de replicación, el segmento promotor, la secuencia de unión al ribosoma, el sitio múltiple de clonaje donde se inserta el gen de interés, secuencias terminadoras de la transcripción, así como marcadores de resistencia a antibióticos que facilitan la selección de los clones recombinantes y garantizan la estabilidad del plásmido en el hospedero mediante el cultivo en un medio selectivo.

La bacteria Gram negativa *Escherichia coli* (*E. coli*) es el organismo procariota más empleado para la producción industrial de proteínas recombinantes ya que en comparación con otros sistemas ofrece ventajas como: crecimiento a expensas de fuentes de carbono económicas, rápida acumulación de biomasa, fermentaciones que alcanzan altas densidades celulares en un proceso simple y corto. Además, su larga historia como sistema modelo ha derivado un amplio conocimiento sobre su fisiología y genoma; y en consecuencia se han desarrollado muchas herramientas de ingeniería cromosómica que facilitan la clonación de genes y su expresión.

E. coli BL21 (DE3) es ampliamente utilizada en las producciones de gran escala ya que no presenta las proteasas Lon y Omp-t, lo que evita la degradación de la proteína recombinante en la bacteria. Esta genera bajos niveles de acetato y contiene el profago λ DE3 que transporta el gen de la T7 ARN polimerasa bajo control del promotor lacUV5, inducible por isopropil- β -D-1-tiogalactopiranosido (IPTG). El IPTG es análogo no hidrolizable de la alolactosa, metabolito isómero de la lactosa, que dispara la transcripción del operón de expresión lac. A diferencia de la alolactosa, el átomo de azufre (S) en el IPTG crea un enlace covalente no hidrolizable por la bacteria, lo que evita que sea degradado tras su adición y se mantiene así su concentración constante en el medio.

El sistema de expresión T7 se basa en el uso de la ARN polimerasa y el promotor del bacteriófago T7. Esta ARN es menos compleja, se compone por una sola subunidad y es capaz de realizar todo el proceso de transcripción, como su homóloga en organismos superiores. Los plásmidos pET presentan el sistema T7 acoplado y se han empleado para la obtención de proteínas con una elevada expresión y rendimiento. Para expresar el gen de interés en este sistema es necesario una fuente de T7 ARN polimerasa en la célula hospedera, lo que se logra con el uso de la cepa de *E. coli* BL21 (DE3). La T7 ARN polimerasa no reconoce los promotores de *E. coli*, solo reconoce su promotor T7, el cual a su vez no es reconocido por las ARN polimerasas de la bacteria. Esta enzima es capaz de transcribir los genes cinco veces más rápido que la ARN polimerasa de *E. coli*. El gen



que codifica la T7 ARN polimerasa presente en la cepa BL21 (DE3) está bajo el control del promotor lacUV5, por lo que su expresión es básicamente controlada por los mismos mecanismos del operón lactosa. El promotor Lac se reprime en presencia de glucosa y se induce en presencia de lactosa o su análogo IPTG el cual es muy eficiente y ampliamente utilizados a escala de laboratorio.

La proteína recombinante se obtiene mediante un proceso que implica primeramente la inserción del gen que codifica para la proteína de interés en un vector de expresión (plásmidos, virus, cósmidos) a través de un proceso de ligazón, seguido de la transformación del organismo hospedero con la construcción génica de interés.

El gen de interés para la clonación, se adquiere mediante amplificación por reacción en cadena de la polimerasa (PCR), utilizando como fuente primaria ADN genómico o ADN complementario (ADNc) del ARN mensajero de interés. Luego se corta el sitio múltiple de clonaje con enzimas de restricción para generar el sitio específico donde se va a insertar el gen de interés en el plásmido de expresión. Luego se une el gen de interés al plásmido mediante la acción de una enzima ligasa. Posteriormente, se lleva a cabo la transformación de la cepa de *E. coli* BL21 (DE3) con el plásmido recombinante, ya sea por método químico con CaCl₂ o mediante electroporación, estos métodos permeabilizan la membrana y favorecen la entrada del material genético a la célula. El crecimiento bacteriano se realiza en medio de cultivo caldo Luria Bertani (LB), esperando alcanzar la fase exponencial (densidad óptica del cultivo entre 0.6-0.8 a 600 nm) para realizar la inducción de la expresión de proteínas mediante la adición del IPTG. El IPTG induce la expresión de la T7 ARN polimerasa y consecuentemente la del gen de interés, ya que este inductor remueve el represor lac del operador lacO. El gen que codifica el represor lac está presente en el cromosoma bacteriano, con lo que se garantizan altas concentraciones del represor en la célula. Esto hace que en condiciones normales la enzima no se exprese o se exprese muy poco. Las proteínas expresadas por vía recombinante pueden ser dirigidas hacia el citoplasma, periplasma o medio extracelular.

La producción de la proteína recombinante, dirigida hacia el medio extracelular facilita su obtención y purificación. Sin embargo, en ocasiones la elevada concentración de proteína recombinante forma agregados insolubles en el citoplasma denominados cuerpos de inclusión. Si la proteína se encuentra soluble en el citoplasma se aplican directamente métodos cromatógrafos para su obtención. Mientras que, para la purificación de proteínas insolubles, que se encuentran formando cuerpos de inclusión, es necesario el uso de agentes caotrópicos, que tienden a desnaturalizar la proteína, siendo necesaria posteriormente la implementación de técnicas de re-naturalización. Para la purificación de proteínas se pueden utilizar marcadores de afinidad, como una cola de poli-histidina (6 residuos) que facilita la obtención de la proteína por medio de cromatografía de afinidad por iones metálicos (IMAC). Estos métodos permiten la



obtención de la proteína recombinante en grandes concentraciones y con un elevado grado de pureza.

La proteína PLD ha sido obtenida por vía recombinante utilizando *E. coli* como sistema de expresión. El clonaje por primera vez del gen que codifica para esta proteína se realizó en el vector pUC12 en la cepa *E. coli* DH5 α y mediante ensayos de Southern blot fue identificada la secuencia del gen insertado en el plásmido. Luego en otro trabajo para la obtención de PLD inactivada mediante mutagénesis sitio específica, se utilizó el sistema *E. coli* DH5 α y el plásmido pTZ18U, seguido de la identificación de la expresión mediante electroforesis en SDS-PAGE y Western blot. Otros investigadores han empleado el plásmido pAE para la expresión de PLD en células *E. coli* BL21 (DE3). La expresión de la proteína recombinante es analizada por SDS-PAGE al 12% teñido con azul Coomassie y Western blot con anticuerpo monoclonal anti-6x His y la purificación se ha realizado por cromatografía de afinidad a quelatos metálicos.

Por otra parte, la proteína CP40 se obtuvo por vía recombinante con el plásmido pBE12GEX2 utilizando *E. coli* XL1-Blue. En este estudio la proteína se expresó en un 15% de las proteínas totales y fue obtenida del sobrenadante del cultivo. También se empleó el plásmido pAE y la cepa de *E. coli* BL21 (DE3) para su expresión con 1mM de IPTG. En este estudio se empleó un sistema de purificación de cromatografía de afinidad, utilizando la columna HisTrapTM HP (GE Healthcare, USA). La expresión de la proteína se confirma mediante Western blot usando anticuerpo monoclonal anti-histidina conjugado con peroxidasa (Sigma, USA). La purificación se realiza por cromatografía de afinidad en una columna de níquel sepharose HisTrapTM (GE). La pureza se realiza mediante SDS-PAGE al 12%, y la concentración se determina con un kit BCA (PIERCE). Las proteínas obtenidas por vía recombinantes pueden ser empleadas en vacunas y medios diagnósticos. Brindan una alternativa viable y fácil de escalar, con bajos costos de producción, así como permiten la elaboración de vacunas inocuas, a partir de antígenos específicos y altamente puros.

Aplicaciones de las proteínas PLD y CP40 recombinantes en vacunas y medios diagnósticos

Las formulaciones vacunales basadas en subunidades presentan una mezcla de antígenos de diferente naturaleza como: lipopolisacáridos, extractos ribosómicos, proteínas recombinantes purificadas o péptidos sintéticos. Este tipo de vacunas utiliza moléculas completas o segmentos involucrados en la virulencia, sin necesidad de utilizar el microorganismo patógeno completo, evitándose el riesgo de reproducción de la enfermedad. Este tipo de vacunas permite su producción a grandes escalas sin necesidad de utilizar el agente patógeno, como es *C. pseudotuberculosis* biovariedad *ovis*, bacteria que puede infectar a los humanos, constituyendo un riesgo zoonótico. Las



vacunas de subunidades son poco inmunogénicas por lo que requieren del empleo de adyuvantes, moléculas que potencian la respuesta del sistema inmune.

En los últimos años se han evaluado diferentes tipos de vacunas experimentales contra la LAC (Cuadro.1) y entre ellas destacan por sus resultados favorables las vacunas de subunidades proteicas recombinantes.

La fosfolipasa D obtenida mediante el método recombinante se ha utilizado en números estudios para el desarrollo de vacunas de subunidades. Se ha evaluado la capacidad inmunogénica de una vacuna formulada con 50 µg de PLD recombinante (PLDr), obtenida en *E. coli* como sistema de expresión, así como su combinación con 1.25×10^{10} células/mL de cultivos totales de *C. pseudotuberculosis* inactivados con formalina. En este experimento se compararon los resultados con la vacuna comercial Glanvac 3 (Commonwealth Serum Laboratories (CSL) Ltd., Victoria, Australia). La vía de inmunización fue subcutánea, separada por un intervalo de 4 semanas entre la primera y segunda dosis de inmunización. El desafío se llevó a cabo con 10^4 UFC/mL de una cepa de *C. pseudotuberculosis ovis* virulenta luego de 2 semanas de concluido el esquema de vacunación. Los títulos más altos de anticuerpos se alcanzaron en los grupos vacunados con la proteína PLDr y la vacuna PLDr + células totales inactivadas, en comparación con los grupos inmunizados solamente con células totales inactivadas y Glanvac 3. En todos los grupos experimentales inmunizados con la proteína PLDr se alcanzaron los valores máximos de IgG anti-PLD antes de la segunda dosis de vacunación. No se presentaron signos de la enfermedad en los animales desafiados y vacunados con PLDr y la vacuna PLDr + células totales inactivadas, incluyendo la no formación de abscesos en el sitio de inoculación. Los resultados evidencian el potencial de la PLD obtenida por vía recombinante para el desarrollo de inmunidad protectora, con una respuesta humoral rápida y elevada, en comparación con la vacuna Glanvac 3.

El análisis de la combinación de la proteína PLDr junto a cultivos totales de *C. pseudotuberculosis* biovar *ovis* y *equi*, inactivados con formalina en un modelo ovino; las formulaciones se realizaron con 50µg de PLDr y 20mg de células inactivadas ya sea biovar *ovis* para vacuna 1 y biovar *equi* para vacuna 2. El esquema de vacunación incluyó una re-inmunización a las 3 semanas y el desafío con 2×10^6 UFC/mL de una cepa biovar *ovis* virulenta aislada de animales locales. La respuesta humoral se evaluó mediante inmunoensayo de tipo ELISA, evidenciando un aumento de IgG en los animales vacunados luego de la segunda dosis de refuerzo, mientras que tras el desafío se produjo una ligera disminución en la DO, aunque los niveles se mantuvieron elevados por encima del valor de corte durante 20 semanas. No se produjeron abscesos en nódulos linfáticos externos o internos, en comparación con el grupo control no vacunado donde el 80% de los animales sí presentaron manifestaciones de la enfermedad. Las dos formulaciones evaluadas protegieron a los ovinos ante el desafío con una cepa virulenta. Es relevante destacar en este trabajo que por primera vez se inmunizan ovejas con una cepa biovar



equi en combinación con PLD obtenida por vía recombinante.

Cuadro 1. Vacunas experimentales contra la Linfadenitis caseosa.

Vacunas	Adyuvante	Cepa desafío	Concentración	Vía	Hospedero
Toxina PLD	Hidróxido de aluminio	cepa virulenta	10 ⁸ UFC/mL	subcutáneo	ovejas
Extracto CP40	-	cepa virulenta	2 x 10 ⁶ UFC/mL	subcutáneo	ovejas
Cepa Toxminus	-	cepa virulenta	10 ⁶ UFC/mL	subcutáneo	ovejas
Cepa mutante gen AroQ/gen pld	-	C231	10 ⁶ UFC/mL	subcutáneo	ovejas
Cultivos totales inactivados/PLD modificada	Hidróxido de aluminio	cepa Virulenta	10 ⁸ UFC/mL	subcutáneo	ovejas
Cultivos totales/PLDr	Hidróxido de aluminio	cepa Virulenta	10 ⁴ UFC/mL	subcutáneo	ovejas
Pared celular y toxina PLD	Muramil dipéptido	cepa alpaca	10 ⁶ UFC/mL	Intradérmica	Alpacas
Extractos antigénicos	AIF/oligodesoxi	VD57	10 ⁵ UFC/mL	Intradérmica	cabras
Cepa atenuada CZ171053	-	MIC-6	10 ⁶ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c
CP40 recombinante y la cepa CP09 atenuada	Saponina	MIC-6	10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c
CP40 recombinante	Saponina	C57	10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c
PLD recombinante/célula completa	-	cepa Virulenta	2 x 10 ⁶ UFC/mL	Intradérmica	ovejas
plasmid pAE-cp09720/esterasa recombinante	Hidróxido de aluminio	MIC-6	2x 10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c
rCP09720 (esterasa), rCP01850 (proteína L14) y PLDr	-	MIC-6	10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c
PLD toxina/Cultivos totales	-	cepa virulenta	4 x 10 ⁶ UFC/mL	Intradérmica	ovejas
PLD recombinante	<i>Mycobacterium bovis</i> BCG	MIC-6	2x 10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c
CP40 recombinante	Saponina/ACFreund	VD57	10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones C57Black/6
Proteínas rNanH, rPknG	Saponina	MIC-6	10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c
Vacuna de ADN(pCP01850)/ pCP01850r	Hidróxido de aluminio	MIC-6	10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c
<i>E. coli</i> plasmido pAE-PLD/PLDr	Saponina	MIC-6	10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c
Proteínas rCP00660, rCP09720, rCP01850	Saponina	MIC-6	10 ⁴ UFC/mL	Intraperitoneal	Ratones BALB/c



Otras proteínas factores de virulencia (rCP09720, esterasa) o rCP01850, proteína L14 de unión a la subunidad 50S del ARN) se han empleado en combinación con PLDr en la formulación de vacunas de subunidades, evaluadas en el modelo murino. Se evaluó la tasa de supervivencia después del desafío, siendo de un 30% (rPLD), 40% (rPLD + rCP09720) y 50% (rPLD + rCP01850). La combinación de rCP01850 con rPLD mostró mejores resultados, para una protección del 50% de los animales desafiados y aumento significativo de IgG2.

Al emplear una cepa viva atenuada de *Mycobacterium bovis* BCG (Bacillus-Calmette- Gueri) para producir la PLD recombinante en el plásmido pUS2000. El sistema no permitió una expresión elevada de la proteína PLD, pero si fue efectivo como vacuna evaluada en un modelo murino. La inmunización de ratones BALB/c con 10^6 UFC de *M. bovis* pUS2000/PLD para la expresión de PLD, así como con *M. bovis* pUS2000/PLD+ 50 μ g de PLDr purificada y la cepa *M. bovis* sin modificar, indujo una producción de anticuerpos elevada en comparación con el control negativo (100uL de NaCl 0.9%), pero sin diferencias significativas entre los grupos vacunados. Esto se debe a que la cepa *M. bovis* por si sola es capaz de inducir una respuesta inmune humoral y celular elevada. La respuesta inmune celular se evaluó midiendo los niveles de producción de IFN- γ e IL-10 en los sobrenadantes de cultivo de células de bazo de los animales vacunados, tras ser estimuladas con 8 μ g/mL de PLDr. Los niveles de IFN- γ detectados para el grupo *M. bovis* no modificada fueron de 365 pg/mL, mientras que en el cultivo de las células de animales vacunados *M. bovis* pUS2000/PLD fueron de 420pg/mL y de 498pg/mL en las células del grupo que recibió una reactivación de la vacunación con 50 μ g de PLDr purificada. Para el caso de la IL-10 las células del grupo control produjeron 252 pg/mL, las del grupo vacunado con *M. bovis* pUS2000/PLD 1317pg/mL y en el cultivo de las células del grupo vacunado con *M. bovis* pUS2000/PLD+ PLDr fue de 590pg/mL. El nivel de protección conferida por estas formulaciones fue del 88% en los animales vacunados con *M. bovis* pUS2000/PLD+ 50 μ g de PLDr, de un 77% para el grupo *M. bovis* pUS2000/PLD y del 66% para el grupo *M. bovis* no modificado. La respuesta inmune protectora generada por esta vacuna de células enteras de *M. bovis* BCG modificada para expresar PLD, podría originar la activación de varias poblaciones de células T, debido a la variedad de antígenos (lípidos, proteínas y carbohidratos) de la formulación. Luego la re-inmunización con 50 μ g de la PLD obtenida vía recombinante estimula el aumento en la proliferación de células T específicas para este antígeno en particular.

Las vacunas de subunidades también se han desarrollado utilizando la proteína CP40 obtenida por vía recombinante. Esta molécula se identificó en el sobrenadante de cultivo de *C. pseudotuberculosis* biovariedad *ovis*, siendo co-purificada junto con la toxina PLD durante la preparación de vacunas inactivadas. La preparación de las vacunas de PLD a partir de sobrenadantes de cultivo de *C. pseudotuberculosis* habitualmente contienen otros antígenos bacterianos indefinidos que podrían estar contribuyendo con



la respuesta inmune protectora. La proteína CP40 se detectó a través de ensayos de inmunoblot, en sueros de animales vacunados con Glanvac, por lo que se concluyó que de forma aleatoria esta proteína podría estar presente en formulaciones de la vacuna comercial Glanvac.

La inmunización de ovinos con 100 µg de CP40 obtenida vía recombinante confirió protección al 82% de los animales, con reducción de la formación de abscesos en pulmones. No se encontró relación entre la disminución en el desarrollo de lesiones pulmonares y el título de anticuerpos, por lo que se asumió que la respuesta celular fue la responsable de la protección ante la infección. En este caso los anticuerpos anti-CP40 podrían estar involucrados en la protección a través de mecanismos indirectos, como citotoxicidad celular dependiente de anticuerpos. El suero de los animales vacunados se analizó mediante inmunoblot, mostrando una fuerte respuesta de anticuerpos específica, restringida a la proteína de 40 kDa.

La evaluación comparativa de 4 vacunas, que utilizaron como antígenos la proteína CP40 recombinante y la cepa CP09 atenuada. Las formulaciones se evaluaron combinando los antígenos y de forma individual, para determinar su capacidad inmunoprotectora ante el desafío con 10^4 UFC de la cepa virulenta MIC-6 en un modelo murino. La cepa viva atenuada de *C. pseudotuberculosis* CP09 en una concentración de 10^6 UFC no indujo respuesta inmune humoral en los animales vacunados, ni desafiados. Los grupos experimentales vacunados con CP40r y la cepa atenuada CP09 + CP40r, así como el grupo con una dosis de CP40r seguido de una re-inmunización con la cepa CP09, presentaron un aumento significativo en los niveles de IgG a los 30 días post-inmunización. Estas diferencias significativas se mantuvieron luego del desafío, excepto para el grupo inmunizado con CP40r donde no se observó un aumento ni diferencias significativas en los niveles de IgG1 a los 45 o 60 días. Tras el desafío, estos grupos mostraron un aumento significativo en los niveles de IgG2, siendo el máximo alcanzado por los animales inmunizados con CP40r. El isotipo IgG2 se asocia con una respuesta celular de Th1, células involucradas principalmente en la inmunidad contra patógenos intracelulares, activación de macrófagos y células T citotóxicas, producción de opsonización y activación del complemento. La formulación a base de CP40r protegió al 90% de los animales ante el desafío con la cepa virulenta, seguido del grupo vacunado con la cepa atenuada CP09 + CP40r con un 70%, mientras que la vacunación con CP40r seguido de la inmunización con CP09 solo protegió al 60% y la cepa CP09 solo al 50%. Estos resultados indican que las formulaciones con la proteína CP40 recombinante fueron más eficientes en la protección asociada a una respuesta celular Th1, en ausencia de un perfil Th2 después del desafío.

Se ha evaluado el efecto del uso de diferentes adyuvantes (saponina o adyuvante completo de Freud, ACF) junto con CP40 recombinante en un modelo murino. Los



animales inmunizados con CP40r / saponina mostraron valores elevados en los niveles completos de anticuerpos anti-CP40r IgG y de las subclases IgG2a, IgG2b e IgG3, con diferencia estadísticamente significativas con respecto al grupo control al día 60 después de la inmunización. El grupo vacunado con CP40r / ACF mostró una diferencia significativa en los niveles completos de IgG, IgG2a e IgG2b en el día 30 después de la inmunización. La producción de anticuerpos IgG2b fue significativamente diferente a partir del día 30, con producción estable junto a IgG3 en el día 60 después de la inmunización. Después del desafío hubo un aumento en el título de anticuerpos en el grupo vacunado con CP40r / saponina al día 30, así como en el grupo vacunado con CP40r / ACF, no mostrando diferencias estadísticas significativas entre los grupos. Ambas vacunas confirieron protección en el 100% de los animales desafiados, a diferencia del grupo control negativo. Los resultados sugieren una tendencia hacia una respuesta de Th1, mientras que los isotipos asociados a respuestas de tipo Th2, como IgG1 e IgG3, no se detectaron o reaccionaron menos a la proteína recombinante. La proteína CP40 recombinante fue capaz de generar una respuesta inmune humoral y celular. También se ha evaluado el potencial de una proteína quimérica, conformada por la fusión de la proteína de unión a maltosa (MBP) como adyuvante intrínseco, PLD y CP40, como un nuevo inmunógeno contra LAC. Se determinó *in silico* la antigenicidad, el potencial alergénico, la predicción de epítomos B, la unión a receptores MHC y el acoplamiento al receptor Toll-Like 2. Se evaluó su efecto en ratones BALB/c (G1 – control, G2 – Saponina, G3 – MBP:PLD:CP40 y G4 – rPLD + rCP40). Se cuantificaron los niveles de IgG totales, las IgG1 y las IgG2a; así como también se determinó la producción de citoquinas después de la estimulación *in vitro* de los esplenocitos. Los ratones fueron desafiados 42 días después de la primera inmunización con una cepa virulenta de *C. pseudotuberculosis*. El análisis *in silico* mostró que MBP:PLD:CP40 tiene potencial inmunogénico, no tiene propiedades alérgicas y puede acoplarse al receptor TLR2. La proteína quimérica MBP:PLD:CP40 estimuló la producción de anticuerpos IgG1 en una proporción cinco veces mayor que IgG2a, y TNF e IL-17 se expresaron significativamente en respuesta a los estímulos antigénicos. Cuando se usaron rPLD y rCP40 juntos para la inmunización, pudieron inducir IFN- γ e IL-12, pero sin producción de anticuerpos detectable. Los grupos G3 y G4 presentaron una supervivencia del 57.14% y 42.86%, respectivamente, mientras que los ratones G1 y G2 no sobrevivieron 15 días después del desafío. MBP:PLD:CP40 protegió parcialmente a los ratones contra la infección por *C. pseudotuberculosis* y puede considerarse un nuevo inmunógeno contra LAC.

En otro trabajo se estudió la capacidad de las proteínas recombinantes SpaC, NanH, SodC, y PLD para desencadenar respuestas inmunes protectoras humorales y celulares contra la infección por *C. pseudotuberculosis* inducida experimentalmente en ovejas. Los antígenos fueron producidos en un sistema heterólogo y se purificaron mediante cromatografía de afinidad. El experimento incluyó tres grupos, que fueron



inmunizados de la siguiente manera: Grupo 1 (control): una mezcla de adyuvantes compuesto por la cepa T1 inactivada y Montanide™ISA 61 VG (T1M); Grupo 2: rSpaC, rSodC, rPLD y T1M; Grupo 3: rNanH, rSodC, rPLD y T1M. Todos los grupos fueron inmunizados dos veces (días 0 y 30) y desafiados el día 90 del experimento. Las respuestas inmunes humorales y celulares se evaluaron mediante ELISA para la detección de anticuerpos IgG y el interferón-gamma (IFN- γ). Ambas formulaciones de vacunas con proteínas recombinantes (grupos 2 y 3) indujeron una respuesta inmune humoral IgG significativa. Las proteínas rSodC, rPLD y rNanH fueron más inmunogénicas, induciendo niveles significativos de anticuerpos IgG después de la primera dosis de la vacuna o después del desafío, manteniendo niveles constantes hasta el final del experimento. Sin embargo, no fue posible diferenciar entre la respuesta celular inducida por las vacunas.

Ambas moléculas también se han utilizado para el desarrollo de medios diagnósticos de tipo ELISA. Las proteínas recombinantes PLD, CP40, PknG, DtxR y Grx se utilizaron como antígenos para el desarrollo de inmunoensayo de tipo ELISA, para el diagnóstico de 130 muestras de suero de cabra (65 positivas y 65 negativas de área no endémica) y 160 de ovejas (78 positivas y 82 negativas de área no endémica). Los mejores resultados para el diagnóstico con sueros de cabras se obtuvieron con la combinación de PLD y CP40 como antígenos en una proporción 1:1, para un 96.9% de sensibilidad y 98.4% de especificidad. Por otra parte, para el diagnóstico a partir de sueros de ovinos el ELISA más efectivo utilizó PLD como antígeno y presentó una sensibilidad del 91% y 98.7% de especificidad.

Otros investigadores evaluaron la PLDr individualmente o combinada con las proteínas rCP01850 o rCP09720 para la detección mediante ELISA de LAC en ovejas. Se analizaron un total de 40 muestras de suero positivos y 25 negativos utilizando proteínas recombinantes. Los ELISA utilizando PrLD (E1), rPLD+rCP01850 (E2) y rPLD+rCP09720 (E3) mostraron 90, 92,5 y 97,5 % de sensibilidad y 92, 72 y 92 % de especificidad, respectivamente. El área bajo las curvas características operativas del receptor para E1, E2 y E3 fue 0,925, 0,882 y 0,990, respectivamente. El ELISA utilizando rPLD +rCP09720 demostró la mejor sensibilidad y especificidad. Por tanto, la combinación de estas proteínas recombinantes en ELISA indirecto tiene potencial para el diagnóstico de LAC en ovejas.

Por otra parte, nuevos antígenos de *C. pseudotuberculosis* se han detectado mediante estudios *in silico* utilizando herramientas bioinformáticas. Entre los que se pueden destacar la proteína ribonucleasa y la subunidad de transporte de ascorbato (PTS), las cuales fueron seleccionadas para su expresión heteróloga en *E. coli* utilizando el plásmido de expresión pAE. En este trabajo en paralelo se expresó CP40 y los nuevos antígenos, todos se utilizaron para la detección de anticuerpos mediante ELISA a partir



de 49 sueros positivos y 26 sueros negativos. Las proteínas solas mostraron una sensibilidad del 100% y una especificidad del 96.2%, 92.3% y 88.5% para PTSr, Ribonucleasar y CP40r, respectivamente. Cuando se combinaron las proteínas, mostraron una sensibilidad del 100% y una especificidad del 84.6%, 92.3%, 88.5% y 92.3% para PTSr/Cp40r, Ribonucleasar/CP40r, PTSr/Ribonucleasar y PTSr/Ribonucleasar/CP40r, respectivamente. Los resultados de este estudio muestran una excelente correlación de sensibilidad y especificidad con todas las proteínas.

Linfadenitis caseosa: Vacunas en México

Varios estudios demuestran la presencia del patógeno afectando las producciones de pequeños rumiantes en territorio mexicano. En el estado de Jalisco, se reporta una frecuencia de LAC de un 33.3% (57 muestras positivas) de un total de 160 muestras analizadas. Los aislamientos positivos se caracterizaron mediante pruebas bioquímicas y la detección de los genes *16S ARNr*, *rpoB*, *pld*, *fag A*, *fag B*, *fag C*, *fag D* y *hsp60*. Además, se portan la secuencia de seis genomas completos de cepas de origen mexicano del biovar *ovis* y biovar *equi*, lo que constituye un precedente para el estudio de los principales factores de virulencia que determinan la patogenicidad de la enfermedad. También se ha estudiado la secuencia completa de los genes *pld* y *cp40*, utilizando como material genético el ADN total de un aislado (2J-L) de *C. pseudotuberculosis* obtenido de una oveja del Estado de Jalisco. El análisis de las secuencias reveló 99% de similitud con relación a otros genes *pld* y *cp40* reportados en las bases de datos. El estudio filogenético basado en la secuencia de ambos genes indicó que el aislamiento 2J-L se agrupo cercano a las cepas mexicanas MEX29 y MEX25.

C. pseudotuberculosis ovis se identificó mediante PCR Cuádruplex en 30 de 59 muestras de abscesos cutáneos de ovejas del Estado de Jalisco. Por otra parte en la misma región se identificó *C. pseudotuberculosis* en 19 muestras de abscesos de corderos, siendo un primer reporte de esta enfermedad afectando en México a animales jóvenes. Debido a la presencia de este agente patógeno en el territorio mexicano es prioritario el desarrollo de investigaciones para su control y futura erradicación. Las vacunas comerciales aún no están disponibles en México, por ello existe la necesidad de trabajar en el desarrollo de una vacuna, a partir de aislados autóctonos, que permita una protección completa y eficaz.

En este sentido se evaluó el efecto inmunoprotector de una cepa de *C. pseudotuberculosis* atenuada, mutante del gen *aroA*. La supervivencia intracelular de la cepa mutante *aroA* y la cepa de tipo salvaje de *C. pseudotuberculosis* se evaluó en la línea celular de macrófagos murino J774A.1 utilizando una multiplicidad de infección (MOI) de 1:1 con los siguientes tiempos de infección: 30 min, y 1, 2, 4, 8, 12 y 24 h. La mayor diferencia en la supervivencia intracelular del mutante se observó 30 minutos después de la infección. La vacuna se aplicó en ratones BALB/c vía subcutánea, siendo



la progresión de la lesión producida en el sitio de inoculación al día 14, más grave en aquellos animales que fueron vacunados con la cepa salvaje. Un análisis de la virulencia residual en el modelo murino no reveló bacteria en ratones vacunados con la cepa atenuada al día 28 después de la vacunación. Los ratones vacunados con el mutante mostraron una protección del 50% frente al desafío intraperitoneal, superando al grupo control (41,67%). Por primera vez se evaluó en México una cepa de *C. pseudotuberculosis* atenuada como vacuna, así como también el estudio contribuyó al conocimiento de la respuesta inmune frente a *Corynebacterium pseudotuberculosis*.

En otro estudio se evaluó el efecto de una vacuna de cultivos totales inactivados en un modelo ovino. Se inmunizó vía subcutánea con la bacterina elaborada con 2 aislados obtenidos del estado de Jalisco. En la necropsia sólo se encontraron lesiones en pulmón y nódulo linfoide en 3 de los 4 animales del grupo desafiado; de estas lesiones se reaisló la bacteria *C. pseudotuberculosis* y se identificó mediante PCR Múltiple. Con relación a la prueba de ELISA se presentaron incremento de absorbancias el día de la revacunación; sin embargo, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los grupos. Los animales vacunados y desafiados no presentaron lesiones aunque no incrementaron de manera significativa los anticuerpos en comparación con los animales del grupo desafiado, por lo cual se recomienda seguir con los estudios de dicha bacterina para poder determinar la respuesta inmune que está generando.

Otro grupo de investigadores, evaluaron una vacuna de tipo bacterina-toxoide, elaborada a partir de una cepa de *Corynebacterium pseudotuberculosis* aislada en México, de origen ovino. Las regiones incluidas en el estudio para la evaluación del formulado vacunal fueron Veracruz, Puebla y Yucatán. Se incluyeron 8 unidades de producción ovina donde 600 animales fueron inmunizados. En estas granjas se había reportado la enfermedad previamente con un 6% de animales afectados. Los resultados mostraron una diferencia en el título de anticuerpos entre los animales vacunados y no vacunados, e incrementaron esta diferencia entre grupos al ser expuestos a la bacteria causante de la LAC, por vía subcutánea y vía aerógena. Se desarrollaron pequeñas lesiones, en el sitio donde se inoculó la bacteria de desafío y la incidencia (número de casos nuevos después de la vacunación fue del 1.5% en un lapso de dos años de iniciado el programa de vacunación. Los resultados indican que la vacuna desarrollada es capaz de inducir una respuesta de anticuerpos en los ovinos, pero al ser una vacuna convencional aun presenta desventajas, como la formación de abscesos no deseados. Es por ello que se continúa investigando para el desarrollo de un formulado vacunal que permita un control eficaz, siendo las vacunas de subunidades recombinantes una opción alentadora para el control de la LAC.



Conclusiones

Hasta la fecha los resultados más alentadores para el desarrollo de nuevas vacunas y medios diagnósticos contra LAC se han obtenido con formulaciones que utilizan como antígeno la exotoxina PLD o la endoglicosidasa CP40. El empleo de la tecnología del ADN recombinante constituyen una alternativa eficiente para la obtención de estos antígenos en sistemas heterólogos. Cabe destacar que se ha demostrado tanto *in silico*, *in vitro*, así como *in vivo* el potencial de estas moléculas para activar la respuesta inmune humoral y celular, por lo que se consideran antígenos principales para el desarrollo de nuevas vacunas y medios diagnósticos.

Referencias

- Angius, F., Illoaia, O., Amrani, A., Suisse, A., Rosset, L., Legrand, A., Abou-Hamdan, A., Uzan, M., Zito, F., Miroux, B. (2018). A novel regulation mechanism of the T7 RNA polymerase based expression system improves overproduction and folding of membrane proteins. *Scien Reports*, 8(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26668-y>.
- Antunez-Nuñez, L. D. (2023). Caracterización molecular de aislados de *Corynebacterium pseudotuberculosis* biovar ovis de ovejas y cabras del estado de Jalisco [Tesis de Maestría, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional UAEMex. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/138900>.
- Barral, T.D., Mariutti, R.B., Arni, R.K., Santos, A.J., Loureiro, D., Sokolonski, A.R., Azevedo, V., Borsuk, S., Meyer, R., Portela, R.D. (2019). A panel of recombinant proteins for the serodiagnosis of caseous lymphadenitis in goats and sheep. *Microb Biotechnol*, 12(6), 1313-1323. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13454>.
- Barral, T.D., Kalil, M.A., Mariutti, R.B., Arni, R.K., Gismene, C., Sousa, F.S., Collares, T., Seixas, F.K., Borsuk, S., Estrela-Lima, A., Azevedo, V., Meyer, R., Portela, R.W. (2022). Immunoprophylactic properties of the *Corynebacterium pseudotuberculosis*-derived MBP:PLD:CP40 fusion protein. *Appl Microbiol Biotechnol*, 106(24), 8035-805. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12279-1>.
- Bastos, B.L., Dias, P.R.W., Dorella, F.A., Ribeiro, D., y Seyffert, N. (2012). *Corynebacterium pseudotuberculosis*: Immunological Responses in Animal Models and Zoonotic Potential. *J Clin Cell Immunologic*, 4,1-15. <https://doi.org/10.4172/2155-9899.S4-005>.
- De Pinho, R.B., de Oliveira-Silva, M.T., Brilhante-Bezerra, F.S., Borsuk, S. (2021). Vaccines for caseous lymphadenitis: up-to-date and forward-looking strategies. *Appl Microbiol Biotechnol*, 105, 2287–2296. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11191-4>.



- Droppa-Almeida, D., Vivas, W.L., Silva, K.K., Rezende, A.F., y Simionatto, S. (2016). Recombinant CP40 from *Corynebacterium pseudotuberculosis* confers protection in mice after challenge with a virulent strain. *Vaccine*, 34(8), 1091–1096. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.12.064>.
- Droppa-Almeida, D., Ferreira, C.S., Brito, I., Borsuk, S., Rodríguez, J.A.L., Lima-Verde, I.B., Padilha, F.F. (2021). In Silico Screening of Putative *Corynebacterium pseudotuberculosis* Antigens and Serological Diagnosis for Caseous Lymphadenitis in Sheep by Enzyme-Linked Immunosorbent Assay. *Vet Med Int*, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2021/9931731>.
- Faeza, N.M.N., Jesse, F.F.A., Hambali, I.U., Odhah, M.N., Umer, M., Wessam, M.M.S., Mohd-Azmi, M. L., Wahid, A. H. (2019). Responses of testosterone hormone concentration, semen quality, and its related pro-inflammatory cytokines in bucks following *Corynebacterium pseudotuberculosis* and its mycolic acid infection. *Trop Anim Health Prod*, 51(7), 1855-1866. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01878-2>.
- Flores-Pérez, G. (2023). Aislamiento e identificación molecular de *Corynebacterium pseudotuberculosis* biovar ovis obtenidos de lesiones abscedativas superficiales en corderos del estado de Jalisco, México [Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional UAEMex. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/138896>.
- Fontaine, M.C., Baird, G., Connor, K.M., Rudge, K., Sales, J., y Donachie, W. (2006). Vaccination confers significant protection of sheep against infection with a virulent United Kingdom strain of *Corynebacterium pseudotuberculosis*. *Vaccine*, 24, 5986–5996. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2006.05.005>.
- García, P.C. (2017). Evaluación de un inmunógeno para el control de *Corynebacterium pseudotuberculosis* en ovinos [Tesis de Maestría, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional UAEMex. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/68375>.
- González, A., y Fillat, M. F. (2018). Aspectos metodológicos de la expresión de proteínas recombinantes en *Escherichia coli*. *Rev Educ Bioq*, 37(1), 14-27. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revedubio/reb-2018/reb181c.pdf>.
- Guevara-Hernández, E., López-Zavala, A. A., Jiménez-Gutiérrez, L. R., Sotelo-Mundo, R. R. (2013). Perspectivas actuales del uso de proteínas recombinantes y su importancia en la investigación científica e industrial. *Revista CBS*, 15(3), 8-17. <https://doi.org/10.18633/bt.v15i3.152>.
- Hodgson, A. L. M., Bird, P., Nisbett, I. T. (1990). Cloning, nucleotide sequence, and expression in *Escherichia coli* of the phospholipase D gene from *Corynebacterium pseudotuberculosis*. *J Bacteriol*, 172, 1256–1261. <https://doi.org/10.1128/jb.172.3.1256-1261.1990>.



- Ibarra-Zazueta, C., Arellano-Reynoso, B., Hernández-Castro, R., Palomares-Reséndiz, E. G., Díaz-Aparicio, E. (2016). Evaluation of the *aroA* mutant of *Corynebacterium pseudotuberculosis* in cellular and murine models. *Veterinaria México OA*, 3(4). <https://doi.org/10.21753/vmoa.3.4.366>
- Silva-Leal, K., de Oliveira-Silva, M. T., Silva-Rezende, A. F., Brillhante-Bezerra, F. S., Begnini, K., Seixas, F., Collares, T., Dellagostin, O., Wagner-Portela, R., Ariston de Carvalho-Azevedo, V. & Borsuk, S. (2018). Recombinant *M. bovis* BCG expressing the PLD protein promotes survival in mice challenged with a *C. pseudotuberculosis* virulent strain. *Vaccine*, 36(25), 3578–3583. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.05.049>.
- Li, Z., Nimtz, M., Rinas, U. (2014). The metabolic potential of *Escherichia coli* BL21 in defined and rich medium. *Microbial Cell Factories*, 13(1), 45. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-45>.
- Murgía–Olmedo, M. L., y Morales- Álvarez, J. F. (2017). Control y prevención de la Linfadenitis caseosa en ovinos. Folleto para productores Núm. 7. Mérida, Yucatán, México. ISBN: 978-607-37-0825-8. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletoproductores/4158_4863_Control_y_preveni%c3%b3n_de_la_linfadenitis_caseosa_en_ovino_s.pdf.
- Odhah, M.N., Jesse, F.F.A., Lawan, A., Idris, U.H., Marza, A.D., Mahmood, Z.K., Yusuf, A., Arsalan, M., Wahid, A.H. Mohd-Azmi, M.L., Zamri-Saad, M. (2018). Responses of haptoglobin and serum amyloid A in goats inoculated intradermally with *C. pseudotuberculosis* and mycolic acid extract immunogen. *Microb Pathog*, 117, 243–246. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.02.038>.
- Odhah, M.N., Jesse, F.F.A., Teik, C.E.L., Chung, E. L. T., Mahmood, Z., Wahid- Haron, A., H.A., Mohd, L.M.A., Zamri-Saad, M. (2019). Clinico-pathological responses and PCR detection of *Corynebacterium pseudotuberculosis* and its immunogenic mycolic acid extract in the vital organs of goats. *Microb Pathog*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103628>.
- Ortiz, G.A. (2016). Producción de una bacterina para Linfadenitis caseosa y la evaluación de su composición a través de electroforesis [Tesis de Maestría, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional UAEMex. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/66324>.
- Parise, D., Parise, M., Viana, M.V.C., Muñoz, B.A.V., Cortés-Pérez, Y.A., Azevedo, V., y otros (2018). First genome sequencing and comparative analyses of *Corynebacterium pseudotuberculosis* strains from Mexico. *Stand in Genomic Sci*, 13(21). <https://doi.org/10.1186/s40793-018-0325-z>.



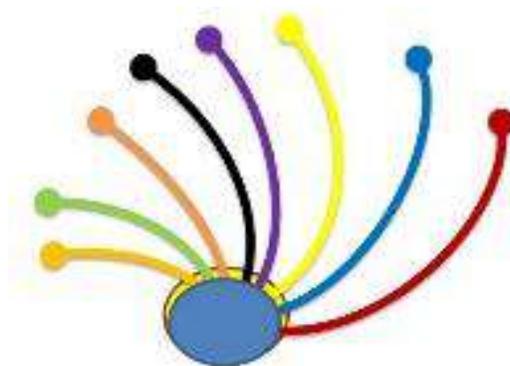
- Rodríguez-Domínguez, M.C.; Montes de Oca Jiménez, R., Barbabosa-Pliego, A., Díaz - Aparicio, E., Varela-Guerrero, J. A., Tenorio-Borroto, E. (2022). Aislamiento, Clonaje y análisis filogenético de pld y cp40, factores de virulencia de un aislado mexicano de *Corynebacterium pseudotuberculosis ovis*. *Trop Subtrop Agroecosystems*, 25, 1-12. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3768>.
- Silva, J.W., Droppa-Almeida, D., Borsuk, S., Azevedo, V., Portela, R.W.I. (2014). *Corynebacterium pseudotuberculosis* cp09 mutant and cp40 recombinant protein partially protect mice against Caseous lymphadenitis. *BMC Vet Res*, 10, 965. <https://doi.org/10.1186/s12917-014-0304-6>.
- Silva, M.T.O., Bezerra, F.S.B., de Pinho, R.B., Begnini, K.R., Seixas, F.K., Collares, T., Portela, R. D., Azevedo, V., Dellagostin, O., Borsuk, S. (2018). Association of *Corynebacterium pseudotuberculosis* recombinant proteins rCP09720 or rCP01850 with rPLD as immunogens in caseous lymphadenitis immunoprophylaxis. *Vaccine*, 36(1), 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2017.11.029>.
- Silva, M.T.O., Bezerra, F.S.B., de Pinho, R.B., de Santana- Ferreira, C., Vivas, W.L., Portela, R.W.D., Azevedo, V.A.C., Borsuk, S. (2019). The combination of *Corynebacterium pseudotuberculosis* recombinant proteins rPLD, rCP01850 and rCP09720 for improved detection of caseous lymphadenitis in sheep by ELISA. *J Med Microbiol*, 68(12), 1759-1765. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001096>.
- Studier, W.F., Rosenberg, A. H., Dunn, J. J., y Dubendorff, J. W. (1990). Use of T7 RNA polymerase to direct expression of cloned genes. *Gene Express Technol*, 185, 60-89. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(90\)85008-c.60-89](https://doi.org/10.1016/0076-6879(90)85008-c.60-89).
- Studier, W.F. (2005). Protein production by auto-induction in high-density shaking cultures. *Protein Express Purific*, 41(1), 207-234. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2005.01.016>.
- Varela, G.J.A., Montes de Oca, J.R., Acosta, J.D., Hernández, F.L., Morales, E.V., Monroy, S.G.H. (2018). First report of isolation and molecular characterization of the pathogenic *Corynebacterium pseudotuberculosis* from of sheep and goats in Mexico. *Microb Pathog*, 117, 304-309 <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.02.031>.
- Walker, J., Jackson, H.J., Wilson, M.J., Eggleton, D.G., Meeusen, E. N. T., Brandon, M.R. (1994). Identification of a novel antigen from *Corynebacterium pseudotuberculosis* that protects sheep against caseous lymphadenitis. *Infect Immunol*, 62(6), 2562-2567. <https://doi.org/10.1128/iai.62.6.2562-2567.1994>.



Windsor, P.A. y Bush, R.D. (2016). Caseous lymphadenitis: Present and near forgotten from persistent vaccination? *Small Rumin Res*, 142, 6-10.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.03.023>.

Anestésicos en aves

María Alejandra Valtierra Méndez
Fidel Ávila Ramos
Osmar Antonio Jaramillo Morales
Carlos Omar De la Cruz Moreno





Introducción

Recurrentemente en la clínica diaria llegan pacientes aviares en los que se suele necesitar el uso de la anestesia y sedación para situaciones bastante comunes, como: traumatismos y estabilización de pacientes críticos. Lo que a su vez hace necesario recurrir a estas herramientas para la toma de pruebas complementarias, toma de estudios radiográficos, entre otras (Figura 1 y 2).



Figura 1. Exploración de la cavidad oral en una paloma.



Figura 2. Manipulación de un ave herida.

Gracias al desarrollo de nuevos procedimientos médicos hoy en día se adjudica como mejor opción el uso de la anestesia inhalada como primera opción para la intervención quirúrgica o manipulación para la realización de algún procedimiento que se necesite anestesiarse por el amplio margen de seguridad que ofrece y rápida recuperación del ave. Sin embargo, el uso de anestesia inyectable aún es viable.

Entre las ventajas de la anestesia inyectable está la accesibilidad de vías de administración, costos y menor requerimiento de equipo para su aplicación. Entre las desventajas está que la biotransformación y eliminación del fármaco depende del estado funcional de los órganos como el hígado y el riñón, además, debe haber mayor rango de precisión en su dosificación por el registro de efectos adversos durante el procedimiento anestésico. Efectos que varían desde hipotensión, bradicardia, arritmias, hipotermia e hipoglucemia. Por lo mencionado es indispensable pesar el ave para tener las dosis precisas.



Consideraciones anatómicas y fisiológicas

El sistema respiratorio de las aves está conformado por narinas, tráquea, sacos aéreos y pulmones. Los huesos neumáticos por mencionar el húmero, fémur, coracoides, clavícula, esternón, costillas y sinsacro participan a su vez en este proceso, si se desea administrar terapia de líquidos vía intraósea no se debe canalizar en ninguno de estos o se le puede ocasionar al paciente aspiración del líquido y consecuentemente su muerte.

Tráquea

Constituida por anillos cartilaginosos completos, es más larga que la de los mamíferos y casi tres veces más ancha. Casi todo ser vivo que será sometido a la administración por cualquier vía de algún agente anestésico debe ser intubado, aunque hay literatura que permite no hacer este procedimiento si se realiza un abordaje quirúrgico en esta zona o por la presencia de neoplasias en tráquea o si son aves menores de 100 g. Pero en caso de ser necesario intubar por esta vía, no se deben emplear tubos endotraqueales que tengan manguito endotraqueal para evitar lesiones en la mucosa o la obstrucción de la vía.

Cuando se ventila un ave, asistir con dos respiraciones por minuto para estimular la ventilación espontánea es suficiente. Si el paciente se encuentra en apnea es necesario ventilar de 10 a 15 respiraciones por minuto y no se han reportado efectos adversos como en mamíferos.

Sacos aéreos

La mayoría de las aves tienen nueve sacos aéreos: uno cervical, dos torácicos craneales, dos claviculares, dos torácicos caudales y dos abdominales. Son avasculares y entre sus funciones principales están la de termorregulación, humidificación del aire, distribución del peso en el vuelo y reservorio de los gases.

Proceso respiratorio

Se realiza a través de un ciclo de doble respiración donde participa el sistema paleoplumonar conformado por: bronquios secundarios que se comunican con los sacos aéreos craneales y por el sistema neoplumonar conformado por: otros bronquios secundarios y bronquios primarios que se comunican con los sacos aéreos caudales. Una vez estructurados estos sistemas podemos entender el ciclo respiratorio (Figuras 3 A y B).

- **Primera inspiración:** el aire entra por la tráquea y atraviesa el sistema neoplumonar por contracción de los músculos (presión negativa). Primera espiración: por la contracción de los músculos el aire regresa a los parabronquios neoplumonares en dirección a los sacos aéreos caudales.



- **Segunda inspiración:** el aire llega a los bronquios secundarios en dirección a los sacos aéreos craneales (sistema paleopulmonar). Segunda espiración: el aire sale de los sacos aéreos craneales en dirección a los bronquios y finalmente a salir por tráquea.

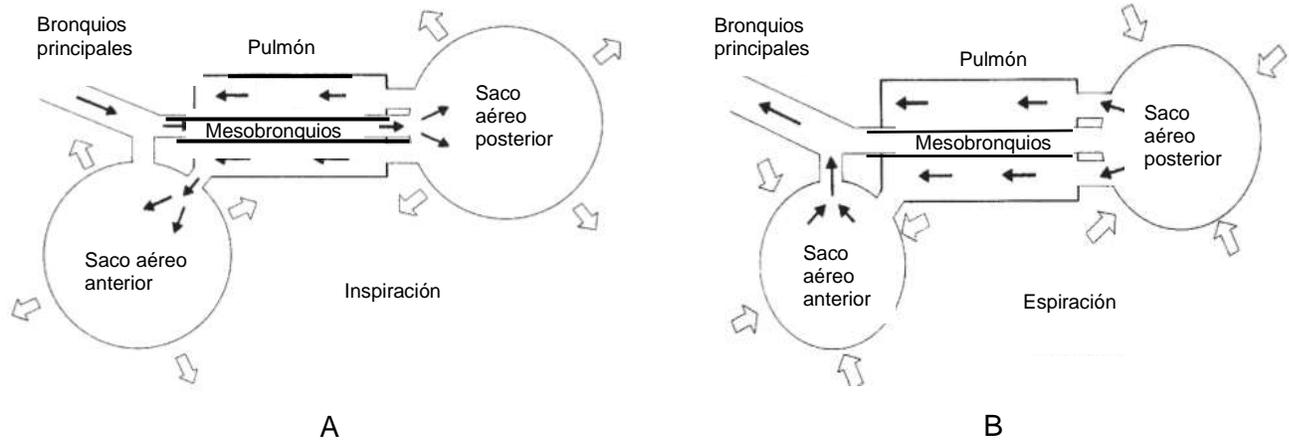


Figura 3. Representación de la inhalación (A) y espiración (B) en las aves. Tomada de: Coles, 2007. *Essentials of Avian Medicine and Surgery*.

Es por ello que, el requerimiento energético de las aves es mayor, su metabolismo es más rápido que la de los mamíferos y gracias a estas características los agentes anestésicos actúan más rápido, pero también la recuperación puede llegar a ser muy abrupta. Incluso hay casos donde parece que el ave continúa en plano anestésico, pero en segundos o instantáneamente se intentan levantar sin mostrar su estado consciente.

Fármacos anestésicos en aves

1. Benzodiacepinas

Como único agente las benzodiacepinas no proporcionan una adecuada sedación en las aves y actúan en el sistema límbico, tálamo e hipotálamo.

Diazepam: Es un sedante, buen relajante muscular, anticonvulsionante, ansiolítico y estimulador del apetito. Sus mecanismos farmacológicos se adjudican al antagonismo del neurotransmisor de la serotonina, potencializa la liberación de la actividad del neurotransmisor GABA (ácido gamma-aminobutírico) y desencadena una menor liberación de acetilcolina dentro del Sistema Nervioso Central. De ser necesario revertir



los efectos generados por el diazepam es recomendado el uso del flumazenil.

Las ventajas del uso de esta benzodiazepina es que se puede usar en pacientes muy estresados y aves pequeñas. Sin embargo, no se puede mezclar con otro fármaco en la misma jeringa, si es administrado vía intravenosa puede desarrollar tromboflebitis y administrado vía intramuscular puede ocasionar irritación en el área. Si se guarda en congelación, no se debe guardar en jeringa de plástico ya que se descompone.

Efectos adversos: somnolencia, debilidad y raramente excitabilidad. No tiene grandes efectos cardiovasculares, pero puede presentarse bradicardia, hipotensión y apnea, si se administra rápidamente vía intravenosa. Dosis: 0.5-2 mg/kg IV, IM.

Midazolam: Sedante, ansiolítico, anti convulsionante, generalmente usado para premedicar pero por vía intranasal puede ser una opción viable como inductor. Es más potente que el diazepam. El mecanismo de acción es similar al de las otras benzodiazepinas, es decir que una vez administrado entra al canal de las benzodiazepinas y potencializa a nivel neuronal la actividad del neurotransmisor GABA (ácido gamma-aminobutírico) lo que ocasiona inhibición a nivel del Sistema Nervioso Central.

Presenta efectos adversos como es depresión respiratoria y se ha observado que exagera la automutilación en algunas aves durante su recuperación. Se debe tener precaución en pacientes con insuficiencia renal y hepática. Entre sus ventajas destaca su solubilidad en agua, es más potente que el diazepam y tiene mejor absorción por vía parenteral. Revertidor: Flumazenil. En ocasiones es necesario repetir la dosis aplicada. Se metaboliza en el hígado y su dosis es de: 0.1-2 mg/kg IM, IV.

Zolazepam: Se encuentra comercialmente combinada con tiletamina. No está disponible por sí sola. La duración del zolazepam como tranquilizante es mayor que el de la tiletamina, el cual puede variar desde 1 hora hasta 5 horas. No se recomienda usarlo en pacientes con enfermedades cardíacas, pulmonares o pancreáticas. Los efectos adversos son hipotermia y depresión respiratoria, su dosis en combinación con tiletamina es de 2-10 mg/kg IM, IV.

2. Agonistas α_2 adrenérgicos

Contraindicados en pacientes con enfermedades cardiovasculares, se recomienda no utilizar premedicación con agentes anticolinérgicos.

Xilacina: Es una droga sedante y con cierto grado de analgesia a nivel visceral, pero por corto tiempo, no es anestésico por sí solo. Diversos autores de medicina exótica y aviar registran su uso sola, sin embargo, no es recomendado aplicarla como único agente. Además, no se recomienda aplicar en pacientes hiperglucémicos.



Entre los efectos adversos más destacados están los cardiovasculares debido a un aumento inicial de la resistencia periférica total con elevación de la presión sanguínea. Posteriormente, un período más prolongado de disminución de la misma presión ocasionando un período de hipotensión y arritmias. A dosis altas puede presentarse depresión respiratoria, en estos casos puede usarse como estimulador respiratorio el doxapram.

El mecanismo de acción es mediante la inhibición de noradrenalina una vez que son activados los receptores presinápticos. La xilacina tiene una alta afinidad por los receptores α_2 presinápticos por lo cual causa efectos simpaticolíticos más evidentes. En los efectos adversos se tiene la hipotensión, bradicardia, salivación. Pero tiene las ventajas de que se puede mezclar en la misma jeringa con numerosos fármacos y su eliminación es muy rápida. No es recomendado su uso como premedicación de la anestesia inhalada. Se metaboliza en hígado y se elimina vía renal. Su dosis 1-4 mg/kg IM, IV.

Medetomidina: Analgésico y sedante, más potente que la xilacina. Se recomienda la precaución de su uso en pacientes con patologías hepáticas o renales y pacientes con hiperglucemia. Entre los efectos adversos puede presentarse bradicardia, hipotermia, diuresis, dolor en el sitio de inyección cuando se emplea vía intramuscular y efectos hipotensores.

Tiene las ventajas de que puede administrarse vía subcutánea, no posee efectos depresores en sistema respiratorio. Sus desventajas son que inicialmente se produce una vasoconstricción lo que provoca una coloración cianótica de las mucosas, es reversible, pero puede hacer pasar por desapercibido una real hipoxia. Su revertidor es el atipamezol a dosis de 0.1 mg/kg IM.

Dexmedetomidina: Es un enantiómero de la medetomidina, pero dos veces más potente. Generalmente usado como preanestésico, tiene excelentes propiedades analgésicas, ansiolíticas, simpaticolíticas y sedantes en procedimientos menores. El mecanismo de acción es mediante la unión de la dexmedetomidina a receptores metabotrópicos que son ligados a la proteína G, disminuyendo la acción neuronal y la entrada de iones de calcio lo que ocasiona a nivel sináptico la inhibición de noradrenalina.

Tiene amplio margen de seguridad ya que puede administrarse a pacientes con insuficiencia renal, además, se ha comprobado que disminuye los niveles de catecolaminas en sangre por lo que aminora los efectos que causa el estrés en el ave durante y después de su manejo. Tiene mínimos efectos depresores en sistema respiratorio, pero tiene efectos cardiovasculares como bradicardia, diuresis, hipotermia, efectos hipotensores. Su revertidor es el atipamezol. La dosis de dexmedetomidina es a 0.01-0.04 mg/kg IM.



3. Anestésicos disociativos

Ketamina: Buen sedante pero mal anestésico, mal relajante muscular, no tiene gran efecto analgésico. Rara vez es usado como único agente ya que varios autores dicen que de ser así las aves pueden tener una recuperación violenta, excitación o convulsiones sobre todo en las palomas. Puede ocasionar irritación en el área de administración. Generalmente, es en la recuperación donde se ven los efectos que pueden presentarse: aleteo, temores y opistótonos. Sin embargo, tiene una rápida acción y es bastante amigable en combinación de otros agentes anestésicos.

El mecanismo de acción es mediante el bloqueo de receptores NMDA, inhibición del neurotransmisor GABA (amino- ácido gamma butírico), serotonina, noradrenalina y dopamina a nivel del Sistema Nervioso Central. No tiene tantos efectos cardiorrespiratorios por lo que se puede usar en pacientes con patologías cardíacas con excepción de infartos y pacientes con patologías respiratorias. En comparación con otros anestésicos, tiene diferentes vías de administración: intravenosa, intramuscular, intranasal, epidural, subcutánea, oral. Puede mezclarse en la misma jeringa con xilacina. Como desventaja aumenta la salivación e hipertensión, se metaboliza en hígado y se elimina vía renal.

Tabla 1. Dosis de ketamina de acuerdo con el peso de las aves.

Peso en aves	Dosis
<100 g	0.1-0.2 mg/kg IM
250-500 g	0.05-0.1 mg/kg IM
0.5 g- 3.0 kg	0.02-0.1 mg/kg IM
>3.0 kg	0.02-0.05 g/kg IM

4. Sedante-Hipnótico

Propofol: Es utilizado para la inducción y mantenimiento, tiene un amplio margen de seguridad en aves, es administrado en bolos o en infusión constante. Es muy liposoluble pero no provee analgesia y es común que se presente depresión respiratoria transitoria. El mecanismo de acción es inhibiendo la despolarización a nivel hipocampo, hipotálamo y corteza cerebral, a nivel vascular produce vasodilatación arterial periférica por lo cual puede disminuir el gasto cardíaco y la tensión arterial sistólica.

Entre los efectos adversos puede presentarse hipoventilación, acidosis, diarrea y apnea si se administra muy rápido. Pero es seguro en pacientes con enfermedad hepática o renal. Sin embargo, tiene la desventaja que sólo se puede administrar vía intravenosa. Se usa en conjunto con otros fármacos, mismos que pueden ser opiáceos, acepromacina, atropina. Se metaboliza en hígado y se elimina vía renal, en pulmones y en menor medida en sistema digestivo, la dosis es de 1-5 mg/kg IV.



Estabilización del paciente

En el manejo diario de la clínica puede haber un correcto protocolo analgésico antes, durante y después de un abordamiento quirúrgico. Para ello, es necesario tratar los signos que presente el ave, entre los más comunes están la deshidratación y/o hipotermia.

Deshidratación

Si al realizar la prueba de hematocrito y es mayor al 55% es necesario el aporte de fluidoterapia al paciente, la cual consiste en administrar por vía intravenosa, intraósea o subcutánea la dosis de mantenimiento, deshidratación o ambas, solución Ringer lactato o NaCl 9% de 5-10 mg/kg/h (Figura 4). En procedimientos anestésicos mayores a 10 minutos, la solución debe ser atemperada a 39°C para poder ser administrada. Vía intraósea; ulna o tibia, vía subcutánea en pliegue de la pata, la cual en el caso de sedación sería la más ideal.



Figura 4. Administración de fluidos vía subcutánea en aves.

Control de temperatura

Mantener fuentes de calor cercanas al ave, envolverla en toallas o papel burbuja es vital durante el procedimiento anestésico y en la recuperación debido a que uno de los efectos adversos más recurrentes a presentarse cuando se administra un agente anestésico o su combinación es la hipotermia (Figura 5).

Evaluación de parámetros fisiológicos

Se deben monitorear las constantes fisiológicas durante todo el tiempo que el paciente se encuentre sedado o bajo efecto de la anestesia. La frecuencia cardíaca, si hay electrocardiógrafo es preferente su uso, de lo contrario puede monitorearse con el estetoscopio estándar. Se recomienda en aves los estetoscopios pediátricos (Figura 6).

La frecuencia cardíaca varía de acuerdo con la especie, pero de forma general puede ir en un rango de 150-350 lpm, mientras que la frecuencia respiratoria puede ser por observación directamente en el tórax – abdomen y permanece en un rango de 20 -



50 rpm. La temperatura: en un rango de 40-44°C. Puede utilizarse un termómetro digital rectal o un termómetro digital infrarrojo.



Figura 5. Aporte de calor usando una lámpara para una paloma.



Figura 6. Auscultación con estetoscopio en paloma mensajera.

Evaluación de reflejos

Algunos reflejos no desaparecen hasta encontrarse en un punto específico del plano anestésico. Es importante su evaluación para determinar la profundización de sedación o anestesia, estos pueden evaluarse en lapsos de 5 o 10 minutos.

- **Reflejo alar.** Consiste en tomar la punta del ala y extenderla, si esta no regresa hacia su posición normal se considera pérdida del reflejo.
- **Reflejo pedal/ punción de los dedos o de la almohadilla central.** Consiste en hacer una ligera presión en la almohadilla o cualquier falange, si el ave no retrocede la pata se considera pérdida del reflejo.
- **Reflejo cloacal.** Con un hisopo limpio o con la yema del dedo tocar ligeramente la zona de la cloaca, si esta no hace un movimiento como estímulo entonces se considera pérdida del reflejo.



- **Reflejo palpebral.** Consiste en tocar ligeramente el margen del canto medial con un hisopo.
- **Reflejo corneal.** Desaparece cuando está en plano anestésico. Consiste en tocar con cuidado con la yema del dedo y si este no parpadea se considera pérdida del reflejo.

La calidad de la sedación y anestesia se califica en pobre, buena y excelente. Se categoriza según los reflejos que se evalúan (Figura 7 y 8).



Figura 7. Pérdida del reflejo pedal.



Figura 8. Pérdida del reflejo pedal, alar, palpebral y relajación muscular.

Conclusión

Es importante conocer los diferentes agentes anestésicos posibles a usar en aves debido a la alta demanda de estos pacientes en la clínica diaria, desde pequeños periquitos australianos hasta cacatúas o aves rapaces. Debido a la seguridad que proporciona la anestesia inhalada la inyectable sólo se usa en casos clínicos especiales, sin embargo, es una alternativa segura, fácil, eficiente de menor costo y fácil disponibilidad.

Referencias

- Bennett, R. y Geoffrey, W. (2022). *Surgery of exotic animals*. Wiley Blackwell (1st edition).
- Bigham, A. y Zamani, M. A. (2013). Finch (*Taeneopygia guttata*) sedation with intranasal administration of diazepam, midazolam or xylazine. *Journal of Veterinary Pharmacology Therapeutics*, 36(1)102-104.
- Carpenter, W.J. (2018). *Exotic animal formulary*. Elsevier (5th edition).
- Chitty, J. y Lierz, M. (2008). *BSAVA Manual of raptors, pigeons and passerine birds*. Elsevier (1st edition).



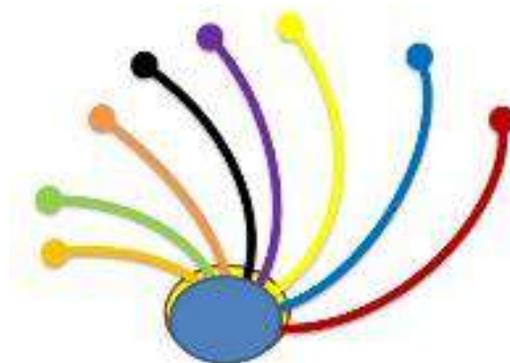
- Coles, H. B. (2007). *Essentials of avian medicine & surgery*. Blackwell (3rd edition).
- Dibartola, P. S. (2012). *Fluid, electrolyte, and acid-base disorders in small animal practice*. Elsevier (4th edition).
- Dobbs, P. y Moitiitié, L. (2021). Avian anaesthesia related mortality and the associated risk factors in a UK zoological collection. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 48(6), 922-929. <https://doi.org/10.1016/j.vaa.2021.04.012>
- Doneley, B. (2016). *Avian medicine and surgery in practice, companion and aviary birds*. Manson publishing (2da edición).
- Ekbom, K., Assareh, H. y Anderson, R.E. (2007). The effects of fresh gas flow on the amount of sevoflurane vaporized during 1 minimum alveolar concentration anaesthesia for day surgery: a clinical study. *Anaesthesiologica Scandinavica*, 51(3), 290–3. <https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2006.01235.x>
- Harcourt, B.N. y Chitty, J. (2005). *BSAVA Manual of psittacine birds*. British Small Animal Veterinary Association (2nd edition).
- Harrison, J.G. (2006). *Clinical Avian Medicine*. Spix publishing (Volumen I y II).
- Horst, E., KönigRüdiger, KorbelHans, G. y Liebich. (2016). *Anatomía aviar. Libro de texto y Atlas en color*. (2da edición). Taylor & Francis.
- Kalpravidh, M. (1991). Use of medetomidine as a preanaesthetic in birds. *Journal of Veterinary Anaesthesia*, 18(1), 245-248. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.1991.tb00557.x>
- Lafferty, K. (2015). *Anesthetic management of birds*. Lesley J. Smith DVM, DACVAA. <https://doi.org/10.1002/9781118912997.ch44>
- Lierz, M. (2012). Anesthesia and analgesia in birds. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 21(1), 44-58. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2011.11.008>
- Martínez, F. M. (2001). *Evaluación del efecto de dos mezclas de drogas anestésicas con cuatro diferentes dosis en loros cachetes amarillos del dentro de rescate de vida silvestre Arcas, Petén, Guatemala* [tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional UN. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5675/1/Tesis%20Med.%20Vet.%20Martinez%20Galicia.pdf>
- Plumb, C.D. (2018). *Manual de farmacología veterinaria*. Blackwell (9^{na} edición).
- Ramsey, I. (2021). *Vademecum de animales exóticos*. Exus (9^{na} edición parte B).
- Rehman, M., Aslam S., Iqbal, A., Durrani, F., Hussain, N., Luqman, Z. y Jawad, H. 2020. Comparative efficacy of injectable and inhalation anesthesia in pigeons. *Advances in Animal and Veterinary Science*, 8(11), 1203-1210.
- Samour, J. (2016). *Medicina Aviaria*. Elsevier (3^{ra} edición).
- Sandmeier, P. (2000). Evaluation of medetomidine for short-term immobilization of domestic pigeons (*Columba livia*) and Amazon Parrots (*Amazona species*). *Journal*



of Avian Medicine and Surgery, 14(1):8-14. <https://www.jstor.org/stable/30133183>
Speer, L. (2016). *Current therapy in avian medicine and surgery*. Elsevier (1st edition).

Compuestos farmacológicos de la miel y su efecto en las heridas

Ramona Guadalupe Hernández-Medina
Osmar Antonio Jaramillo-Morales
Ma. Eugenia Barreto-Arias
Fidel Ávila-Ramos





Introducción

La miel se define como una sustancia dulce producida por las abejas (*Apis mellifera*) que ellas obtienen del procesamiento del néctar de las flores y tiene la capacidad de transmitir las propiedades de las plantas de su origen. Desde un punto de vista químico, la miel puede ser definida como un alimento natural compuesta principalmente por azúcares y agua junto con constituyentes menores como minerales, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgánicos, flavonoides y sustancias aromáticas. Su composición es variable y depende directamente de su origen botánico y geográfico, de forma similar su color puede variar dependiendo de su origen botánico o la composición del néctar. Debido a sus diversas propiedades la miel ha sido utilizada en medicina tradicional desde la cultura egipcia, además, en el proceso para cicatrización ha sido mencionada como una alternativa para el cuidado de las heridas, pues brinda efectos antibacterianos, antiinflamatorios, antifúngicos, terapéuticos entre otros. En este contexto, el objetivo del presente capítulo se centra en describir las características generales de la miel, el efecto que tiene sobre las heridas y los mecanismos que se derivan de estas propiedades farmacológicas.

Composición química de la miel

La composición de la miel depende de varios factores ambientales durante la producción, las condiciones del néctar, ubicación geográfica y el tratamiento de la miel durante la extracción y su almacenamiento. La composición de la miel varía según la alimentación que las abejas tengan de las plantas que la recolectan, los principales componentes de la miel son los carbohidratos, las vitaminas y los minerales (Figura 1). Pero en cantidades menores contiene fenoles, flavonoides y proteínas.

Carbohidratos

Los carbohidratos en la miel pueden representar del 75% hasta el 85% de sus componentes generales, los más abundantes son: la fructosa con el 37.1%, la glucosa con el 36.3%, la sacarosa 2.20% y maltosa 1.55%. Sin embargo, la glucosa puede ir del 27 al 45%, mientras que la fructosa del 33 al 42%, ambos pueden representar del 60 al 87% del total de los azúcares en diferentes tipos de miel. Las mieles comercializadas en los mercados formales mexicanos han presentado del 34.61 al 38.17 % de fructosa y del 29.14 al 31.76% de glucosa, con ello la fructosa + la glucosa puede ir del 65.84 al 69.93% dependiendo de su origen floral (Figura 2).

La fructosa es el compuesto más abundante, pero en algunos tipos de miel la fracción de glucosa puede ser mayor. Estos azúcares son los responsables de las características físicas y nutricionales de la miel. Sólo del 10 al 15% son disacáridos y contiene pequeñas cantidades de otros azúcares. De ellos obtiene su valor energético, viscosidad, higroscopicidad y nivel de cristalización.

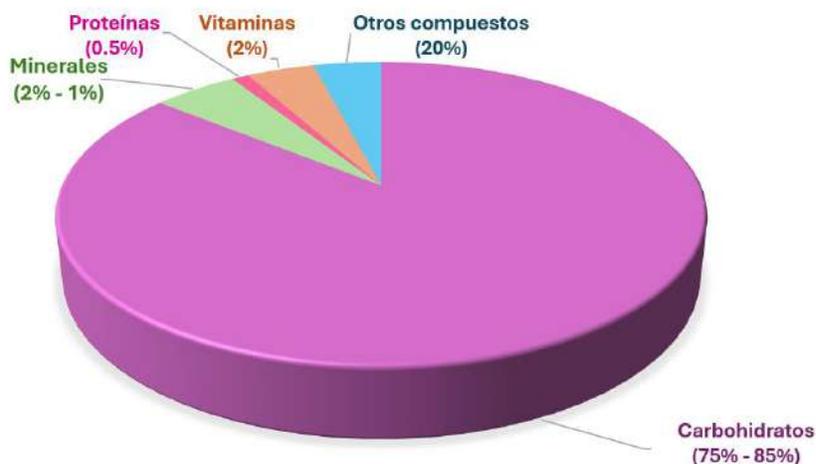


Figura 1. Composición general de la miel. Elaboración propia.

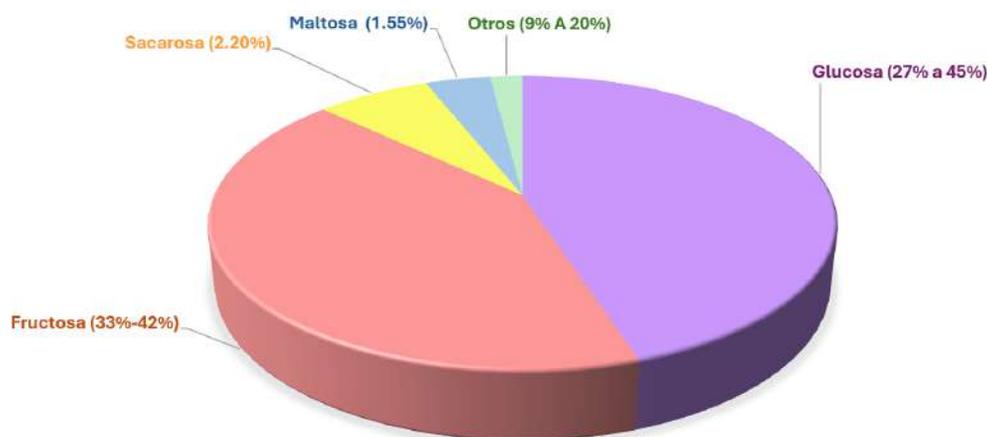


Figura 2. Principales azúcares en la miel. Elaboración propia.

Humedad

El contenido de humedad es una de las características clásicas de la miel; su humedad depende de los factores ambientales y del contenido de agua del néctar que las abejas colectan. Sin embargo, durante el proceso de maduración de la miel, será el porcentaje de miel operculada en la celdilla lo que determinará la cantidad de humedad de la miel cosechada. Por lo tanto, la miel se debe obtener cuando el 90% de las celdillas estén



operculadas. Por ejemplo, en la miel de mezquite existen reportes de humedad con el 18.23% y la miel comercializada formalmente en los supermercados mexicanos tiene un rango que va del 16.43 al 17.30% de humedad.

El manejo de campo dará los valores reportados que se deben encontrar en el rango de 14 a 22 g por cada 100 g de miel, pero los contenidos normales en mieles adecuadas deben ser inferiores al 18%. Sí la humedad pasa esta cantidad, la miel tiene posibilidades altas no solo de sufrir procesos fermentativos sino también, el contenido de agua influye sobre su viscosidad, el color y el peso específico. En este contexto sí la miel se fermenta debe ser eliminada, debido a que no sirve para consumo humano.

Minerales

La absorción de minerales puede ocurrir de forma artificial, afectada por la recolección, técnicas apícolas y la composición de la alimentación artificial como el azúcar o el jarabe y puede representar el 1% en la miel. Los minerales más importantes encontrados son el potasio (K), representado con el 80% del total, seguido del sodio (Na) calcio (Ca) y magnesio (Mg). Los elementos menos abundantes son el hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), cloro (Cl) y en menor cantidad, oligoelementos como el boro (B), fósforo (P), azufre (S), silicio (Si), bario (Ba) y níquel (Ni). Además, se debe mencionar que el contenido mineral contribuye al color, mieles más oscuras contienen mayor contenido de minerales versus las mieles claras.

Fenoles

En la miel de mezquite se ha reportado de 4 a 50 mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de miel. En mieles comerciales estos valores pueden ir de 15.0 a 33.0 mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de miel, pero en mieles no comerciales hay reportes promedio de $15.03 \pm 0.90 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de miel.

En la miel se pueden encontrar alrededor de 20 fenoles dependiendo de su origen. ácido gálico, ácido protocatequico, ácido 2,3,4-trihidroxibenzoico, ácido p-hidroxibenzoico, ácido genístico, ácido clorogénico, ácido vainílico, ácido cafeico, ácido siríngico, vanilina, ácido p-cumárico, siringaldehído, ácido ferúlico, ácido sinápico, ácido salicílico, ácido elágico. (Figura 3).

Flavonoides

Los flavonoides a menudo se sugieren como una fuente natural para controlar las enfermedades inflamatorias crónicas. Aunque los flavonoides son componentes menores de las mieles, su acción antiinflamatoria destaca en relación con otros compuestos naturales. Se han reportado $4.49 \pm 0.27 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de miel equivalentes de quercetina en algunos tipos de mieles, pero en la miel de mezquite 2.18 equivalentes.



Considerando la gran variedad de estos compuestos los presentes en las mieles son: luteolina, hesperetina, genisteína, kaempferol, crisina, naringenina, quercetina, pinobanksina, apigenina, pinocembrina y ácido ferúlico (Figura 4).

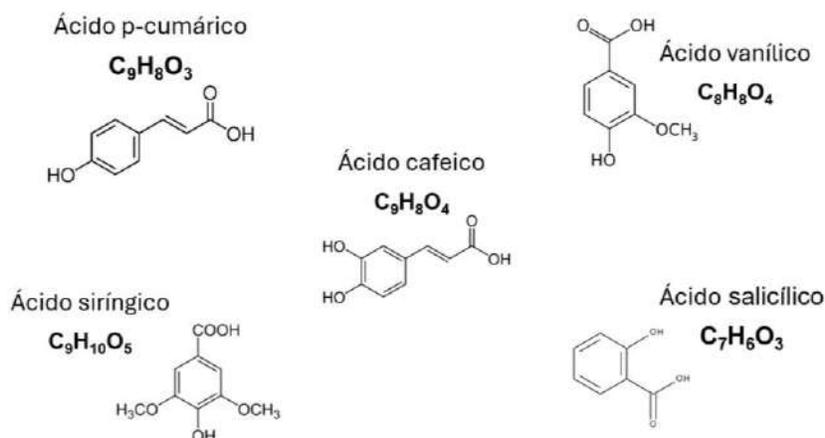


Figura 3. Fenoles más abundantes en la miel. Elaboración propia.

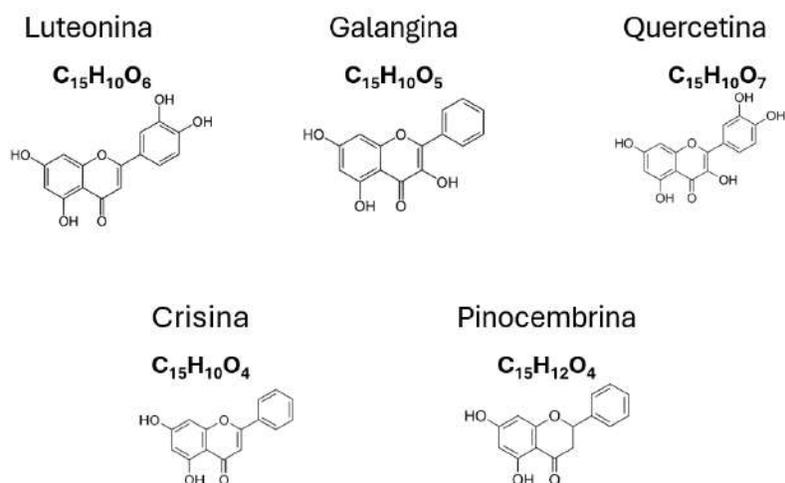


Figura 4. Principales flavonoides presentes en las mieles. Elaboración propia.

Capacidad antioxidante de la miel por el método 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH)

En las mieles comerciales se ha determinado la capacidad DPPH de 30 a 53% sin indicar la cantidad de DPPH inicial sólo su capacidad de concentración inhibitoria (IC) del radical. En mieles no comerciales se ha determinado el IC50 de 185 ± 5 mg·mL. Pero en la miel



de mezquite se ha reportado 0.25 mg equivalentes de ácido ascórbico como una alternativa para facilitar su medida y comparación.

pH

La acidez o alcalinidad de la miel aporta información sobre su origen botánico, el cual está estrechamente relacionado con su origen floral. En la miel de diferentes flores se han reportado valores desde 16.99 hasta 50 meq/kg, con valores de pH entre 3.5 y 4.5, lo que la caracteriza como ácida; los ácidos orgánicos son responsables de estos valores y, por tanto, de su estabilidad orgánica. En el caso de la miel de mezquite se han reportado que tiene un pH de 3.4, valores de pH similares a la miel multiflora.

Proteínas

En la miel se han identificado más de 20 proteínas no enzimáticas diferentes, muchas son comunes en todas las mieles, como las albúminas, globulinas, proteasa y nucleoproteínas.

Enzimas

Las enzimas contenidas en la miel provienen de las glándulas hipo faríngeas de las abejas y de los nectarios de las plantas. La diastasa (α - y β - amilasa), invertasa (glucosidasa), glucosaoxidasa, catalasa y fosfatasa ácida. La diastasa es la encargada de hidrolizar el almidón en maltosa. La invertasa (α – glucosidasa), es la responsable de la hidrólisis de la sacarosa en glucosa y fructosa y la glucosa – oxidasa, actúa sobre la glucosa proveniente del ácido glucónico.

Capacidad antibacteriana

Los efectos antimicrobianos de la miel dependen de la fuente de néctar y su origen botánico. Sin embargo, la glucosa y compuestos fenólicos pueden afectar su actividad sobre las bacterias. Además, existen otras variables que pueden afectar su capacidad como es la carga biológica microbiana presente en las heridas que es un factor importante responsable de su cronicidad y su manejo eficaz con miel puede disminuir la carga biológica bacteriana esencial para su cuidado.

Las propiedades antibacterianas de la miel son una de las ventajas más importantes en la cicatrización de las heridas. La miel le proporciona al tejido herido un ambiente húmedo que la mantendrá hidratada, promueve la formación de tejido uniforme y flexible. La miel reduce el edema, es decir, ayuda a eliminar el exceso de líquidos en los tejidos subyacentes a la herida. En el caso del exudado, la miel ayuda a que tenga menor contenido de bacterias propiciando la eliminación de los desechos celulares para mantener un ambiente correcto para el buen trabajo del sistema inmunitario. En el caso



incluidos los flavonoides, ácidos fenólicos, tocoferoles, ácido ascórbico y enzimas como la catalasa o el superóxido dismutasa. Estas sustancias desempeñan un papel crucial en la reducción de los efectos negativos de las especies reactivas de oxígeno (ROS) y las especies reactivas de nitrógeno (RNS), que pueden causar daño celular y contribuir a la inflamación.

Los mecanismos antioxidantes de la miel son diversos. Por un lado, inhiben las enzimas que producen aniones superóxido, un tipo de ROS. Además, actúan como quelantes de metales, lo que significa que pueden unirse a iones metálicos y los detienen para disminuir la formación de radicales libres. También interfieren en las reacciones en cadena de los radicales libres, lo que limita su capacidad para dañar las membranas celulares (Figura 7).

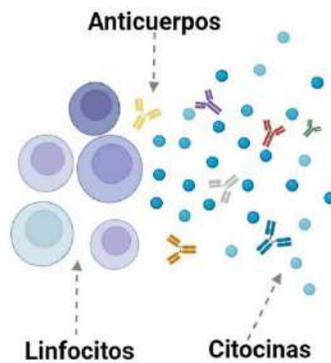


Figura 6. Linfocito liberando citocinas y anticuerpos. Elaboración propia.

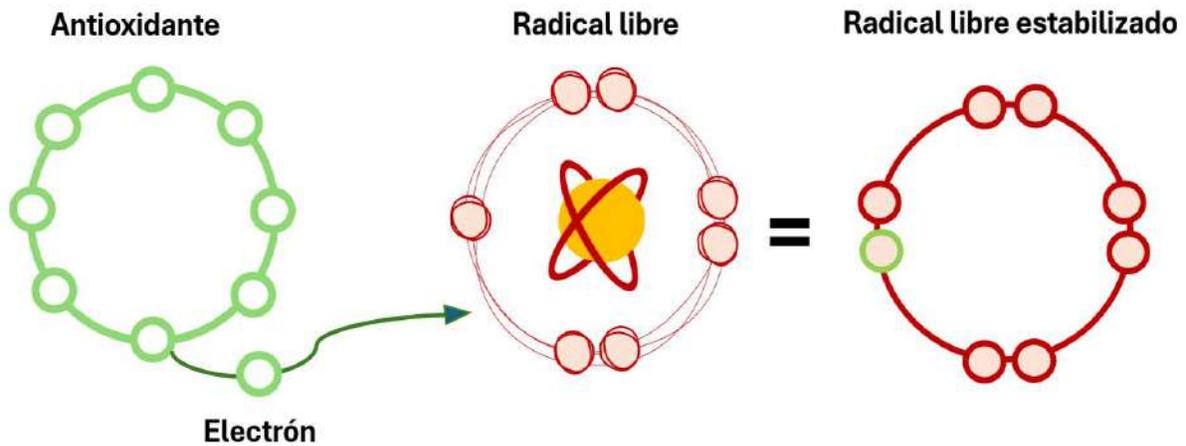


Figura 7. Actividad antioxidante.



Los procesos antioxidantes de la miel no solo contribuyen a proteger las células del estrés oxidativo, sino que también pueden desempeñar un papel preventivo en la formación de radicales libres. Además, al interferir con la respuesta inflamatoria anormal, la miel contribuye a la curación de heridas y quemaduras, promoviendo un proceso de cicatrización más rápido y eficiente. En resumen, los mecanismos antioxidantes de la miel son fundamentales para promover la formación de los tejidos y la curación en las heridas de los tejidos.

Efecto antiinflamatorio de la miel

La cicatrización de las heridas es un proceso de regeneración de tejidos que incluye la inflamación como un primer paso. Aunque la inflamación es parte del proceso normal de la cicatrización, puede hacer incómodo a la herida y de difícil manejo y, si se prolonga en el tiempo puede evitar que el tejido de reparación de la herida continúe los procesos de curación. La miel tiene una actividad antiinflamatoria directa, esta actividad antiinflamatoria incluye varios mecanismos, entre los cuales se encuentran la inhibición del complemento, la infiltración de leucocitos, la producción de citoquinas inflamatorias, inhibición de la producción de óxido nítrico y fagocitosis por los macrófagos (Figura 8).

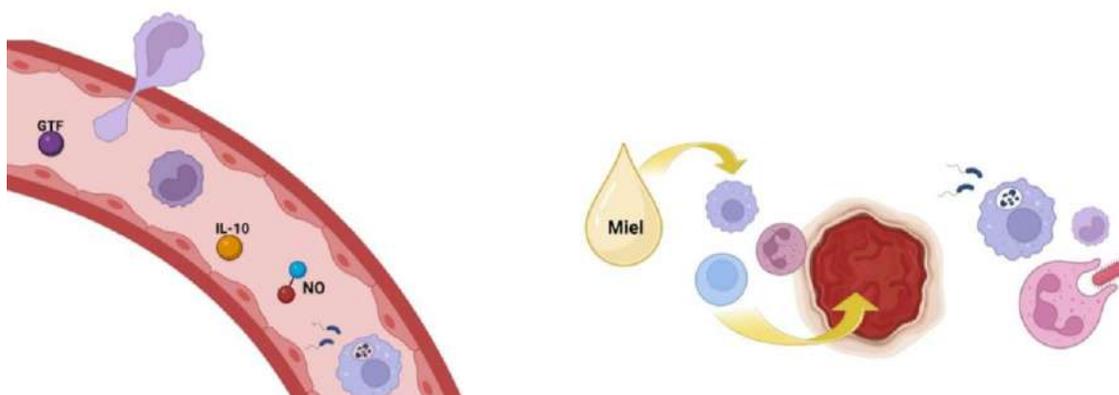


Figura 8. Efecto antiinflamatorio de la miel. Elaboración propia.

Los efectos de la miel sobre el proceso inflamatorio están relacionados con el estado de la herida. La miel induce la liberación de citoquinas proinflamatorias como son el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), interleucina 1 beta (IL-1 β), interleucina 12 (IL-12), el interferón- γ (IFN- γ) y, posiblemente, la interleucina 6 (IL-6). Esto se realiza durante la inflamación de heridas agudas. Sin embargo, puede reducir los niveles elevados de citoquinas proinflamatorias en condiciones incontroladas de inflamación (especialmente en heridas crónicas). La miel reduce la actividad de las ciclo oxigenasas 1 y 2 (COX1 y COX2) que intervienen en la síntesis de prostaglandinas. Las prostaglandinas participan en la respuesta inflamatoria produciendo vasodilatación, aumentando la permeabilidad



de los vasos sanguíneos y permitiendo el paso de los leucocitos, actuando como un agente antiagregante plaquetario y estimulando las terminaciones nerviosas.

En el proceso inflamatorio existe un equilibrio entre citocinas proinflamatorias y antiinflamatorias (por ejemplo la IL-10, IL-4 y TGF- β) que es el punto clave para la progresión de la enfermedad. Por este motivo, las citocinas representan objetivos de estudio de nuevos agentes antiinflamatorios como los flavonoides. El efecto esperado depende del tipo de flavonoides y citocinas, dado que la acción es específica para el sitio.

Efecto de la miel sobre el edema de los tejidos

La miel tiene efecto en la disminución del edema debido a que reducen la presión sobre la microvascularización de los tejidos de la herida que le permite disponibilidad de oxígeno y nutrientes necesarios para su crecimiento, así como su reparación. Este efecto permite controlar el exudado de las heridas con un equilibrio de humedad adecuado que favorece su reconstrucción (Figura 9 y 10).

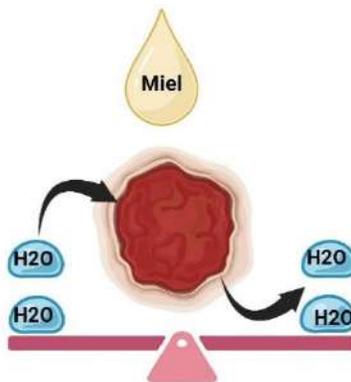


Figura 9. La miel acarrea el agua del tejido interno hacia la superficie debido a su presión osmótica y elimina el exceso de líquido acumulado en los tejidos. Elaboración propia.

Efecto cicatrizante de la miel

La miel posee un conjunto de propiedades que ayudan al proceso de la cicatrización de heridas. Tiene efecto anti-bacteriano en las heridas susceptibles a infecciones o en heridas infectadas, su actividad anti-oxidante reduce la alta concentración de radicales libres y especies reactivas de oxígeno (ROS) producidas en la etapa inflamatoria. También posee una actividad anti-inflamatoria, anti-edematosa y exudativa que ayuda en la pronta reducción del dolor, edema y exudado de las heridas, desbridamiento del tejido necrótico y así estimula la formación de tejido de granulación sano, a su vez estimula la contracción de la herida favoreciendo el cierre de esta y



muestra propiedades cicatrizantes que reducen al mínimo su apariencia.

Existen diferentes estudios donde se han demostrado que la miel es capaz de promover la angiogénesis, la granulación y la epitelización, también estimula los linfocitos y los fagocitos, induce la expresión de marcadores moleculares de reparación de tejidos y la activación de queratinocitos. Además, estimula la producción de IL-6 y TNF- α por macrófagos y otros tipos celulares en la herida vitales para el correcto proceso de cicatrización y resolución de la infección (Figura 11).

Desbridamiento

El proceso de desbridamiento de una herida es crucial para promover la reparación efectiva del tejido. La miel favorece la creación de un entorno húmedo que facilita el desbridamiento autolítico de las heridas. Su alta presión osmótica extrae líquido linfático de las capas más profundas, con ello elimina de manera natural el tejido cicatricial muerto, dañado o infectado de la herida. La linfa contiene proteasas activadas por el peróxido de hidrógeno generado al diluir la miel, lo que colabora en el proceso de desbridamiento (Figura 12).

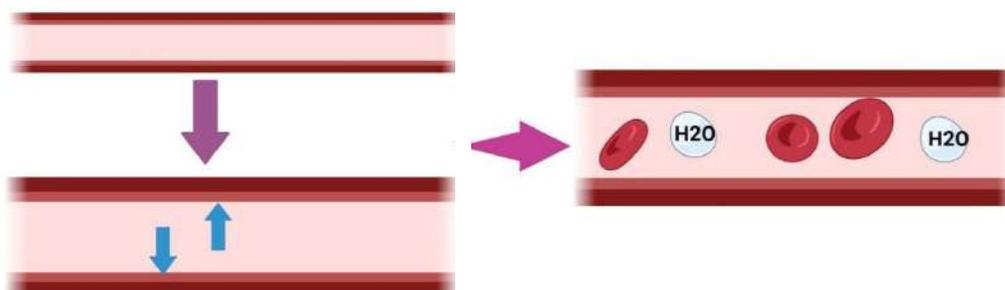


Figura 10. La miel reduce el edema, la presión sobre los capilares y la presión de vasos sanguíneos pequeños para mejorar el flujo. Elaboración propia.

Además, la miel inhibe la producción del inhibidor del activador del plasminógeno (PAI) por parte de los macrófagos, gracias a su acción antiinflamatoria. El PAI bloquea la conversión del plasminógeno en plasmina activa, una enzima que degrada la fibrina presente en la superficie de la herida, pero no afecta la matriz de colágeno necesaria para la reparación del tejido. Esto previene la formación de escaras, dado que la inflamación incrementa la producción de PAI, la capacidad de la miel para reducir su producción probablemente esté relacionada con su efecto antiinflamatorio.

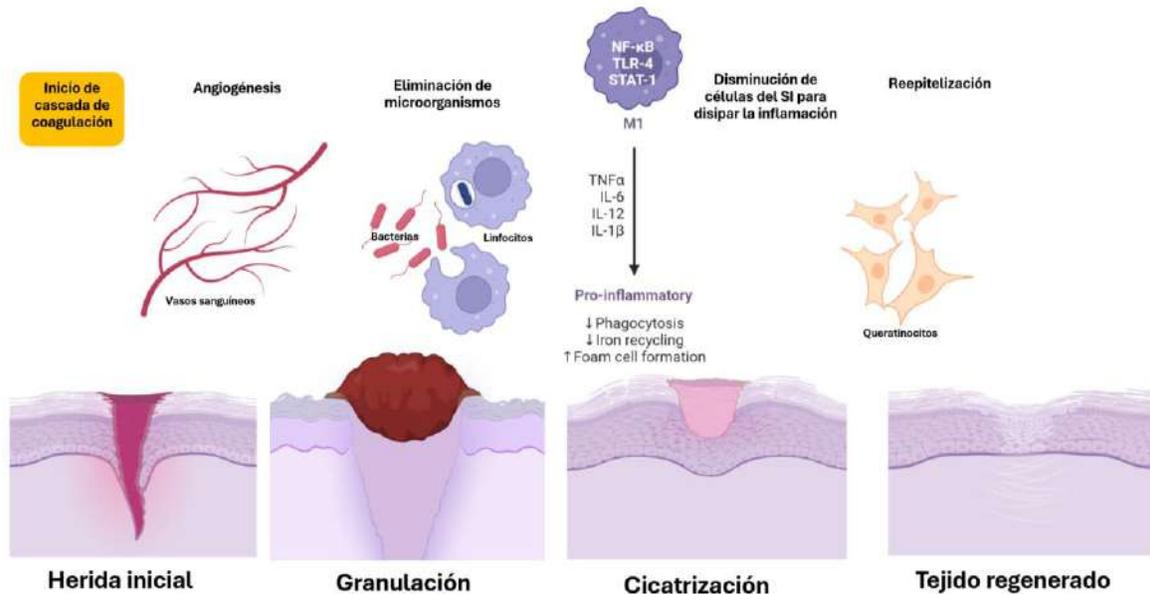


Figura 11. Proceso de cicatrización. Elaboración propia.

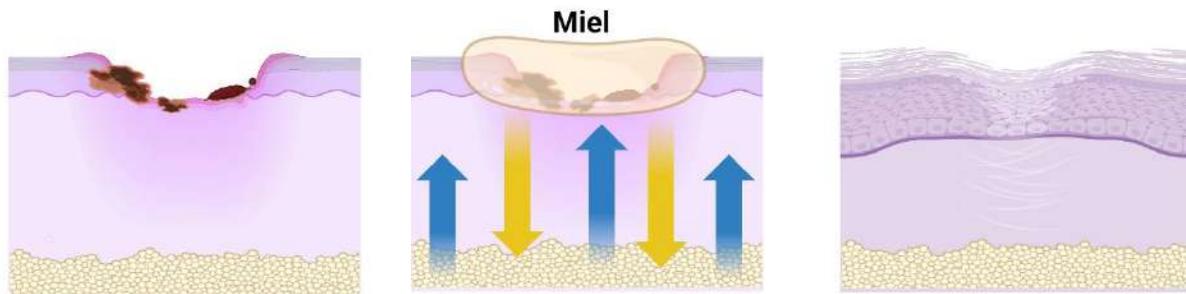


Figura 12. La miel facilita la eliminación natural de los desechos tisulares. Elaboración propia.

Apoyo en la angiogénesis

La etapa proliferativa o de granulación en la piel se caracteriza por presentar angiogénesis y fibroplasia dérmica, junto con el inicio de la reepitelización y la contracción de la herida. La miel estimula la angiogénesis, esto se debe a que suministra el oxígeno necesario en el proceso de la curación de las heridas. Su alta presión osmótica y el peróxido de hidrógeno contenido en niveles bajos en la miel estimulan el desarrollo de nuevos capilares, el crecimiento y proliferación de los fibroblastos y miofibroblastos que promueve la síntesis de colágeno y la reepitelización (Figura 13).



Figura 13. La miel promueve la creación de nuevos vasos sanguíneos. Elaboración propia.

El desarrollo de nuevos vasos sanguíneos a partir de los ya existentes suministra el oxígeno necesario a la herida, lo que constituye una etapa importante en el proceso de curación. Este proceso dinámico está regulado por señales del suero y el entorno de la matriz extracelular circundante.

El peróxido de hidrógeno se genera a partir de glucosa por la acción de la enzima glucosa oxidasa presente en la miel e induce el reclutamiento de leucocitos en las heridas mediante un mecanismo de gradiente de concentración. Debido a una inducción oxidante, los macrófagos liberan factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF), que estimula la angiogénesis en la etapa de remodelación, el colágeno es renovado y alineado a lo largo de líneas de tensión, a su vez las células que ya no son necesarias se eliminan por medio de apoptosis (Figura 14).

La miel puede reducir las cicatrices y contracturas en los pacientes con quemaduras y mejora la remodelación de las heridas cutáneas. Además, la alta concentración de azúcares presentes en la miel, así como otros constituyentes menores, como aminoácidos, vitaminas y oligoelementos, proporcionan, en un ambiente húmedo, una fuente de energía celular local, que puede mejorar la nutrición local para que las células endoteliales proliferen.

Por el contrario, otro estudio ha demostrado que la actividad antiangiogénica de la miel está mediada por la modulación de la producción de prostaglandina E2 y VEGF. Esta disparidad entre los estudios podría explicarse por la concentración de miel probada, ya que el mayor efecto proangiogénico de la miel se encontró en una concentración baja de miel, mientras que las concentraciones más altas demostraron actividad antiangiogénica.

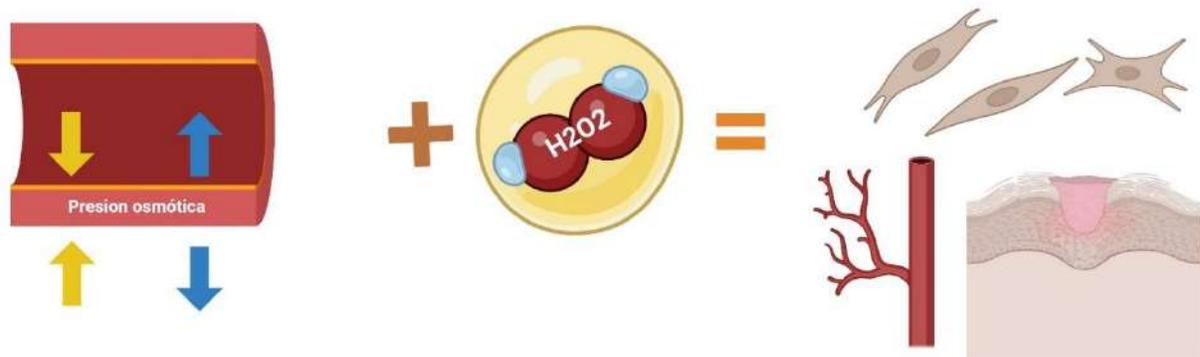


Figura 14. La presión osmótica y el peróxido de hidrógeno contenidos estimulan el desarrollo de nuevos capilares. Elaboración propia.

Sistema inmune

Varios estudios han evidenciado que la miel tiene la capacidad de activar diversos mediadores del sistema inmunológico. Se ha observado que puede estimular tanto los linfocitos B como los linfocitos T, además, puede promover la fagocitosis de neutrófilos en cultivos celulares. La miel induce a los monocitos, específicamente, las células MM6 a liberar citoquinas como el factor de necrosis tumoral- α (TNF- α), la interleucina-1 (IL-1) y la interleucina-6 (IL-6), las cuales son fundamentales para activar la respuesta inmune frente a las infecciones.

La miel también estimula la producción de anticuerpos durante las respuestas inmunitarias primarias y secundarias contra antígenos tanto dependientes como independientes del timo. Además, incrementa la inmunidad humoral mediante el óxido nítrico intrínseco, el cual activa vías de transducción de señales específicas en los monocitos de manera dependiente de la concentración. Debido a esta variedad de mecanismos de acción, el potencial de la miel en el tratamiento de heridas no se limita exclusivamente a la reparación superficial de heridas cutáneas. También puede ser administrada por vía subcutánea, intraabdominal u oral para contribuir a la recuperación de heridas en diferentes contextos.

Conclusiones

La miel de abeja es un compuesto natural que tiene diferentes efectos en los tejidos sobre el proceso de cicatrización. Sin embargo, sus bondades se deben seguir investigando para identificar sus beneficios y la forma de aplicación que favorezcan su uso práctico.



Referencias

- Ashagrie-Tafere, D. (2021). Chemical composition and uses of honey: A review. *Journal of Food Science and Nutrition Research*, 04(03), 194-201.
DOI:10.26502/jfsnr.2642-11000072
- Bogdanov-Stefan., Ruoff-Kaspar, y Persano-Oddo, L. (2004). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review. *Apidologie* 35(Suppl. 1), S4–S17 <https://doi.org/10.1051/apido:2004047>
- Córdova-Córdova, C. I., Ramirez-Arriaga, E., Martínez-Hernández, E., y Zaldívar-Cruz, J. M. (2013). Caracterización botánica de miel de abeja (*Apis mellifera* L.) de cuatro regiones del estado de Tabasco, México, mediante técnicas melisopolinológicas. *Universidad y ciencia*, 29(2), 163-178.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792013000200006
- Đurović-Vesna., Mandić-Leka., Mijatović-Milica., Miletić-Nemanja., Radovanović-Mirjana., Mladenović-Jelena., Pešaković-Marjiana & Đukić-Dragutin. (2022). Comparative analysis of antibacterial and antioxidant activity of three different types of honey. *Acta Agriculturae Serbica* 27(54), 115–120.
<https://doi:10.5937/aaser2254115d>
- García-Chaviano, M., Armenteros-Rodríguez, E., Escobar-Álvarez, M. C., García-Chaviano, J. A., Méndez-Martínez, J. y Ramos-Castro, G. (2022). Composición química de la miel de abeja y su relación con los beneficios a la salud. *Revista Médica Electrónica*, 44(1), 155-167.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242022000100155&lng=es&tlng=es.
- Martins, E. A., Arista, M., Morellato-Cerdeira, L.P. y Camargo, G.M.G.G. (2021). Color signals of bee-pollinated flowers: the significance of natural leaf background. *American Journal of Botany*, 108(5), 788–797. <https://doi: 10.1002/ajb2.1656>
- Mondragón, C.P. (2019). Antioxidant Capacity and Total Phenolic Content in Honey Brands from Mexican Market and Some Physicochemical Parameters Related. *World Journal of Food Science and Technology* 3(2) 20-25.
<https://doi: 10.11648/j.wjfst.20190302.11>
- Stadelmann, W. K., Digenis, A.G. y Tobin, G-R. (1998). Physiology and healing dynamics of chronic cutaneous wounds. *The American Journal of Surgery* 176(2), 283-290.
[https://doi: 10.1016/s0002-9610\(98\)00183-4](https://doi: 10.1016/s0002-9610(98)00183-4).
- Sorg-Heiko, Tilkorn-J, D, J., Hager-Stephan, Hauser-Jorg, Mirastschijski-Ursula. (2017). Skin wound healing: an update on the current knowledge and concepts. *European Surgical Research*, 58(1-2):81-94. <https://doi: 10.1159/000454919>.
- Suguna-Lonchin., Chandrakasan-Gowri., Ramamoorthy-Usha. y Koitara-Thomas, J.J. (1993). Influence of honey on biochemical and biophysical parameters of wounds

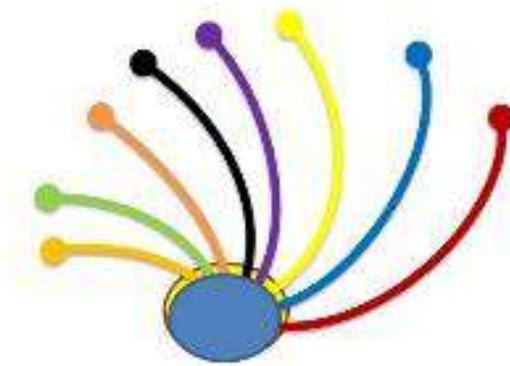


in rats. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 14(2):91-99.
<https://doi:10.3164/jcbn.14.91>

Imtara-Hamada., Al-Waili, N., Bakour-Meryem., Al-Waili, W., Lyoussi, B. (2018).
Evaluación del efecto antioxidante, diurético y cicatrizante de la miel de Tulkarm y
su efecto sobre la función renal en ratas. *Vet Word*, 11; 1491-1499.

**Islas de patogenicidad de
*Corynebacterium pseudotuberculosis***

Mabel Gethsemani Jaimes González
Roberto Montes de Oca Jiménez
Siomar de Castro Soares
Martha Elba Ruiz Riva Palacio
Pedro Sánchez Aparicio
María Carla Rodríguez Domínguez





Introducción

Corynebacterium pseudotuberculosis biovar *ovis* es una bacteria gram positiva perteneciente al género *Corynebacterium sp*, constituye el agente etiológico de la Linfadenitis caseosa (LAC) en ovejas y cabras; enfermedad caracterizada por la formación de abscesos en nódulos linfáticos y órganos internos, ocasionando importantes pérdidas económicas en la producción de los pequeños rumiantes. Por su capacidad de reducir nitratos *C. pseudotuberculosis* se clasifica en dos biovares, reducción de nitrato positiva corresponde al biovar *equi*, reducción de nitrato negativa al biovar *ovis*. El potencial patógeno de este microorganismo se ve reflejado en un amplio número de mamíferos a los que puede infectar; los equinos son diagnosticados con linfangitis ulcerosa, abscesos y algunos órganos internos pueden verse comprometidos por *C. pseudotuberculosis biovar equi*. En bovinos se han reportado lesiones granulomatosas ulcerosas en diversas formas clínicas: cutánea, mastítica y visceral; los bovinos pueden verse afectados por los biovares *ovis* y *equi*. La enfermedad edematosa de la piel (OSD) es la infección que se manifiesta en búfalos, caracterizada por una extensa tumefacción cutánea edematosa en la papada, patas traseras o delanteras y vientre asociada a *C. pseudotuberculosis biovar ovis*. En los rebaños de los pequeños rumiantes se puede identificar a la LAC en dos formas de presentación cutánea y/o visceral, ambas caracterizadas por la formación de abscesos en los nódulos linfáticos palpables y en órganos internos como pulmones, hígado y riñones; el padecimiento provoca el deterioro de la condición corporal de los animales disminuyendo su productividad.

La LAC no ha sido controlada eficazmente porque su diagnóstico es basado en la identificación de abscesos en los nódulos linfáticos, que generalmente aparecen en una etapa tardía. Por otro lado, el fracaso de la terapia antibiótica es otro factor que ha contribuido a la prevalencia de la enfermedad en el mundo. A pesar de la disponibilidad de vacunas, ninguna de ellas brinda protección total y no alcanzan la misma eficiencia cuando se comparan en ovinos y caprinos. También tienen niveles de seguridad cuestionables e incluso algunos efectos secundarios.

El estilo de vida y potencial zoonótico de *C. pseudotuberculosis* se ve favorecido por la presencia de ácidos corynomicólicos y la producción de la exotoxina PLD (fosfolipasa D) considerada su principal factor de virulencia; esta esfingomielinasa es codificada por el gen *pld*, estos como otros factores de virulencia son determinantes para la supervivencia y virulencia de la bacteria. Actualmente una de las herramientas más eficientes en el estudio de agentes patógenos es la identificación de genes relacionados con la patogenicidad y plasticidad de las bacterias, esta última les ha permitido adaptarse a los cambios del ambiente además el conocimiento exhaustivo del genoma permitirá identificar las estructuras que le brindan la capacidad de virulencia, dianas de vacunas, y candidatos antimicrobianos.



Los genes que codifican a factores de virulencia se encuentran alojados dentro del genoma en regiones denominadas islas de patogenicidad. Hasta el momento se han reportado dieciséis islas de patogenicidad en *C. pseudotuberculosis*, los resultados de estos trabajos han contribuido a la identificación de moléculas potenciales para vacunas como PLD y CP40 (serina proteasa). Es por ello que en el siguiente capítulo se abordan los principales hallazgos *in silico* dirigidos al estudio de las islas de patogenicidad de *C. pseudotuberculosis* y los genes albergados en estas regiones.

***Corynebacterium pseudotuberculosis* características morfológicas y genéticas**

El género *Corynebacterium sp* comprende más de 50 especies de importancia médica humana y veterinaria; además de las especies no patógenas. Las especies del género *Corynebacterium* de mayor relevancia clínica son *Corynebacterium diphtheriae*, *C. jeikeium* y *C. pseudotuberculosis*, que son los agentes causales de la difteria, infecciones nosocomiales en humanos y linfadenitis caseosa (CLA) en cabras y ovejas, respectivamente. *C. glutamicum* es utilizada en la producción de aminoácidos como L-aspartato y L-lisina, mientras que *C. ulcerans* puede provocar infecciones en humanos como en animales. Los miembros de este género comparten características específicas: una pared celular gruesa con presencia de ácidos micólicos, peptidoglicano y arabinogalactano, ácidos grasos saturados e insaturados y un contenido de C+G (47-74%). Las especies patógenas de este género se dividen en dos grupos, diftéricas, al que pertenecen aquellas especies productoras de la toxina difteria como *C. diphtheriae*, *C. pseudotuberculosis* (únicamente biovar equi) y *C. ulcerans*. Mientras que las especies no diftéricas causantes de infecciones son consideradas bacterias oportunistas, forman parte de la microbiota de la piel y nasofaringe humana entre ellas se encuentra a *C. jeikeium*, *C. urealyticum*, *C. resistens*. Entre las especies no patógenas se consideran a *C. glutamicum*, *C. efficiens*, *C. crenatum* y *C. variabile*, que han sido utilizadas en la industria del queso, cerveza, pan, vinos y producción de aminoácidos.

La clasificación de *C. pseudotuberculosis* se basó originalmente en características morfológicas y bioquímicas, por su capacidad de reducir nitratos *C. pseudotuberculosis* se clasifica en dos biovares, reducción de nitrato positiva identifica al biovar *equi* y reducción de nitrato negativa al biovar *ovis*. *C. pseudotuberculosis* es un cocobacilo, gram-positivo, no esporulado, anaerobio facultativo, mide 0,5 μm a 0,6 μm de amplitud y 1,0 μm a 3,0 μm de longitud. Tiene la capacidad de degradar galactosa, maltosa, L- y D-arabinosa y glucosa sin producción de gases. En cultivo agar sangre y en condiciones de anaerobiosis a 37°C se observa crecimiento escaso a las 24 horas, con formación de colonias pequeñas de color blanco. Posteriormente a las 48-72h de incubación el crecimiento es abundante con formación de colonias más grandes, que toman una coloración blanca grisácea y con visualización de β -hemólisis.



Respecto a sus características genómicas, se ha reportado un tamaño de 2,335,112 (bp) para la cepa Cp1002 (aislado de cabra originario de Brasil) y 2,328,208 (bp) correspondiente a la cepa CpC231 (aislado de oveja originario de Australia), un total de 2111 y 2103 genes respectivamente y un contenido de G+C del 52.19% para ambos genomas. Estos datos muestran similitud con los reportados en 2018 al ser secuenciados seis aislados de *C. pseudotuberculosis* de origen mexicano: MEX1 (2,337,090 bp), MEX9 (2,337,578 bp), MEX25 (2,337,529 bp), MEX29 (2,337,866 bp), MEX30 (2,368,140 bp) y MEX31 (2,367,880). Se ha logrado la estandarización de la técnica de PCR *Quadruplex*, que amplifica fragmentos de cuatro genes específicos 16S rRNA (816pb), *pld* (203pb), *rpoB* (446pb) y *narG* (612 pb), que permite diferenciar entre cepas del biovar *ovis* y *equi*.

El genoma bacteriano está compuesto por un genoma central que contiene la información para las funciones celulares esenciales. *C. pseudotuberculosis* presenta un total de 1.504 genes en su genoma central, lo que representaba el 54% de todo el pan-genoma de la especie. Por otro lado, contiene un acervo genético flexible, que codifica rasgos adicionales que pueden ser beneficiosos en determinadas circunstancias. Estos incluyen genes que confieren resistencia a antibióticos y compuestos tóxicos, y otros factores de virulencia.

Una de las características de estas regiones cromosómicas es que incluyen elementos genéticos móviles y accesorios, como bacteriófagos, plásmidos, islas de patogenicidad, elementos de secuencia de inserción (IS), transposones e integrones. Uno de los elementos que promueve la plasticidad de las bacterias es la movilización de genes a través de la transferencia horizontal de genes. El desarrollo e implementación de la secuenciación de genomas, han revelado información clave en el estudio de los agentes patógenos.

Transferencia horizontal de genes

La transferencia horizontal de genes (HGT) permite el intercambio de material genético entre organismos, sin necesidad de división celular. Antes de la era de la genómica, se sabía que las bacterias adquirían ADN extraño a través de plásmidos y fagos, actualmente se entiende que la HGT es un importante impulsor de la evolución genómica en procariontes, es responsable de la adquisición de muchos rasgos adaptativos, incluida la resistencia a los antibióticos. La primera descripción de transferencia horizontal de genes se remonta al año 1928 cuando se descubrió que las bacterias neumocócicas no virulentas pueden volverse patógenas por entrar en contacto con bacterias virulentas, actualmente se sabe que los neumococos tienen una notable capacidad para adquirir ADN horizontalmente.

Las condiciones básicas para lograr un evento de HGT son la disponibilidad del ADN del donante en el medio y los mecanismos que aseguran que el hospedero lo integre



en su genoma. Se han descrito tres mecanismos que permiten el acceso del ADN extraño al genoma de las bacterias localizado en el citoplasma (Figura 1).

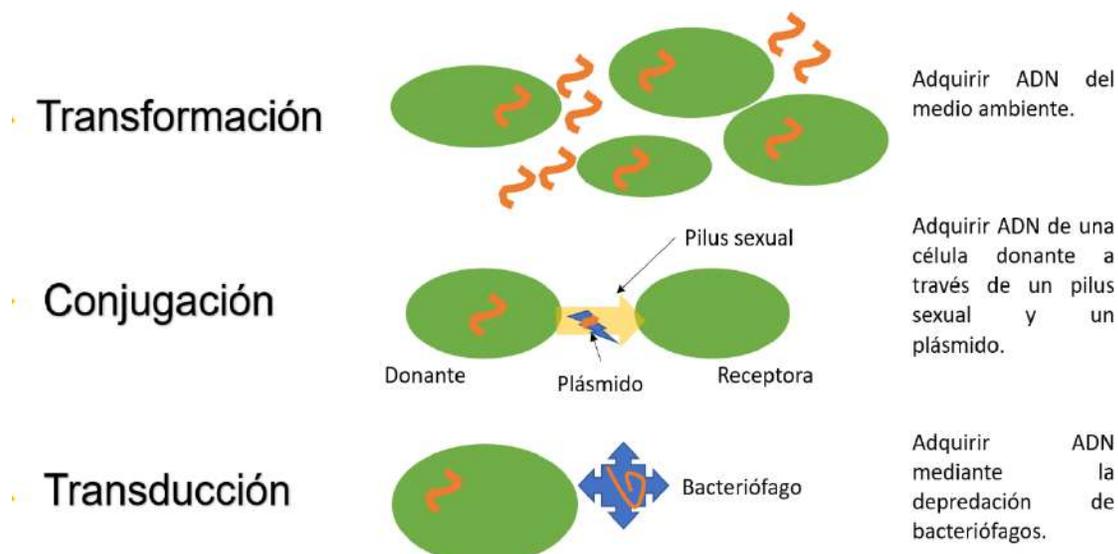


Figura 1. Mecanismos de transferencia horizontal de genes.

Dentro del citoplasma, el ADN puede tener distintos destinos. Puede ser destruido por los sistemas de degradación del ADN presentes en el citoplasma como: enzimas de restricción y ADNasas. También puede persistir como entidades replicativas autónomas, como los plásmidos. Finalmente, todo o parte del ADN puede integrarse en el cromosoma del hospedero, una vez adquirido, tiene el potencial de otorgar nuevas capacidades a la unidad receptora.

Islas de Patogenicidad

Uno de los mecanismos mediados por HGT es la inserción de secuencias e islas genómicas. Las secuencias de inserción son fragmentos genéticos móviles relativamente pequeños, que tienen la capacidad de transponerse dentro y entre genomas. Mientras que las islas genómicas son grandes fragmentos de ADN (p.ej. 10 -200 kb), que dependiendo de los genes que alberguen se pueden clasificar como islas de patogenicidad (PAI), islas metabólicas, islas de secreción, islas de resistencia e islas de simbiosis. El término PAI fue utilizado por primera vez en 1990 para nombrar dos grandes regiones inestables en el cromosoma de *Escherichia coli* uropatógena. Actualmente, este término se ocupa para describir regiones en los genomas de ciertos patógenos que están ausentes en las cepas no patógenas de la misma especie o estrechamente relacionadas y que contienen grandes bloques continuos de genes que codifican a factores de



virulencia. Los PAI han sido caracterizados recientemente en una amplia gama de patógenos bacterianos gracias a la secuenciación genómica y han contribuido a la identificación de muchos factores de virulencia utilizados por estas especies. La identificación *in silico* de islas de patogenicidad se gestiona mediante la búsqueda de elementos vinculados a la transferencia horizontal de genes como diferencia en el uso de codones, contenidos inusuales de G+C, frecuencia de dinucleótidos, secuencias de inserción, y suelen estar flanqueados por un lado por un gen de ARN. Otra característica de los PAI es que comúnmente poseen genes que codifican factores que están involucrados en la movilidad genética, como: integrasas, transposasas, genes de fagos y orígenes de replicación.

Islas de Patogenicidad de *Corynebacterium pseudotuberculosis*

En el año 2011 se confirma el hallazgo de la identificación de siete regiones con todas las características de genes adquiridos horizontalmente en cepas de *C. pseudotuberculosis*, mismas que estuvieron ausentes en cepas no patógenas (*C. glutamicum*), en ese momento se les denominó islas de patogenicidad putativas de *Corynebacterium pseudotuberculosis* (PiCp). Estos trabajos abrieron la puerta a nuevas investigaciones sobre el análisis de los genes de virulencia alojados en estas regiones. El estudio de los factores de virulencia permite entender cuáles son las estructuras y moléculas que le confieren la capacidad a la bacteria para ser más patógena. En la actualidad se tienen identificadas 16 PAI.

Las PAI contienen varios genes implicados en la adhesión, invasión, colonización, propagación dentro del hospedero, supervivencia en el interior de las células infectadas y la evasión del sistema inmune. Las secuencias de las PiCp presentan un alto nivel de similitud (82–100%) intra-biovar en las cepas *ovis*, así como un menor nivel de similitud (78–91%), con respecto al biovar *equi*, con un patrón de delección conservado en las mismas islas de patogenicidad, independientemente de la cepa. Sin embargo, las cepas de biovar *equi* contienen grandes delecciones y un menor nivel de similitud intra-biovar (77–88%) y también en comparación con las PiCp de biovar *ovis* (62-74%).

La isla de patogenicidad 1 (PiCp1) alberga un grupo de genes esenciales involucrados en la patogenicidad de *Corynebacterium pseudotuberculosis*. Fue identificada la secuencia de un gen de la familia de transposasas IS256. Las secuencias de inserción (IS) son pequeñas secuencias de ADN móviles. La presencia de esta transposasa probablemente sea responsable de la inserción de esta isla de patogenicidad en el genoma de *C. pseudotuberculosis*.

El gen *pld* es considerado el principal factor de virulencia de *C. pseudotuberculosis*. Codifica una potente exotoxina que promueve la hidrólisis de los enlaces éster de la esfingomielina en las membranas celulares de los mamíferos,



contribuyendo a la propagación de la bacteria dentro del hospedero.

Luego de la secuencia de *pld* se encuentra el operón Fag responsable de la adquisición de hierro extracelular permitiendo a la bacteria sobrevivir en ambientes hostiles. Los metales, como el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el zinc (Zn) y el cobre (Cu), desempeñan un papel fundamental como cofactores enzimáticos o componentes estructurales de las proteínas en la mayoría de los seres vivos. Gracias a la plasticidad genómica las bacterias han desarrollado transportadores de metales de alta afinidad.

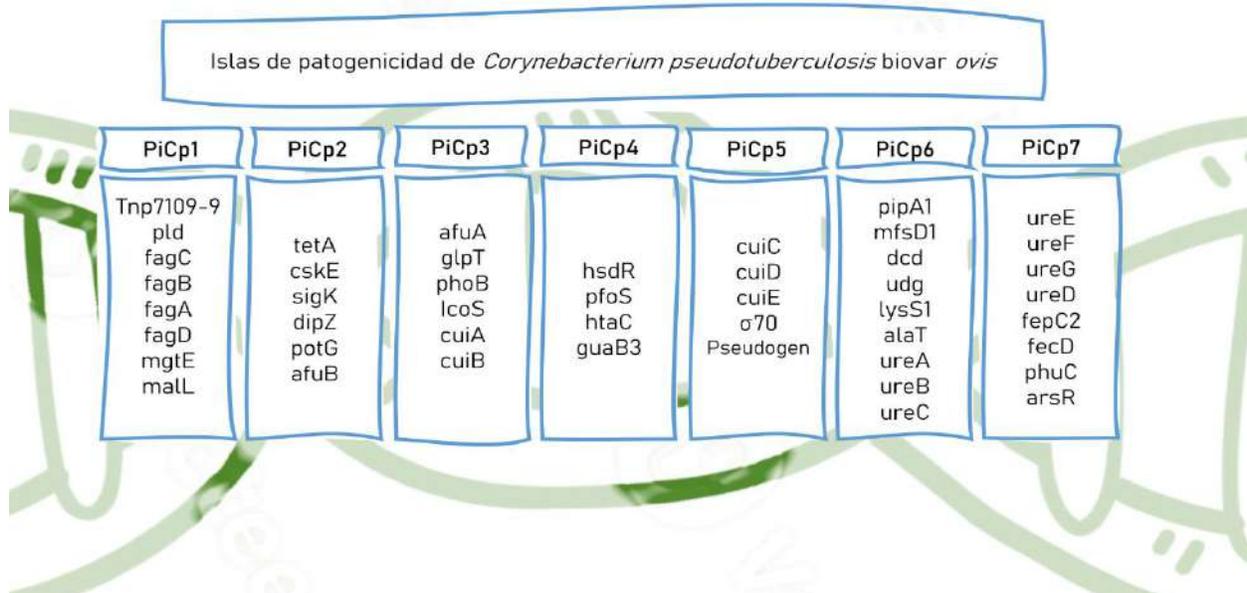


Figura 2. Islas de patogenicidad reportadas en *Corynebacterium pseudotuberculosis* biovar *ovis*. Información tomada de Soares y colaboradores 2013.

PiCp2 alberga a un gen de resistencia, el gen *tetA* codifica una proteína transportadora de eflujo de tetraciclina y protege ante la acción de este antibiótico. El gen *mgtE*, participa en la entrada de Mg^{2+} , elemento importante en la adaptación térmica, protegiendo a las bacterias del choque térmico, causado por la fiebre en mamíferos de sangre caliente. PiCp2 también alberga el gen *dipZ*, que se puede localizar completo dentro del filo actinobacteria exclusivamente en bacterias patógenas, se le atribuye participación en la infección de macrófagos, pero su función aún no ha sido aclarada.

PiCp3 aloja el gen *potG*, del operón *potFGHI*, que codifica para una proteína de unión de ATP asociada a la membrana, proporciona energía para la captación de putrescina desde el espacio periplásmico.

El gen *glpT* pertenece a la familia organofosfato: fosfato antiportadora de la superfamilia facilitadora principal (MFS) que participa como medio el transporte de glicerol 3-fosfato (G3P) a través de la membrana en bacterias. Diversos organismos



pueden utilizar el glicerol-3-fosfato y los glicerofosfodiésteres como únicas fuentes de carbono (energía) y como precursores para la biosíntesis de fosfolípidos.

Dentro de la PiCp4 se ubica el operón *ciuABCDE*, que participa en la obtención de hierro mediante el uso de sideróforos para extraer el hierro de proteínas transportadoras, como transferrina, lactoferrina y hemoglobina-haptoglobina. Los sideróforos son moléculas quelantes de hierro de alta afinidad secretadas para obtener el hierro férrico de las proteínas del hospedero, estos sistemas han sido desarrollados por bacterias para poder adaptarse a medios con bajas concentraciones de hierro libre.

La isla 5 (PiCp5) tiene un gen *pfoS*, los factores de virulencia regulados por *pfoR* que no han sido totalmente estudiados, no obstante, la desactivación de este gen inhibe la hemólisis a través de la regulación negativa de varios *Clostridium perfringens*. PiCp5 de *C. pseudotuberculosis* comparte regiones flanqueantes idénticas con PICD8 de *C. diphtheriae*, este patrón destaca esta región como punto putativo para inserción de transposones y muy probablemente GEI. La PiCp6 presenta el gen *pipA1*, que codifica una prolina aminopeptidasa, que cataliza la eliminación de residuos de prolina N-terminal de péptidos, además desempeña un papel importante en la generación de energía.

La isla 7 (PiCp7) contiene un operón de ureasa que también está presente en *C. glutamicum*. El operón es responsable de la adquisición de nitrógeno mediante la hidrólisis de urea. Las ureasas microbianas son metaloenzimas multisubunitarias que hidrolizan la urea para formar ácido carbónico y dos moléculas de amoníaco.

La genómica comparativa ha demostrado que el genoma de *Corynebacterium pseudotuberculosis* es uno de los más pequeños en comparación con otras especies del mismo género, esto se debe principalmente a la pérdida de genes. A través de alineamientos genéticos se confirmó similitud entre secuencias del gen *rpoB* de *C. pseudotuberculosis* y *C. diphtheriae*, por último, se ha concluido que estos genomas están altamente conservados y la posición del gen se conserva dentro de la especie. Esta observación afianza las conclusiones de investigaciones previas que afirman la sintenia conservada en este género, lo que indica que pocos eventos de reordenamiento ocurrieron durante la evolución. *C. pseudotuberculosis* comparte más genes ortólogos con *C. glutamicum* (1345 genes), *C. efficiens* (1330), *C. diphtheriae* (1263 genes) y *C. auricummucosum* (1273 genes). En 2017 con genomas secuenciados de cepas de *C. pseudotuberculosis* obtenidas de búfalos se identificó una inserción en la PiCp12 que contenía un corinefago y un gen de la toxina de la difteria, los cuales pueden jugar un papel en la adaptación de *C. pseudotuberculosis* a este nuevo hospedero.

En 2013 se reportaron cinco nuevos PAI, identificados como PiCps 12–16, este hallazgo se gestionó a través del software PIPS. Aunque los 16 PAI están presentes en todas las cepas, tienen diferentes patrones de deleciones, especialmente en las cepas biovar *equi*. Un acontecimiento importante de este análisis fue la identificación del gen de



la toxina diftérica en una cepa de *C. pseudotuberculosis*, se puso en evidencia que este gen puede ser adquirido por transferencia horizontal y ser albergado por otras especies. Esta toxina también se ha identificado en cepas de *C. ulcerans*, donde causa una enfermedad similar a la difteria.

Conclusiones

Las infecciones causadas por *Corynebacterium pseudotuberculosis* ocurren constantemente, debido a varios factores: diagnóstico ineficiente, la baja o nula disponibilidad de vacunas, la movilización de animales y turismo desde y hacia países endémicos. El desafío al que nos enfrentamos en la actualidad es la generación de biológicos seguros y eficaces contra los agentes que impactan en la salud pública y veterinaria.

La evolución y virulencia de las bacterias pueden estar impulsadas por la recombinación genética, los genes que codifican a factores de virulencia se encuentran alojados dentro de islas genómicas, específicamente dentro de las islas de patogenicidad. Las islas de patogenicidad y los profagos son a menudo las fuentes de plasticidad del genoma entre especies patógenas de *Corynebacterium sp.*

La transferencia horizontal de genes es un mecanismo que ha intervenido en la adaptación de las bacterias mejorando su potencial patógeno. La identificación y análisis de estas agrupaciones de genes son una herramienta en el estudio de agentes patógenos que contribuyen al esfuerzo para la erradicación y control de enfermedades.

Referencias

- Blum, G., Ott, M., Lischewski, A., Ritter, A., Imrich, H., Tschäpe, H. & Hacker, J. (1994). Excision of large DNA regions termed pathogenicity islands from tRNA-specific loci in the chromosome of an Escherichia coli wild-type pathogen. *Infection and immunity*, 62(2), 606–614. <https://doi.org/10.1128/iai.62.2.606-614.1994>
- Brooks, B.W. & Barnum, D.A. (1984). Characterization of strains of *Corynebacterium bovis*. *Canadian Journal of Comparative Medicine: Revue Canadienne de Medecine Compare* 48(2): 230–232. pmid:6722650.
- Brown, J.S., Gilliland, S.M., Ruiz, A.J. & Holden, D.W. (2002). Characterization of pit, a *Streptococcus pneumoniae* iron uptake ABC transporter. *Infection and immunity*, 70: 4389-4398.
- Cheleuitte, N.C., Gulvik, C.A., McQuiston, J.R., Humrighouse, B.W., Bell, M.E., Villarma, A., Fischetti, V.A., Westblade, L.F. & Lipman, N.S. (2018). Genotypic differences between strains of the opportunistic pathogen *Corynebacterium bovis* isolated from humans, cows, and rodents. *PLoS One*. Dec 26; 13(12):e0209231.



- Dangel, A., Berger, A., Konrad, R. & Sing, A. (2019). NGS-based phylogeny of diphtheria-related pathogenicity factors in different *Corynebacterium* spp. implies species-specific virulence transmission. *BMC Microbiology*, 19(1).
DOI:10.1186/s12866-019-1402-1
- Gal-Mor, O. & Finlay, B.B. (2006). Pathogenicity islands: a molecular toolbox for bacterial virulence. *Cellular microbiology*, 8(11), 1707–1719.
DOI: 10.1111/j.1462-5822.2006.00794.x
- Guimarães, L., Soares, S., Trost, E., Blom, J., Ramos, R., Silva, A., Barh, D. & Azevedo, V. (2015). Genome informatics and vaccine targets in *Corynebacterium urealyticum* using two whole genomes, comparative genomics, and reverse vaccinology. *BMC genomics*, 16 Suppl 5(Suppl 5), S7.
<https://doi.org/10.1186/1471-2164-16-S5-S7>
- Hacker, E., Antunes, C.A., Mattos G, A.L., Burkovski, A. & Tauch, A. (2016). *Corynebacterium ulcerans*, an emerging human pathogen. *Future microbiology*, 11, 1191–1208. <https://doi.org/10.2217/fmb-2016-0085>
- Hacker, J., Blum-Oehler, G., Muhldorfer, I. & Tschape, H. (1997). Pathogenicity islands of virulent bacteria: structure, function and impact on microbial evolution. *Molecular microbiology*, 23(6), 1089–1097. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.1997.3101672.x>
- Hacker, J. & Kaper, J. B. (2000). Pathogenicity Islands and the Evolution of Microbes. *Annual review of microbiology*, 54, 641–679.
<https://doi.org/10.1146/annurev.micro.54.1.641>
- Ibraim, I. C., Parise, M. T. D., Parise, D., Sfeir, M. Z. T., de Paula Castro, T. L., Wattam, A. R., Ghosh, P., Barh, D., Souza, E. M., Góes-Neto, A., Gomide, A. C. P. & Azevedo, V. (2019) Transcriptome profile of *Corynebacterium pseudotuberculosis* in response to iron limitation. *BMC genomics*, 20(1), 663.
<https://doi.org/10.1186/s12864-019-6018-1>
- Ibtehaz, N., Ahmed, I., Ahmed, M. S., Rahman, M. S., Azad, R. K., & Bayzid, M. S. (2021). SSG-LUGIA: Single Sequence based Genome Level. Unsupervised Genomic Island Prediction Algorithm. *Briefings in bioinformatics*, 22(6), bbab116.
<https://doi.org/10.1093/bib/bbab116>
- Khamis, A., Raoult, D. & La Scola, B. (2005). Comparison between rpoB and 16S rRNA gene sequencing for molecular identification of 168 clinical isolates of *Corynebacterium*. *Journal of Clinical Microbiology*, 43(4), 1934–1936.
<https://doi.org/10.1128/JCM.43.4.1934-1936.2005>
- Kalinowski, J., Bathe, B., Bartels, D., Bischoff, N., Bott, M., Burkovski, A., Dusch, N., Eggeling, L., Eikmanns, B. J., Gaigalat, L., Goesmann, A., Hartmann, M., Huthmacher, K., Krämer, R., Linke, B., McHardy, A. C., Meyer, F., Möckel, B.,



- Pfefferle, W., Pühler, A., Tauch, A. (2003). The complete *Corynebacterium glutamicum* ATCC 13032 genome sequence and its impact on the production of L-aspartate-derived amino acids and vitamins. *Journal of biotechnology*, 104(1-3), 5–25. [https://doi.org/10.1016/s0168-1656\(03\)00154-8](https://doi.org/10.1016/s0168-1656(03)00154-8)
- Lawrence J. G. (2005). Horizontal and vertical gene transfer: the life history of pathogens. *Contributions to microbiology*, 12, 255–271. <https://doi.org/10.1159/000081699>
- Moore, L.S.P., Leslie, A., Meltzer, M., Sandison, A., Efstratiou, A. & Sriskandan, S., (2015). *Corynebacterium ulcerans* cutaneous diphtheria. *The Lancet. Infectious diseases* 15(9), 1100–1107. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(15\)00225-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(15)00225-X)
- Naka, H., Liu, M., Actis, L.A. & Crosa, J.H. (2013). Plasmid- and chromosome-encoded siderophore anguibactin systems found in marine vibrios: biosynthesis, transport and evolution. *Biometals: an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine*, 26(4), 537–547. <https://doi.org/10.1007/s10534-013-9629-z>
- Ridley, C. P., Lee, H. Y. & Khosla, C. (2008). Evolution of polyketide synthases in bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(12), 4595–4600. <https://doi.org/10.1073/pnas.0710107105>
- Saunderson, S. C., Nouioui, I., Midwinter, A. C., Wilkinson, D. A., Young, M. J., McInnes, K. M., Watts, J. & Sangal, V. (2021). Phylogenomic Characterization of a Novel *Corynebacterium* Species Associated with Fatal Diphtheritic Stomatitis in Endangered Yellow-Eyed Penguins. *mSystems* 6(3), e0032021. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00320-21>
- Schlicher, J., Schmitt, S., Stevens, M. J. A., Stephan, R. & Ghielmetti, G. (2021). Molecular Characterization of *Corynebacterium pseudotuberculosis* Isolated over a 15-Year Period in Switzerland. *Veterinary sciences*, 8(8), 151. <https://doi.org/10.3390/vetsci8080151>
- Shadnezhad, A., Naegeli, A., & Collin, M. (2016). CP40 from *Corynebacterium pseudotuberculosis* is an endo- β -N-acetylglucosaminidase. *BMC microbiology*, 16(1), 261. <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0884-3>
- Sekizuka, T., Yamamoto, A., Komiya, T., Kenri, T., Takeuchi, F., Shibayama, K., Takahashi, M., Kuroda, M. & Iwaki, M. (2012). *Corynebacterium ulcerans* 0102 carries the gene encoding diphtheria toxin on a prophage different from the *C. diphtheriae* NCTC 13129 prophage. *BMC microbiology*, 12, 72. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-12-72>
- Soares, S. C., Silva, A., Trost, E., Blom, J., Ramos, R., Carneiro, A., Ali, A., Santos, A. R., Pinto, A. C., Diniz, C., Barbosa, E. G., Dorella, F. A., Aburjaile, F., Rocha, F. S., Nascimento, K. K., Guimarães, L. C., Almeida, S., Hassan, S. S., Bakhtiar, S. M.,



- Pereira, U. P., ... Azevedo, V. (2013). The pan-genome of the animal pathogen *Corynebacterium pseudotuberculosis* reveals differences in genome plasticity between the biovar ovis and equi strains. *PloS one*, 8(1), e53818. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053818>
- Soares, S. C., Dorella, F. A., Pacheco, L. G., Hirata, R., Jr, Mattos-Guaraldi, A. L., Azevedo, V., & Miyoshi, A. (2011). Plasticity of *Corynebacterium diphtheriae* pathogenicity islands revealed by PCR. *Genetics and molecular research: GMR*, 10(2), 1290–1294. <https://doi.org/10.4238/vol10-2gmr1211>
- Soriano, F., & Tauch, A. (2008). Microbiological and clinical features of *Corynebacterium urealyticum*: urinary tract stones and genomics as the Rosetta Stone. *Clinical microbiology and infection: the official publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 14(7), 632–643. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2008.02023.x>
- Viana, M. V. C., Figueiredo, H., Ramos, R., Guimarães, L. C., Pereira, F. L., Dorella, F. A., Selim, S. A. K., Salaheldean, M., Silva, A., Wattam, A. R. & Azevedo, V. (2017). Comparative genomic analysis between *Corynebacterium pseudotuberculosis* strains isolated from buffalo. *PloS one* 12(4), e0176347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176347>
- Zhang, R. & Zhang, C. T. (2005). Genomic islands in the *Corynebacterium efficiens* genome. *Applied and environmental microbiology*, 71(6), 3126–3130. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.6.3126-3130.2005>

**Ecoepidemiología de *Protoparvovirus*
carnívoro tipo 1, su relación con la
parvovirus canina y felina en animales
domésticos, y su impacto en poblaciones
de carnívoros silvestres**

Jael Gómez-Ríos
Lizbeth Mendoza-González
Brenda Sandoval-Martínez
César Pedroza-Roldán
Rogelio Alonso-Morales
Mauricio Realpe-Quintero





Introducción.

Transmisión del *protoparvovirus* carnívoro tipo 1 entre animales domésticos y silvestres: Repercusiones en la dinámica poblacional de fauna endémica

El crecimiento de las poblaciones humanas se ha acompañado del simultáneo aumento de las poblaciones de perros y gatos domésticos como animales de compañía, constituyendo el grupo de carnívoros más abundante en la actualidad. Las razas de cánidos domésticos nativas de los países precolombinos conviven con poblaciones humanas desde hace 10,000 - 8,500 años. Algunas de estas razas fueron chihuahua y xoloitzcuintle en México, y el perro sin pelo de Perú. Por su parte, se contempla que el gato doméstico (*Felis catus*) llegó a América con la conquista como especie invasora exótica.

Actualmente factores demográficos y socioeconómicos hacen que la distribución de caninos y felinos domésticos no se limite sólo a áreas urbanas, sino además a áreas rurales colindantes con ecosistemas naturales donde, en conjunto con la ganadería y otras actividades de carácter antropogénico, favorecen a la dispersión de agentes infecciosos en lo que se conoce como la interfaz entre animales domésticos y silvestres.

Los perros y gatos que se encuentran en zonas donde pueden tener contacto directo con especies de carnívoros silvestres a través de la depredación, competencia por el hábitat y sus recursos o comportamientos de señalización, favorecen la transmisión de enfermedades y la reducción del número de poblaciones de fauna silvestre, dando como resultado un desbalance ecológico en las cadenas tróficas a las que pertenecen.

Algunos de los agentes etiológicos que infectan a animales domésticos pueden transmitirse y causar enfermedad en animales de vida libre debido a la cercana relación filogenética que existe entre especies. El virus de la rabia (RABV), virus de distemper canino (CDV), virus de inmunodeficiencia felina (VIF), virus de leucemia felina (FeLV), y especialmente todas las variantes de virus pertenecientes al género *Protoparvovirus carnívoro tipo-1* (CPPV-1, por sus siglas en inglés), son agentes patógenos generalistas que han sido reportados tanto en animales domésticos como especies silvestres, animales bajo cuidado humano y mascotas no convencionales.

La parvovirus canina es una de las enfermedades de mayor importancia en la actualidad debido a sus altas tasas de mortalidad en animales domésticos. En conjunto con la rabia y el moquillo canino, es la principal amenaza a la salud de las mascotas y especies de carnívoros silvestres a nivel mundial.



Con base en la información existente es difícil de asignar entre las especies silvestres o domésticas cuál es el origen de esta enfermedad, en su lugar dentro del paradigma de la ecoepidemiología, donde la relevancia de una enfermedad puede conceptualizarse en el contexto de la distribución y abundancia de las poblaciones susceptibles de especies que interactúan dinámicamente, resulta aceptable dejar sin resolver las preguntas básicas sobre el origen y destino de la enfermedad misma, y concentrarse sobre su impacto actual.

Acorde a la Encuesta Nacional de Bienestar Autorreportado (ENBIARE) 2021 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), en México el 69.8 % de los hogares cuenta con algún tipo de mascota. Se estima un total de 80 millones de mascotas, de las cuales, 43.8 millones son identificadas como perros, 16.2 millones son gatos y 20 millones comprende otras especies. El 80% de la población encuestada en México, posee un perro o un gato. El 64% en México tenían perros y el 32% gatos. Con estas cifras se deduce que la falta de concientización y responsabilidad al adquirir mascotas ocasiona que muchos de estos animales terminan vagando por las calles sin tutor; hecho que en los últimos años ha dificultado el control y prevención de enfermedades infecciosas en las que se incluye la parvovirus, puesto que la diseminación en el ambiente se convierte en uno de los factores principales para la persistencia de la enfermedad.

Antecedentes de la parvovirus canina en carnívoros domésticos

Algunos de los agentes del género *Protoparvovirus* que se consideran de importancia veterinaria son: el virus diminuto del ratón (MVM), virus de la panleucopenia felina (FPV, por sus siglas en inglés), parvovirus porcino (PPV) y parvovirus canino (CPV2); este último se destaca por su capacidad de infectar distintos miembros del orden *Carnívora*, se presume que surgió a partir de una variante del FPV, creando pandemias entre cánidos como coyotes, lobos y perros.

Previo a la identificación del virus que afectan a especies domésticas, se había reportado uno similar en la rata Kilham, aislada en 1959, como el primer miembro de los parvovirus como agentes infecciosos. Conjuntamente con el FPV causante de panleucopenia en félidos, el virus de la enteritis de ratones, y el agente causal de fallo reproductivo en cerdos, se reunieron estos primeros agentes infecciosos dentro de la familia *Parvoviridae*. En 2014 el comité internacional de taxonomía de virus definió (ICTV, por sus siglas en inglés) el género *Protoparvovirus*, para contener a agentes infecciosos similares que afectan varias especies de carnívoros y comparten características genéticas semejantes. Para designar a las variantes genéticas que se han estudiado en mascotas caninas se utiliza comúnmente una nomenclatura simplificada del agente causal de parvovirus canina (ver más adelante).



Los agentes de la familia *Parvoviridae* tienen una amplia gama de hospederos, las enfermedades causadas por *Protoparvovirus* varían en gravedad, puede presentarse como infección subclínica hasta una enfermedad grave y letal. La presentación clínica dependerá del agente y el estado del hospedero, como su edad, estado inmunológico y otras condiciones que afecten su salud.

Historia del agente causal de la parvovirus

Panleucopenia felina

Entre los años 1920-1930 se reportaron casos de enteritis infecciosa en gatos y mapaches con altos índices de mortalidad. El agente causal se identificó en el año 1928 en Francia, fue la primera enfermedad que afecta a los felinos de la cual se logró reconocer al agente etiológico (FPV). En 1957 se aisló por primera ocasión en cultivo celular, posteriormente se logró aislar en células de leopardo, y también se obtuvieron aislamientos de gatos que fueron utilizadas para realizar pases en cultivo celular con el propósito de obtener cepas atenuadas para la elaboración de vacunas. Se tiene la teoría que el FPV pudo ser el precursor del Parvovirus Canino CPV2.

Actualmente se reconoce a la panleucopenia felina como una enfermedad altamente contagiosa en gatos domésticos y silvestres; presentándose de forma subclínica y clínica, caracterizada por fiebre, vómito, diarrea, deshidratación y anorexia. En gatos menores de 2 meses puede presentarse de forma hiperaguda provocando la muerte súbita por shock séptico y falla multiorgánica asociada. Gracias a la vacunación su prevalencia ha disminuido en muchos países. Sin embargo, continúan reportándose brotes fatales de gran importancia en centros de rescate debido a la sobrepoblación típica de estos lugares. Se estima que del 90% a 95% de los casos es causado por FPV, mientras que menos del 10% es causado por variantes de CPV2.

Parvovirus Canino

En 1967 se descubrió el virus diminuto de los caninos, conocido como el único parvovirus canino (CPV) a partir de muestras fecales de cánidos domésticos sin signos clínicos (no patógeno). Posteriormente se describió al CPV2 aislado por primera vez en 1978, identificado como el agente causal de una enfermedad caracterizada por provocar vómitos y diarrea en cánidos jóvenes y miocarditis en cachorros recién nacidos.

El CPV2 está estrechamente relacionado con distintos parvovirus que afectan a carnívoros, como el FPV, el virus de la enteritis del visón (MeV, por sus siglas en inglés), el parvovirus del mapache, entre otros. Fue descubierto simultáneamente en Europa, Norte América y Australia, se contempla que se extendió en todo el mundo en un año. Existen distintas teorías acerca de su origen, la mayormente aceptada es la que establece



que se derivó del FPV, no obstante, algunas otras indican que pudo derivar de otros agentes virales estrechamente relacionados con este que infectan a otras especies.

A finales de 1980 fue reportada una variante genética del CPV2, esta presentó cinco sustituciones no-sinónimas en el gen que codifica la nucleocápside viral, permitiendo que la gama de hospederos del agente se extendiera. Obteniendo la capacidad de infectar a gatos domésticos, a esta variante se le denominó CPV2a, se contempla que todas las variantes que circulan actualmente son descendientes de esta, permitiendo así la extensión de su rango de especies hospederas. Aunque el FPV y el CPV2 comparten una similitud en su secuencia de ADN de hasta el 98% se diferencian en sus distintas gamas de hospederos y su antigenicidad.

Fisiopatología de la enfermedad

El *Protoparvovirus carnívoro-1* y el CPV2 y el FPV causan enfermedades graves en animales domésticos como perros y gatos respectivamente. La aparición de la infección se puede dar en los primeros 7 días después del contacto oro-nasal de forma directa o indirecta con heces de perros infectados o fómites debido a la resistencia en el ambiente del patógeno. Este es capaz de infectar a cachorros en sus primeros días de vida sin protección inmunológica o falla de la misma, también en animales que se encuentran inmunocomprometidos a una edad más avanzada, e incluso por contagio transplacentario en casos donde la madre resulta infectada.

Tanto CPV2 como FPV tienen tropismo por las células mitóticamente activas, que se encuentran en fase S (Síntesis de ADN). Una particularidad de estos agentes es que en hospederos recién nacidos, se replican en una mayor variedad de tejidos, por ejemplo, la infección por FPV del epitelio germinal del cerebelo puede producir hipoplasia cerebelar. Por su parte, CPV puede infectar el corazón de los cachorros neonatos, produciendo miocarditis.

Parvovirus Canino

La fisiopatología de esta enfermedad dependerá de la variante viral y la edad del hospedero; además, en vista de que el CPV requiere células en continua división mitótica para replicarse, los animales jóvenes son altamente susceptibles. La infección inicia cuando el virus se une al receptor de transferrina tipo 1 (TfR1) ubicado en la superficie de las células que están activamente requiriendo cofactores y nutrientes para su replicación, posteriormente penetra la membrana celular mediante endocitosis mediada por receptor. Esta capacidad de infectar tejidos replicativos como sitios de replicación, además del tejido linfoide de la orofaringe y los ganglios linfáticos mesentéricos que también se dividen activamente, hacen que al agente se le considere linfotrópico.

Luego del ingreso al organismo vía oronasal, y al inicio de la replicación viral en el tejido linfoide, la diseminación a otros sistemas sigue vía hematógena. Posteriormente se



afecta el tubo gastrointestinal por infiltración de leucocitos, necrosis en placas de peyer, y esto causa disminución de linfocitos circulantes (linfopenia). Los ganglios mesentéricos y el bazo también son sitios de replicación viral por ser tejidos en constante recambio celular. La migración de leucocitos hacia el epitelio germinal ocasiona dilatación y necrosis de las criptas del intestino delgado con atenuación de las células restantes, también se observa atrofia de vellosidades e inclusiones intranucleares en las criptas. El agotamiento de los linfocitos de la corteza tímica se produce en perros jóvenes.

Como resultado de la destrucción de la mucosa, se genera diarrea sanguinolenta característica de la enfermedad, la signología de la enfermedad se presenta después del periodo de incubación que oscila entre 3-7 días post-infección. En el caso de afectar fetos en desarrollo que resultan infectados, el virus causa daño tisular, que ocasiona alteraciones en el desarrollo posterior. Los animales infectados eliminan partículas infectantes por vía fecal, la eliminación suele darse durante dos semanas. Su amplia diseminación se atribuye a la resistencia del agente al medio ambiente.

Panleucopenia felina

El FPV causa una enfermedad de curso rápido, se caracteriza por ser altamente contagiosa y con tasas de mortalidad elevadas. Se conoce por ser un patógeno que afecta a todos los miembros de la familia *Felidae*, y a algunos otros de las familias *Procyonidae*, *Mustelidae* y *Viverridae*. No obstante, aunque se conocen las manifestaciones clínicas en los felinos, son pocas las especies de otras familias que desarrollan la enfermedad, entre ellas se reconoce al mapache (*Procyon lotor*), visón (*Neovison vison*) y coatí (*Nasua nasua*).

Este agente, al igual que CPV2 se replica en células de alta actividad mitótica; ingresa en las células de la lámina propia de la orofaringe y los nódulos linfáticos mesentéricos entre el primer y el tercer día post inoculación, diseminándose por vía sanguínea al resto del organismo. La viremia provoca la destrucción de leucocitos generando el agotamiento de precursores en la médula ósea, en células no infectadas puede generar citotoxicidad por la liberación de citoquinas inducidas por el virus, esto causa leucopenia y se complica una vez se involucra al tracto intestinal.

Con la diseminación, el agente exhibe afinidad por células de las criptas del colon entre el tercer y quinto día de infección, mismas que funcionan como reposición a células del epitelio de la mucosa intestinal, ocasionando el agotamiento de las vellosidades que conlleva alta permeabilidad intestinal e irregularidad osmótica, generando diarrea.

La replicación también se da en células renales. En las células infectadas es posible identificar cuerpos de inclusión intranucleares que se convierten en lesiones características de esta enfermedad. Finalmente, el virus se elimina por todas las vías de excreción que incluyen la saliva, la orina, las heces y el vómito. En fase pre o neonatal



se replica en tejido linfoide, médula ósea y sistema nervioso central (SNC); en el caso de infectar a una hembra en gestación puede transmitir la infección vía transplacentaria, ocasionando así productos momificados, reabsorción fetal o posibles abortos.

Medidas de prevención y control

Debido a la complejidad de la fisiopatología, la persistencia del agente y a la dificultad que ha representado el control de la enfermedad causada por CPPV-1, las medidas profilácticas se convierten en la necesidad más significativa para evitar la diseminación, por lo tanto, la correcta asignación de estos mismos protocolos en los que se incluye la desinfección, la cuarentena de animales nuevos en sitios donde se mantienen animales infectados y el completo esquema de vacunación de los mismos son los métodos en que son de vital importancia para evitar su propagación.

Agentes infecciosos pertenecientes a CPPV-1 pueden excretarse hasta 46 días durante la infección en animales jóvenes, lo que propicia a la constante persistencia de este agente infeccioso en el ambiente. Estos virus no envueltos pueden resistir hasta 7 horas a 80°C, hasta 72 horas a 56°C, 2 semanas a 37°C, e incluso puede persistir durante más de 6 meses a temperatura ambiente. Aún con protocolos de desinfección exhaustivos esto explica lo complejo del control de esta enfermedad. El virus es resistente a muchos desinfectantes y es sensible a β -propiolactona, formalina, hidroxilamina, agentes oxidantes, aldehídos, hidróxido de sodio y halógenos. Dentro de estos últimos, el hipoclorito de sodio es el más utilizado en áreas de atención a animales domésticos y lugares donde se alojan animales, por su sencillo manejo, fácil acceso y su amplio espectro para la inactivación de distintos agentes infecciosos.

En América Latina no se cuenta con las mismas herramientas para llevar a cabo protocolos de inmunización para prevención de enfermedades virales, como en países europeos y Estados Unidos. Además de que la enfermedad sigue circulando en estas regiones, las directrices actuales de vacunación global establecidas fueron diseñadas para zonas de mayor desarrollo económico y por tanto su cumplimiento en Latinoamérica continúa siendo un reto.

Una de las principales medidas de prevención para la transmisión de enfermedades entre animales domésticos y silvestres es la vacunación, así como lo ha sido entre especies de compañía y aquellas destinadas al consumo humano. En fauna silvestre, sin embargo, esto representa un gran reto debido a diferentes factores, propios del animal como el manejo, el estrés o su estado de salud; o de factores externos como el tipo de vacuna a administrar y los recursos con los que la institución a cargo de ese ejemplar cuenta.

En la actualidad existen esquemas de vacunación en México que han permitido generar inmunidad en la población de animales domésticos que son susceptibles al parvovirus causantes de panleucopenia felina y parvovirus canina en ambos pasos se



dispone de una vacuna viva atenuada y una inactiva (muerta), sin embargo, la persistencia del virus en el ambiente, los distintos esquemas de vacunación que en ocasiones son ineficientes a causa de no conocer el estado inmunológico de los animales (persistencia de anticuerpos maternos) o los períodos entre una vacunación y otra, ha propiciado que los animales sigan siendo infectados, por lo tanto se debe tomar en consideración que depende del estado de cada cachorro, es posible que el inicio temprano de la vacunación, el refuerzo de inmunidad con revacunación más frecuente y la vacunación final en un periodo de tiempo más prolongado pueden ayudar a reducir el riesgo de infección por CPV.

En México los biológicos que son utilizados en la vacunación para prevenir la parvovirus con frecuencia son multivalentes, en los que se incluyen otros patógenos como CDV, Coronavirus canino, adenovirus de caninos, *Leptospira*, como formulaciones atenuadas; y el Virus de la Rabia en formulaciones inactivadas. La mayoría de las vacunas contienen CPV2 y solo algunas de ellas tienen CPV2b y se ha planteado la cuestión sobre si éstas proporcionan una protección cruzada adecuada contra las nuevas variantes de virus (específicamente CPV2c en regiones como México). Hay numerosos estudios que demuestran que sí se produce esa protección cruzada, y que todas las vacunas actuales contra el CPV siguen siendo eficaces en campo, sin embargo, los reportes de fallas vacunales son cada vez más frecuentes y no existen programas de vigilancia epidemiológica para valorar la eficacia en campo de esas vacunas.

En el mercado también existen vacunas monovalentes, mismas que poseen altos títulos de virus (107 DICT50) y se han recomendado para ser utilizados como primera vacunación en perros de 6 semanas de edad, puesto que en previos estudios han registrado que a esa edad del total de cachorros inoculados al menos el 60% seroconvirtieron en los que se incluyen también cachorros de 8 semanas de edad con un refuerzo a las 12 semanas, por otra parte el 10% de esos cachorros no seroconvirtieron, lo que refleja que debido a que persistieron los niveles de anticuerpos maternos, la inmunización no fue efectiva, por otra parte una razón más a la que se le puede atribuir el fracaso vacunal es a que los cachorros ya están infectados y se encuentran incubando el virus, esto confirma que son factores muy importantes para que estos animales aun con un esquema de inmunización sean infectados y presenten enfermedad.

Al contrario de la vacunación, los protocolos de manejo clínico para la gastroenteritis viral por parvovirus en ejemplares de fauna pueden ser comunes. Los tratamientos terapéuticos e intervenciones empleadas en clínicas, centros de rescate y colecciones zoológicas se ha reportado que coinciden extrapolando el resultado farmacológico entre especies domésticas y fauna silvestre. La presentación clínica, la especie en cuestión y los recursos disponibles, determinarán la composición del tratamiento a administrar, sin embargo, se debe cubrir lo esencial en cuanto al abordaje



terapéutico. Primordialmente, la administración de fármacos tendrá la finalidad de tratar la signología clínica relacionada a la gastroenteritis, así como el evitar una posible sepsis debido a la translocación bacteriana durante el periodo de inmunosupresión. Aunado al uso de antibióticos y terapia de fluidos, es importante considerar la administración de fármacos analgésicos, antieméticos y antiinflamatorios.

Animales de vida silvestre como reservorios de la infección

Los animales de compañía (perros y gatos), se consideran los reservorios principales de CPPV-1 debido a su alta seroprevalencia en animales ferales y aquellos que son ingresados en centros de rescate y control animal, especialmente en zonas donde se da la interacción con especies silvestres, de esta manera, contribuyen a la reducción de las poblaciones de carnívoros silvestres como el lobo (*Canis lupus*) o la tasa de mortalidad anual de los perros salvajes africanos (*Lycaon pictus*). Sin embargo, especies generalistas como el mapache (*Procyon lotor*), se han considerado reservorios de CPPV-1 durante brotes de enteritis viral en visones (MEV por sus siglas en inglés, incluido en CPPV-1) en ranchos productores en Utah, destacando la ausencia de signología y contagio hacia congéneres. No obstante, en Europa, las variantes de CPPV-1 se consideran endémicas entre las poblaciones de fauna silvestre, contrastando con países del continente americano donde la interacción de animales de compañía y no domésticos hace que la dinámica del agente etiológico y su evolución sean complejos.

La documentación de signología en animales silvestres puede ser compleja debido a múltiples factores como la variedad de especies de carnívoros y lo poco accesible que puede ser observar el curso de la enfermedad, seguido de agentes etiológicos relacionados a la eliminación de las crías por parte de las madres posterior a la muerte. La mayoría de los antecedentes referentes a la variabilidad de la signología provienen de reportes de casos en animales bajo cuidado humano en zoológicos, unidades de rescate y granjas productoras de pieles.

La patogenicidad de los parvovirus en fauna silvestre es variable, debido a que puede presentarse desde su forma subclínica, hasta la signología que también se observa en especies domésticas, caracterizada por diarreas severas, enteritis y gastroenteritis. Los factores propios del hospedero como la edad, estado inmunitario y genética, así como la cepa viral en cuestión influyen directamente en el cuadro clínico que se presente. Al igual que en los animales de compañía, las crías de animales silvestres son las más susceptibles a la infección, aumentando su índice de morbilidad y mortalidad.

Los antecedentes sobre las diferencias en la presentación clínica que cualquier variante del género CPPV-1 pueda causar en diversas especies de carnívoros silvestres no se documentan de forma específica, sin embargo, se puede conocer el rango de hospederos que este grupo de virus puede alcanzar. Se han reportado casos de infección



por FPV desde 1930 en félidos silvestres como el tigrillo (*Leopardus tigrinus*), gato dorado africano (*Caracal aurata*), gato de cabeza plana (*Prionailurus planiceps*), gato jaspeado (*Pardofelis marmorata*), ocelote (*Leopardus pardalis*), caracal (*Caracal caracal*) y leopardo africano (*Panthera pardus*). Desde entonces se han hecho reportes en otras especies como el visón americano (*Mustela vison*), nutria de río de Norteamérica (*Lontra canadensis*), zorrillo rayado (*Mephitis mephitis*), mapache (*Procyon lotor*), zorro ártico (*Vulpes lagopus*) lobo gris (*C. lupus*), coyote (*Canis latrans*), dingo (*Canis lupus dingo*), tanuki (*Nyctereutes procyonoides*), zorro rojo (*Vulpes vulpes*), guepardo (*Acinonyx jubatus*), tigre siberiano (*Panthera tigris altaica*) garduña (*Martes foina*) y zorro orejudo (*Otocyon megalotis*).

Diversidad de agentes causales de parvovirus en carnívoros

El *Protoparvovirus carnívoro-1* (CPPV-1), según el comité internacional de taxonomía de virus (ICTV), se clasifica dentro del género *Protoparvovirus* de la familia *Parvoviridae*. Las especies enlistadas en la tabla 1 se abrevian colectivamente en esta revisión como CPPV-1 (Protoparvovirus de carnívoros, incluyendo a CPV2 de caninos domésticos). Los virus del género *Protoparvovirus* comparten tener cápsides proteicas sin envoltura, tamaños 23–28 nm de diámetro, y un eje de simetría icosaédrica con T=1 y 5 costados conformados por cilindros regulares de las proteínas de la cápside VP1 y VP2. A la proteína VP2 se le remueven 25 residuos aminoácidos en el ambiente extracelular para formar la proteína VP3, la cual permanece asociada al virión, y con este cambio se activan eventos de entrada del virus a su célula hospedera.

Descripción del genoma del CPPV-1

Los agentes del género CPPV-1 tienen un genoma de ADN lineal, monocatenario sentido negativo, conformado por aproximadamente 5,200 nucleótidos. Contiene dos marcos de lectura abiertos principales (ORF), el primero codifica dos proteínas no estructurales (NS), NS1 y NS2, mientras que el segundo codifica dos proteínas estructurales, VP1 y VP2 generadas mediante empalme alternado de los ARN mensajeros, debido a que la secuencia de la VP2 está completamente contenida dentro de la VP1. Cada extremo del genoma cuenta con secuencias palindrómicas en forma de horquilla, de alta relevancia para la encapsidación/inserción del genoma viral al término del ciclo replicativo (Figura 1).

Las proteínas NS1 y NS2 desempeñan un papel importante en la replicación viral, empacamiento del ADN, citotoxicidad y patogenicidad. Por su parte, la proteína VP2 representa el 90% de la cápside viral, destaca por sus características y funciones, como su capacidad de autoensamblarse para producir partículas similares a virus, ser un determinante antigénico importante y además desempeñar un papel fundamental en la



determinación del tropismo del tejido viral y el rango de hospederos, pocos cambios en su secuencia de aminoácidos son la causa de relevantes cambios biológicos de las variantes virales.

CPV2 exhibe variación genética continua, sus principales variantes genéticas reconocidas actualmente son: CPV2a, CPV2b y CPV2c. Las sustituciones aminoacídicas en residuos específicos de la proteína VP2 son la base para clasificar sus variantes virales.

Tabla 1. Algunas especies del género *Protoparvovirus* que afectan hospederos carnívoros.

Género	Especie	Hospedero
<i>Protoparvovirus</i>	<i>Protoparvovirus carnivoran 1</i>	Cánidos domésticos (equivalente a CPV2) Félidos (FPV) Visones (MeV) Mapache (RPV)
	<i>Protoparvovirus carnivoran 2</i>	Nutrias marinas
	<i>Protoparvovirus carnivoran 3</i>	Cánidos (relacionado con Bufavirus de primates)
	<i>Protoparvovirus carnivoran 4</i>	Zorros
	<i>Protoparvovirus carnivoran 5</i>	Zorros, Caninos

Regiones génicas para caracterización de *Protoparvovirus*

Estudios moleculares retrospectivos han determinado los polimorfismos que caracterizan cada una de las variantes de CPPV-1 que han circulado en animales domésticos y estos se resumen en la Tabla 2.

Las variantes de CPV2a, b y c se clasifican con base al análisis molecular del residuo 426 de la proteína VP2. Se incluyen códigos de una sola letra para los residuos aminoacídicos. K = Lisina, R = Arginina, M = Metionina, L = Leucina, N = Asparagina, S = Serina, A = Alanina, G = Glicina, D = Ácido aspártico, Y = Tirosina, I = Isoleucina, V = Valina.

Los cambios en los residuos aminoacídicos 93, 300 y 323 de VP2 se asocian con



el control del rango de hospederos cánidos y félidos. Esto se ha manifestado con cambios en la estructura de la cápside que permiten una mayor o menor avidéz por el receptor TfR1 de las células. El FPV presenta cambios principalmente a nivel del residuo 300 que sólo permite una unión estrecha con el receptor de las células de felinos y no de cánidos.

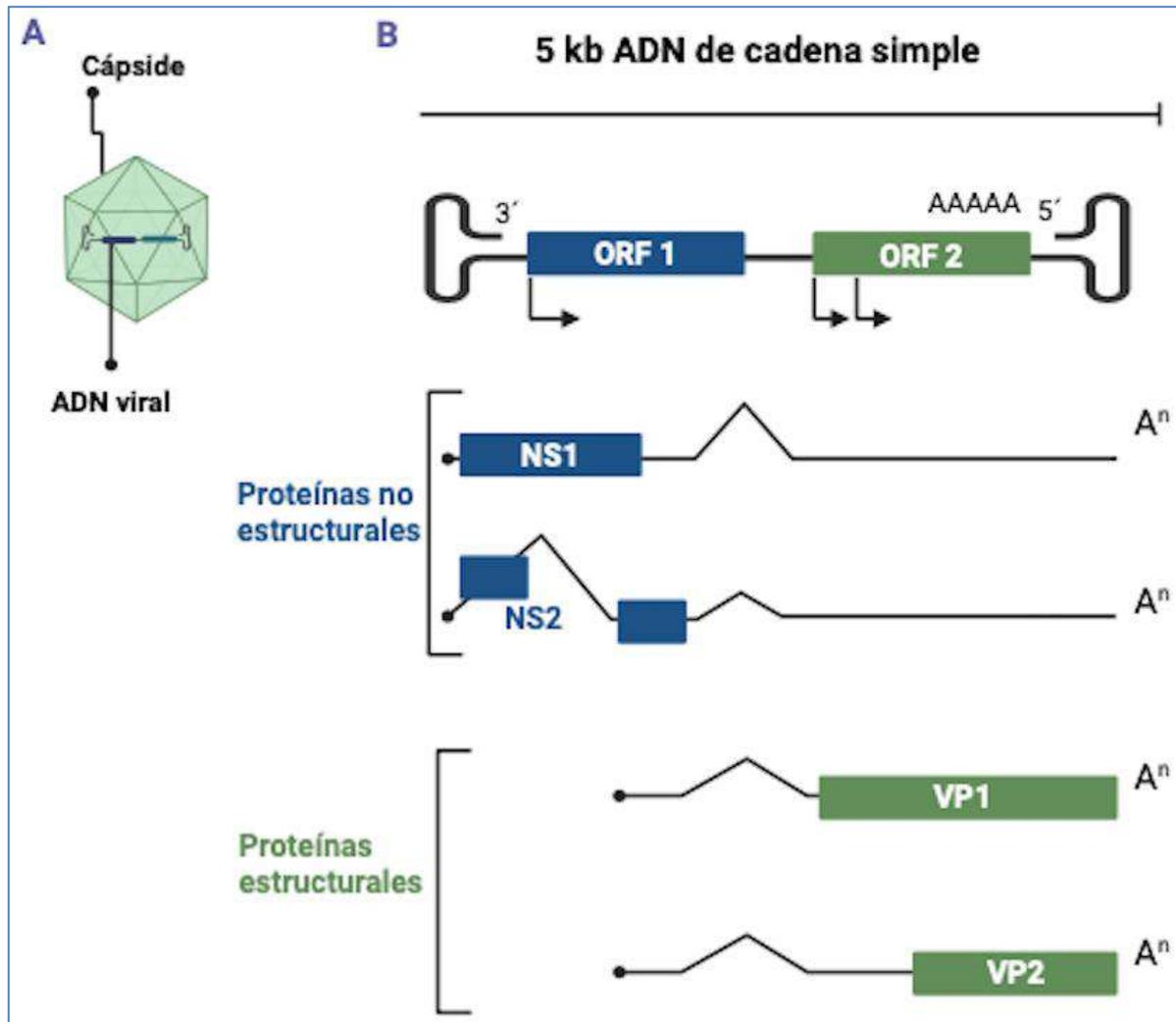


Figura 1. Descripción simplificada del CPPV-1. A). Ilustración de la cápside conteniendo el genoma codificado en colores para representar cada uno de los genes. B) Esquema del genoma y expresión de los genes. ORF = Open Reading Frame (Marco de lectura abierto). NS = Non Structural protein (Proteína no estructural). VP = Viral Protein (Proteína estructural, hace parte de la estructura infecciosa del virus). (Creada con BioRender.com. Modificada de: Capozza *et al.*, 2023)



Los polimorfismos se ubican en proteína de la cápside VP2 debido a su función en la determinación del rango de hospederos y su tasa de mutación, por esto es la proteína que mayormente se analiza para caracterización molecular de CPV y FPV. En contraste, las proteínas NS1 y NS2 tienen su importancia en la replicación viral, empacamiento del ADN, citotoxicidad y patogenicidad.

Tabla 2. Polimorfismos en la secuencia de la proteína VP2 para diferenciar variantes de FPV y CPV.

Agente	Polimorfismos									
FPV	80K	87M	93K	297S	300A	305D	323D	426N	555V	564N
CPV2	K80R	87M	K93N	297S	300A	305D	D323N	426N	555V	N564S
CPV2a	80R	M87L	93N	297S	A300G	D305Y	323N	426N	V555I	564S
CPV2b	80R	87L	93N	297S	300G	305Y	323N	N426D	I555V	564S
CPV2c(a)	80R	L87M	93N	S297A	G300D	305Y	323N	D426N	555V	564S
CPV2c(b)	80R	M87L	93N	297A	300D	305Y	323N	N426D	V555I	564S

Epidemiología de protoparvovirus en carnívoros

En México únicamente se han realizado dos reportes de circulación de CPPV-1 en especies silvestres. El primero se realizó en el centro de México, encontraron evidencia serológica de circulación de CPPV-1 en distintos mamíferos silvestres y gatos ferales; un hallazgo interesante de este estudio es que se detectaron anticuerpos en todos los cacomixtles (*Bassariscus astutus*) y gatos ferales (*Felis catus*). El segundo estudio se realizó con fauna que habitaba en la reserva de la biosfera de Janos en Chihuahua, en este se reportó la circulación de parvovirus por medio de la detección de anticuerpos específicos en 33 muestras de un grupo de 65 sueros obtenidos de las distintas especies muestreadas, para una frecuencia de positividad de 50,7%. Adicionalmente, 18 muestras de animales domésticos que compartían hábitat con los silvestres mostraron 100% de seropositividad y permitieron detectar y determinar genéticamente que la variante de CPPV-1 infectante fue CPV2. Las secuencias de 19 muestras permitieron subclasificar esta variante como CPV2-a en una muestra de zorrilla del desierto (*Vulpes macrotis*) y las restantes fueron CPV2c. La diferenciación se realizó con base en el polimorfismo 426N como se muestra en la tabla 2.



Son escasos los estudios que plantean la identificación de patógenos de importancia en fauna silvestre de México, sin embargo, todos estos concluyen que es de suma importancia la realización de más estudios que incluyan detección y caracterización de agentes virales para comprender la circulación de variantes que pueden afectar tanto a animales domésticos como animales silvestres. Además, se menciona la preocupación acerca de la reducción de los hábitats, ya que en poblaciones más reducidas los patógenos potencialmente podrían exhibir una mayor virulencia y se daría más el contacto con especies exóticas e invasoras.

Las problemáticas que más se destacan entre los estudios de detección de agentes que pueden infectar animales de compañía y especies silvestres es el contacto estrecho que existe entre estas sin restricciones, estudios que incluyen la caracterización molecular de agentes han permitido detectar las variantes de virus que afectan a cánidos y félidos domésticos en diversas especies no domésticas, por lo que algunos países optan por la realización de programas de vigilancia para preservar especies, que además permiten la identificación de cuáles de estas pueden estar cumpliendo la función de reservorio en sus ecosistemas.

La distribución y abundancia de los agentes infecciosos causantes de enteritis y/o signología sugerente de parvovirus, se ha investigado abundantemente en mascotas. En especies de vida silvestre existen reportes provenientes de varios países de América, principalmente Estados Unidos, Brasil y Chile. Diferencias en distribución geográfica y patrones temporales de variación vertical no se han reportado debido a que los últimos años la investigación se ha concentrado en reportar la circulación de variantes virales en distintas especies. En la figura 2. Se describen algunos de los hallazgos de mayor importancia en investigaciones de CPPV-1 circulando en fauna silvestre de América.

Uno de los hallazgos más relevantes de uno de estos estudios fue la detección de CPV2b en muestras fecales de coatíes (*Nasua nasua*) aparentemente asintomáticos en una reserva brasileña. Indicio de que esta especie podría considerarse reservorio del agente permitiendo la transmisión entre fauna doméstica y silvestre en distintos países de América.

Variedad de especies del orden *Carnívora* en México

Con base en información compilada por el gobierno de México respecto a biodiversidad animal dentro del orden *Carnívora*, se incluyen 245 especies terrestres, agrupadas en 107 géneros y 13 familias. En México se conoce la existencia de las especies mencionadas en 6 familias de la Tabla 3.

Variabilidad clínica de la enfermedad

Las enfermedades causadas por los distintos parvovirus que genética y antigénicamente



mantienen un vínculo estrecho, han sido bien descritas por su aparición en animales domésticos. Sin embargo, la presentación clínica en animales de vida silvestre actualmente se destaca por el amplio rango de hospederos y las diferencias clínicas que puedan exhibir.

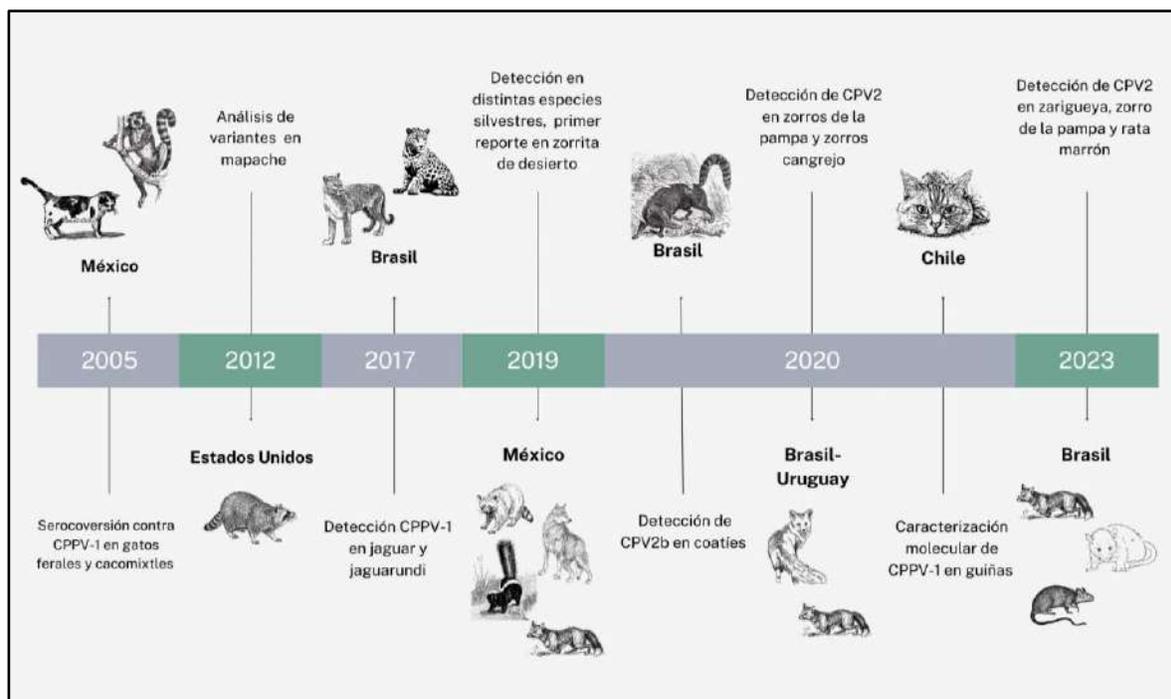


Figura 2. Principales reportes de detección de CPPV-1 en fauna silvestre de América.

Tal es el caso de CPV2 y FPV en el que el rango de hospederos es diverso y se han encontrado diferencias claras entre infecciones *in vitro* e *in vivo*. Se conoce que CPV2 puede replicarse *in vitro* en células caninas y felinas, mientras que *in vivo* únicamente se replica en caninos. En el caso de FPV logra replicarse en células felinas *in vitro* y a su vez en gatos (*in vivo*) sin embargo, no infecta células caninas *in vitro* pero puede infectar *in vivo* únicamente con un espectro tisular.

Las manifestaciones clínicas que se conocen a partir de la infección por CPV2 en perros se relaciona con un cuadro inespecífico compatible con enteritis hemorrágica, que deriva en debilidad, anorexia, depresión, cuadro febril y diarrea con mal olor con variabilidad en aparición mucoide o completamente hemorrágica, con presencia de vómitos y por consecuencia deshidratación severa, sumado a la presencia de leucopenia. Cuando la enfermedad se complica puede ocurrir intususcepción intestinal, presencia de insuficiencia cardíaca congestiva y signos neurológicos, aunque es poco común, implican mal pronóstico. La aparición de esta signología se asocia a cachorros menores a 6 meses, pero en perros adultos que se encuentren inmunocomprometidos pueden



representar alto riesgo. La descripción de enfermedad por *Protoparvovirus* en animales silvestres es escasa, lo que complica identificar diferencias entre la presentación clínica en distintas especies.

Tabla 3. Algunas especies de animales carnívoros reportados en México.

Familia	Especie
<i>Felidae</i>	Jaguar (<i>Panthera onca</i>)
	Puma (<i>Puma concolor</i>)
	Lince rojo (<i>Lynx rufus</i>)
	Margay (<i>Leopardus wiedii</i>)
	Ocelote (<i>Leopardus pardalis</i>)
	Yaguarundi (<i>Herpailurus yagouaroundi</i>)
<i>Canidae</i>	Coyote (<i>Canis latrans</i>)
	Lobo mexicano (<i>Canis lupus baileyi</i>)
	Zorra gris (<i>Urocyon cinereoargenteus</i>)
	Zorrita del desierto (<i>Vulpes macrotis</i>)
<i>Ursidae</i>	Oso pardo (<i>Ursus arctos</i>)
	Oso americano (<i>Ursus americanus</i>)
<i>Mephitidae</i>	Zorrillo listado (<i>Mephitis macroura</i>)
	Mofeta rayada o listada (<i>Mephitis mephitis</i>)
	Zorrillo manchado occidental (<i>Spilogale gracilis</i>)
	Zorrillo manchado común o mofeta moteada oriental (<i>Spilogale</i>)
	Zorrillo pigmeo (<i>Spilogale pygmaea</i>)
	Zorrillo de espalda blanca (<i>Conepatus semistriatus</i>)
<i>Procyonidae</i>	Martucha (<i>Potos flavus</i>)
	Cacomixtle norteño (<i>Bassariscus astutus</i>)
	Coatí (<i>Nasua narica</i>)
	Mapache (<i>Procyon lotor</i>)
	Mapache de cozumel o mapache pigmeo (<i>Procyon pygmaeus</i>)
<i>Mustelidae</i>	Nutria de mar (<i>Enhydra lutris</i>)
	Comadreja (<i>Mustela frenata</i>)
	Cabeza de viejo (<i>Eira barbara</i>)
	Tlalcoyote (<i>Taxidea taxus</i>)
	Grisón mayor (<i>Galictis vittata</i>)



Por otra parte, los parvovirus felinos pueden infectar a perros y gatos domésticos ocasionando enfermedades o en algunos casos pasar como infecciones subclínicas. El FPV ocasiona un cuadro clínico grave muy similar al CPV2 en gatos cachorros y en algunos casos gatos adultos con aparición de leucopenia, debilidad e inapetencia, vocalización, vómitos y diarrea acuosa y/o en casos graves diarrea hemorrágica por enteritis que finalmente ocasiona deshidratación severa, y pérdida de peso. A diferencia de CPV2 con este virus es más común identificar ataxia por hipoplasia cerebelosa en gatos en los primeros días de edad, no obstante, en algunos casos en que la enfermedad cursa por cuadro leve los gatos pueden únicamente padecer anorexia, letargo y leucopenia.

Influencia antropogénica

El crecimiento de la población humana ha ido de la mano con el crecimiento de las poblaciones de sus animales domesticados, incluyendo a las mascotas caninas y felinas. La transmisión de varias enfermedades hacia otras especies, o la introducción de algunas puede deberse a la invasión de hábitats silvestres causada por el crecimiento de los asentamientos humanos, lo que provocó interacciones entre animales domésticos y silvestres que en ecosistemas sin perturbaciones no se presentan, y que expone a las diferentes especies a nuevos patógenos. Adicionalmente, como tendencia cada vez más creciente, se introducen mascotas no convencionales cuyo nivel de domesticación es incipiente y que conlleva el riesgo de intercambio de microorganismos y agentes infecciosos virales que constituyen un reto a la salubridad de los humanos y de sus mascotas domésticas.

Algunas especies no domésticas pueden asociarse a asentamientos humanos y por la abundancia de sus poblaciones dar lugar a hospederos peridomésticos. Estos servirían de puente entre las mascotas convencionales que conviven con humanos y los animales de vida silvestre que habitan áreas alejadas de las ciudades, incidiendo importantemente en la cadena de transmisión de enfermedades incluidas la causada por el *protoparvovirus* de carnívoros. Los tutores de mascotas las pondrían en riesgo cuando los llevan a esos hábitats donde podrían interactuar con las especies generalistas o directamente con especies silvestres.

Otro comportamiento antropogénico que complica el control de la enfermedad causada por CPPV-1 es la tenencia irresponsable. Es común encontrar situaciones donde las mascotas caninas son ofrecidas como regalo hacia nuevos tutores, en ocasiones los receptores no cuentan con las condiciones adecuadas para mantener responsablemente a esas mascotas y deciden dejarlas a su suerte en ambientes usualmente aislados, donde estas mascotas pueden sobrevivir como animales ferales o sucumbir a enfermedad, depredación o factores ambientales. Enfermedades como la



causada por CPPV-1 pueden encontrar en estos hospederos una forma de mantenerse circulando en el ambiente e infectando animales débiles que a su vez sirven como fuente de propagación de estos agentes infecciosos y contaminación de hábitats diversos.

Conclusiones y recomendaciones

La circulación de parvovirus canino CPV2 y sus *protoparvovirus* afines de carnívoros ha sido documentada en múltiples estudios a nivel global, afectando no solo cánidos domésticos si no también un creciente número de especies silvestres. Actualmente el contacto con fauna silvestre se considera un factor de riesgo que debe tomarse en cuenta en las estrategias de prevención y control de esta enfermedad. Existe evidencia de que la enfermedad causada a especies silvestres tiene similitud con la gastroenteritis viral que se ha estudiado en el hospedero canino doméstico; sin embargo, algunas especies son menos susceptibles a la enfermedad, que la infección en estas sea subclínicas, o que sus poblaciones sean tan grandes que pueden constituirse en reservorios de la enfermedad sin llegar a afectar seriamente su supervivencia, como sí podría acontecer con otras especies por estar en riesgo de extinción, o debido a que sus poblaciones están amenazadas por factores ambientales y/o riesgos a la salud.

El flujo de la enfermedad podría tener origen en animales silvestres, la cual implicaría un evento ecológico de dispersión (spillover) hacia animales domésticos, posiblemente estableciéndose como un agente similar al virus de panleucopenia felina, y posteriormente un retorno (spillback) hacia un mayor rango de especies de carnívoros incluyendo algunas especies del suborden *Caniformia*. Es importante considerar estas enfermedades cuando se contemplan programas de conservación de especies amenazadas o en extinción, en ausencia de una caracterización exhaustiva podría sospecharse que el *protoparvovirus* de carnívoros debe ser tenido en cuenta como factor de riesgo a la salud y bienestar de esas poblaciones, existen varios reportes que vinculan estas enfermedades con afectación a poblaciones locales de especies amenazadas.

Aunque genéticamente pueden diferenciarse variantes de los *protoparvovirus*, todos convergen serológicamente debido a la naturaleza poco cambiante de su genoma, esto sugiere de forma preliminar que las vacunas desarrolladas para especies domésticas podrían ser usadas en fauna silvestre. Sin embargo, aún no existen reportes que documenten su eficacia o su uso ampliamente aceptado en algún escenario epidemiológico.

Las vacunas usadas para prevenir la enfermedad causada por CPV2 en mascotas caninas son la mejor estrategia de control de la enfermedad y deberían servir para evitar la diseminación de su agente causal. Sin embargo, la cobertura vacunal no es total en muchas regiones, lo que se considera un factor limitante para la erradicación de la enfermedad. No existen programas oficiales por parte del gobierno para financiar los



esquemas de vacunación, por lo tanto, su costo se considera que seguirá siendo un factor restrictivo para que se logre aumentar la cobertura vacunal hasta incidir significativamente disminución de la incidencia de esta enfermedad en cánidos domésticos, y en minimizar el riesgo de que el agente se mantenga circulando en hospederos silvestres susceptibles.

El escenario de manejo de la enfermedad causada por los *protoparvovirus* de carnívoros se complica cuando se introducen nuevas especies como mascotas. Estas especies no convencionales pueden ser vía de entrada para variantes virales que circulan en fauna silvestre, o constituirse en reservorios pasivos que diseminan la enfermedad hacia hospederos susceptibles. Es menester reconocer que el aumento de esta diversidad de mascotas es un factor más que complica el escenario epidemiológico de prevención y control de la enfermedad asociada.

Referencias

- Aguilar, E. (2019). Diagnóstico de parvovirus en caninos machos y hembras mediante la técnica de ELISA cualitativa y cuantitativa. Tesis para obtener el grado de Médica Veterinaria Zootecnista. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17627>
- Allison, A. B., Harbison, C. E., Pagan, I., Stucker, K. M., Kaelber, J. T., Brown, J. D., Ruder, M. G., Keel, M. K., Dubovi, E. J., Holmes, E. C. & Parrish, C. R. (2012). Role of multiple hosts in the cross-species transmission and emergence of a pandemic Parvovirus. *Journal of Virology*, 86(2), 865–872. <https://doi.org/10.1128/jvi.06187-11>
- Barrs, V. R. (2019). Feline panleukopenia. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*, 49(4), 651–670. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2019.02.006>
- Bertolazzi, S., Paz, F. R., da Silveira, V. P., Prusch, F., Agnes, I., Santana, W. de O., Ikuta, N., Streck, A. F. & Lunge, V. R. (2023). Canine Parvovirus 2 in free-living wild mammals from southern Brazil. *Journal of wildlife diseases*, 59(3). <https://doi.org/10.7589/jwd-d-22-00125>
- Capozza, P., Buonavoglia, A., Pratelli, A., Martella, V. & Decaro, N. (2023). Old and novel Enteric parvoviruses of dogs. *Pathogens*, 12(5), 722. <https://doi.org/10.3390/pathogens12050722>
- Cárdenas, M. P. (2021). Gastroenteritis Compatible con Panleucopenia Viral Felina en Ocelote (*Leopardus pardalis*) del Centro de Recepción de Fauna Silvestre de Bogotá. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA. Colombia.
- Carman, P. S. & Povey, R. C. (1985). Pathogenesis of canine parvovirus-2 in dogs: haematology, serology and virus recovery. *Research in Veterinary Science*, 38(2),



- 134–140. [https://doi.org/10.1016/s0034-5288\(18\)31816-2](https://doi.org/10.1016/s0034-5288(18)31816-2)
- Cavalli, A., Marinaro, M., Desario, C., Corrente, M., Camero, M. & Buonavoglia, C. (2018). In vitro virucidal activity of sodium hypochlorite against canine parvovirus type 2. *Epidemiology and Infection*, 146(15), 2010–2013. <https://doi.org/10.1017/s0950268818002431>
- Chang, A. M. & Chen, C. C. (2021). Molecular characteristics of Carnivore protoparvovirus 1 with high sequence similarity between wild and domestic carnivores in Taiwan. *Pathogens*, 10(6), 671.
- Cornell wildlife health lab. (s.f.). Parvovirus. Recuperado el 3 de mayo de 2024 <https://cwhl.vet.cornell.edu/disease/parvovirus#collapse23>
- Day, M. J. (2010). Ageing, immunosenescence and inflammageing in the dog and cat. *Journal of Comparative Pathology* 142 (Suppl. 1), S60-S69.
- Day, M. J., Crawford, C., Marcondes, M. & Squires, R. A. (2020). Recomendaciones sobre vacunación para los profesionales latinoamericanos de pequeños animales: un informe del Grupo de Directrices de Vacunación de WSAVA [Recommendations on vaccination for Latin American professionals of small animals: a report from the WSAVA vaccination guidelines group]. *Clínica Veterinaria*, 148, 36-91.
- Decaro, N. & Buonavoglia, C. (2012). Parvovirus canino: una revisión de aspectos epidemiológicos y diagnósticos con énfasis en el tipo 2c. *Microbiología veterinaria* 155, 1–12.
- Decaro, N., Desario, C., Campolo, M., Elia, G., Martella, V., Ricci, D., Lorusso, E. & Buonavoglia, C. (2005). Clinical and virological findings in pups naturally infected by canine Parvovirus type 2 Glu-426 mutant. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation: Official Publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc*, 17(2), 133–138. <https://doi.org/10.1177/104063870501700206>
- Díaz, C. A., Correa, J. J. & Vera, V. J. (2008). Aspectos moleculares del virus de la parvovirus canina y sus implicaciones en la enfermedad. *Rev Mex Vet.* (15): 57-65.
- Driscoll, C. A., Menotti-Raymond, M., Roca, A. L., Hupe, K., Johnson, W. E., Geffen, E., Harley, E. H., Delibes, M., Pontier, D., Kitchener, A. C., Yamaguchi, N., O'Brien, S. J. & Macdonald, D. W. (2007). *The Near Eastern origin of cat domestication. Science (New York, N.Y.)*, 317(5837), 519–523. <https://doi.org/10.1126/science.1139518>
- Esquivel, M. & Nieto, N. (2023). Virus de la Panleucopenia Felina en gatos domésticos (*Felis catus*). Análisis sistemático de literatura. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/b4698dca-d066-4819-86c3-b928ddb406d8/content>



- Fiorello, C. V., Deem, S. L., Gompper, M. E. & Dubovi, E. J. (2004). Seroprevalence of pathogens in domestic carnivores on the border of Madidi National Park, Bolivia. *Animal Conservation*, 7(1), 45–54.
<https://doi.org/10.1017/s1367943003001197>
- Flores, R. (1987). Parvovirus canina y aspectos de inmunización. *Ciencia Veterinaria*. 4: 132-153.
- Fuentealba, N. A. & Serena, M. S. (2019). Parvovirus. Patogenicidad microbiana en Medicina Veterinaria. (78-80). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Veterinarias.
- Furtado, M. M., Taniwaki, S. A., de Barros, I. N., Brandão, P. E., Catão-Dias, J. L., Cavalcanti, S., Cullen, L., Filoni, C., Jácomo, A. T. de A., Jorge, R. S. P., Silva, N. dos S., Silveira, L. & Ferreira Neto, J. S. (2017). Molecular detection of viral agents in free-ranging and captive neotropical felids in Brazil. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation: Official Publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc.*, 29(5), 660–668.
<https://doi.org/10.1177/1040638717720245>
- Gallagher, A. (2022). Canine Parvovirus. MSD Veterinary Manual.
<https://www.msddvetmanual.com/digestive-system/diseases-of-the-stomach-and-intestines-in-small-animals/canine-parvovirus>
- Goddard, A. & Leisewitz, A. L. (2010). Canine Parvovirus. The Veterinary Clinics of North America. *Small Animal Practice*, 40(6), 1041–1053.
<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2010.07.007>
- Goodman, L., Lyi, S., Johnson, N., Cifuentes, J., Hafenstein, S. & Parrish, C. (2010). Binding site on the transferrin receptor for the Parvovirus capsid and effects of altered affinity on cell uptake and infection. *Journal of Virology*, 84(10), 4969–4978.
<https://doi.org/10.1128/jvi.02623-09>
- International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV). Consultado 24-Abril-2024.
<https://ictv.global/report/chapter/parvoviridae/parvoviridae/protoparvovirus>
- Jager, M. C., Tomlinson, J. E., Lopez-Astacio, R. A., Parrish, C. R. & Van de Walle, G. R. (2021). Small but mighty: old and new parvoviruses of veterinary significance. *Virology Journal*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12985-021-01677-y>
- Kelman, M., Barrs, V. R., Norris, J. M. & Ward, M. P. (2020). Canine parvovirus prevention and prevalence: Veterinarian perceptions and behaviors. *Preventive Veterinary Medicine*, 174(104817), 104817.
<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104817>
- Kilham, L. & Olivier, L. J. (1959). A latent virus of rats isolated in tissue culture. *Virology*, 7(4), 428–437. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(59\)90071-6](https://doi.org/10.1016/0042-6822(59)90071-6)
- Laurenson, M. K., Mlengeya, T., Shiferaw, F. & Cleaveland, S. (2005). Approaches to disease control in domestic canids for the conservation of endangered wild



- carnívoros. *Occasional papers of the IUCN species survival commission*, 30, 141-146.
- Leopardi, S., Milani, A., Cocchi, M., Bregoli, M., Schivo, A., Leardini, S., Festa, F., Pastori, A., de Zan, G., Gobbo, F., Beato, M. S., Palei, M., Bremini, A., Rossmann, M.-C., Zucca, P., Monne, I. & De Benedictis, P. (2022). Carnivore protoparvovirus 1 (CPV-2 and FPV) circulating in wild carnivores and in puppies illegally imported into North-Eastern Italy. *Viruses*, 14(12), 2612. <https://doi.org/10.3390/v14122612>
- Li, G., Ji, S., Zhai, X., Zhang, Y., Liu, J., Zhu, M., Zhou, J. & Su, S. (2017). Evolutionary and genetic analysis of the VP2 gene of canine parvovirus. *BMC Genomics*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3935-8>
- López-Pérez, A. M., Moreno, K., Chaves, A., Ibarra-Cerdeña, C. N., Rubio, A., Foley, J., List, R., Suzán, G. & Sarmiento, R. E. (2019). Carnivore Protoparvovirus 1 at the wild-domestic carnivore interface in northwestern Mexico. *EcoHealth*, 16(3), 502–511. <https://doi.org/10.1007/s10393-019-01436-0>
- Martínez, J., Bautista, L., Aguilar, M. & Quijano, A. (2022). Evidencias de parvovirus canino infectando a perros y gatos en México. *Vanguardia Vet.* <https://www.vanguardiaveterinaria.com.mx/evidencias-de-parvovirus-canino-infectando-a-perros-y-gatos-en-mexico>
- Martínez, O. C., Jiménez, B. M. M. & Fajardo, F. E. (2022). Current situation of parvovirus in domestic animals and wildlife.
- Mira, F., Canuti, M., Purpari, G., Cannella, V., Di Bella, S., Occhiogrosso, L., Schirò, G., Chiaramonte, G., Barreca, S., Pisano, P., Lastra, A., Decaro, N. & Guercio, A. (2019). Molecular characterization and evolutionary analyses of carnivore Protoparvovirus 1 NS1 gene. *Viruses*, 11(4), 308. <https://doi.org/10.3390/v11040308>
- Miranda, C. & Thompson, G. (2016). Canine parvovirus: the worldwide occurrence of antigenic variants. *The Journal of General Virology*, 97(9), 2043–2057. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.000540>
- Mochizuki, M., Hashimoto, M., Hajima, T., Takiguchi, M., Hashimoto, A., Une, Y., Roerink, F., Ohshima, T., Parrish, C. R. & Carmichael, L. E. (2002). Virologic and serologic identification of Minute virus of canines (canine Parvovirus type 1) from dogs in Japan. *Journal of Clinical Microbiology*, 40(11), 3993–3998. <https://doi.org/10.1128/jcm.40.11.3993-3998.2002>
- 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. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/306071>
- Mylonakis, M., Kalli, I. & Rallis, T. (2016). Canine parvoviral enteritis: an update on the



- clinical diagnosis, treatment, and prevention. *Veterinary Medicine (Auckland, N.Z.)*, 7, 91–100. <https://doi.org/10.2147/vmrr.s80971>
- Nandi, S. & Kumar, M. (2010). Canine Parvovirus: Current perspective. *Indian Journal of Virology: An Official Organ of Indian Virological Society*, 21(1), 31–44. <https://doi.org/10.1007/s13337-010-0007-y>
- Parrish, C. R. (1995). Pathogenesis of feline panleukopenia virus and canine parvovirus. *Bailliere's Clinical Haematology*, 8(1), 57–71. [https://doi.org/10.1016/s0950-3536\(05\)80232-x](https://doi.org/10.1016/s0950-3536(05)80232-x)
- Pedroza-Roldán, C., Hernández-Almaraz, M. A., Elizondo-Quiroga, D., Gutiérrez-Ortega, A., Acosta-Monroy, C. M., Charles-Niño, C., Realpe-Quintero, M. & Robles-Gil, S. D. C. (2022). Exclusive circulation of canine parvovirus type 2c in the Guadalajara metropolitan area in western Mexico: a five-year study. *Archives of Virology*, 167(11), 2109–2121. <https://doi.org/10.1007/s00705-022-05522-7>
- Pedroza-Roldán, C., Páez-Magallan, V., Charles-Niño, C., Elizondo-Quiroga, D., Leonel De Cervantes-Mireles, R. & López-Amezcuca, M. A. (2015). Genotyping of Canine parvovirus in western Mexico. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation: Official Publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc*, 27(1), 107–111. <https://doi.org/10.1177/1040638714559969>
- PROFEPA. (2020). Mamíferos en México (Primera parte). Recuperado el 30 de mayo de 2024 en <https://www.gob.mx/profepa/articulos/mamiferos-en-mexico-primera-parte?idiom=es#:~:text=El%20orden%20Carn%C3%ADvora%20es%20un,forma%20y%20grado%20de%20retractilidad>.
- Quino, R. (2017). Detección de parvovirus canino tipo 2 (CPV 2) en perros de Lima Metropolitana mediante PCR. Tesis para obtener el grado de Médico Veterinario. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/7091/Quino_qr.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reed, A. P., Jones, E. V. & Miller, T. J. (1988). Nucleotide sequence and genome organization of canine parvovirus. *Journal of Virology*, 62(1), 266–276. <https://doi.org/10.1128/jvi.62.1.266-276.1988>
- Rehme, T., Hartmann, K., Truyen, U., Zablotski, Y. & Bergmann, M. (2022). Feline panleukopenia outbreaks and risk factors in cats in animal shelters. *Viruses*, 14(6), 1248. <https://doi.org/10.3390/v14061248>
- Ros, C., Bayat, N., Wolfisberg, R., & Almendral, J. (2017). Protoparvovirus cell entry. *Viruses*, 9(11), 313. <https://doi.org/10.3390/v9110313>
- Sacristán, I., Esperón, F., Pérez, R., Acuña, F., Aguilar, E., García, S., López, M. J., Neves, E., Cabello, J., Hidalgo-Hermoso, E., Terio, K. A., Millán, J., Poulin, E. & Napolitano, C. (2021). Epidemiology and molecular characterization of Carnivore



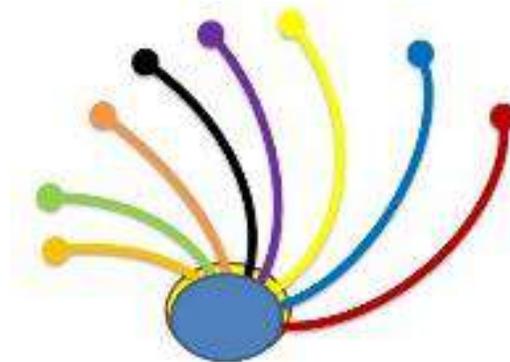
- protoparvovirus-1 infection in the wild felid *Leopardus guigna* in Chile. *Transboundary and Emerging Diseases*, 68(6), 3335–3348. <https://doi.org/10.1111/tbed.13937>
- Spera, C. G., Lorenzetti, E., Lavorente, F. L. P., de Calasans Marques, G., Bisca, J. M., Teixeira, C. R., Alfieri, A. A. & Alfieri, A. F. (2020). Canine parvovirus 2b in fecal samples of asymptomatic free-living South American coatis (*Nasua nasua*, Linnaeus, 1766). *Brazilian Journal of Microbiology*, 51(3), 1399–1403. <https://doi.org/10.1007/s42770-020-00293-2>
- Steinel, A., Parrish, C. R., Bloom, M. E. & Truyen, U. (2001). Parvovirus infections in wild carnivores. *Journal of Wildlife Diseases*, 37(3), 594-607.
- Suzán, G. & Ceballos, G. (2005). The role of feral mammals on wildlife infectious disease prevalence in two nature reserves within Mexico city limits. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine: Official Publication of the American Association of Zoo Veterinarians*, 36(3), 479–484. <https://doi.org/10.1638/04-078.1>
- Sykes, J. E. (2014). Feline Panleukopenia Virus Infection and Other Viral Enteritides. En: *Canine and Feline Infectious Diseases* (pp. 187–194). Elsevier.
- Truyen, U. & Parrish, C. R. (1992). Canine and feline host ranges of canine parvovirus and feline panleukopenia virus: Distinct host cell tropisms of each virus in vitro and in vivo. *Journal of Virology* 66: 5399–5408.
- Van Asch, B., Zhang, A. B., Oskarsson, M. C., Klütsch, C. F., Amorim, A. & Savolainen, P. (2013). Pre-Columbian origins of Native American dog breeds, with only limited replacement by European dogs, confirmed by mtDNA analysis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1766), 20131142.
- Vázquez-Aguilar, A. y Hernández-Rodríguez, D. (s.f.). De perros, parvovirus y fauna silvestre. Instituto Nacional de Ecología. Recuperado el 28 de marzo de 2024 en <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1184-de-perros-parvovirus-y-fauna-silvestre>
- Verde, A. & Marca, A. (1987). Panleucopenia felina: Una revisión. *Revista de AVEPA* 7(3). Pp: 123-132. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6723752>
- Voorhees, I. E. H., Lee, H., Allison, A. B., Lopez-Astacio, R., Goodman, L. B., Oyesola, O. O., Omobowale, O., Fagbohun, O., Dubovi, E. J., Hafenstein, S. L., Holmes, E. C. & Parrish, C. R. (2019). Limited intrahost diversity and background evolution accompany 40 years of canine Parvovirus host adaptation and spread. *Journal of Virology*, 94(1). <https://doi.org/10.1128/jvi.01162-19>
- Weber, M. N., Mosen, A. C. S., da Silva, M. S., Canova, R., de Lorenzo, C., Olegário, J. C., Budaszewski, R. F., Baumbach, L. F., Soares, J. F., Sonne, L., Varela, A. P. M., Mayer, F. Q., de Oliveira, L. G. S. & Canal, C. W. (2020). Virome of crab-eating



-
- (*Cerdocyon thous*) and pampas foxes (*Lycalopex gymnocercus*) from southern Brazil and Uruguay. *Infection, Genetics and Evolution: Journal of Molecular Epidemiology and Evolutionary Genetics in Infectious Diseases*, 85(104421), 104421. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104421>
- Xue, H., Hu, C., Ma, H., Song, Y., Zhu, K., Fu, J., Mu, B. & Gao, X. (2023). Isolation of feline panleukopenia virus from Yanji of China and molecular epidemiology from 2021 to 2022. *Journal of Veterinary Science*, 24(2). <https://doi.org/10.4142/jvs.22197>
- Yabsley, M. J. (2019). Vaccination of Wildlife Species. *Medical Management of Wildlife Species*, 85–96. doi:10.1002/9781119036708.ch7
- Zhao, J., Yan, X. & Wu, W. (2011). Origin and evolution of canine parvovirus--a review. *Wei sheng wu xue bao [Acta microbiologica Sinica]*, 51(7). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22043787/>

Metabolitos en *Larrea tridentata* como potencial inhibidor bacteriano

Renata Morales Márquez
Lucía Delgadillo Ruiz
Alfredo Esparza Orozco
Carlos Meza López
Benjamín Valladares Carranza
Rodrigo Flores Garivay
Rómulo Bañuelos Valenzuela





Introducción

En México *Larrea tridentata* se encuentra en 12 de los 32 estados de este país, entre los cuales se encuentran Baja California Norte, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Zacatecas. Es una planta de la familia zygophyllacea, nativa de norte américa, se desarrolla en clima semiárido BS y desérticos BW. Los suelos en los que se desarrolla son de profundidad variable, textura franco arenosa, estructura granular, drenaje interno medio de consistencia friable, de color café grisáceo, compacto arcilloso, calcáreo, blanco-arenoso, aluvial con pH de 6.8 a 7.6 ligeramente alcalino. La familia *zygophyllacea* incluye más de 30 géneros y aproximadamente 250 especies, siendo las más destacadas *Larrea tridentata* y *Larrea divaricata*, la cual crece en la parte sur del continente americano.

Es una planta indicadora de desertificación por lo cual es blanco de múltiples intentos de control y erradicación. Sin embargo, es una planta con importancia histórica en medicina tradicional, dentro de sus aplicaciones medicinales el efecto antioxidante es de los más prominentes. *Larrea tridentata* conocida también como gobernadora, por su característico olor que despidе después de la lluvia, debido a esta característica en algunos lugares de México se le da también el nombre de hediondilla.

Larrea tridentata es un arbusto perene que tiene una amplia distribución en el norte de México y sur de Estados Unidos, y representa un recurso alimentario del cual se benefician ciertos polinizadores y numerosos herbívoros que habitan los desiertos y semidesiertos de Norte América. *L. tridentata* es un arbusto perenne xerófito que se mantiene verde todo el año, su edad se puede extender hasta los cien años. Tiene un crecimiento de uno a tres metros de altura, presenta asimetría entre sus niveles; la raíz crece solo cerca de 170 cm hacia abajo, pero se ramifica hasta más de cuatro metros lateralmente.

Composición química de *Larrea tridentata*

Larrea tridentata alberga miembros de las familias de genes de monolignol aciltransferasa, alilfenol sintasa y propenilfenol sintasa, cuyos productos juntos son capaces de catalizar distintas conversiones regioespecíficas de varios monolignoles en sus correspondientes al propenil fenoles.

Larrea tridentata es una fuente notable de productos naturales con aproximadamente el 50% del peso seco de las hojas como materia extraíble. La resina que cubre las hojas presenta agliconas flavonoides, así como varios lignanos, incluido el antioxidante ácido nordihidroguaiarético (NDGA). De *Larrea tridentata* se han aislado algunos flavonoides glicosilados, sapogeninas, aceites esenciales, alcaloides halogénicos y ceras.



Larrea tridentata contiene aproximadamente un 0.1% de peso seco en forma de aceites volátiles. Dentro de la fracción volátil se han identificado compuestos que constituyen más del 90% de los aceites de *Larrea tridentata* conocidos; el 10% restante es una mezcla de más de 300 constituyentes, principalmente monoterpenoides y sesquiterpenoides aromáticos. Además de una gran cantidad de sustancias, las vinilcetonas y las metilcetonas contribuyen en gran medida al olor característico de la creosota. También se han identificado tres esteroides comunes: campesterol, estigmasterol y sitosterol, así como saponinas que representan menos del 1% del peso seco de esta especie. Se han aislado alcaloides de la corteza y raíces, pero no de las hojas y flores.

Metabolitos de *L. tridentata*

L. tridentata cuenta con una notable presencia de compuestos químicos y productos naturales, de los cuales aproximadamente 50% de son extraíbles. La resina tiene flavonoides agliconados, así como lignanos y antioxidante NDGA. Cuenta con metabolitos secundarios como los flavonoides glicosilados, saponinas, aceites esenciales y alcaloides halogénicos, por mencionar algunos de los más representativos. Otros metabolitos secundarios identificados en *L. tridentata* incluyen lignanos (ácido dihidroguaiarético, heminorisoguaiacina y norisoguaiacina), flavonoides (agliconas: apigenina y kaempferol; glucósidos: crisoeriol y quercetina), saponinas (larreagenina A y ácido larreico), triterpenos y triterpenoides.

Las cetonas contribuyen significativamente al olor característico de la planta. Además, se han identificado tres esteroides comunes: campesterol, estigmasterol y sitosterol, así como saponinas del tipo C30-ursólico que representa menos del 1% de este peso seco. Se han aislado alcaloides de la corteza y raíces sin embargo no de las hojas y flores. En cuestión de productos naturales, *L. tridentata* se destaca por el lignano NDGA que se depositan en la superficie de las hojas.

Principales metabolitos

Fenoles y flavonoides

Químicamente los fenoles son sustancias que poseen un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilo, incluyendo sus derivados funcionales. Los flavonoides constituyen el grupo de compuestos polifenólicos más diversos y ampliamente distribuidos en plantas. Su esqueleto básico de difenilpropano (C6-C3-C6) consta de dos grupos fenilo (A y B) unidos por un puente de tres carbonos que forman un anillo heterocíclico oxigenado (anillo C).

Los compuestos fenólicos actúan como antioxidantes protegiendo las células contra el daño oxidativo y por lo tanto limitar el riesgo de varias enfermedades asociadas al estrés oxidativo. Entre los compuestos fenólicos más importantes se encuentran los flavonoides los cuales además de su actividad antioxidante se les ha atribuido una gran



diversidad de efectos terapéuticos como: antiinflamatorios, hepatoprotectores, antimicrobial, etc. De ahí la importancia de su estudio como complemento alimentario para animales. Los flavonoides funcionan como agentes antimicrobianos y como protección contra herbívoros, radiación ultravioleta y pérdida de agua, por lo que son potencialmente importantes en el éxito de la especie en ambientes desérticos.

Taninos

Los taninos son sustancias fenólicas, resultado de la combinación de una molécula de azúcar, generalmente glucosa, con un número variable de moléculas de ácidos fenólicos y gálicos o su dimero, el ácido elágico. Estos tienen la capacidad de formar complejos con proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos y esteroides. Cuenta con efectos beneficios para la salud animal debido a que poseen propiedades astringentes, antiinflamatorias, cicatrizantes, antioxidantes y antibacteriales. Sin embargo, en altas concentraciones llega a limitar la absorción y digestibilidad de algunos nutrientes como el hierro y las proteínas.

Existen dos grupos principales de taninos: hidrolizables y condensados, lo cual puede generar efectos tóxicos o antinutricionales, sin embargo, dependiendo de su concentración resultan beneficiosos para la nutrición. Los taninos son de naturaleza compleja, que se caracterizan por su capacidad para reaccionar con macromoléculas y proteínas solubles de forrajes durante el paso a través del rumen de los herbívoros.

Saponinas

Las saponinas son un conjunto de metabolitos secundarios producidos principalmente por plantas, se producen como parte del sistema de defensa contra patógenos y depredadores. Una de sus características es que producen espuma, por lo que se suelen utilizar como jabones. Los usos actuales de las saponinas están directamente relacionados con su estructura química. Estas son moléculas anfifílicas, con una parte hidrofóbica y otra hidrofílica. Esto hace que las saponinas tengan propiedades emulgentes y estabilizantes en las que se han encontrado aplicaciones en el área farmacéutica y área agroalimentaria.

Lignanos

Algunas especies de plantas aparentemente sólo pueden acumular monómeros o sus presuntos productos acoplados, los lignanos desoxigenados de cadena lateral. Un ejemplo de esto último son los lignanos unidos 8–8' en *Larrea tridentata*, un arbusto del desierto de América del Norte. Produce grandes cantidades de lignanos 9,9'-desoxigenados por ejemplo, ácido nordihidroguaiarético, un fuerte antioxidante cuyos derivados se muestran prometedores como medicamentos anticancerígenos, así como



norisoguaiacina y larreatricina.

Los lignanos son compuestos fenólicos con un esqueleto de 2,3-dibencilbutano. Los beneficios para la salud de los lignanos es su capacidad antioxidante como secuestradores de radicales hidroxilos, y como compuestos estrogénicos, además de un efecto protector contra el daño del ADN, antivirales, antitumorales, etc.

En términos químicos de productos naturales, *Larrea tridentata* es mejor conocido por la gran cantidad de lignano NDGA, que se deposita en la superficie de las hojas. Se ha descubierto que entre el 5 y el 10% del peso seco de las hojas está formado por NDGA, el 80% de todos los fenólicos de la resina. El ácido nordihidroguaiarético es un lignano que se encuentra en *L. tridentata* en concentraciones de 10 a 15% en hojas y ramas. Además de la actividad antioxidante este compuesto ha demostrado ser eficiente en la inhibición del crecimiento de tumores que ocasionan cáncer.

Las flores, las hojas, los tallos verdes y los pequeños tallos leñosos de *Larrea tridentata* contienen NDGA, con concentraciones más altas en las hojas (38.3 mg/g) y los tallos verdes (32.5 mg/g). Debido a las numerosas actividades farmacológicas del NDGA, se desarrolló un método versátil para su síntesis y la de una variedad de derivados. Otros lignanos presentes son los lineales, ácido guaiarético y ácido meso-dihidroguaiarético, y los ciclolignanos, norisoguaiacina y su derivado 3 metílico.

Actividad antibacterial

Se aislaron e identificaron siete compuestos del extracto clorofórmico de *L. tridentata*: ácido dihidroguaiarético; 4-epi-larreatricina y 3'-demetoxi-6-O-desmetilisoguaiacina (lignanos) y 5,4'-dihidroxi-3,7,8,3-tetrametoxiflavona, 5,4'-dihidroxi-3,7,8-trimetoxiflavona, 5,4'-dihidroxi-7-metoxiflavona y 5,8,4'-trihidroxi-3,7-dimetoxiflavona (flavonoides). Todos ellos fueron evaluados mediante la determinación de la concentración mínima inhibitoria (CIM) frente a Gram negativos (*Stenotrophomona maltophilia*, *Escherichia coli*, *Acinobacter baumannii*, *Haemophilus influenzae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter cloacae*) y Gram positivos (*Staphylococcus aureus*, *S. aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Listeria monocytogenes* y *Enterococcus faecalis*). Los resultados mostraron que seis de los compuestos tenían actividad antibacteriana en un rango de concentraciones de 12.5 a >50 µg/ml, siendo el compuesto más activo la 3'-desmetoxi-6-O-desmetilisoguaiacina. Mostró actividad antibacteriana contra todas las bacterias evaluadas; por lo tanto, se evaluó frente a aislados clínicos de *E. faecalis* y *S. aureus*, alcanzando valores de CIM de 12.5 a 50 µg/mL. El mecanismo de acción de este compuesto afectó a las proteínas del sistema de transporte del casete de unión a ATP (ABC), provocando así la muerte de las bacterias.

En un estudio realizado por Méndez *et al.*, se evaluaron diferentes extractos de hojas de *L. tridentata* frente a *E. aerogenes*, *E. coli*, *S. typhi* y *S. aureus*, los resultados



mostraron que el extracto etanólico tuvo los mayores efectos inhibidores del crecimiento en *E. coli* y *S. aureus*. Evaluaron extractos de hojas y flores de *L. tridentata* contra *S. aureus* y obtuvieron una CMI de 60 µg/mL, lo que demuestra que los extractos tenían actividad bacteriostática y bactericida.

Por su parte, Martins *et al.*, evaluaron la actividad antibacteriana del extracto metanólico crudo (CME) de *L. tridentata*, fracciones de hexano (H), diclorometano (DCM), acetato de etilo (EA) y etanol (Et) y el compuesto NDGA. La actividad antibacteriana se determinó mediante difusión en agar y los resultados mostraron que CME, DCM, EA y NDGA fueron activos contra bacterias Gram positivas (*S. aureus*, *S. aureus* resistente a meticilina (MRSA), *Staphylococcus saprophyticus*, *Staphylococcus epidermidis* y *Enterococcus faecalis*). Se obtuvo una CIM de 31.3 a 125 µg/mL para la fracción EA, la más activa, y de 31.3 µg/mL para MRSA, la bacteria más sensible, que se encontraba en una concentración inferior al antibiótico de referencia, la tetraciclina (64 µg/mL). Además, los autores identificaron tres compuestos bioactivos: quercetina, kaempferol y NDGA, todos los cuales habían informado actividad antibacteriana.

La combinación de NDGA y antibióticos convencionales (gentamicina, neomicina y tobramicina) mostró actividad sinérgica (97-100%) contra 200 aislamientos clínicos de *S. aureus* sensible a la meticilina (MSSA) y *S. aureus* resistente a la meticilina (MRSA). Además, cuando se determinaron los valores de CMI de estas combinaciones, todos los antibióticos se redujeron de 2 a 128 veces contra MSSA y de 2 a 256 veces contra MRSA. Además, en el ensayo de eliminación del tiempo, NDGA mejoró el efecto de tres antibióticos en modelos murinos *in vitro* e *in vivo*. Según los autores, la mejora de la eficacia de los antibióticos se debió a la capacidad del NDGA para permeabilizar las membranas bacterianas.

Los efectos antibacterianos del timol y carvacrol en el extracto etanólico de *L. tridentata* fueron demostrados en un estudio realizado por Delgadillo-Ruiz *et al.* Se probaron derivados del ácido mesodihidroguaiarético (ésteres, éteres y aminoéteres) contra cepas bacterianas Gram positivas y Gram negativas resistentes a medicamentos, demostrando que las bacterias Gram positivas (*S. aureus*, *E. faecium*, *S. epidermis* y *S. haemolyticus*) fueron más sensibles, e incluso dos aminoéteres fueron más activos que la levofloxacina.

Otros autores realizaron una comparación directa de la actividad antibacteriana contra *S. aureus* no resistente a los antibióticos y dos cepas diferentes de *S. aureus* resistente a los antibióticos. Determinaron un rango de CMI de 0,35 a 15 µg/ml para el extracto de *L. tridentata*. Ortiz afirmó que el extracto de *L. tridentata* al 30% generaba halos de inhibición del crecimiento bacteriano (BGIH) contra una amplia gama de bacterias Gram negativas y Gram positivas (0.67 a 1.73 mm). El extracto fue más activo contra *S. aureus* y *S. enterica* cuando los BGIH fueron 1.73 y 1.57 mm, respectivamente.



Del extracto cloroformo de *L. tridentata* se obtienen los compuestos 4,4'-dihidroxi-3-metoxi-6,7'-ciclolignan, 3,4-dihidroxi-3',4'-dimetoxi-6,7'-ciclolignan, ácido meso-dihidroguaiarético, 3'-demetoxiisoguaiacina, 3'-demetoxi-6-O-desmetilisoguaiacina, ácido nordihidroguaiarético, 5,4'-dihidroxi-3,7,8-trimetoxiflavona y 5,8,4'-trihidroxi-3, Se aislaron 7-dimetoxiflavona. Estos fueron activos contra nueve aislados clínicos multirresistentes en concentraciones de 6,25 a >50 µg/ml. En un estudio adicional, siete derivados de aminoéter del lignano 4,4'-dihidroxi-3-metoxi-6,7'-ciclolignan exhibieron actividad antibacteriana contra bacterias Gram positivas.

Turner *et al.*, determinaron que el extracto etanólico de *L. tridentata* mostró actividad bactericida contra *S. aureus* (20 µg/mL), *S. pyogenes* (30 µg/mL), *B. cereus* (120 µg/mL), *E. coli* y *P. aeruginosa* (>1000 µg/ml); Además, los autores determinaron que el extracto de *L. tridentata* mejoraba la actividad de algunos antibióticos β-lactámicos, lo que sugiere la presencia de un antibiótico de tipo β-lactámico en el extracto.

Recientemente, Morales-Ubaldo *et al.*, evaluaron la actividad antibacteriana de un extracto hidroalcohólico, fracciones (acuosas y acetato de etilo) y subfracciones de fracciones orgánicas, todas ellas derivadas de partes aéreas de *L. tridentata*. Cuando se compararon con las cepas bacterianas de referencia y resistentes a múltiples medicamentos asociadas con la mastitis bovina, los datos mostraron que la actividad antibacteriana de *L. tridentata* se asoció con el compuesto puro ni con la 3'-demetoxiisoguaiacina, que exhibió los mayores efectos bactericidas.

Aplicaciones de los metabolitos en el área agropecuaria

Larrea tridentata fue ampliamente utilizada durante la década de 1950 como conservante de alimentos y para conservar fibras naturales. Posteriormente fue prohibido tras informes de toxicidad a principios de la década de 1960. También se informa toxicidad renal y hepatotoxicidad. Se utiliza para tratar una variedad de enfermedades que incluyen infertilidad, reumatismo, artritis, diabetes, cálculos en la vesícula biliar y los riñones, dolor e inflamación. Se ha utilizado como complemento nutricional. El principal producto extraído de esta planta común de las regiones áridas del norte de México y suroeste de Estados Unidos es el potente antioxidante ácido nordihidroguaiarético (NDGA).

L. tridentata históricamente es una planta utilizada en la herbolaria tradicional mexicana debido a sus propiedades terapéuticas contra ciertas enfermedades. En los últimos diez años se han incrementado los estudios sobre el uso de *L. tridentata* en la industria, creciendo el interés en el aprovechamiento agropecuario. Por ejemplo, el uso de las saponinas está directamente relacionado con su estructura química, debido a que estas moléculas anfílicas, es decir una parte hidrofóbica y otra hidrofílica, hacen que tengan propiedades emulgentes y estabilizantes, además de ser inocuas y biocompatibles por lo que se ha encontrado aplicación en el área agroalimentaria.



Los fenoles son un grupo importante encontrado en el reino Plantae, *L. tridentata* no es la excepción. La diversidad en este grupo los hace candidatos perfectos para su aprovechamiento. Tienen beneficios terapéuticos en la actividad cardiaca, antiinflamatoria, hepatoprotectora, antibacterial y antifúngica. Estas propiedades han sido estudiadas en industrias como la porcicultura, debido a que la transición de los lechones de leche materna a una alimentación sólida causa infecciones y disfunciones intestinales con efectos adversos sobre el crecimiento, causando deficiencia de peso y diarreas. Caicedo *et al.*, realizaron un estudio en el cual utilizaron forraje de anís silvestre (*Piper auritum* Kunth) el cual es rico en fenoles, los lechones fueron alimentados por este forraje presento el mejor consumo, ganancia de peso y peso final, además de reducir la incidencia de diarreas resultando mejor que los tratamientos convencionales a base de antibióticos complementarios.

Al igual que los cerdos, las vacas son parte de la producción primaria de la ganadería, la demanda de su producción, así como su calidad ha aumentado en las últimas décadas, es así como emerge la importancia de mejorar los forrajes. Los taninos son una excelente opción como complemento alimenticio, debido a su naturaleza compleja se caracterizan por su capacidad para reaccionar con macromoléculas y proteínas solubles de forrajes durante el paso a través del rumen. Dependiendo de su estructura química y de su peso molecular. Es así como se han planteado hipótesis acerca de su función en los procesos digestivos de los rumiantes. Existe evidencia de que los taninos condensados mejoran la ganancia de peso, la producción de leche en vacas y lana en ovinos que son alimentados con forrajes ricos en taninos condensados. También aumenta eficiencia reproductiva en vacas y ovinos.

Los rumiantes tienden a generar gas ocasionada por la alta solubilidad de las proteínas en el rumen. Los taninos condensados reducen notablemente la producción de gas mediante la precipitación de las proteínas, lo que a su vez reduce la metanogénesis de las bacterias del rumen.

Así mismo los lignanos cumplen funciones vitales por sus propiedades químicas, entre los cuales destacan la reducción de los riesgos de desarrollo de enfermedades cardiovasculares, de diabetes, patologías renales, cáncer de colon, etc. Otros investigadores han encontrado que varios extractos preparados de *L. tridentata* poseen actividad antihelmíntica, antiamebiana, antitumoral, antiviral, citotóxica, hepatotóxica, insecticida, hipocolesterolémico, fitotóxica, antiséptica, desinfectante, tumoricida, antifúngica, y también inhibe la replicación y transcripción del virus de la inmunodeficiencia humana.

La actividad antihelmíntica es de especial interés para este trabajo, se ha probado que el extracto de éter de *L. tridentata* desecado de la oleorresina tiene actividad antihelmíntica contra *Eimeria tenella* en pollos. Sin embargo, su uso está limitado por



reportes de hepatotoxemia y casos de cistitis renal asociadas con el uso crónico de la planta. Sin embargo, un estudio realizado en ratones se obtuvieron diferentes resultados con dosificaciones bajas en su utilización no obtuvo signos clínicos de enfermedad hepatotóxica, lo cual sugiere que a dosis bajas no se tendrá una hepatotoxemia.

En el estudio realizado por Schmidt *et al.*, se utilizó extracto de diclorometano de partes aéreas de *L. tridentata* para el cribado antiprotozoario contra *Trypanosoma brucei* rhodesiense, *Trypanosoma cruzi*, *Leishmania donovani* y *Plasmodium falciparum*, que tenían valores de 50 de 2.8, 14.6, 5.2 y 2.9 µg/mL, respectivamente. Se aislaron y evaluaron nueve lignanos, seis flavonoides y un éster de ácido ferúlico. El ácido lignano mesonordihidroguaiarético mostró la mayor parte de la actividad obteniendo contra los parásitos antes mencionados.

Conclusiones

Esta revisión es un trabajo enfocado en *L. tridentata* desde su composición química, los metabolitos presentes, su efecto antibacteriano y los usos que se han venido investigando en el sector agropecuario. *L. tridentata* más conocida como gobernadora que se distribuye en la parte centro norte de México. Se encontraron diversas investigaciones que mencionan varios compuestos químicos y metabolitos presentes como los son el ácido eláxico, el ácido gálico, las catequinas, el galato de metilo, el resorcinol del ácido cinámico, el kaempferol, la quercetina, el ácido nordihidroguaiarético (NDGA), el timol y el carvacrol. Estos compuestos de *L. tridentata* se asocian que las a tratamientos de enfermedades infecciosas y no infecciosas debido a sus propiedades antioxidantes, neuroprotectoras, antibacterianas, antiprotozoarias y antihelmínticas.

Referencias

- Alonso-Díaz, M. A., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Aguilar-Caballero, A. J. & Hoste, H. (2008). In vitro larval migration and kinetics of exsheathment of *Haemonchus contortus* larvae exposed to four tropical tanniniferous plant extracts. *Veterinary Parasitology*, 153(3-4), 313-319.
<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.01.042>
- Animut, G., Puchala, R., Goetsch, A. L., Patra, A. K., Sahlu, T., Varel, V. H. & Wells, J. (2008). Methane emission by goats consuming different sources of condensed tannins. *Animal Feed Science and Technology*, 144(3-4), 228-241.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.10.015>
- Bueno, I. C., Vitti, D. M., Louvandini, H. & Abdalla, A. L. (2008). A new approach for in vitro bioassay to measure tannin biological effects based on a gas production technique. *Animal Feed Science and Technology*, 141(1-2), 153-170.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.011>
- Caicedo, W., Pérez, M., Sánchez, J., Flores, A. & Duchitanga, E. (2019). Total phenolic



- content and antioxidant activity of wild anise foliage (*Piper auritum* Kunth) and its nutraceutical effect for pigs in post-weaning. 30(4), 1470–1480. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17264>
- Cheok, C. Y., Salman, H. A. K. & Sulaiman, R. (2014). Extraction and quantification of saponins: A review. *Food Research International*, 59, 16-40. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.057>
- Reis de Souza, T. C., Mariscal Landín, G. & Escobar García, K. (2010). Algunos factores fisiológicos y nutricionales que afectan la incidencia de diarreas posdestete en lechones. *Veterinaria México*, 41(4), 275-288. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0301-50922010000400004&script=sci_arttext
- Del Vecchyo-Tenorio, G., Rodríguez-Cruz, M., Andrade-Cetto, A. & Cárdenas-Vázquez, R. (2016). Creosote bush (*Larrea tridentata*) improves insulin sensitivity and reduces plasma and hepatic lipids in hamsters fed a high fat and cholesterol diet. *Frontiers in pharmacology*, 7, 194. <https://doi.org/10.3389/fphar.2016.00194>
- Delgadillo Ruíz, L., Bañuelos Valenzuela, R., Delgadillo Ruíz, O., Silva Vega, M. & Gallegos Flores, P. (2017). Composición química y efecto antibacteriano in vitro de extractos de *Larrea tridentata*, *Origanum vulgare*, *Artemisa ludoviciana* y *Ruta graveolens*. *Nova scientia*, 9(19), 273-290. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1019>
- Jitsuno, M. & Mimaki, Y. (2010). Triterpene glycosides from the aerial parts of *Larrea tridentata*. *Phytochemistry*, 71(17-18), 2157-2167. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.09.012>
- Kariuki, I. W. & Norton, B. W. (2008). The digestion of dietary protein bound by condensed tannins in the gastro-intestinal tract of sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 142(3-4), 197-209. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.08.006>
- Kim, S. J., Vassão, D. G., Moinuddin, S. G., Bedgar, D. L., Davin, L. B. & Lewis, N. G. (2014). Allyl/propenyl phenol synthases from the creosote bush and engineering production of specialty/commodity chemicals, eugenol/isoeugenol, in *Escherichia coli*. *Archives of biochemistry and biophysics*, 541, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2013.10.019>
- Laport, R. G., Minckley, R. L. & Ramsey, J. (2012). Phylogeny and cytogeography of the North American creosote bush (*Larrea tridentata*, Zygophyllaceae). *Systematic Botany*, 37(1), 153-164. <https://doi.org/10.1600/036364412X616738>
- Avella, D. M. G., García, C. A. O. & Cisneros, A. M. (2008). Medición de fenoles y actividad



- antioxidante en malezas usadas para alimentación animal. In Memorias del simposio de metrología. Universidad Autónoma de Querétaro. *Centro Nacional de Querétaro*. http://cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M2/SM2008-M220-1108.pdf
- Martins, S., Amorim, E. L., Sobrinho, T. J. P., Saraiva, A. M., Pisciotano, M. N., Aguilar, C. N., ... & Mussatto, S. I. (2013). Antibacterial activity of crude methanolic extract and fractions obtained from *Larrea tridentata* leaves. *Industrial Crops and Products*, 41, 306-311. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.037>
- Méndez, M., Rodríguez, R., Ruiz, J., Morales-Adame, D., Castillo, F., Hernández-Castillo, F. D. & Aguilar, C. N. (2012). Antibacterial activity of plant extracts obtained with alternative organics solvents against food-borne pathogen bacteria. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 445-450. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.017>
- Morales-Ubaldo, A. L., Gonzalez-Cortazar, M., Zaragoza-Bastida, A., Meza-Nieto, M. A., Valladares-Carranza, B., A. Alsayegh, A., ... & Rivero-Perez, N. (2022). nor 3'-Demethoxyisoguaiacin from *Larrea tridentata* Is a Potential Alternative against Multidrug-Resistant Bacteria Associated with Bovine Mastitis. *Molecules*, 27(11), 3620. <https://doi.org/10.3390/molecules27113620>
- Ortiz, M. I., Chavez, J. M. C., Urquizo, E. A. & Suescun, J. E. P. (2019). Actividad fitobiótica de *larrea tridentata*, *origanum vulgare* y *plectranthus amboinicus* en bacterias gram positivas y gram negativas. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 44(5), 298-302. <https://cathi.uacj.mx/handle/20.500.11961/8061>
- Reichert, C. L., Salminen, H. & Weiss, J. (2019). Quillaja saponin characteristics and functional properties. *Annual review of food science and technology*, 10, 43-73. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-122010>
- Turner, T., Ruiz, G., Gerstel, J. & Langland, J. (2021). Characterization of the antibacterial activity from ethanolic extracts of the botanical, *Larrea tridentata*. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 21(1), 177. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12906-021-03344-9>

La hepatitis entérica viral (HEV): ¿Riesgo zoonótico, ambiental o factor debilitante?

Gabriela Ramírez-Díaz
Juan M. Macías-González
Lizbeth G. Mendoza-González
Brenda Sandoval-Martínez
Tzintli Meraz-Medina
Flor Rodríguez-Gómez
Mauricio A. Realpe-Quintero





Introducción

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, cada año se presentan más de 20 millones de infecciones por el virus HEV en el mundo, lo que la convierte en la hepatitis aguda más frecuente. Se estima que 2,3 mil millones de personas se han infectado, lo que representa un tercio de la población mundial; el 50% de las hepatitis virales agudas son causadas por este virus. Es una de las enfermedades más afectadas por ser subdiagnosticada y confundirse con muchas otras patologías del sistema gastrointestinal. Anualmente 3,3 millones de casos sintomáticos y 44 000 muertes destacan que la enfermedad ocasiona alto impacto. Entre las hepatitis virales HEV supera ampliamente a las otras por su importancia epidemiológica y afectación a la salud pública.

El HEV cuenta con 8 genotipos circulando en diversas especies; los genotipos 3 y 4 son zoonóticos y se han detectado en cerdos, venados, conejos y jabalíes. Sin embargo, el cerdo es considerado su principal reservorio. En las últimas tres décadas se ha producido un aumento de las infecciones autóctonas relacionadas con los genotipos zoonóticos HEV-Gt3 y HEV-Gt4. Las tasas de seroprevalencia en poblaciones humanas en países industrializados varían de < 5% a > 50%. Se ha observado que la presencia de este patógeno representa un gran riesgo en mujeres embarazadas y en los receptores de trasplantes de órganos sólidos. Entre las vías de transmisión del HEV se destacan la ruta fecal-oral y a través del consumo de carne contaminada y/o mal cocida proveniente de animales infectados, sin embargo, se reconocen hasta 9 distintas vías de transmisión. México es considerado zona hiperendémica para la infección con HEV. No obstante, la información relacionada con los grupos en riesgo de contraer la infección con este virus en nuestro país son limitados. El genotipo 2 (HEV-Gt2) se ha reportado en humanos y comúnmente se le conoce como “la cepa mexicana”. Un estudio identificó la presencia del genotipo 3 porcino en muestras de cerdos del Norte del país (Sonora y Sinaloa). La seroprevalencia de anticuerpos anti-HEV porcino en México varía en un rango de 30 a 100% dependiendo de la zona. Se estima que el 80% de los cerdos de entre 2 a 4 meses de edad son seropositivos contra el HEV. La circulación del HEV denota seroprevalencias promedio del 59.4% y valores altos en estados del norte con un 86.6%, 42.7% en el centro del país y 51.5% en estados del sur. Estos estudios incluyeron granjas industrializadas, granjas de traspatio, animales en destete, en crecimiento y reproductores.

HEV se ha detectado en hígados de cerdo destinados al consumo humano en el estado de Nuevo León, confirmando la presencia del HEV-Gt3 que causa zoonosis. Los productos cárnicos porcinos son fuente de infección en muchas regiones del mundo. La variante detectada del genotipo HEV-Gt3, subgenotipo a (HEV-Gt3a) está asociada con casos de hepatitis aguda en humanos en Estados Unidos y Japón, así como en cerdos en China. Los genotipos HEV-Gt1 y HEV-Gt3 se identificaron en muestras humanas de niños con hepatitis aguda y pacientes adultos con daño hepático. Similarmente se conoce



una alta proporción de individuos positivos para anticuerpos anti-HEV. La identificación de tres genotipos de HEV en México (HEV-Gt1, HEV-Gt2 y HEV-Gt3) ubica al país como único en el mundo y denota la necesidad de continuar con estudios epidemiológicos detallados.

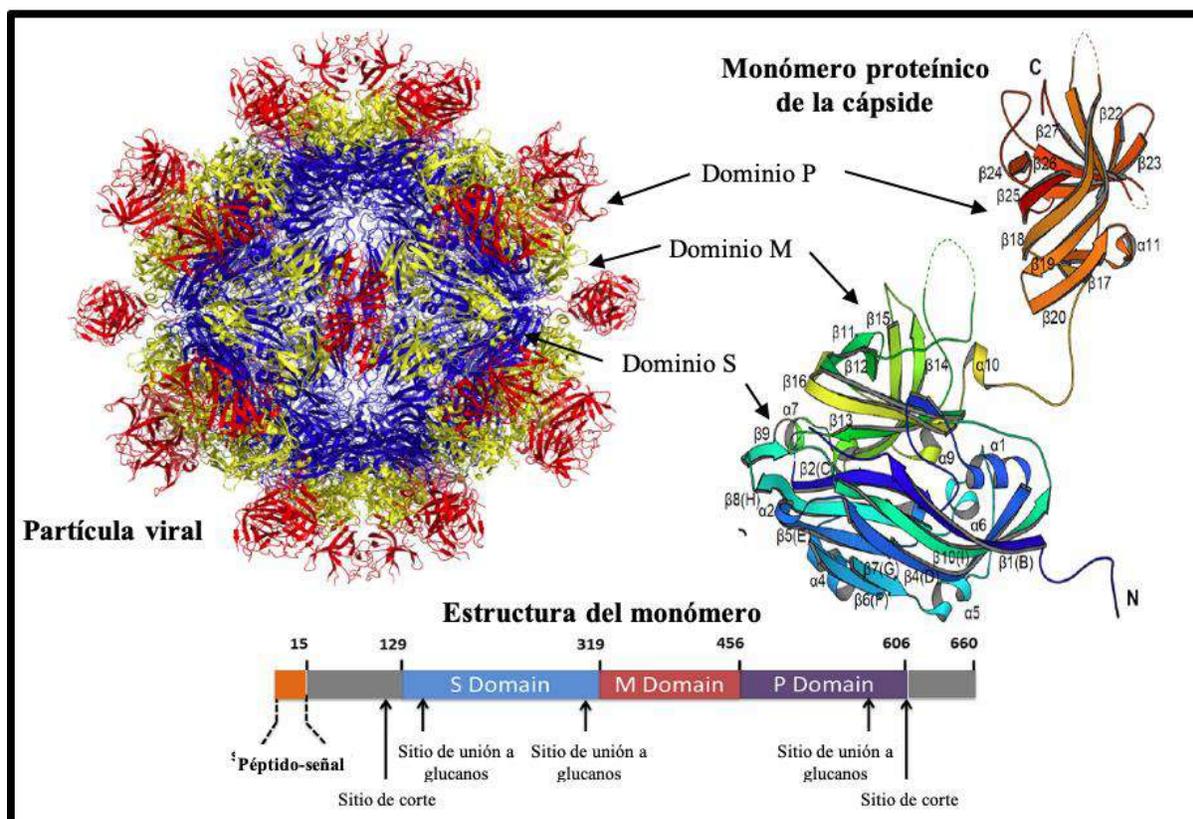


Figura 1. Modelo de conformación espacial del HEV y la proteína que conforma su cápside. Se destacan aspectos de simetría, y características de la estructura (Modificado de: Viera, 2020).

En este capítulo se revisa la epidemiología de esta enfermedad con énfasis en México, donde coinciden factores de comorbilidad, como el abundante consumo de mariscos y proteína de origen porcino. Asimismo, la población presenta hábitos de alto consumo de alcohol, sumados a altos índices de obesidad; sumando estos factores a la circulación de varios genotipos de HEV en el país, se configura un escenario complejo de salud pública en el contexto de Una Sola Salud.

El virus causante de hepatitis viral fue descubierto en humanos

La enfermedad se describió por primera vez en 1983 por Balayan, quien reprodujo la infección en un voluntario sano que ingirió extractos de heces de pacientes que



presuntamente resultaron negativos a Hepatitis A y B. Las muestras de heces del paciente infectado se analizaron mediante microscopía electrónica y no se encontraron marcadores para hepatitis A o B. Sin embargo, se visualizaron partículas similares al virus. El virus ya identificado como forma Entérica (HEV) se clonó en 1990 y la primera prueba serológica se desarrolló para vigilancia epidemiológica de enfermedades de carácter zoonótico, pero que son consideradas únicamente desde la perspectiva económico-pecuaria.

El HEV es la causa más frecuente de hepatitis aguda, insuficiencia hepática aguda e insuficiencia hepática crónica. Esta zoonosis puede diseminarse por la ruta fecal-oral. En comparación con la hepatitis A, B, C y D, la tasa de mortalidad del HEV es mayor que las otras formas de hepatitis humana. La hepatitis E aguda puede confundirse con la hepatitis inducida por fármacos. Dos estudios que describieron a pacientes que tenían un diagnóstico inicial de hepatitis inducida por fármacos con pruebas retrospectivas de HEV encontraron hepatitis E aguda en el 3 % y el 13 % respectivamente. Actualmente esta enfermedad se contempla en el ámbito de contaminación ambiental en conjunto con la hepatitis A, aunque su componente zoonótico la erige como una entidad clínica independiente que supera en importancia a todas las formas de hepatitis juntas.

Se presume que este patógeno ha evolucionado desde hace mucho tiempo en las poblaciones humanas y circula en áreas donde la potabilización de aguas y nivel de sanitización ambiental no son óptimos, por ello sus brotes se asocian principalmente a comunidades rurales y poblaciones de riesgo específicas. Su estatus como zoonosis es controversial pues la mayor diversidad genética se ha encontrado asociada a poblaciones animales y se podría conjeturar la posibilidad de ser un ejemplo de antropozoonosis que implique a los humanos como agente dispersor que disemina la enfermedad en función de conductas y hábitos específicos que lo ponen en riesgo a su especie y otras estrechamente asociadas.

Agente etiológico de hepatopatía

HEV causa hepatitis entérica, sus partículas virales (figura 1) son resistentes a la inactivación por condiciones ácidas y alcalinas del tracto intestinal, pero sensibles a inactivación por cinco minutos a 70°C, condiciones típicas de procesos de cocción. Los genotipos zoonóticos HEV-Gt3 y HEV-Gt4 además de generar infección crónica pueden generar enfermedades extrahepáticas. Se estima que todos los humanos experimentan al menos una vez al mes malestares del tracto gastrointestinal compatibles con infección por HEV.

El período de incubación de la enfermedad debida al HEV es de 4 a 6 semanas desde la infección hasta el inicio de los síntomas, aunque puede durar hasta más de dos meses o cursar subclínica diseminando el agente infeccioso. La HEV aguda se



caracteriza por síntomas como fiebre, anorexia, vómitos e ictericia. La viremia aguda generalmente persiste durante menos de un mes después de la aparición de los síntomas en casos subclínicos, y el RNA del HEV puede no ser detectable en el suero o en las heces cuando los pacientes acuden a la atención clínica. Más del 90% de los casos por HEV son asintomáticos según datos de donantes de sangre y se detecta viremia variable entre 1/600 a 1/2500 (positivos/evaluados) hasta 1/2300 a 1/14.500 en países europeos de acuerdo al grado de endemicidad de la enfermedad. La hepatitis E aguda es virulenta, causando brotes epidémicos cuando es sintomática, como lo demuestra el alto porcentaje de pacientes hospitalizados (74,5%). La ictericia está presente en aproximadamente el 43% de los casos agudos.

Los síntomas son inespecíficos y comunes a otras hepatitis virales: astenia, diarrea, náuseas, fiebre, artralgias, vómitos y dolor abdominal. Los niveles de ALT (Alanina aminotransferasa) suelen ser muy altos (1000-3000 UI/L), pero el aumento puede ser moderado según el momento del diagnóstico. La infección por HEV es autolimitada y dura de 4 a 6 semanas. Hay formas graves en pacientes con cirrosis y ancianos. No existen formas crónicas en pacientes inmunocompetentes. La ictericia colestásica tiene una duración que va desde semanas hasta meses. No hay rebote de citólisis después de la normalización de las pruebas de función hepática.

En humanos la ictericia es una de las señales clínicas más evidentes de infección con HEV sin embargo no siempre se presenta. Tanto los estudios en humanos como en animales han sugerido que la respuesta inmune, más que el daño viral a los hepatocitos, puede impulsar las manifestaciones clínicas de la enfermedad debida a HEV. Una indicación de que la patogénesis puede estar mediada en gran parte por el sistema inmune y no por el virus en sí, y es que el inicio de los síntomas ictericos generalmente coincide con un aumento de los anticuerpos y una disminución de la carga viral.

Características genéticas e inmunológicas

El estándar de oro para el diagnóstico de la infección por el HEV es la detección del genoma viral mediante la RT-PCR (reacción en cadena de la polimerasa con retro transcripción, por sus siglas en inglés) a partir de muestras de sangre, heces, tejido biliar o hepático y secreciones biliares. El virus es detectado con este ensayo genético-molecular dirigido a su genoma de ARN, y posteriormente, análisis de polimorfismos en regiones informativas pueden ser usados para asignarlo a uno de los genotipos conocidos. Las variantes de HEV son identificadas por secuenciamiento nucleotídico y análisis filogenético de las regiones codificantes de la proteína ORF2 en su dominio más cambiante (Figura 2).

El HEV es un virus cuasi envuelto en heces y se le puede encontrar desnudo, mientras que en cultivos celulares y sangre periférica es producido como un virus envuelto. Tiene un tamaño de 27-34 nm de diámetro, genoma de ácido ribonucleico



(ARN) monocatenario de sentido positivo que mide entre 6.6 y 7.3 kb de largo, codificante para cuatro marcos de lectura abiertos (ORF, por sus siglas en inglés). ORF1 codifica proteínas no estructurales (funcionales) (ARN polimerasa dependiente de ARN, metiltransferasa, etc), mientras que ORF2 codifica la proteína de la cápside, y ORF3 codifica un canal iónico funcional que desempeña funciones importantes en la liberación de partículas virales. El ORF4 es único para el genotipo 1 de HEV (HEV-Gt1) y desempeña un papel fundamental en el funcionamiento adecuado de la polimerasa de ARN de HEV. Los ORF's se encuentran flanqueados en 5' y 3' por dos regiones que no traducen a proteínas (UTR por sus siglas en inglés: «Untranslated Region»). Un tercer UTR es encontrado previo a las regiones solapadas de ORF-2 y ORF-3 (Figura 2). Estas dos proteínas son traducidas a partir de un ARN subgenómico bicistrónico. El ARN viral es protegido en la región 5' por una capucha de 7-metilguanosa y en la región 3' por una poliadenilación (Poli-A).

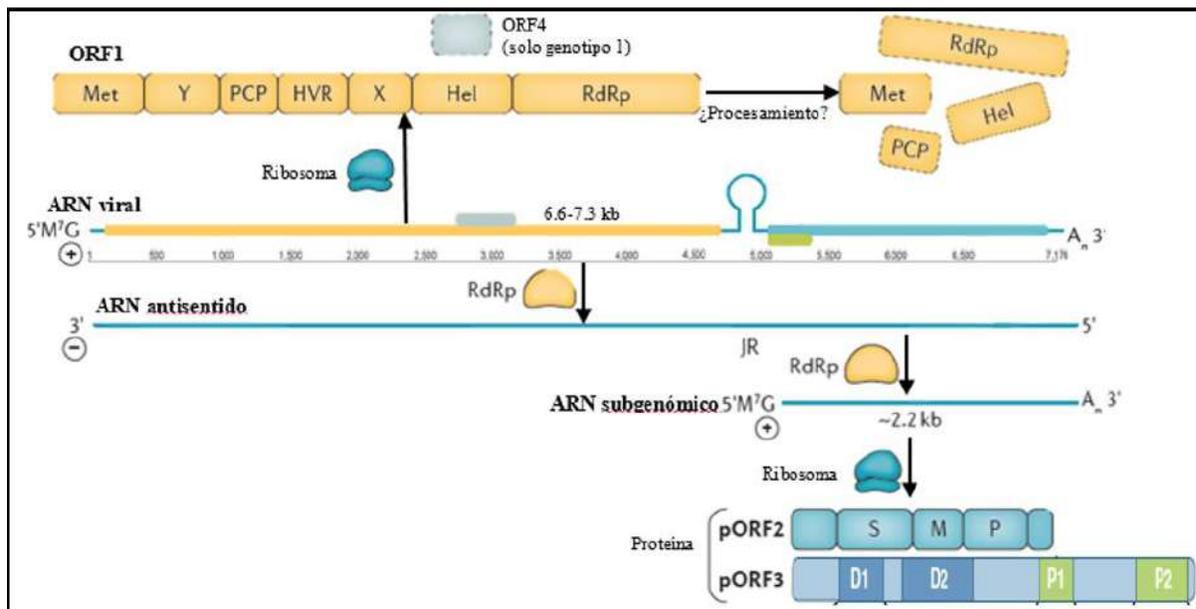


Figura 2. Genoma del HEV y expresión de sus genes. Se ilustran características del material genético del virus y de la expresión de las proteínas codificadas (Modificada de: Guu *et al.*, 2009).

La proteína de la cápside codificada por ORF2 es altamente inmunogénica y los anticuerpos contra esta proteína tienen características neutralizantes y protectoras. Es el principal antígeno viral y contra esta se dirige el grueso de la respuesta inmune humoral del individuo infectado (Figuras 1 y 2). Se dispone de estuches diagnósticos diseñados para detectar HEV en muestras clínicas y en alimentos, todos se basan en la



antigenicidad de la proteína ORF2. En sujetos inmunocompetentes, la producción de anticuerpos IgM e IgA contra ORF2 se presenta a partir de la tercera semana, mientras que los IgG, que son anticuerpos con mayor afinidad, comienzan su elevación a partir de la cuarta semana. La respuesta inmune contra HEV se considera un ejemplo de respuesta fisiológica exacerbada contra un patógeno particular, en vista de involucrar uno de los órganos metabólicamente más importantes del organismo, el hígado.

HEV es uno de los casos más eficientes de evasión de la respuesta inmune por parte de un patógeno. Estudios en humanos han sugerido que la falla en la generación de células T de memoria debido a sobre-estimulación de los linfocitos lo que desencadena el agotamiento inmune. Eventualmente esto permite la persistencia del virus, condición que explicaría la patogénesis durante las infecciones crónicas con HEV, aunque también manifestaciones agudas en individuos inmunocomprometidos. Similarmente, la capacidad del virus de cambiar de forma con envoltura a forma desnuda representa una estrategia que podría explicar que la mayoría de los casos clínicos sean asintomáticos y permitan al virus permanecer en las poblaciones de hospederos susceptibles sin ser detectado.

Clasificación y diversidad

HEV se clasifica dentro del orden *Nidovirales*, familia *Hepeviridae*, subfamilia *Orthohepevirinae*, y género *Paslahepevirus*. La especie tipo es *Paslahepevirus balayani* (ICTV). El género incluye ocho especies previamente descritas como genotipos (HEV-Gt1 - HEV-Gt8) y 36 subtipos, que infectan a diversas especies animales. Cuatro de ellos se encuentran más frecuentemente en humanos (HEV-Gt1, HEV-Gt2, HEV-Gt3, y HEV-Gt4).

HEV1-Gt1 y HEV-Gt2 se identifican como los principales responsables de epidemias transmitidas por aguas contaminadas en los países en desarrollo de África, el sur de Asia, y en México. Los genotipos HEV-Gt3 y HEV-Gt4 son responsables de las principales infecciones zoonóticas generando brotes de menor escala en países desarrollados; su transmisión se da principalmente por el consumo de carne de cerdo mal cocida. Los genotipos HEV-Gt5, HEV-Gt7 y HEV-Gt8 se reconocen por su potencial zoonótico. Actualmente se investiga el rango de hospederos y patogenicidad de más variantes identificadas en especies animales. En la Figura 3 se esquematizan las variantes y sus respectivos hospederos conocidos.

El genotipo HEV-Gt1 presente en Asia y en el norte de África, es la principal causa de infecciones epidémicas transmitidas por el agua. No obstante, el genotipo HEV-Gt2, fue el causante de una epidemia de HEV en México y varias más en América Central. El genotipo HEV-Gt3, está presente a lo largo del continente americano, varios países europeos, Japón y en algunos países en el Pacífico, siendo considerado como un agente zoonótico reemergente. Finalmente, el genotipo HEV-Gt4, es responsable de algunos



casos esporádicos en algunas regiones de China, Japón, Taiwan y Vietnam.

Anteriormente América fue una región considerada no endémica para el virus. Dos brotes importantes de hepatitis E en humanos se registraron en México; el primero se produjo en la aldea rural de Huitzililla en 1986 con 94 casos que presentaron ictericia. El segundo brote se presentó el mismo año en la aldea de Telixtac, con un informe de 129 casos. Ambos brotes se asociaron con el consumo de agua contaminada con el virus y por medio de microscopía electrónica, se concluyeron que eran partículas similares al virus de hepatitis no A, no B, sino igual a casos de transmisión entérica en Asia. En México, la infección por el HEV ha sido asociada al genotipo 2, siendo considerado por muchos años el único genotipo que circulaba en esta región; sin embargo, estudios recientes reportan la presencia del genotipo 1 asociado a hepatitis aguda en niños y el genotipo HEV-Gt3, en pacientes con daño hepático.

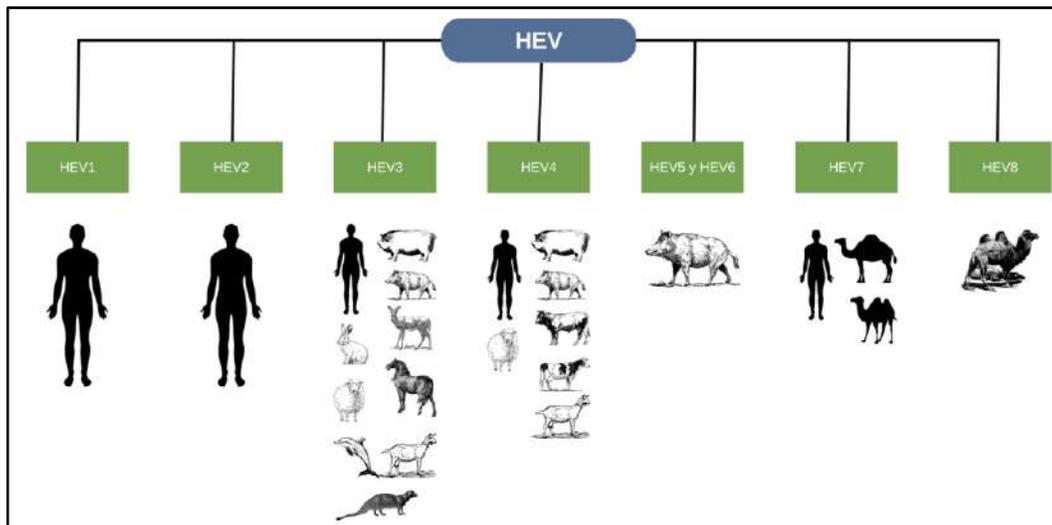


Figura 3. Variantes genéticas de HEV y especies hospederas (Modificada de: Ahmad *et al.*, 2022).

HEV causa Hepatitis Entérica Viral

El HEV es un virus entérico que se transmite principalmente por vía fecal-oral; los principales sitios de replicación del HEV son el hígado y los órganos extrahepáticos, incluidos el intestino delgado, el colon, el bazo, el estómago, los riñones y la placenta. En general, la infección aguda por HEV es una forma clínica relativamente asintomática o leve que se presenta con enzimas hepáticas elevadas, fatiga, orina oscura, dolor abdominal, ictericia, malestar general, náuseas/vómitos, dolor muscular y heces pálidas. La hepatitis icterica aguda se observa en alrededor del 5 al 30% de los pacientes



infectados por el HEV. Estos signos clínicos suelen durar de 1 a 6 semanas y frecuentemente son similares a los observados en otras enfermedades hepáticas. Aunque la infección por HEV suele ser una enfermedad autolimitada, se puede observar una presentación crónica en personas inmunocomprometidas, como receptores de trasplantes de órganos sólidos y células madre, personas que viven con VIH, pacientes con cáncer y enfermedades reumáticas. En la tabla 1 se muestran valores de seroprevalencia contra HEV encontrados en poblaciones humanas en países de América.

Potencial zoonótico desde especies productivas

El HEV porcino se identificó en 1997 y se demostró que estaba relacionado antigénicamente y genéticamente con el HEV humano. El cerdo es un huésped natural de HEV 3 y 4. La infección experimental de cerdos con HEV porcino o aislados de origen humano, demostró que los animales infectados presentaban viremia, liberando el virus junto con sus heces sin mostrar evidencia de enfermedad clínica o bioquímica. Debido a esta infección subclínica, los cerdos no son sometidos a pruebas rutinarias de la infección por HEV.

Se ha descubierto que el HEV generalmente infecta a los cerdos de forma asintomática en una etapa temprana de su vida (antes de los 3 meses de edad) y que debido a esto, muchos cerdos son seropositivos en el momento del sacrificio. La edad de sacrificio de los cerdos suele ser ligeramente inferior al año de edad. Se sospecha que la transmisión entre cerdos se produce por vía fecal-oral y es probable que esto se deba a la elevada eliminación que se observa en sus heces y su orina.

En algunos casos, los cerdos infectados pueden presentar ingesta reducida de alimento y diarrea leve, pero evidentes signos clínicos de enfermedad como variación de las enzimas hepáticas o niveles altos de bilirrubina suelen no ser detectados. Microscópicamente se llegan a observar lesiones hepáticas leves, excretando en las heces partículas de HEV infecciosas. También se han demostrado evidencias de sitios extrahepáticos de replicación de HEV en cerdos inoculados por vía intravenosa. Se han detectado anticuerpos contra el HEV en cerdos domésticos en regiones donde el HEV no es endémico para humanos. Estos anticuerpos también se han detectado con mayor frecuencia en humanos expuestos ocupacionalmente a cerdos que en aquellos no expuestos a cerdos. Las cepas de HEV humanas y porcinas están estrechamente relacionadas genéticamente, lo que soporta fuertemente la hipótesis de que la transmisión zoonótica ocurre frecuentemente.

Diversos estudios realizados en todos los continentes han encontrado una amplia distribución de HEV en granjas de cerdos. Inclusive experimentalmente se demostró con éxito que una cepa de HEV de conejo se transmite a los cerdos, lo que indica la capacidad de HEV para cruzar la barrera de especies. La demostración de la contaminación por HEV en la cadena alimenticia o en los productos derivados del cerdo ha indicado que el



HEV es con frecuencia un patógeno zoonótico transmitido por los alimentos. Los contactos directos con animales infectados, el consumo de carne de animales o productos cárnicos contaminados son todos medios potenciales de transmisión zoonótica del HEV. Actualmente no existe un método estandarizado para la detección del HEV en productos porcinos.

Tabla 1. Valores reportados de seroprevalencia contra HEV en América para poblaciones humanas. Modificada de Sánchez-González *et al.*, 2022.

País	Porcentaje (%) Anti-HEV IgG	Población
Argentina	4,4	Población general
	5,6	Población indígena
Bolivia	6,3	Población general
	* Diapro: 34,8	Población rural, utilizando dos estuches comerciales
	** Wantai: 30,7	
Brasil	9,8	Donantes de sangre
Colombia	45,2	Donantes de sangre
	8,7	Pacientes con diagnóstico clínico de hepatitis viral
	11,22	Trabajadores de fincas porcinas
	HAV/HEV: 33,6	Individuos con infección simultánea del HEV y otras hepatitis virales
	HBV/HEV: 23,8	
	HCV/HEV: 35,4	
Chile	30,1	Donantes de sangre
México	36,6	Población rural
Cuba	35,8	Porcicultores
Bolivia	7,3	Población rural



Venezuela	1,6	Gestantes
	3,9	Población rural
	5,4	Amerindios rurales

* Diapro : Marca del kit de ELISA usado para detectar la seroconversión.

** Wantai: Marca del kit de ELISA usado para detectar la seroconversión.

La infección por el HEV en una etapa temprana de su vida significa que existe una menor probabilidad de que los cerdos sean virémicos en el momento del sacrificio y por lo tanto, es menos probable que sean capaces de transmitir el HEV a los humanos a través de la cadena alimentaria porcina. Sin embargo, se ha debatido si el HEV causa inmunidad de por vida en los cerdos después de la recuperación. La gran mayoría de los casos documentados de infección zoonótica por HEV en humanos están relacionados con los genotipos 3 y 4 dentro del *Orthohepevirus A*. Estas también se producen a través del contacto directo y ocupacional con animales infectados, la contaminación ambiental de fuentes de agua y productos agrícolas por heces de animales infectados utilizadas como estiércol. La mayoría de los casos de hepatitis E en los países industrializados son endémicos y están asociados con una infección zoonótica por HEV.

Rango de hospederos de vida libre

La infección por HEV es un problema importante para la salud pública no solamente en países donde se considera endémica para humanos, sino también donde se la ha encontrado en animales domésticos y fauna silvestre como reservorios potencialmente zoonóticos. Estudiar el rango de hospederos del HEV es esencial para identificar qué ecosistemas pueden albergar especies reservorio que permitan su persistencia en el medio ambiente y así anticipar riesgos a la salud humana. La determinación del rango involucra factores intrínsecos (como los rasgos genéticos del agente y su capacidad de unión a células de los hospederos) y extrínsecos (como la distribución geográfica de los genotipos).

Se ha confirmado que variantes que infectan a diversas especies animales (p.ej. cerdos, ciervos, camellos, rata, conejos etc. Tabla 2) tienen la capacidad de infectar también al ser humano. Aunque HEV-Gt3 y HEV-Gt4 provenientes de cerdo causan infección zoonótica, variantes de HEV en otras especies de animales pueden infectar humanos; por ejemplo, en algunos países la infección se ha atribuido al consumo de carne de venado no correctamente cocida, mientras que en Francia se reportaron casos de humanos infectados a partir de conejos.



El consumo de alimentos producto de camello se relacionó con infección por HEV-Gt7 en un paciente de los Emiratos Árabes Unidos. Actualmente los reservorios incluyen al cerdo doméstico, jabalí y ciervo de sika. En casos que involucran otras especies queda pendiente determinar si pueden considerarse reservorio de HEV o si el reporte fue consecuencia de una infección indirecta.

Contaminación de acuíferos

En países en desarrollo, el virus se transmite principalmente a los seres humanos por la ingesta de agua contaminada y a través de carnes de animales mal cocidas en los países desarrollados. La transmisión por ingesta de agua ocurre principalmente en países en desarrollo donde el tratamiento de aguas residuales es inadecuado. Dado que el HEV existe en su forma no envuelta, es resistente al medio ambiente y por lo tanto, la transmisión a través del agua también es posible en los países desarrollados cuando se ingiere agua sin tratar.

En un estudio sobre la evaluación de la calidad del agua de riego realizado en países de altos ingresos, los dos orígenes principales de contaminación de las muestras utilizadas para irrigar frutos rojos fueron la contaminación fecal humana y porcina. Las muestras se analizaron para detectar la presencia de varios virus y se identificó el HEV. También se encontró HEV en frambuesas congeladas, en fresas cultivadas en campo y en perejil, siendo el agua de riego la principal sospechosa como origen de la contaminación, el genotipo identificado fue el genotipo porcino HEV-3.

En estudios realizados en países como Italia, Eslovenia, Japón y Países Bajos se analizaron diferentes tipos de muestras de agua ambiental para detectar el virus del HEV. Se detectó RNA del HEV en muestras de aguas residuales sin tratar, en agua de río y en agua superficial. Estos aislados pertenecen al genotipo HEV-Gt3; lo mismo sucedió en estudios realizados en América y Asia. Algunos estudios han demostrado que pudiera existir una relación estrecha entre la reducción de los niveles del caudal de los ríos durante las temporadas secas (verano) y una menor dilución de las partículas virales y por tanto, un aumento de la contaminación viral cuando se vierten heces al río. Esto podría sugerir un patrón estacional a la positividad de RNA del HEV en aguas residuales. El agua contaminada con HEV puede infectar también a los animales que viven en el agua ya que se ha detectado RNA en moluscos y mariscos, por lo que se ha señalado el consumo de moluscos y mariscos como probables vías de infección.

La transmisión hídrica del HEV es un problema que debe fomentar la inclusión del HEV en los protocolos de vigilancia en salud pública. Aunque la presencia de HEV es indiscutible en el medio ambiente, las cargas virales bajas exigen realizar estudios de infectividad para evaluar o debilitar el papel del agua como vector de importancia epidemiológica.



Reportes en México

Las hepatopatías ocupan el cuarto lugar de mortalidad en México y tienen como importantes agentes causales a virus hepatótrofos. El alto consumo de carne de cerdo, la transmisión asociada a fuentes de agua no-potable, la zoonosis a partir de animales de producción (cerdos) y animales de compañía (caninos), la transmisión vinculada a productos de mar, la alta variabilidad genética existente en este virus, limitados recursos y limitado acceso a información de prevención y saneamiento ambiental, son todas condiciones prevalentes en numerosas regiones de México, que apoyan la noción de que el HEV puede estar implicado en un importante número de casos de hepatitis en Jalisco en particular y en México en general. Por otro lado, aunque es causa de enfermedad en humanos, en animales este virus solamente causa infección subclínica, por lo cual no es preocupación para su salud ni para la productividad pecuaria.

A fines de la década de 1980 México se convirtió en un punto importante en el estudio del HEV debido a los primeros brotes de virus en América Latina relacionado con hepatitis viral de transmisión entérica. Hutzillilla y Telixtac pueblos rurales del estado de Morelos, fueron los sitios donde se presentaron dichos brotes. Fue entonces que se dio la primera identificación del genotipo 2 (Gt2) del HEV en el mundo, siendo México el país de esta referencia. Las partículas virales de heces recuperadas durante esos brotes, junto con los aislados de Asia ayudaron a describir y clasificar las características moleculares del recientemente denominado virus de la hepatitis E variante-2. Este hallazgo representó un hito en la comprensión de los virus de la hepatitis que infectan a los humanos y la primera identificación del HEV-Gt2 en el mundo.

México es considerado en la literatura especializada como un país endémico de hepatitis E; sin embargo, después de los brotes de 1986 no se han notificado casos de HEV-Gt2 en el país. Dado que el HEV se considera "otra" hepatitis, no se realizan diagnósticos de rutina en el sistema de salud y no existen datos epidemiológicos específicos de los Organismos de Salud. Por tanto, la información actual proviene de estudios realizados por grupos de investigación independientes.

En los últimos años se ha reportado en México una seroprevalencia en humanos de poblaciones rurales de hasta 36.6%. Asimismo se tiene reporte de que en el grupo indígena de los Tepehuanes la seroprevalencia es de 3.4%, en pacientes pediátricos 3% y en mujeres gestantes 5.7%; adicionalmente, estudios en cerdos han mostrado cifras del 59.4 y 30.75%.

Se ha determinado que en México la seroprevalencia de HEV en porcinos es alta. De acuerdo a un estudio donde se evaluaron varias regiones del país, se destacó que el norte de México mostró la mayor seroprevalencia. En otro estudio se sugiere una circulación abundante de HEV y altas tasas de transmisión entre los cerdos domésticos, lo que sugiere una circulación abundante de HEV y altas tasas de transmisión entre los cerdos domésticos.



Tabla 2. Rango de especies infectadas por HEV (Modificada de: Kenney, 2019).

Especie	Genotipo	Tipo de infección
Almeja japonesa (<i>Corbicula japonica</i>)	HEV-Gt3	Natural
Asno salvaje africano (<i>Equus africanus</i>)	HEV-Gt3	Natural
Buitre del Himalaya (<i>Gyps himalayensis</i>)	HEV-Gt3	Natural
Caballo (<i>Equus caballus ferus</i>)	HEV-Gt1 y Gt3	Natural
Cabra (<i>Capra aegagrus hircus</i>)	HEV-Gt 3-4	Natural
Camello bactriano (<i>Camelus bactrianus</i>)	HEV-Gt8	Natural
Cerdo doméstico (<i>Sus scrofa domestica</i>)	HEV-Gt3-4	Natural y experimental
Chimpancé (<i>Pan troglodytes</i>)	HEV-Gt1-4	Natural y experimental
Ciervo de copete (<i>Elaphodus cephalophus</i>)	HEV-Gt4	Natural
Ciervo rojo (<i>Cervus elaphus</i>)	HEV-Gt3	Natural
Conejo doméstico (<i>Oryctolagus cuniculus</i>)	HEV-Gt3	Natural y Experimental
Delfín nariz de botella (<i>Tursiops truncatus</i>)	HEV-Gt3	Natural
Dromedario (<i>Camelua dromedarius</i>)	HEV-Gt7	Natural
Gerbil de Mongolia (<i>Meriones unquiculatus</i>)	HEV-Gt-4	Experimental
Grulla coronada cuelligrís (<i>Balearica refulgula</i>)	HEV-Gt4	Natural
Jabalí (<i>Sus scrofa</i>)	HEV-Gt3-6	Natural
Langur común (<i>Semnopithecus entellus</i>)	HEV-Gt1	Natural
Macaco coronado (<i>Macaca radiata</i>)	HEV-Gt1	Natural
Macaco cangrejero (<i>Macaca fascicularis</i>)	HEV-Gt1-5 y Gt8	Natural y experimental
Macaco Da Noite (<i>Aotus trivirgatus</i>)	HEV-Gt1-2	Experimental
Macaco japonés (<i>Macaca fuscata</i>)	HEV-Gt3	Natural
Mono ardilla (<i>Saimiri sciureus</i>)	HEV-Gt1-2	Experimental
Mono verde (<i>Chlorocebus sabaeus</i>)	HEV- Gt1-2	Experimental
Oso tibetano (<i>Ursus thibetanus</i>)	HEV-Gt4	Natural
Oveja (<i>Ovis orientalis aries</i>)	HEV-Gt3-4	Natural
Pantera del Himalaya (<i>Neofelis nebulosa</i>)	HEV-Gt4	Natural
Rata gris (<i>Rattus norvegicus</i>)	HEV-Gt3	Natural
Visón americano (<i>Neovison vison</i>)	HEV-Gt3	Natural
Yak (<i>Bos grunniens</i>)	HEV-Gt4	Natural



En años recientes se ha reportado en el estado de Jalisco la presencia de monoinfección y coinfecciones incluyendo HEV en cerdos, población infantil, y pacientes hepatópatas. Esta información reveló que el virus circula en el occidente de nuestro país por lo que describir la epidemiología del HEV en grupos de potencial riesgo es esencial para el control de la transmisión del virus.

Riesgo a la conservación de especies

El aumento en la actividad humana como resultado del incremento de la población y su distribución hacia regiones antes desocupadas con cambios importantes en el uso de las tierras, ha aumentado el contacto entre personas, animales domésticos y silvestres, acrecentando el riesgo de transmisión de enfermedades ya conocidas y el surgimiento de nuevas. Esta situación ha incrementado en las últimas décadas el riesgo de extinción de especies con problemas de conservación. Las enfermedades infecciosas emergentes son todas aquellas enfermedades causadas por nuevos patógenos, o patógenos que recientemente han aumentado su incidencia, distribución geográfica, incorporando huéspedes nuevos o recientemente descubiertos como pudiera ser el caso del HEV.

Nuevas variaciones genéticas dentro del genoma del HEV pueden contribuir a la expansión del rango de hospederos, ya que podrían permitir la unión a factores del hospedero, sensores de escape y efectores del sistema inmunológico, asegurando potencialmente la propagación por nuevas especies. Por lo tanto, las barreras entre especies pueden estar determinadas por la incapacidad de los virus para inducir las interacciones proteína-proteína requeridas, para cumplir el ciclo de replicación viral, así como por factores celulares para restringir al patógeno invasor. La frecuencia de interacción entre el virus y cada especie huésped es un parámetro importante que determina la presión de selección. En general, se sabe que el contacto estrecho entre diferentes huéspedes aumenta la probabilidad de que se produzcan eventos de contagio y amplía el rango de huéspedes de un virus.

La coevolución del virus y los huéspedes a menudo conduce a la especificidad de especie. La presencia de proteínas/receptores de unión específicos y la disponibilidad de un conjunto complejo de factores celulares necesarios para la replicación viral pueden contribuir a la especificidad. El grado de especialización, resultado de las tasas evolutivas dependientes del hospedero puede explicar el vínculo de las infecciones por HEV con una enfermedad de mayor gravedad.

Eventualmente, la combinación de situaciones ambientales adversas con individuos inmunodeficientes y el incremento de especies hospederas del HEV, puede poner en peligro poblaciones vulnerables que tengan riesgo de conservación, y de esa forma constituirse en un agente que amenace las especies nativas.



Rutas de transmisión

La transmisión de HEV es sumamente compleja e involucra componentes del ambiente de trabajo propios de las industrias de cárnicos, alimenticia, productos de mar, y atención médica-hospitalaria (Figura 4). Ocho rutas principales de transmisión caracterizan geográficamente la distribución de la enfermedad en entornos endémicos y no endémicos e incluyen:

1. Transmisión en el agua por vía fecal-oral debido a la contaminación fecal del agua potable.
2. Transmisión alimentaria a través de la ingestión de productos derivados de animales infectados.
3. Transmisión zoonótica por exposición a fluidos corporales infecciosos de animales infectados.
4. Transmisión parenteral por transfusión de hemoderivados infectados o trasplante de órganos.
5. Transmisión vertical (materno-fetal).
6. Transmisión de persona a persona.
7. Transmisión nosocomial en pacientes hospitalarios y trabajadores de la salud y en unidades de hemodiálisis.
8. Transmisión zoonótica por consumo de leche de vaca y cabra.

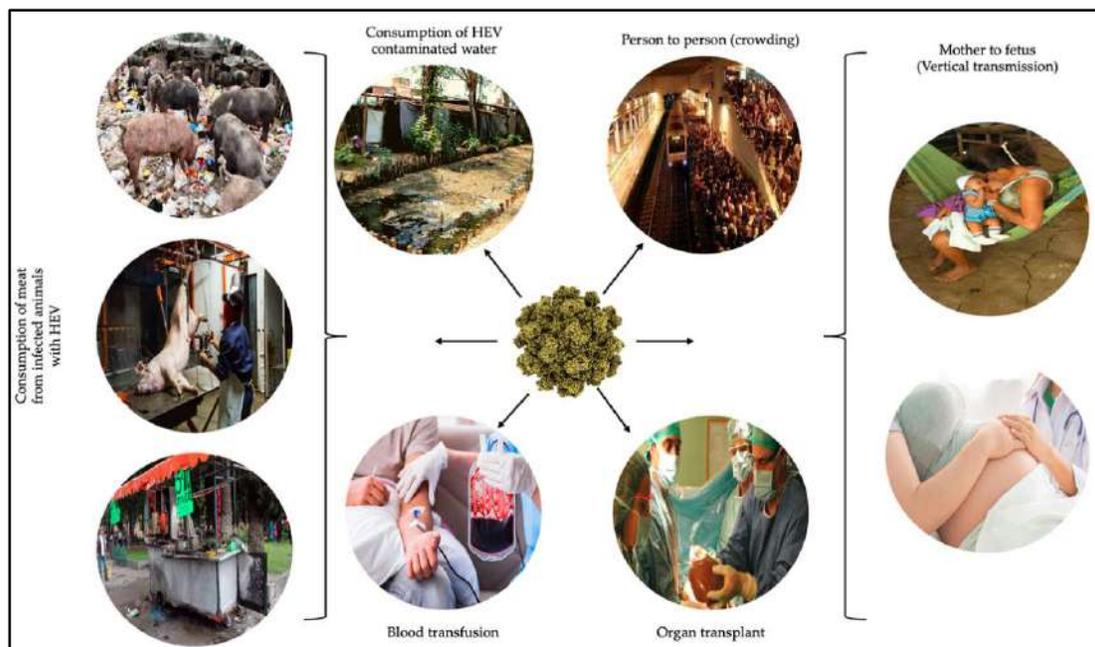


Figura 4. Rutas de contagio por el Virus Causante de Hepatitis Entérica Viral HEV (Tomada de: Viera-Segura *et al.*, 2023).



El virus se transmite principalmente a los seres humanos por la ingesta de agua contaminada en países en desarrollo y a través de carnes de animales mal cocidas en los países desarrollados. El HEV ha ganado protagonismo como agente viral transmitido por los alimentos en los últimos años, debido a su transmisión zoonótica a través del consumo de carne o derivados infectados sin cocer o poco cocidos, lo que ha generado preocupación creciente para la industria alimentaria y un grave problema de salud pública.

Existen dos patrones característicos de transmisión de HEV según la región geográfica. El primer patrón es observado en las regiones hiperendémicas, los brotes son grandes, afectan a cientos de miles de personas y el origen de la infección normalmente es el agua contaminada. Estas regiones incluyen países en vías de desarrollo, donde el HEV se presenta como epidemia esporádica y normalmente es causada por HEV-Gt1. Los rangos reportados en humanos adultos de anticuerpos anti-HEV en estas áreas son del 30 al 80%. En estas regiones, la enfermedad afecta principalmente a adolescentes y adultos jóvenes y la mortalidad es más alta en mujeres embarazadas. Existe también transmisión vertical de los genotipos 1 y 2 cuando las mujeres embarazadas están infectadas.

La transmisión de persona a persona por contacto directo parece ser rara en el HEV y particularmente en el HEV-Gt3. Debido a la rápida industrialización y el mejoramiento de las condiciones sanitarias, la transmisión zoonótica está tomando importancia, aumentando así la presencia de los genotipos 3 y 4. Este tipo de transmisión es muy frecuente en las regiones no endémicas, resultando en pequeños brotes y casos aislados de hepatitis E causados por los genotipos 3 y 4, atribuidos a la exposición a cerdos domésticos y al consumo de carne de cerdo mal cocinada. Estos genotipos al ser menos virulentos, pueden explicar por qué ha aumentado la prevalencia de anticuerpos anti-HEV en países desarrollados con pocos casos reportados de enfermedad, ya que estas cepas generalmente no generan signos clínicos evidentes.

Por otro lado, los genotipos 3 y 4, también pueden transmitirse por vía parenteral a través de la sangre y los productos sanguíneos. Inclusive, es probable que exista una vía de transmisión zoonótica a humanos a través del contacto con los animales.

En el caso específico del cerdo doméstico que se considera como el principal reservorio, se le asocia a la transmisión zoonótica del HEV por exposición ocupacional (dentro de una explotación porcícola), por el consumo de carne de cerdo mal cocida y por agua contaminada con materia fecal de cerdo. Varios estudios experimentales han demostrado la transmisión inter-especies de HEV de la cepa porcina a humanos y otros primates. A comparación de los humanos, el cerdo se mantiene como portador asintomático por lo cual es difícil la detección y prevención en esta especie.

Las rutas alternativas de transmisión también están respaldadas por estudios dietéticos, en los que los vegetarianos también suelen tener resultados positivos de



anticuerpos, aunque generalmente con una prevalencia significativamente menor que los omnívoros. También se ha detectado ARN de HEV en bayas y mejillones, ampliando el rango de alimentos que pueden representar riesgo por ingestión, y complicando el panorama epidemiológico al combinarlo con otros patógenos virales como HAV y Norovirus humanos, conocidos agentes infecciosos que son asociados a mariscos y frutas como medio de contagio, todos ellos por compartir el medio acuático ya sea en su hábitat o por las aguas de riego que se usan en su producción masiva.

Dispersión y mecanismos de control

Los viriones del HEV se consideran convencionalmente partículas sin envoltura. Estos se transmiten por vía entérica y posiblemente ingresan al torrente sanguíneo después de la primera ronda de replicación en el intestino. Luego, los viriones llegan a los hepatocitos desde el torrente sanguíneo. Los viriones envueltos en la carne cruda o poco cocida también pueden transmitirse por vía entérica y presumiblemente la envoltura se elimina durante el paso por el tracto gastrointestinal. Los viriones envueltos que se transmiten a través de la sangre llegan a los hepatocitos y a las células diana extrahepáticas desde el torrente sanguíneo. En el ciclo de vida del virus, para la formación de eHEV (forma envuelta de la partícula de HEV) en las células, el virus adquiere la envoltura principalmente de la membrana intracelular. Por otro lado, una característica importante de este virus es la capacidad de evadir las respuestas inmunitarias que se desencadenaron contra las proteínas expuestas en la cápside.

Un hecho importante en cuanto a la dispersión del virus por medio de productos cárnicos, es la presencia de HEV en la carne al momento del sacrificio, sin la posibilidad de detectarlo ante mortem o post-mortem. Esto es resultado de infecciones subclínicas en los animales destinados al consumo y resulta el obstáculo más crítico a vencer para obstaculizar la transmisión zoonótica relacionada con alimentos.

La contaminación ambiental de origen humano/animal tiene un papel en la diseminación del HEV, ya que el virus se ha detectado en aguas residuales urbanas y, con alta frecuencia, en aguas residuales rurales y lodos de mataderos de animales. Se considera que la temperatura es el principal factor que determina la inactivación del virus en el medio ambiente. Experimentalmente se demostró que el HEV infeccioso se detectó hasta 21 días a 37 °C, hasta 28 días a temperatura ambiente y hasta 56 días a 4°C, con una disminución de 2,7 log de virus infeccioso. El HEV es sensible a los tratamientos actuales de desinfección del agua que utilizan cloración e irradiación UV, similar a otros virus. Estas medidas también se pueden utilizar para minimizar la contaminación cruzada mediante el tratamiento de superficies en contacto con alimentos, la descontaminación del agua para riego o la depuración de mejillones y mariscos. Sin embargo no se dispone de suficientes estudios para concluir acerca del patrón que sigue HEV como



contaminante ambiental, de forma que se puedan diseñar estrategias de intervención para limitar su dispersión.

Como en el caso de múltiples patógenos virales, contra HEV solo se pueden disponer de estrategias hospedero-dependientes para anticipar la generación de signología clínica y por tanto la enfermedad causada por este patógeno. Su intrincada distribución de variantes en diferentes regiones ha sido obstáculo para prevenir esta enfermedad. Sin embargo, en 2011 se registró en China la primera vacuna basada en tecnología recombinante contra HEV (Hecolin®). Hasta el momento no ha sido aprobada en otros países o territorios. La vacuna protege contra la infección sintomática por HEV-Gt4, con una tasa de eficacia muy alta. Los ensayos de control aleatorio han demostrado una alta eficiencia y un número muy bajo de eventos adversos graves después de la vacunación. Debido a lagunas en el conocimiento, la OMS no recomienda la introducción de la vacuna para uso rutinario en programas nacionales de salud, sin embargo, las autoridades sanitarias pudieran decidir usar la vacuna basándose en la epidemiología local o en situaciones de brote.

No existen fármacos antivirales específicos contra el patógeno, aunque se han utilizado interferón pegilado y ribavirina para tratar infecciones crónicas por HEV con resultados mixtos. Es menester realizar más estudios y profundizar en la Epidemiología local relacionada con este patógeno para desentrañar sus manifestaciones y lograr dilucidar la importancia que está teniendo afectando a poblaciones humanas y a especies animales en su inmediata vecindad.

Mascotas hospederas de HEV

El rápido aumento de los casos humanos en los países desarrollados durante la última década indica un cambio en la epidemiología del HEV, y se ha sugerido que más especies animales pueden estar involucradas en la transmisión de la infección. Se conoce que algunos animales de compañía son reservorios de infección por HEV; se han detectado anticuerpos anti-HEV en perros y gatos. Existen reportes de la detección de anticuerpos en perros y gatos en diferentes continentes, con valores de seroprevalencia que oscilan entre 0,9% y 56,6%. Algunos estudios han identificado el contacto con perros como un factor de riesgo para la infección por HEV en naciones industrializadas, y por otro lado, una baja seroprevalencia de HEV ha sido reportada previamente en perros en países de bajos ingresos. El HEV ha sido poco estudiado en esta especie y se ha considerado que podría ser un huésped accidental. De acuerdo al estudio que evaluó la seroprevalencia de la infección por HEV en perros en varias ciudades de la provincia de Guangdong en China, se estimó un 19% de seroprevalencia global. Debido a la alta seroprevalencia de anticuerpos anti-HEV en perros y en veterinarios en un estudio al sudoeste de China, este virus se ha considerado un potencial problema de salud pública.



Otro estudio realizado en una muestra representativa de perros en una provincia al sur de España demostró una seroprevalencia global del 15.5%. Otros estudios serológicos y moleculares han sugerido la presencia de HEV en perros de Japón, Brasil e India, así como en Inglaterra y Portugal. Tomados en su conjunto, la acumulación de estudios permite anticipar que serán reconocidas las mascotas como hospederos intermedios o reservorios de la enfermedad atribuible a HEV.

Enfermedad infecciosa debilitante

La presentación clínica de la infección crónica por HEV se ha descrito principalmente en el contexto del trasplante de órganos, pero es similar en otros grupos de personas inmunodeprimidos, incluidos pacientes con trastornos hematológicos, personas que viven con el VIH y pacientes con trastornos reumáticos que reciben inmunosupresión intensa. Los pacientes inmunodeprimidos pueden no lograr eliminar la infección por HEV. Estos pacientes desarrollan hepatitis crónica, pero hasta la fecha esto sólo se ha observado en pacientes infectados con HEV-Gt3 o 4. La infección crónica por HEV se ha definido como una persistencia de la replicación del virus durante seis meses. Sin embargo, en un estudio observacional realizado en receptores de trasplantes de órganos sólidos, se observó que no se produjo ninguna eliminación espontánea del HEV entre tres y seis meses después de la infección, y la eliminación espontánea se produjo sólo dentro de los primeros tres meses después de la infección.

Estos datos sugieren en los receptores de trasplantes de órganos sólidos, que los pacientes que presentan viremia durante más de tres meses después de la infección por HEV pueden considerarse infectados crónicamente y considerarse para tratamiento. Sin embargo, en un pequeño número de casos se ha observado una eliminación espontánea entre tres y seis meses.

Hasta la fecha se han descrito aproximadamente 150 casos de lesión neurológica en el contexto de infección por HEV-Gt3, principalmente en Europa. La lesión neurológica asociada al HEV también se ha descrito en Asia en el contexto de la infección por HEV-gt1. La mayoría (>90%) de los casos se han documentado en personas inmunocompetentes, pero la lesión neurológica también ocurre en el contexto de una infección crónica por HEV-Gt3. La patología neurológica que se ha descrito en asociación con la infección por HEV incluye amiotrofia neurálgica (NA), Guillain- Síndrome de Barré (SGB), encefalitis/mielitis, mononeuritis múltiple, parálisis de Bell, neuritis vestibular, miositis y neuropatía periférica.

El HEV también puede causar glomerulonefritis tanto en pacientes inmunocompetentes como en inmunodeprimidos, trombocitopenia grave, miocarditis, tiroiditis, Púrpura de Henoch-Schönlein y Miastenia Gravis.



Debe mantenerse presente que ocupaciones profesionales que impliquen contacto directo con reservorios animales (porcicultores, veterinarios, trabajadores de mataderos, forestales y cazadores) exhiben mayor seroprevalencia que la población general, esto como consecuencia del riesgo mayor de exposición a este agente infeccioso. Asimismo, en esta población, es más probable que la infección pueda tener como consecuencia enfermedad de mayor gravedad, por lo cual se considera hoy en día al HEV como un agente debilitante que disminuye los umbrales de resistencia de los hospederos hacia otros agentes infecciosos. Esto merece ser en tenido en cuenta en los programas de prevención y control de enfermedades que generan mayor preocupación por dar lugar a mortalidad o morbilidad aumentada.

Las mascotas como reservorio

Durante las últimas décadas, el riesgo para la salud pública que representan las zoonosis fue sugerido por la aparición de brotes y epidemias de enfermedades infecciosas humanas previamente desconocidas que surgieron de reservorios animales. Tomando en cuenta que la infección por HEV en la mayoría de las especies animales cursa como subclínica, esto puede facilitar que la enfermedad se mantenga latente.

Gatos y perros al ser las principales especies que se mantienen como mascotas en todo el mundo, se consideran fuentes potenciales de transmisión de patógenos zoonóticos, incluido el HEV. La presencia de anticuerpos anti-HEV ha sido reportada en estos animales en diferentes continentes, con valores de seroprevalencia que oscilan entre 0,9% y 56,6%. A pesar de su estrecho contacto con el ser humano, existe muy poca información sobre la infección por HEV en perros y gatos a nivel mundial y su papel en la epidemiología de este virus también es poco conocido.

En un estudio y bajo experimentación en cultivo celular, quedó demostrado que las células de hígado de perro son permisivas para la infección por HEV de genotipo 3 humano. Por lo tanto, se insta a realizar más investigaciones sobre la prevalencia y el potencial de transmisión zoonótica de las mascotas.

HEV como posible antropozoonosis

La investigación sobre enfermedades zoonóticas a menudo se centra en enfermedades infecciosas que los animales han transmitido a los humanos. Sin embargo, un número cada vez mayor de informes indican que los humanos están transmitiendo patógenos a los animales. Los ejemplos recientes incluyen *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina, virus de la influenza A, *Cryptosporidium parvum* y *Ascaris lumbricoides*.

Existen reportes principalmente de Estados Unidos, donde los virus han sido el segundo patógeno más común asociado con la transmisión de persona a animal. Es probable que las relaciones entre humanos y animales se intensifique en todo el mundo



durante las próximas décadas debido en parte a las prácticas de cría de animales, el crecimiento del mercado de animales de compañía, el cambio climático, la alteración de los ecosistemas, el desarrollo antropogénico de los hábitats, los viajes y el comercio global. A medida que aumenta la conexión entre humanos y animales, también aumenta la amenaza de propagación de patógenos. Por ejemplo, la industria de las mascotas es un enorme negocio global que ahora se expande desde animales domésticos hasta animales exóticos. A medida que la propiedad de mascotas aumenta en todo el mundo y se introducen más mascotas exóticas en los hogares, el potencial de transmisión de enfermedades entre humanos y animales seguirá aumentando. Los veterinarios deben proteger más fervientemente a los animales bajo su cuidado de las amenazas de enfermedades humanas. La adopción de la estrategia de Una Sola Salud para la vigilancia y notificación de enfermedades emergentes, beneficiará tanto a los humanos como a los animales y producirá un plan de respuesta más colaborativo.

Por otro lado, los veterinarios, los trabajadores de la salud animal y los profesionales de la salud pública no son los únicos que deberían reconocer la amenaza de las zoonosis inversas. También se debe trabajar en una mayor sensibilización al público en general. En todo el mundo hay 1.300 zoológicos y acuarios que sustentan a más de 700 millones de visitantes cada año. La posibilidad de propagación de patógenos a los animales puede provenir de un visitante con una enfermedad, la contaminación de un ambiente o alimento compartido y la propagación de enfermedades mediante la reubicación de animales con fines educativos o en cautiverio. En Tanzania, se cree que un brote fatal de metapneumovirus humano en chimpancés salvajes es el resultado de que investigadores y visitantes observaran a los animales en un parque nacional que alguna vez fue territorio de los grandes simios. La educación y la concientización públicas deben aumentarse para incluir las posibles amenazas a la salud infligidas a un animal susceptible por un ser humano enfermo.

Conclusiones y recomendaciones

La prevención, el control y la erradicación de las zoonosis es una prioridad en el contexto de UNA SOLA SALUD. La infección por HEV es una importante zoonosis desatendida. Se tiene conocimiento que el contacto con especies domésticas es un factor de riesgo para la infección por HEV, por lo que la exposición ocupacional se ha destacado como un factor significativo para la seropositividad de HEV en humanos.

Enfocar esfuerzos en investigación orientada a caracterizar factores de riesgo de importancia local, permitirá encontrar elementos que puedan ser controlados con la toma de medidas precautorias beneficiando así la salud humana en particular, y a UNA SOLA SALUD en general.



No existen programas de vigilancia epidemiológica que incluyan a este virus causante de hepatitis, como acontece con las otras formas de hepatitis en humanos. En el medio de investigación se le considera como una enfermedad desatendida. En este contexto y destacando que el gobierno solo valora esta enfermedad como causante de casuística de baja frecuencia, los casos esporádicos no se investigan y probablemente contribuyan a mantener reservorios de HEV en poblaciones determinadas. De hecho, la eliminación fecal del virus por parte de individuos con infecciones subclínicas podría llevar al mantenimiento continuo de una fuente de infección en México. En este sentido, y aunque se reconoce la contaminación del agua como la principal fuente de HEV-Gt2, el estudio del virus en el agua sigue siendo una incógnita pendiente por resolver en México. Se requiere un enfoque holístico, en el que se involucren varias disciplinas que puedan abordar el problema de la detección nula y/o tardía de este virus, puntualizando en la importancia del conocimiento de su comportamiento tanto en la agricultura como en la cría de animales, tomando en cuenta que esto al final repercutirá en la salud de trabajadores, consumidores y animales: Una Sola Salud.

Referencias

- Ahmad, T., Jin, H., Dhama, K., Yattoo, M. I., Tiwari, R., Bilal, M., Dhawan, M., Emran, T. B., Alestad, J. H., Alhani, H. M., BinKhalaf, H. K. & Rabaan, A. A. (2022). Hepatitis E virus in pigs and the environment: An updated review of public health concerns. *Narra J*, 2(2). <https://doi.org/10.52225/narra.v2i2.78>
- Baez, P. A., Lopez, M. C., Duque-Jaramillo, A., Pelaez, D., Molina, F. & Navas, M. C. (2017). First evidence of the Hepatitis E virus in environmental waters in Colombia. *PLoS One*, 12(5), e0177525. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177525>
- Di Cola, G., Fantilli, A. C., Pisano, M. B. & Ré, V. E. (2021). Foodborne transmission of hepatitis A and hepatitis E viruses: A literature review. *International Journal of Food Microbiology*, 338(108986), 108986. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108986>
- Guerra, J. A. de A. A., Kampa, K. C., Morsoletto, D. G. B., Junior, A. P. & Ivantes, C. A. P. (2017). Hepatitis E: A literature review. *Journal of Clinical and Translational Hepatology*, X(X), 1–8. <https://doi.org/10.14218/jcth.2017.00012>
- Gutiérrez, C., Ospina, D., Forero, J., Rodríguez, B., Gutiérrez, L., Correa, G., López, A. & Parra, J. (2014). Serological and molecular detection of Hepatitis E virus in pig farms of Antioquia. *Ces. Med. Vet. Zootec*, ISSN 1900-9607. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-96072014000200002
- Guu, T. S. Y., Liu, Z., Ye, Q., Mata, D. A., Li, K., Yin, C., Zhang, J. & Tao, Y. J. (2009). Structure of the hepatitis E virus-like particle suggests mechanisms for virus assembly and receptor binding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*



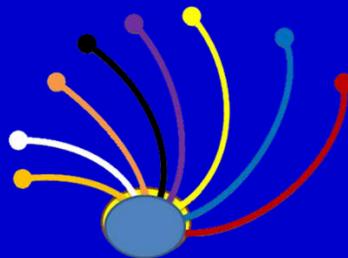
- of the United States of America, 106(31), 12992–12997. <https://doi.org/10.1073/pnas.0904848106>
- Horvatits, T., Schulze zur Wiesch, J., Lütgehetmann, M., Lohse, A. W. & Pischke, S. (2019). The clinical perspective on hepatitis E. *Viruses*, 11(7), 617. <https://doi.org/10.3390/v11070617>
- Johne, R., Althof, N., Nöckler, K. & Falkenhagen, A. (2022). Das Hepatitis-E-Virus – ein zoonotisches Virus: Verbreitung, Übertragungswege und Bedeutung für die Lebensmittelsicherheit. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 65(2), 202–208. <https://doi.org/10.1007/s00103-021-03476-w>
- Kinast, V., Klöhn, M., Nocke, M. K., Todt, D. & Steinmann, E. (2022). Hepatitis E virus species barriers: seeking viral and host determinants. *Current Opinion in Virology*, 56(101274), 101274. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2022.101274>
- Lin, S. & Zhang, Y.-J. (2021). Advances in hepatitis E virus biology and pathogenesis. *Viruses*, 13(2), 267. <https://doi.org/10.3390/v13020267>
- McElroy, A., Hiraide, R., Bexfield, N., Jalal, H., Brownlie, J., Goodfellow, I. & Caddy, S. L. (2015). Detection of hepatitis E virus antibodies in dogs in the United Kingdom. *PLoS One*, 10(6), e0128703. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128703>
- Medina-Vogel, G. (2010). Ecología de enfermedades infecciosas emergentes y conservación de especies silvestres. *Archivos de medicina veterinaria*, 42(1), 11–24. <https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2010000100003>
- Nan, Y. & Zhang, Y.-J. (2016). Molecular biology and infection of hepatitis E virus. *Frontiers in microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01419>
- Primadharsini, P. P., Nagashima, S. & Okamoto, H. (2021). Mechanism of cross-species transmission, adaptive evolution and pathogenesis of hepatitis E virus. *Viruses*, 13(5), 909. <https://doi.org/10.3390/v13050909>
- Realpe-Quintero, M., Mirazo, S., Viera-Segura, O., Copado-Villagrana, E. D., Panduro, A., Roman, S., Arbiza, J. & Fierro, N. A. (2018). Hepatitis E virus genotype 1 and hepatitis A virus dual infection in pediatric patients with a low socioeconomic status from Mexico. *Intervirology*, 61(3), 105–110. <https://doi.org/10.1159/000492425>
- Renou, C., Cadranet, J.-F., Bourlière, M., Halfon, P., Ouzan, D., Rifflet, H., Carencu, P., Harafa, A., Bertrand, J. J., Boutrouille, A., Muller, P., Igual, J.-P., Decoppet, A., Eloit, M. & Pavio, N. (2007). Possible zoonotic transmission of hepatitis E from pet pig to its owner. *Emerging infectious diseases*, 13(7), 1094–1096. <https://doi.org/10.3201/eid1307.070063>
- Songtanin, B., Molehin, A. J., Brittan, K., Manatsathit, W. & Nugent, K. (2023). Hepatitis E virus infections: Epidemiology, genetic diversity, and clinical considerations. *Viruses*, 15(6), 1389. <https://doi.org/10.3390/v15061389>
- Sotomayor-González, A., Trujillo-Ortega, M. E., Taboada-Ramírez, B. I., Sandoval-Jaime,



-
- C. & Sarmiento-Silva, R. E. (2018). Phylogenetic analysis and characterization of the complete hepatitis E virus genome (zoonotic genotype 3) in swine samples from Mexico. *Viruses*, 10(8), 391. <https://doi.org/10.3390/v10080391>
- Viera-Segura, O., Calderón-Flores, A., Batún-Alfaro, J. A. & Fierro, N. A. (2023). Tracing the history of hepatitis E virus infection in Mexico: From the enigmatic genotype 2 to the current disease situation. *Viruses*, 15(9), 1911. <https://doi.org/10.3390/v15091911>
- Wang, B. & Meng, X.-J. (2021). Hepatitis E virus: host tropism and zoonotic infection. *Current Opinion in Microbiology*, 59, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2020.07.004>

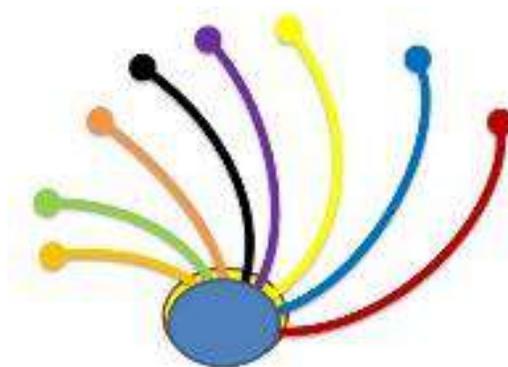
Sección 2

Zootecnia



Factores para considerar en la selección y manejo de la cerda de reemplazo hiperprolífica

Juan Romo-Valdez
Laura Espinoza-Aguirre
Ignacio Peralta-Gómez
Jesús Portillo-Loera
Ana Romo-Valdez
Javier Romo-Rubio





Introducción

Las cerdas actuales se caracterizan por su alta prolificidad; en las últimas dos décadas se ha incrementado el número total de lechones nacidos, pasando de 12.9 en el año 2000 a 19.6 lechones por camada en el 2020. El aumento en el tamaño de la camada va acompañado de una disminución del peso medio de los lechones al nacer y de una disminución de la cantidad de calostro consumido por lechón, lo que aumenta la vulnerabilidad y reduce el potencial de crecimiento de los cerdos nacidos. Lo anterior, tiene implicaciones en los criterios de selección de la hembra de reemplazo hiperprolífica; siendo este el primer factor a considerar en la selección de la futura reproductora.

Además, para alcanzar los objetivos de reproducción y hacer que las cerdas primerizas tengan un desempeño reproductivo alto, es importante reconocer las características fisiológicas clave de las cerdas primerizas contemporáneas y, en particular, el excepcional potencial de crecimiento magro de los genotipos modernos. Se han observado relaciones positivas de la tasa de crecimiento (TC) y del espesor de la grasa dorsal (EGD) con el rendimiento reproductivo posterior de las cerdas primerizas; aunque, también se han observado inconsistencias. Se ha sugerido, que con alimentación a libre acceso y con la asignación de espacio vital recomendado (~1.5 m² por primeriza) durante el desarrollo, la TC no parece limitar la edad al inicio del primer celo. En las cerdas primerizas con TC mayor (≥ 700 g/d) se puede inducir el celo alrededor de los 150–170 días de edad, pudiendo ser inseminadas entre los 185 y 210 días de edad sin afectar el rendimiento reproductivo. Sin embargo, se ha observado que en las cerdas primerizas inseminadas en el tercer celo hay una amplia variación en la TC, con un peso corporal al momento del servicio que van desde los 100 a 190 kg; por lo que, las primerizas con TC mayores pueden tener sobrepeso en el momento de la inseminación, si todas se sirven al presentar el tercer celo. Por lo tanto, las prácticas tradicionales de manejo en los sistemas de producción deben reevaluarse si se quiere aprovechar el potencial económico de las cerdas primerizas reproductoras actuales.

Importancia del peso al nacimiento en el desempeño reproductivo de la cerda primeriza

Las condiciones de manejo a las que se someten las cerdas primerizas antes y después del nacimiento tienen efectos importantes y duraderos en su desempeño reproductivo cuando son adultas, ya que los eventos clave del desarrollo comienzan durante la última parte de la gestación y termina 90 días después del nacimiento. Estos sientan las bases de qué tan bien el cerebro y otros órganos reproductivos se comunicarán entre sí durante la fase funcional de la vida reproductiva. Lo anterior, puede considerarse como el período de desarrollo de la eficiencia reproductiva. El mal manejo durante este período, muy probablemente, introduce ineficiencias reproductivas permanentes que serán difíciles de



revertir más adelante durante la fase funcional; así, desde una perspectiva práctica, la longevidad de las cerdas puede depender de los problemas que estas enfrenten durante la fase de desarrollo, la fase funcional o ambas.

Los ovarios, el útero y las partes del cerebro involucradas en la producción de hormonas reproductivas pueden visualizarse en los fetos en desarrollo alrededor de los 50 d de gestación. En el resto de la gestación, estos órganos aumentan de tamaño, por lo que al nacer tienen la mayoría de los tipos de células básicas que utilizarán como reproductoras. Por lo tanto, al menos anatómicamente, la mayor parte del marco para el potencial reproductivo posterior de la cerda parece estar en su lugar cuando nace. En consecuencia, el primer punto de referencia fisiológico para el potencial reproductivo, que los productores tienen la oportunidad de evaluar, es el peso al nacer. Existen relaciones positivas bien establecidas entre el peso al nacer y el tamaño de la mayoría de los órganos internos, incluidos el cerebro, los intestinos, el hígado y la cantidad de fibras en algunos músculos esqueléticos. Se ha observado una relación positiva entre el peso al nacer y la edad a la pubertad, la tasa de ovulación y la supervivencia embrionaria temprana (Cuadro 1, 2 y 3). La evidencia indica que las lechonas con peso al nacimiento menor a 1.3 kg, tienen una menor tasa de selección como futuras hembras de reemplazo, tasa de crecimiento menor y, en consecuencia, no logran el peso ideal (135-160 kg) para ser servidas en el segundo o tercer celo alrededor de los 240 d de edad; además, llegan a la pubertad a una edad mayor que aquellas con un peso al nacimiento mayor a 1.3 kg.

Influencia del peso al nacimiento en el desempeño reproductivo de la cerda primeriza

La selección de camadas más grandes durante décadas ha dado como resultado una reducción en el peso promedio al nacer, aumento en el número de lechones pequeños y de la variación del peso al nacer dentro de la camada. El bajo peso al nacimiento tiene efectos negativos sobre la tasa de crecimiento en las hembras de reemplazo, en el desempeño reproductivo y la productividad a lo largo de la vida de las cerdas. Los efectos perjudiciales del bajo peso al nacer no sólo se limitan a los cerdos pequeños dentro de una camada, sino que también pueden extenderse a camadas enteras que están programadas prenatalmente para tener un peso al nacer inferior al promedio (fenotipo de bajo peso al nacer de la camada; FBPN) y un rendimiento de crecimiento postnatal comprometido. El bajo peso al nacer afecta el desarrollo ovárico y uterino a los 150 días de edad, lo que podría conducir a un desempeño reproductivo deficiente en el futuro, como la tasa de ovulación y, en consecuencia, el tamaño de la camada.

Las cerdas que pesan menos de 1.0 kg al nacer tienen mayores tasas de mortalidad antes del destete y tienen pocas posibilidades de sobrevivir hasta el destete; como consecuencia, si sobreviven más allá de la fase de cría tienen un crecimiento deficiente hasta el final y son significativamente más livianas que sus compañeras de



camada con mayor peso al nacer. Además, tienen menos cerdos nacidos vivos en el primer parto, menos cerdos producidos en tres partos y mayor eliminación debido al anestro, en comparación con las primerizas que pesan más de 1.0 kg al nacimiento. También se ha observado, que las cerdas que pesan menos de 1.18 kg al nacer, generalmente mueren dentro de los cuatro días después de nacidas, aumentando las tasas de mortalidad antes del destete.

El tamaño de la camada de la que proviene una cerda de reemplazo también influye en su desempeño como adulta. Al respecto, se ha observado que al final de 6 partos un 18% más de las cerdas criadas en camadas pequeñas (7 lechones) seguían en producción en comparación con sus contrapartes de camadas grandes (10 lechones). Además, las cerdas que amamantaron en camadas pequeñas tuvieron tasas de parto más altas y tendieron a tener más nacidos vivos en comparación con las cerdas destetadas de camadas grandes. Una interpretación de estos resultados es que la reducción de la competencia durante el período neonatal mejoró tanto el desarrollo estructural como funcional de los órganos reproductivos de las futuras primerizas de reemplazo. Esto, a su vez, podría haber creado una situación en la que todo el eje reproductivo operara de manera más eficiente durante su fase funcional. Como se mencionó anteriormente, existe una relación positiva entre el peso al nacer y el desarrollo de los órganos internos y las fibras musculares en los animales de mercado; aquellos con un peso bajo al nacer tienen menos fibras musculares por haz, un menor desarrollo del hígado y los intestinos; como consecuencia, crecen más lentamente alcanzando el peso de mercado más tarde y tienen un porcentaje de músculo más bajo en comparación con sus contrapartes de mayor peso al nacimiento. Este fenómeno se conoce como restricción del crecimiento intrauterino y puede tener implicaciones importantes para las primerizas de reemplazo que provienen de líneas de cerdas maternas altamente prolíficas. Se ha sugerido, que el crecimiento durante la lactancia en relación con el peso al nacer de una nulípara es el mejor predictor del potencial de longevidad de la cerda.

Cuadro 1. Efecto del peso al nacimiento en la pubertad, la tasa de ovulación y la supervivencia embrionaria (Flowers, 2012).

Desempeño reproductivo	Peso de las lechonas al nacimiento (kg)		Valor de <i>P</i>
	Peso al nacimiento 1.580 kg	Peso al nacimiento 1.100 a 1.270 kg	
Edad a la pubertad (días)	170±8	188±6	0.001
Tasa de ovulación (n)	15.3±0.7	12.9±0.6	0.001
Sobrevivencia embrionaria (%)	83±0.6	69±0.7	0.001



Cuadro 2. Peso promedio al nacimiento de las cerdas preseleccionadas como hembras de reemplazo (Romo-Valdez *et al.*, 2024).

Variable	Tratamientos (peso al nacimiento)				Total	Valor de p
	≤1.1 kg	1.2 a 1.4 kg	1.5 a 1.6 kg	≥1.7 kg		
Lechonas, n	95	120	82	73	370	
Peso promedio al nacimiento, kg	0.955 ±0.151 ^a	1.313 ±0.074 ^b	1.554±0.050 ^c	1.781±0.104 ^d	1.367±0.311	0.0001

^{abcd} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística ($p < 0.05$).

Cuadro 3. Influencia del peso al nacimiento en la tasa de selección de hembras de reemplazo (Romo-Valdez *et al.*, 2024)

Variable	Tratamientos (peso al nacimiento)			
	≤1.1 kg	1.2 a 1.4 kg	1.5 a 1.6 kg	≥1.7 kg
Lechonas preseleccionadas, n	95	120	82	73
Lechonas desechadas, %	49.5 (47)	33.3 (40)	25.6 (21)	24.7 (18)
Lechonas seleccionadas, %	50.5 (48) ^a	66.7 (80) ^b	74.4 (61) ^b	75.3 (55) ^b
Edad a la selección	148±5	148±5	147±7	147±4

^{ab} Literales diferentes en columnas indican diferencia estadística (χ^2 ; $p < 0.01$).

Debido a que las cerdas primerizas constituyen una parte significativa de la piara reproductora, el desarrollo exitoso de las cerdas primerizas es fundamental para el rendimiento y la rentabilidad general de la unidad de producción. Las decisiones de manejo y nutrición antes del primer apareamiento de las cerdas primerizas afectan la productividad y el desempeño reproductivo posterior. Las primerizas que alcanzan la pubertad a edad temprana tienden a permanecer más tiempo en la piara y ser más productivas. Al respecto, se ha observado que casi el 10% de las cerdas nulíparas no expresan el celo a los 8 meses de edad; el anestro y la falta de ciclos estrales regulares (no retorno a estro) son las razones más comunes para retirarlas de la piara.

Influencia del fenotipo de peso al nacimiento en el desempeño de la cerda primeriza

Las primerizas nacidas de cerdas de fenotipo de alto peso al nacimiento (FAPN) y con tasas de crecimiento superiores a 700 g/d desde el nacimiento a los 150 a 170 d de edad pueden estar en riesgo de exceder los rangos objetivos de peso al servicio en el segundo estro; por el contrario, las tasas de crecimiento más bajas, característicos de los fenotipos de bajo peso al nacimiento (FBPN), pueden retrasar el logro de la pubertad, ya que lograr un peso corporal mínimo o un estado metabólico particular también es un requisito previo para que se produzca la pubertad. La tasa de crecimiento y la edad de la pubertad están asociadas con la productividad a largo plazo de las cerdas. Las primerizas con mayores



tasas de crecimiento pueden aparearse antes, brindando la oportunidad de seleccionar hembras con características que aumentan su longevidad, aumentando así la rentabilidad de la producción porcina.

Influencia de la proporción de sexo de la camada de origen en el desempeño de la cerda primeriza

Las primerizas nacidas de camadas con una alta proporción de machos están expuestas a mayores niveles de andrógenos de sus compañeros (machos) de camada en el útero, lo que provoca que las primerizas se masculinicen. Se ha observado que las primerizas nacidas en camadas con predominio de hembras son potencialmente mejores hembras de reemplazo que las primerizas de camadas con predominio de machos. Se ha informado de mayores tasas de concepción (68 vs. 40%) en las primerizas provenientes de camadas con una proporción menor respecto de aquellas con mayor número de machos al nacimiento. Esto indica que las primerizas de camadas con un mayor porcentaje de machos pueden tener más probabilidades de ser descartadas por falla reproductiva y, por lo tanto, menos probabilidades de parir una camada. Las primerizas de camadas con predominio de machos tienen más probabilidades de no tener éxito en inseminaciones y apareamiento, menos cerdos nacidos y menos pezones funcionales en comparación con las primerizas de camadas con predominio de hembras.

Efecto de la tasa de crecimiento en la presentación de la pubertad y desempeño reproductivo posterior

Los intentos de asociar la pubertad con un peso crítico, tasa de crecimiento, espesor de grasa dorsal o tejido magro siguen siendo controvertidos, probablemente debido a una comprensión poco clara de la interacción entre las características corporales y otros factores como la raza, la edad, el efecto verraco, la estación y el entorno que también afectan el logro de la pubertad; además, la activación del eje hipotalámico-pituitario-gonadal y el desarrollo folicular inicial que precede al inicio de la pubertad pueden ser bastante variables entre una cohorte de primerizas. La selección genética y el manejo nutricional para producir cerdos más magros también pueden resultar en un retraso en el inicio de la pubertad. Sin embargo, la tasa de crecimiento puede estar relacionada con el inicio de la pubertad; al respecto, se ha informado que las primerizas con tasas de crecimiento más rápidas en el momento de la exposición al verraco alcanzaron la pubertad antes que las contrapartes de crecimiento más lento, lo que sugiere que el crecimiento rápido y, como resultado, el peso corporal en etapas específicas o edad de desarrollo podría ser predictivo de la edad de la pubertad.

Una mayor tasa de crecimiento magro, grasa corporal reducida y mayores pesos maduros, típicos de los genotipos actuales, dan como resultado primerizas más pesadas



y delgadas (menor EGD) cuando se produce la estimulación de la pubertad. Por lo tanto, los posibles efectos adversos de la delgadez extrema (<10 mm de EGD) en el logro de la pubertad de las primerizas modernas deben tenerse en cuenta en un programa de desarrollo de primerizas. En el contexto de una mayor tasa de crecimiento de las nulíparas modernas, se especula con la aceleración de la pubertad y el primer apareamiento por una exposición temprana a los verracos. De hecho, se ha sugerido, que cuando el apareamiento se realiza entre los 185 y los 209 días de edad en lugar de después de los 210 días, la tasa de parto, la tasa de descarte y el total de nacidos producidos en tres partos no se ven afectados negativamente en las primerizas con una tasa de crecimiento de más de 700 g/d. La baja tasa de crecimiento y los retrasos innecesarios en la estimulación del celo puberal son factores importantes que contribuyen a los días no productivos (DNP) de la piara reproductora. Se ha indicado, que las cerdas primerizas con una tasa de crecimiento mínima (726 g/d) y peso mínimo (95 kg) estimuladas a una edad temprana (130 a 149 d), la expectativa es que incluso las primerizas más livianas podrían alcanzar un peso cercano a los 139 kg a su tercer estro, manteniéndose dentro del rango de 135 a 160 kg considerado ideal para el primer apareamiento. Otros investigadores, han sugerido que las primerizas con alta tasa de crecimiento, con peso corporal entre 110 y 134 kg y edad entre 150 a 170 d al inicio del contacto con el verraco, la mayoría podrían tener sobrepeso en el momento de la reproducción en su segundo o tercer estro. Lo que sugiere que las altas tasas de crecimiento pueden tener efectos negativos sobre la aptitud física de las primerizas de reemplazo, el bienestar y las tasas de desecho de las cerdas con mayor número de partos; en este último caso será necesario la restricción alimenticia, con el objetivo de no servir cerdas primerizas más allá de los 160 kg de peso en el segundo o tercer celo.

La evidencia científica indica que la tasa de parto y la tasa de retorno al estro es similar en cerdas primerizas servidas con un EGD entre los 10 a 23 mm y con TC entre los 600 a 870 g/d; sin embargo, las primerizas con TC de 701–870 g/d tuvieron un mayor tamaño de camada en comparación con las primerizas con TC de 600-700 g/d, con 0.5 y 0.9 lechones más, respectivamente; sin embargo, el porcentaje de nacidos muertos durante el parto aumenta en las cerdas con TC entre 701–870 g/d; además, éstas primerizas tuvieron más lechones con un peso inferior a 1.2 kg, camadas con un mayor coeficiente de variación en el peso al nacimiento y un mayor porcentaje de camadas con un coeficiente de variación superior al 20% que las hembras con TC de 600–700 g/d. También, se observó un mayor número total de lechones nacidos y nacidos vivos en las cerdas primerizas con EGD de 16-17 mm al momento del servicio en comparación con las primerizas con EGD de 10-15 mm.



Importancia de la edad a la pubertad de la cerda primeriza en los días no productivos de la piara reproductora

La edad al primer estro, o inicio de la pubertad, tiene un valor predictivo positivo para el desempeño reproductivo futuro dentro de una piara reproductora. Por lo tanto, este fenotipo puede estar asociado con la productividad de por vida de la cerda, o la cantidad de cerdos de calidad que produce una cerda desde el momento en que ingresa a la piara reproductora hasta el momento que se desecha. El intervalo de entrada al servicio de la cerda primeriza es un factor importante que contribuye al total de días no productivos (DNP) en la piara reproductora. La reducción de los DNP y, en consecuencia, la reducción de los costos de producción se puede obtener logrando cerdas primerizas con una edad más temprana a la pubertad.

Las reservas corporales de las cerdas primerizas en el primer apareamiento pueden afectar el momento y el patrón de desecho de primerizas. Por lo tanto, la eficiencia de la piara reproductora puede mejorarse si las primerizas se introducen con un total de DNP mínimo, siempre que se garantice un peso mínimo en el primer servicio para mantener rendimiento y longevidad. Se ha observado que las cerdas primerizas que exhiben su primer celo conductual a edad temprana (<153 d) en comparación con edades mayores (154 a 180 d) tienen menos DNP en la piara reproductora; además, las cerdas primerizas que exhiben estro después de los 180 d de edad tienen una tasa de servicio más baja que las primerizas cuyo primer estro se detectó antes de los 180 días de edad. También se ha observado que las cerdas primerizas que alcanzan su primer celo a una edad temprana tienen una mayor probabilidad de producir un tercer parto.

Efecto de la presencia del verraco en la presentación de la pubertad

El contacto con el verraco a una edad adecuada ejerce una gran influencia y juega un papel crítico para inducir el celo de la pubertad. Se ha observado que la edad de la pubertad es muy variable (138 a 240 d de edad) en primerizas expuestas a verracos maduros aproximadamente a los 120 días de edad. La inducción de la pubertad a una edad temprana (135 a 140 días de edad) sirve para identificar a las primerizas que responden temprana y probablemente a las primerizas más fértiles durante su vida reproductiva, ya que las primerizas seleccionadas por tener una menor edad en la pubertad dan como resultado un mayor porcentaje de cerdas que paren más de cinco partos. Por lo tanto, el contacto con el verraco a una edad adecuada tiene una gran influencia para inducir la pubertad y el celo. Se ha observado que la exposición de la primeriza al verraco a una edad más temprana corresponde a una edad menor en la presentación de la pubertad, pero requiere más días de estimulación; por el contrario, las primerizas con mayor edad al inicio de la exposición al verraco suelen ser mayores en la pubertad, pero requieren menos días de estimulación. Se ha informado que las primerizas



estimuladas con contacto diario con verracos a partir de los 140 días de edad, el 75% alcanzaron la pubertad dentro de los 40 días posteriores a la estimulación.

Edad y peso para el apareamiento de la cerda primeriza

La pubertad se asocia con un peso crítico, tasa de crecimiento, grasa o el tejido magro; otros factores, como la raza, edad, efecto del verraco, estación del año y el ambiente, también afectan el logro de la pubertad. En el pasado se recomendaba que las primerizas de reemplazo tuvieran al menos seis a siete pares de pezones y se aparearan a los 240 días de edad, con un peso mínimo de 130 kg y un EGD de 17 mm al segundo o posterior celo observado; otros recomendaron que las primerizas se criaran con un peso objetivo de 135 a 150 kg. Se ha informado que las primerizas que pesan menos de 135 kg tienen menos cerdos nacidos en tres partos que las primerizas que pesaron más de 135 kg. Sin embargo, no se han informado diferencias relacionadas con el peso en el total de nacidos o nacidos vivos cuando las primerizas pesaban más de 130 kg en el primer servicio.

Se ha indicado que el peso corporal y la tasa de crecimiento de las primerizas están asociadas con el número de ovulaciones; ya que, por cada 10 kg de aumento de peso corporal se observó un aumento de 1.1 cuerpos lúteos. Sin embargo, las primerizas con peso superior a los 170 kg al momento del servicio tienen una menor tasa de partos en la segunda parición, así como más baja retención y mayores problemas de locomoción en los tres primeros partos. Se ha informado que un peso corporal mayor a 180 kg después del parto protege contra los efectos perjudiciales de la pérdida de tejido magro durante la primera lactancia sobre el rendimiento reproductivo posterior. Por lo tanto, si las primerizas se inseminan con un peso entre 135 a 150 kg, y un aumento de peso de la cerda de 35 a 40 kg durante la gestación, las primerizas tendrían el peso objetivo al momento del parto. En la actualidad, para el caso de las cerdas hiperprolíficas, se recomienda que el primer servicio de las cerdas primerizas se realice entre los 200-225 d de edad, con un peso objetivo de 135-160 kg, con tasa crecimiento entre 600 a 800 g/d, y en el segundo o tercer estro.

La edad al primer servicio en las cerdas primerizas influye en su rendimiento reproductivo posterior y en su longevidad. Bajo condiciones de campo, la edad observada al primer apareamiento en las cerdas primerizas varía considerablemente de 150 a 348 días, mientras que en las unidades de producción comerciales la edad promedio de las cerdas primerizas al primer apareamiento varía de 198 a 268 días; aunque, de manera general, se ha informado que las cerdas primerizas expresan la edad del primer estro observado aproximadamente a los 200 días.

Con base en la evaluación económica se ha determinado que las primerizas en América del Norte deben aparearse antes de los 220 días de edad. En Japón, se ha determinado que las primerizas apareadas después de los 230 días de edad tienen bajo desempeño reproductivo posterior y menor longevidad. Así, las cerdas primerizas



apareadas a una edad más avanzada tienen una vida reproductiva más corta y un mayor riesgo de ser sacrificadas debido a problemas de infertilidad. Además, se ha observado que las cerdas primerizas que exhiben el primer estro permanente entre los 180 y 200 días de edad tienen un tamaño de camada más grande en los primeros tres partos que aquellas que expresan el primer estro entre 201 y 220 días de edad. Estos hallazgos indican la importancia del manejo de las cerdas primerizas, así como la primera decisión de apareamiento para su desempeño reproductivo posterior.

En la práctica, se sacrifica anualmente del 40 al 50% de las cerdas de las piaras reproductoras y se reemplazan por primerizas, por lo tanto, el rendimiento reproductivo de las primerizas influye en gran medida en el rendimiento reproductivo general de una piara porcina. Las tasas altas de reemplazo de las cerdas de uno y dos partos han sesgado las distribuciones de paridad en la mayoría de las granjas de reproducción de América del Norte hacia las cerdas primerizas, provocando, que la productividad general de la piara reproductora se vea limitada debido a que las cerdas se sacrifican antes de que alcancen sus períodos máximos de rendimiento reproductivo.

Los problemas reproductivos contribuyen con el 47% de las razones por las que se retiran las cerdas primerizas de las piaras de cerdas reproductoras. Una proporción significativa (10-30%) de las cerdas primerizas que ingresan a la piara reproductora nunca paren una camada. Los problemas reproductivos comunes incluyen anestro, inseminación repetida, no estar gestante, flujo vaginal anormal, aborto y problemas de parto.

Influencia de espesor de la grasa dorsal en la presentación de la pubertad en la cerda

Se ha demostrado que las cerdas primerizas con mayor (18-20 mm) EGD alcanzan la pubertad más rápido que aquellas con menor (14.7 mm) EGD. Esto indica que las nulíparas con alto contenido de grasa dorsal podrían ser servidas a más temprana edad que aquellas con menor contenido de grasa dorsal. Las primerizas con alto EGD tienen un mayor número total de lechones nacidos por camada. También, se ha observado que las cerdas primerizas con alto EGD (17.8 mm), alimentadas *ad libitum*, alcanzan la pubertad a los 198 d de edad, mientras que aquellas con menor EGD (14.7 mm), restringidas al 80% de alimento, alcanzan la pubertad a los 203 d de edad. Además, se ha indicado que la edad a la pubertad tiene una heredabilidad ($h^2=0.30$), que es superior con respecto a otros rasgos reproductivos. Esto implica que la selección de cerdas primerizas de reemplazo con base en el EGD podría contribuir al mejor desempeño reproductivo de la piara.

Las señales metabólicas son cruciales para el inicio de la pubertad. Se ha observado que algunas hormonas metabólicas están estrechamente relacionadas con la



grasa dorsal y el logro de la pubertad. La leptina y el factor I de crecimiento similar a la insulina (IGF-I) han sido reconocidos como reguladores del crecimiento y la diferenciación celular, el inicio de la pubertad y la composición corporal. La leptina es reconocida como una de las hormonas metabólicas del tejido adiposo; importante en la homeostasis energética y el logro de la pubertad.

Los adipocitos son el mayor reservorio de producción de leptina. Se ha observado que la concentración sérica de leptina se eleva durante el desarrollo puberal en los cerdos, antes de un aumento en la hormona luteinizante (LH) y los estrógenos. Además, se ha observado que la concentración sérica de leptina aumenta durante la pubertad en las cerdas primerizas. También, se ha observado que la leptina funciona como una señal metabólica permisiva para el inicio de la pubertad a través de la secreción de LH. Al respecto, se ha observado que un aumento en la masa de adipocitos es proporcional a un aumento en la concentración sérica de leptina. Además, se ha demostrado que la concentración sérica de leptina se relaciona positivamente con el EGD en la posición P2 ($r=0.476$). Se determinó también, una asociación positiva entre el nivel de ARN mensajero de leptina y el EGD en los cerdos. Esto explica, por qué que los cerdos con alto EGD alcanzan la madurez sexual antes que aquellos con bajo EGD.

Adicionalmente, se ha demostrado que el IGF-I es uno de los factores metabólicos significativos que afectan el inicio de la pubertad en los cerdos. Esto implica, que las primerizas con alto nivel de IGF-I alcanzan la pubertad más rápido que aquellas con bajo nivel de IGF-I. Se ha observado una relación entre el EGD, la concentración sérica de IGF-I y la edad puberal en las nulíparas. Las cerdas nulíparas con alto EGD (≥ 17.0 mm) en el día del apareamiento tienen un nivel sérico de IGF-I más alto (31.1 ± 1.1 vs. 26.0 ± 1.4 nmol/L) que aquellas con bajo EGD (≤ 13.5 mm). Además, las primerizas con alta concentración sérica de IGF-I alcanzaron el inicio de la pubertad más rápido que aquellas con un nivel sérico bajo de IGF-I (< 153 vs. 168-180 días).

Se ha observado que el IGF-I, en la mayoría de las especies de mamíferos, promueve la proliferación de células de la granulosa, la producción de esteroides y el crecimiento de los ovocitos. Esta información, también refleja las razones por las cuales las cerdas nulíparas con alto EGD adquieren la madurez sexual antes que aquellas con bajo EGD.

Efecto del ambiente físico sobre la pubertad

La temperatura es la variable más estudiada y utilizada como indicador de estrés térmico, aunque la humedad relativa del aire (HR) también afecta la termorregulación en animales. Las altas temperaturas ambientales tienen efectos negativos sobre el rendimiento reproductivo de las cerdas. Basado en las notables mejoras en el rendimiento reproductivo de las cerdas realizadas a lo largo de los últimos años, la producción de calor metabólico de los animales aumentó. En consecuencia, las cerdas son más



sensibles a los efectos del estrés por calor. El estrés por calor se define a partir del exceso de la temperatura crítica superior de la zona termoneutral. En las cerdas se ha estimado que 21.7°C es la temperatura umbral para el parámetro número total de lechones nacidos y 19.2°C para la tasa de partos. Sin embargo, la temperatura por sí sola no describe suficientemente el entorno climático de un animal. Dentro de la zona termoneutral la humedad relativa es insignificante, pero se convierte en un factor determinante en condiciones de estrés por calor. Para describir los efectos ambientales sobre el animal, se han desarrollado y se aplican ampliamente varios índices, incluido el índice de temperatura-humedad (ITH). El ITH creado por Earl Thom en 1959, combina estas dos variables y las asocia al confort animal. Este índice, modificado, es el parámetro más utilizado para predecir riesgos de estrés calórico. De acuerdo con Mader *et al.* (2006) el ITH se obtiene mediante la fórmula $[0.8 \times \text{temperatura ambiente} + [(\% \text{ HR}/100) \times (\text{temperatura ambiente} - 14.4)] + 46.4]$; cuyo resultado, al combinar el efecto de la temperatura ambiental con el de la humedad relativa (HR) del aire, indica el nivel de confort o estrés fisiológico al que el organismo animal está sujeto durante distintos periodos de tiempo; el nivel de confort o estrés se expresa numéricamente de la siguiente manera: estado de confort (ITH ≤ 74), estado de alerta fisiológica (ITH $>74 < 78$), estado de peligro fisiológico (ITH $\geq 78 < 84$) y estado de emergencia fisiológica (ITH ≥ 84). Es común, que, en las regiones tropicales del mundo, y de manera particular en el noroeste de México, durante la estación de verano, parte de primavera y otoño el ITH sea $>76.5 < 87.4$; periodo durante el cual las cerdas están expuestas a estrés calórico crónico (Cuadro 4), lo que afecta su rendimiento productivo y reproductivo.

Los cerdos estresados por carga calórica generalmente tienen un nivel de actividad deprimido, su comportamiento conductual es estar acostado y, por lo tanto, tienen menos periodos de alimentación y actividad física, por lo que disminuyen la ingesta de alimento para reducir la producción metabólica de calor y mantener la homeotermia, lo que resulta en un crecimiento más lento. Cuando las condiciones ambientales exceden la zona termoneutral del cerdo los nutrientes se desvían de la síntesis de productos (carne, feto, leche), hacia el mantenimiento de la temperatura corporal, lo que compromete la eficiencia productiva.

Las cerdas en estrés calórico reducen su consumo de alimento, lo que consecuentemente, produce un balance energético negativo, pérdida de la condición corporal y problemas reproductivos asociados a una función ovárica inadecuada, que se manifiesta en anestro, expresión débil o irregular del estro, ciclos estrales irregulares, pubertad retrasada, intervalo prolongado de destete a celo, mayores tasas de aborto, bajo índice de partos y tamaño pequeño de camada al nacimiento y al destete; así como, disminución en la producción de leche, que puede afectar negativamente el crecimiento de los lechones durante la lactancia y su peso al destete. En la etapa temprana de



gestación, el estrés calórico aumenta la mortalidad embrionaria, aumenta la cantidad de lechones nacidos muertos y reduce el peso de los lechones al nacimiento. El estrés calórico en la gestación parece tener consecuencias en el desempeño futuro de la descendencia, que influye negativamente en la productividad y rentabilidad de los cerdos.

En las cerdas lactantes, se ha observado que las temperaturas superiores a 25°C reducen el consumo de alimento (6.1 vs. 4.2 kg/d con temperaturas de 25 y 30°C, respectivamente), lo que causa disminución en la producción de leche y aumento en la pérdida de peso de la cerda (-7.9 vs. -24.2 kg/lactación con temperaturas de 25 y 30°C, respectivamente); por lo tanto, los cerdos son destetados más pequeños (6.9 vs. 6.4 kg con temperaturas de 25 y 30°C, respectivamente), y la capacidad de la cerda para volver a la producción después del destete se ve comprometida, debido a la pérdida de peso; también se ha observado que la alta temperatura ambiental retrasa o evita la aparición del estro, reduce la tasa de concepción y aumenta la muerte embrionaria temprana.

Cuadro 4. Estadísticas descriptivas de temperatura, humedad relativa e ITH de enero a diciembre de 2023 con la hora del día, en la granja porcina la Huerta**.

Mes	Variable	n	Hora del día			
			00:30-06:00	06:30-11:00	11:30-18:00	18:30-00:00
Enero	ITH***	1,487	60.05±2.68 ^d	64.26±5.11 ^c	72.96±2.51 ^a	65.44±2.84 ^b
Febrero		1,344	60.07±3.54 ^c	64.49±5.67 ^b	72.61±2.95 ^a	65.15±2.83 ^b
Marzo		1,487	61.69±3.44 ^d	67.20±5.45 ^c	74.81±2.21 ^a	67.98±3.11 ^b
Abril		1,440	65.32±3.31 ^c	71.10±4.62 ^b	77.22±2.14 ^a	70.99±2.63 ^b
Mayo		1,488	70.02±2.62 ^d	75.32±3.53 ^b	79.47±2.08 ^a	74.57±2.07 ^c
Junio		1,440	76.55±3.50 ^d	80.46±3.22 ^b	83.79±2.14 ^a	79.26±2.53 ^c
Julio		1,488	79.77±2.73 ^d	83.02±2.72 ^b	86.74±1.97 ^a	82.06±3.00 ^c
Agosto		1,026	78.82±2.78 ^c	82.32±3.21 ^b	83.02±3.00 ^a	82.05±3.35 ^b
Septiembre		1,439	83.09±2.66 ^b	80.38±2.09 ^c	87.37±2.34 ^a	83.09±2.66 ^b
Octubre		1,440	69.63±3.61 ^d	72.97±4.58 ^c	79.62±3.03 ^a	73.77±3.64 ^b
Noviembre		1,440	69.63±3.61 ^d	72.97±4.58 ^c	79.62±3.03 ^a	73.74±3.64 ^b
Diciembre		1,488	63.78±3.07 ^d	67.68±4.74 ^c	75.54±2.66 ^a	68.43±3.32 ^b
Media general			69.87±8.06	73.51±6.84	79.40±5.03	73.88±6.52

Temp=Temperatura ambiente; HR= Humedad relativa; ITH= Índice de temperatura y humedad. $ITH = [0.8 \times T] + [(HR \div 100) \times (T - 14.4)] + 46.4$

^{abcd} Letras diferentes en las filas entre horas del día indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$).

** Ubicada en la sindicatura de Culiacancito, Culiacán, Sinaloa; en el Noroeste de México.

*** Calculado con base en los datos de temperatura y humedad relativa de la estación meteorológica de la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa; ubicada a una distancia de 15 km de la unidad de producción porcina.



El estrés calórico crónico leve (30°C durante tres semanas) reduce la ingesta de alimento y la ganancia diaria de peso corporal en los cerdos de finalización en un 16 y 25%, respectivamente; en paralelo, aumenta la temperatura rectal, la tasa de respiración y el cortisol plasmático, disminuye la triyodotironina libre en plasma y la hormona del crecimiento; estos parámetros son comúnmente considerados indicadores de las consecuencias del calor en la fisiología animal. A diferencia del estrés agudo (40-42°C, menos de 24 h), el estrés crónico (33-35 °C, más de 24 h), plantea un desafío distinto para los animales. La exposición a EC por más de 12 h provoca estrés oxidativo en los cerdos.

Conclusiones

Las cerdas modernas se caracterizan por su alta prolificidad. El aumento en el tamaño de la camada va acompañado de una disminución en el peso medio de los lechones al nacer y de una mayor variación del peso dentro y entre las camadas al nacimiento, así como una disminución de la cantidad de calostro consumido por lechón, lo que aumenta la vulnerabilidad y disminuye la tasa de crecimiento del lechón, lo que tiene implicaciones en los criterios de selección de la hembra de reemplazo hiperprolífica. Por lo anterior, es recomendable, que las lechonas que van a ser seleccionadas como futuras hembras de reemplazo provengan de cerdas multiplicadoras con fenotipos de alto peso al nacimiento. Preseleccionar a las lechonas con pesos al nacimiento igual o mayor a 1.3 kg, y de ser posible, se reduzca el tamaño de la camada durante el amamantamiento, transfiriendo los machos a otras cerdas con capacidad para amamantarlos, a fin de potenciar el desarrollo predestete de las futuras hembras reproductoras.

Es recomendable estimular de manera temprana (145-150 d de edad) la pubertad, con el objetivo de que esta se presente a una edad igual o menor a los 180 d y se sirvan en el segundo a tercer estro con edad menor a los 230 d; lo que implica proporcionar manejos que aseguren una TC alrededor de los 700 g/d para lograr un peso entre los 135 a 160 kg y un EGD entre los 15 a 18 mm. Mantener la una buena condición corporal (EGD entre 17 y 21 mm) de la cerda durante la gestación, es importante para asegurar que la cerda no se destete con un EGD inferior a los 15 mm y asegurar un buen desempeño en el ciclo reproductivo posterior.

Referencias

- Almeida, F., Días, A.A., Moreira, L.P., Fiúza, A.T.L. & Chiarini-Garcia, H. (2017). Ovarian follicle development and genital tract characteristics in different birthweight gilts at 150 days of age. *Reproduction in Domestic Animals*. 52:756–762.
<https://doi.org/10.1111/rda.12976>
- Carrión-López M.J., Orengo, J., Madrid, J., Vargas, A. & Martínez-Miró, S. (2022). Effect



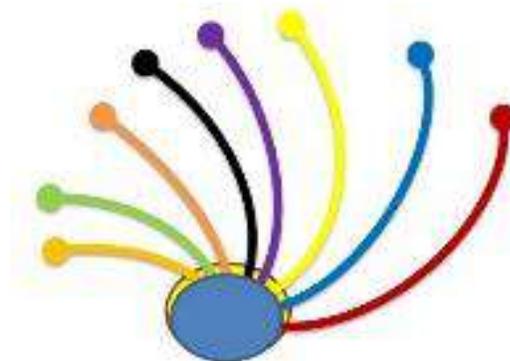
- of Sow Body Weight at First Service on Body Status and Performance during First Parity and Lifetime. *Animals*; 12(23):3399. <https://doi.org/10.3390/ani12233399>
- De Almeida, M., Bernardi, M.L., Pinheiro, M.A., Pandolfo, B.F. & Wentz, I. (2014). Effect of Birth Weight and Litter Size on the Performance of Landrace Gilts until Puberty. *Acta Scientiae Veterinariae*, 42(1):1-8. <https://www.redalyc.org/pdf/2890/289029240032.pdf>
- Flowers, W.L. (2012). Possible physiological benchmarks for sow longevity prior to puberty. Allen D. Lemman Swine Conference; 29:113-117. <https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/139383/Flowers.pdf>
- Graves, K.L, Mordhorst, B.R., Wright, E.C., Hale, B.J., Stalder, K.J., Keating, A.F. & Ross, J.W. (2020). Identification of measures predictive of age of puberty onset in gilts. *Translate Animal Science*; 4:285–292. <https://doi.org/10.1093/tas/txz173>
- Kim, J.S., Yang, X. & Baidoo, S.K. (2016). Relationship between Body Weight of Primiparous Sows during Late Gestation and Subsequent Reproductive Efficiency over Six Parities. *Asian-Australas. Journal Animal Science* 29:768–774. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0907>
- Knox, R.V., Arend, L.S., Buerkley, A.L., Patterson, J. L. & Foxcroft, G.R. (2021). Effects of physical or fence line boar exposure and exogenous gonadotropins on puberty induction and subsequent fertility in gilts. *Journal Animal Science* <https://doi.org/10.1093/jas/skab348>
- Mader, T.L., Davis, M.S. & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84:712-719. <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1622&context=animalscifacpub>
- Magnabosco, D., Bernardi, M.L., Wentz, I., Cunha, E.C.P. & Bortolozzo, F.P. (2016). Low birth weight affects lifetime productive performance and longevity of female swine. *Livestock Science*. 184:119–125. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.12.008>
- Matheson, S.M., Walling, G.A. & Edwards, S.A. (2018). Genetic selection against intrauterine growth retardation in piglets: a problem at the piglet level with a solution at the sow level. *Genetics Selection Evolution*. 50(46). <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0417-7>
- Moreira, R.H.R., Palencia, J.Y.P., Moita, V.H.C, Caputo, L.S.S., Saraiva, A., Andretta, I., Ferreira, R.A. & de Abreu, M.L.T. (2020). Variability of piglet birth weights: A systematic review and meta- analysis. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*; 104:657–666. <https://doi.org/10.1111/jpn.13264>
- Patterson, J. & Foxcroft, G. (2021). Gilt birth weight, sow birth weight phenotype and sow fertility. *Rev Bras Reprod Anim.*, 45(4):542-543. <https://doi.org/10.21451/1809-3000.RBRA2021.073>
- Patterson, J., Bernardi, M.L., Allerson, M., Hanson, A., Holden, N., Bruner, L., Pinilla, J.C.



- & Foxcroft, G. (2020). Associations among individual gilt birth weight, litter birth weight phenotype, and the efficiency of replacement gilt production. *Journal of Animal Science*. 98:11:1-3. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa331>
- Radović, I., Dragin, S., Katanić, N., Beuković, D., Stančić, I., Mirkov, M. & Horvatovic, M. P. (2019). Phenotypic correlation of characteristics in the gilt performance test with an average number of live-born piglets through all achieved births, during the reproductive exploitation. *Arquivo Brasileiro Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 71 (4):1375-1386. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10483>
- Romo-Valdez, J., Espinoza-Aguirre, L., Peralta-Gómez, I., Portillo-Loera, J., Romo-Valdez, A. y Romo-Rubio, J. (2024). Factores que influyen en la selección y desempeño de la cerda de reemplazo hiperprolífica. Memoria del VI Congreso Internacional Abanico Veterinario, Agroforestal, Ambiental, Pesquero, Acuícola y del Mar; realizado del 20 al 22 de marzo de 2024 en el Centro Nacional de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Tepatitlán, Jalisco, México: 219-241. <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/ciavapa/article/view/186/339>
- Roongsitthichai, A., Koonjaenak, S. & Tummaruk, P. (2013). The association among age at first observed estrus, backfat thickness, and serum insulin-like growth factor-I in replacement gilts. *Thai Journal of Veterinary Medicine*. 43:41-48. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TH2016003349>
- Seyfang, J., Kirkwood, R.N, Tilbrook, A.J. & Ralph, C.R. (2018). The sex ratio of a gilt's birth litter can affect her fitness as a breeding female. *Animal Production Science*, 58:1567–1574. <https://doi.org/10.1071/AN17192>
- Smit, M.N., Spencer, J.D., Almeida, F.R.C.L., Patterson, J.L., Chiarini-Garcia, H., Dyck, M.K. & Foxcroft, G.R. (2013). Consequences of a low litter birth weight phenotype for postnatal lean growth performance and neonatal testicular morphology in the pig. *Animal*. 7:1681–1689. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001249>
- Tummaruk, P. & Kerdangsakonwut, S. (2015). Number of ovulations in culled Landrace × Yorkshire gilts in the tropics associated with age, body weight and growth rate. *Journal of Veterinary Medicine Sciences*, 77:1095–1100. <https://doi.org/10.1292/jvms.13-0496>
- Wegner, K., Lambertz, C., Das, G., Reiner, G. & Gauly, M. (2016). Effects of temperature and temperature-humidity index on the reproductive performance of sows during summer months under a temperate climate. *Animal Science Journal*. 87(11):1334-1339. <https://doi.org/10.1111/asj.12569>

Potencial biotecnológico de hongos aislados del bagazo de *Agave durangensis* en la industria pecuaria

Rocío Aidé Carrasco-Rubio
Elia Esther Araiza-Rosales
Gerardo Antonio Pámanes-Carrasco
Daniel Sierra-Franco
Rosa Bertha Rubio-Graciano
Esperanza Herrera-Torres





Introducción

La biotecnología moderna ha abierto nuevas oportunidades para aprovechar los recursos naturales de manera sostenible y eficiente. En este contexto, los hongos han emergido como organismos de gran interés debido a su capacidad para producir enzimas, metabolitos secundarios y otros compuestos de valor industrial. El bagazo de *Agave durangensis*, es un subproducto de la industria tequilera y mezcalera, representa una fuente rica en nutrientes que puede ser utilizada para el crecimiento y desarrollo de diversos hongos.

El presente estudio se centra en la exploración del potencial biotecnológico de hongos aislados del bagazo de *Agave durangensis*, con un enfoque especial en su aplicación en la industria pecuaria. Los hongos son microorganismos que poseen la capacidad de descomponer la materia orgánica y producir enzimas, las cuales pueden mejorar la eficiencia alimenticia en los animales de granja y contribuir a la reducción de residuos orgánicos. La valorización de este residuo agroindustrial no solo promueve una economía circular, sino que también ofrece soluciones sostenibles para la gestión de desechos y la producción de bioproductos de alto valor añadido. A través de la identificación y caracterización de hongos con propiedades enzimáticas específicas, este estudio busca desarrollar aplicaciones prácticas que beneficien tanto a la industria pecuaria como al medio ambiente.

Por lo cual, en este capítulo explicaremos diversas investigaciones relacionadas con la identificación y el potencial aprovechamiento de microorganismos (hongos) presentes en el bagazo de *Agave durangensis* mediante distintas técnicas de identificación y bioprospección.

Impacto ecológico del bagazo de agave

El bagazo de agave es el residuo fibroso que queda después de extraer el jugo de la piña del agave para la producción de productos como el tequila y el mezcal, el cual, se caracteriza por ser un residuo lignocelulósico. La presencia de lignina en el bagazo le confiere resistencia y rigidez, lo que puede afectar su descomposición y utilización en varios procesos industriales y agrícolas. La lignocelulosa está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, y su degradación es clave para el reciclaje de la materia orgánica en los ecosistemas naturales.

La producción de tequila y mezcal genera grandes cantidades de bagazo de agave. Se estima que por cada litro de tequila producido se generan entre 5 y 6 kg de bagazo. La producción anual de bagazo de agave en México es considerable, se estima que la industria del tequila genera aproximadamente 1.5 a 1.8 millones de toneladas de bagazo al año y la industria del mezcal produce alrededor de 40,000 a 48,000 toneladas de bagazo al año. Sumando ambas cifras, la producción total anual de bagazo de agave



en México se sitúa aproximadamente entre 1.54 y 1.85 millones de toneladas. Este subproducto, si no se gestiona adecuadamente, puede convertirse en un problema ambiental considerable debido a su volumen. La acumulación de bagazo en vertederos o su disposición inadecuada puede llevar a la contaminación del suelo y las fuentes de agua. La descomposición del bagazo produce lixiviados que contienen compuestos orgánicos e inorgánicos, los cuales pueden infiltrarse en el suelo y contaminar los acuíferos.

La descomposición anaerobia del bagazo de agave en vertederos puede generar metano (CH_4), un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global significativamente mayor que el dióxido de carbono (CO_2). La quema de bagazo también libera CO_2 y otros contaminantes atmosféricos. Los residuos acumulados pueden alterar los ecosistemas locales, afectando la flora y fauna nativas. La presencia de grandes cantidades de bagazo puede cambiar la composición del suelo y afectar a las especies que dependen de esos hábitats.

Pese a los impactos negativos, el bagazo de agave también tiene un potencial ecológico positivo si se aprovecha adecuadamente. Puede ser utilizado como sustrato para la producción de composta, biogás, productos biotecnológicos, inclusive, puede ser utilizado para la alimentación del ganado en épocas de estiaje ayudando de manera considerable al sector pecuario. Esto no solo reduce los residuos, sino que también proporciona una fuente de energía renovable y productos de valor añadido.

La investigación y el desarrollo de métodos para la reutilización del bagazo de agave pueden mitigar su impacto ecológico. La utilización de hongos para la degradación del bagazo es una alternativa prometedora. Los hongos pueden descomponer la lignocelulosa presente en el bagazo, transformándolo en composta o en materia prima para la alimentación del ganado bovino o bien para producción de enzimas y otros compuestos útiles

Bioprospección de hongos en bagazo de agave

Diversos estudios especializados del tema convergen constantemente en que las pruebas de bioprospección de hongos nativos del bagazo de agave son cruciales por diversas razones, especialmente en el contexto de la valorización del potencial de los microorganismos, en este caso de los hongos presentes en el bagazo de agave para facilitar de manera asertiva la creación de subproductos agroindustriales y la búsqueda de soluciones biotecnológicas. Dado que la bioprospección es el proceso de búsqueda, identificación y utilización de organismos vivos y sus componentes para descubrir compuestos bioactivos, enzimas, genes y otros recursos biológicos que puedan tener aplicaciones industriales, agrícolas, farmacéuticas, médicas y ambientales. Este campo interdisciplinario combina conocimientos de biología, química, ecología y tecnología para



explorar la biodiversidad y encontrar nuevas oportunidades para el desarrollo de productos y soluciones innovadoras.

Hay estudios que indican que los hongos nativos del bagazo de agave pueden producir enzimas especializadas como lignina peroxidasa, manganeso peroxidasa, celulasas y hemicelulasas. Estas enzimas son valiosas para la bioconversión de la lignina y la celulosa, lo que puede mejorar el manejo de residuos y la producción de biocombustibles. Los hongos pueden también sintetizar compuestos bioactivos con potencial para aplicaciones farmacéuticas, nutracéuticas y de biopesticidas. Así mismo, se pueden identificar hongos nativos con alta capacidad de degradación de lignina y celulosa y de esta manera optimizar los procesos de fermentación del bagazo de agave. Esto puede resultar en una mayor eficiencia en la conversión del bagazo en productos útiles, como composta, biocombustibles o alimentos para animales. Los hongos nativos están adaptados a las condiciones específicas del entorno del bagazo de agave, lo que puede llevar a procesos de fermentación más efectivos y sostenibles. La bioprospección ayuda a encontrar hongos que pueden descomponer eficazmente el bagazo de agave, reduciendo así la acumulación de residuos y el impacto ambiental asociado con su disposición. Estos estudios pueden dar lugar al descubrimiento de hongos con características únicas y conducir al desarrollo de nuevas tecnologías para la industria de la biotecnología, como la producción de enzimas para procesos industriales o la creación de nuevos productos comerciales. Los hongos nativos pueden ser utilizados en la producción de biofertilizantes y alimentos para animales, mejorando la calidad del suelo y la nutrición del ganado. La bioprospección de hongos nativos contribuye a la preservación y uso sostenible de la biodiversidad local. Identificar y valorar estos hongos ayuda a proteger y conservar las especies fúngicas que podrían estar en riesgo.

Utilizar hongos nativos para la conversión del bagazo de agave puede contribuir con la reducción de los costos asociados a la gestión de residuos y la producción de productos de alto valor añadido. Asimismo la valorización de hongos nativos puede generar nuevas oportunidades de negocio y mejorar la rentabilidad de la industria agroindustrial y biotecnológica. En este sentido, es importante mencionar que las pruebas de bioprospección proporcionan datos valiosos sobre la biodiversidad fúngica y sus capacidades metabólicas, lo que enriquece el conocimiento científico y abre nuevas áreas de investigación en microbiología y biotecnología. Entonces podemos decir que las pruebas de bioprospección de hongos nativos del bagazo de agave son fundamentales para descubrir enzimas y productos bioactivos, optimizar procesos de bioconversión, promover la sostenibilidad ambiental, desarrollar nuevas tecnologías, conservar la biodiversidad, obtener beneficios económicos y avanzar en el conocimiento científico. Este enfoque integral no solo ayuda a mejorar la gestión de residuos y la producción



sostenible, sino que también abre nuevas oportunidades en diversos campos biotecnológicos.

Se han desarrollado diversos modelos a nivel de laboratorio para la bioprospección de hongos, particularmente en el contexto de la degradación de residuos agroindustriales como el bagazo de agave. Estos modelos están diseñados para identificar y optimizar las capacidades de los hongos en la bioconversión de materiales, y pueden incluir diversos enfoques experimentales, incluyen cultivos en placas de Petri, donde se observan las áreas de descomposición y crecimiento de hongos sobre medios que contienen el bagazo para identificar cepas con alta actividad degradadora. Otro modelo común es la fermentación en frascos Erlenmeyer, que permite evaluar la eficacia de la fermentación en condiciones controladas y monitorear parámetros como la producción de enzimas y la reducción de lignina y celulosa. Para escalar la producción, se utilizan bioreactores que ofrecen un control más preciso de las condiciones de cultivo, como la temperatura, pH y agitación. Los modelos de cultivo de sustratos mixtos simulan condiciones más realistas al combinar bagazo de agave con otros materiales de residuos agrícolas, evaluando la capacidad de los hongos para descomponer mezclas de residuos. Ensayos de actividad enzimática miden la actividad de las enzimas producidas por hongos durante la fermentación, como lignina peroxidasa y celulasas, para evaluar su eficacia en la degradación de componentes específicos. Además, los modelos de evaluación de productos finales analizan la calidad y viabilidad de los productos generados, mientras que las pruebas de seguridad y toxicidad aseguran que los productos derivados de la bioconversión sean seguros para la salud humana o animal. Estos enfoques son esenciales para optimizar procesos de bioconversión y desarrollar soluciones sostenibles en la gestión de residuos y la obtención de nuevos productos.

Las innovaciones en técnicas de bioprospección están revolucionando la identificación y optimización de hongos para la degradación de residuos agroindustriales, como el bagazo de agave. Las técnicas de biología molecular, como la secuenciación de ADN de nueva generación (NGS), permiten una visión detallada de los genomas de los hongos, facilitando la identificación de genes responsables de la producción de enzimas específicas para la degradación de lignina y celulosa. La metagenómica, por otro lado, permite secuenciar comunidades microbianas en muestras ambientales sin necesidad de cultivarlas previamente, lo que es útil para descubrir hongos raros con propiedades únicas. Por otra parte, las tecnologías ómicas, como la proteómica, transcriptómica y metabolómica, proporcionan información crucial sobre las proteínas, los genes activos y los metabolitos producidos por los hongos durante la fermentación. Esto ayuda a entender mejor el potencial de los hongos para la bioconversión de residuos. El uso de inteligencia artificial y aprendizaje automático está mejorando la predicción del rendimiento de hongos en diferentes condiciones de fermentación y facilitando el análisis



de grandes volúmenes de datos genómicos y proteómicos para identificar patrones y correlaciones.

En cuanto a las técnicas de cultivo, la miniaturización de cultivos y los biorreactores automatizados permiten realizar experimentos a escala reducida y controlar con precisión las condiciones de cultivo, respectivamente, optimizando la eficiencia y reproducibilidad. La edición genética, mediante herramientas como CRISPR/Cas9, permite modificar el genoma de los hongos para mejorar sus capacidades de degradación o producción de enzimas específicas, mientras que la biología sintética facilita el diseño de nuevas vías metabólicas y la creación de "chasis" de hongos para la producción de compuestos específicos. Así mismo es importante mencionar que la microscopía de fluorescencia y la espectrometría de masas son tecnologías de imagen y análisis que permiten observar la interacción entre hongos y residuos a nivel celular y analizar los productos de bioconversión. Además, el uso de bases de datos biotecnológicas y plataformas de colaboración en línea facilita la integración y el intercambio de datos, acelerando el progreso en la bioprospección. En conjunto, estas innovaciones están transformando la forma en que se identifican, optimizan y utilizan los hongos para la degradación de residuos, mejorando la eficiencia de los procesos de bioconversión y abriendo nuevas oportunidades para aplicaciones biotecnológicas.

Por otra parte, la biología sintética es un campo emergente y multidisciplinario que integra principios de biología, ingeniería, química y computación para diseñar y construir sistemas biológicos artificiales o mejorar los existentes. En relación con la bioprospección y la bioconversión de residuos agroindustriales, como el bagazo de agave, la biología sintética ofrece herramientas y enfoques innovadores. Que en trabajos anteriores ha demostrado que permite diseñar y construir nuevas vías metabólicas dentro de los hongos, insertando genes que codifican enzimas específicas o modificando vías metabólicas existentes para mejorar o potenciar la degradación de residuos o la producción de compuestos de interés. Además, la creación de "chasis" de hongos, que son cepas modificadas genéticamente diseñadas para expresar nuevas funciones biológicas, actúa como una plataforma para la producción de enzimas o metabolitos específicos. Las herramientas de edición genética, como CRISPR/Cas9, son fundamentales para realizar modificaciones precisas en el genoma de los hongos, permitiendo alterar sus capacidades metabólicas de manera efectiva.

La biología sintética también se utiliza para desarrollar biosensores basados en hongos modificados, que detectan y miden compuestos específicos durante la bioconversión, proporcionando información en tiempo real sobre el proceso y permitiendo ajustes para mejorar la eficiencia. La optimización de la producción de metabolitos es otra área importante, ya que se pueden modificar hongos para producir mayores cantidades de enzimas o compuestos útiles para la industria, como biocombustibles o ingredientes



farmacéuticos. La construcción de circuitos genéticos artificiales, que son redes diseñadas para realizar funciones específicas dentro de un organismo, permite regular la expresión de genes de manera precisa. Estos circuitos pueden activarse bajo ciertas condiciones, como la presencia de un sustrato específico. La biología sintética también se integra con tecnologías avanzadas como la impresión 3D de biomateriales y la automatización de cultivos, mejorando la eficiencia en la producción y análisis de hongos modificados.

Sin embargo, la biología sintética plantea importantes consideraciones éticas y regulatorias. Es esencial evaluar el impacto ambiental y la seguridad de los organismos modificados genéticamente antes de su liberación o aplicación a gran escala. Las normativas y directrices están en constante evolución para asegurar un uso seguro y responsable de estas tecnologías. Así pues, la biología sintética ofrece herramientas poderosas que pueden revolucionar la bioprospección de hongos y la bioconversión de residuos agroindustriales, facilitando la optimización de procesos y el desarrollo de nuevas aplicaciones, mientras plantea desafíos que requieren una gestión cuidadosa y ética.

Potencial del Bagazo de Agave mediante Fermentación con Hongos

Los hongos desempeñan un papel significativo en la agricultura, la industria y la biotecnología debido a su importancia en el control biológico, la promoción del crecimiento de las plantas entre otros usos. Hay hongos que tienen la capacidad de parasitar y competir con hongos patógenos, reduciendo la incidencia de enfermedades en las plantas. También puede inducir respuestas de defensa en las plantas, fortaleciendo su sistema inmunológico y mejorando la resistencia a enfermedades. Existen géneros de hongos que no solo compiten con hongos patógenos por recursos y espacio, sino que también secretan metabolitos antifúngicos y enzimas que degradan las paredes celulares de los patológicos. Existen especies que tienen la capacidad de degradar y descomponer la lignocelulosa, que es el componente principal de las paredes celulares de las plantas.

La habilidad de hongos lignocelulolíticos para descomponer la lignocelulosa tiene diversas implicaciones y aplicaciones. Al ser lignocelulolíticos, pueden participar en la degradación de residuos vegetales, como los residuos de cultivos o la materia orgánica en el suelo, ayudando a reciclar nutrientes y reducir la acumulación de desechos. Se han utilizado géneros en sistemas de fermentación en sustratos sólidos o cultivos sumergidos, para degradar residuos lignocelulósicos.

Existen investigaciones que han explorado la reducción de lignina en el bagazo de agave mediante la fermentación con hongos. Los hongos, especialmente los del género *Basidiomycetes*, como los hongos de pudrición blanca, son conocidos por su capacidad



de degradar lignina gracias a la producción de enzimas ligninolíticas, como la lignina peroxidasa, manganeso peroxidasa y lacasa.

Los hongos de pudrición blanca son conocidos por su capacidad para degradar lignina eficientemente. Estudios previos han demostrado que especies como *Phanerochaete chrysosporium* y *Trametes versicolor* pueden reducir significativamente el contenido de lignina en el bagazo de agave durante la fermentación sólida. Un estudio evaluó la eficiencia de *Phanerochaete chrysosporium* en la degradación de lignina en bagazo de agave, encontrando una reducción notable en el contenido de lignina tras varios días de fermentación. La optimización de las condiciones de fermentación, como la humedad, temperatura, pH y nutrientes, puede mejorar la eficiencia de los hongos en la degradación de lignina. Investigaciones han abordado cómo ajustar estos parámetros para maximizar la actividad ligninolítica de los hongos en el bagazo de agave. Estudios han identificado que condiciones de fermentación a temperaturas de alrededor de 30°C y pH neutro son óptimas para la actividad ligninolítica de ciertos hongos.

El uso de cocultivos de diferentes especies de hongos puede potenciar la degradación de lignina. La combinación de hongos con diferentes capacidades enzimáticas puede resultar en una mayor eficiencia de descomposición. Investigaciones han demostrado que el cocultivo de *Trametes versicolor* y *Pleurotus ostreatus* puede resultar en una degradación más completa de la lignina en el bagazo de agave en comparación con el uso de un solo hongo.

La caracterización y cuantificación de las enzimas ligninolíticas producidas por los hongos durante la fermentación del bagazo de agave es un área de investigación clave. Esto ayuda a entender los mecanismos de degradación y a identificar los hongos más eficaces. Estudios han utilizado técnicas de análisis enzimático para medir la actividad de lignina peroxidasa y lacasa en cultivos de hongos fermentando bagazo de agave. Estos estudios demuestran que la fermentación con hongos es una estrategia prometedora para la reducción de lignina en el bagazo de agave, abriendo posibilidades para su aprovechamiento en diversas aplicaciones industriales y agrícolas.

La biomasa micelial, es decir, el tejido vegetativo de los hongos, puede ser cultivado en grandes cantidades utilizando residuos agrícolas como sustrato. Esta biomasa puede ser utilizada como forraje para el ganado, ya sea directamente o como parte de raciones mixtas. Además de proporcionar nutrientes, la biomasa micelial puede contener enzimas digestivas naturales que ayudan en la descomposición de la fibra vegetal en los alimentos y mejoran la digestibilidad de la dieta del ganado.

Los hongos tienen la capacidad de degradar una amplia variedad de desechos orgánicos, incluidos los residuos agrícolas y ganaderos. Al utilizar hongos para descomponer estos desechos, también se puede producir compost y fertilizantes



orgánicos que pueden ser utilizados para mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de los fertilizantes químicos.

Los hongos aislados se pueden utilizar para fermentar sustratos como el bagazo de agave en el proceso conocido como fermentación en estado sólido. Durante este proceso, los hongos producen diversas enzimas que degradan la pared celular de la matriz alimenticia y liberan una variedad de compuestos, tales como azúcares, proteínas y lípidos aumentando la biodisponibilidad de estos nutrientes y calidad del producto fermentado.. El producto resultante de la fermentación puede ser utilizado como alimento para el ganado, proporcionando una fuente de nutrientes económica y sostenible. Además de descomponer sustratos complejos, los hongos también pueden producir una variedad de enzimas útiles en la industria pecuaria. Estas enzimas pueden incluir celulasas, xilanasas y ligninasas, que ayudan a descomponer la materia vegetal en productos más simples y fáciles de digerir. Estas enzimas pueden ser utilizadas como aditivos en los alimentos para el ganado, mejorando su digestibilidad y valor nutricional. En algunos casos, la digestibilidad de la fibra puede mejorar entre un 10% y un 30% en comparación con el bagazo de agave no fermentado. En investigaciones con ganado, la inclusión de bagazo de agave fermentado puede resultar en una mejora en la ganancia diaria de peso. Se han observado incrementos en la ganancia de peso de 5% a 15% en animales alimentados con bagazo fermentado en comparación con dietas estándar. La eficiencia de conversión alimentaria también puede mejorar. Estudios han indicado una mejora de 10% a 20% en la conversión de alimento a peso corporal. La fermentación puede reducir la incidencia de problemas digestivos como la acidosis. En algunos casos se ha reportado, que la reducción en la incidencia de problemas digestivos puede ser de 20% a 40% en animales que consumen bagazo de agave fermentado, así mismo la fermentación puede aumentar el contenido de proteínas en el bagazo de agave. Los estudios han reportado incrementos en el contenido proteico de entre 5% y 15% después de la fermentación. Aunque los datos específicos varían, también se ha observado un aumento en el contenido de ciertas vitaminas y minerales en un rango del 5% al 20%.

Las investigaciones sobre el impacto del bagazo de agave fermentado en los animales han mostrado diversos efectos positivos, especialmente en términos de nutrición y salud animal. La utilización del bagazo de agave como alimento para el ganado presenta múltiples beneficios tanto para la industria pecuaria como para el medio ambiente. El bagazo de agave es rico en fibra, lo cual es beneficioso para la salud digestiva del ganado. La fibra ayuda a mantener un buen funcionamiento del tracto digestivo y previene problemas digestivos como la acidosis. A través de procesos como la fermentación con hongos, el valor nutricional del bagazo puede ser mejorado. Los hongos pueden descomponer la lignina, liberando más celulosa y hemicelulosa, que son más fácilmente digeribles por el ganado. Además, pueden aumentar el contenido de proteínas y otros nutrientes esenciales. El proceso de fermentación del bagazo puede



enriquecerlo con enzimas y compuestos bioactivos producidos por los hongos, que pueden mejorar la digestión y la absorción de nutrientes en el ganado. Utilizar el bagazo de agave como parte de la dieta del ganado puede reducir significativamente los costos de alimentación, ya que este subproducto es abundante y de bajo costo en las regiones productoras de agave. Estudios económicos sugieren una reducción en los costos de entre 15% y 25% en comparación con dietas que no incluyen este subproducto. La industria tequilera y mezcalera puede beneficiarse económicamente al vender o utilizar el bagazo de agave como alimento para el ganado, en lugar de incurrir en costos de eliminación de residuos. La utilización del bagazo de agave como alimento para el ganado ayuda a disminuir la acumulación de este subproducto en los vertederos, reduciendo así el impacto ambiental asociado con su disposición. Al ser utilizado como alimento en lugar de descomponerse anaerómicamente en vertederos, se reducen las emisiones de metano, un potente gas de efecto invernadero. Promover el uso del bagazo de agave en la alimentación del ganado fomenta un modelo de economía circular, donde los residuos de una industria se utilizan como recursos en otra, creando un ciclo más sostenible. La utilización del bagazo de agave fermentado contribuye a la reducción de residuos. Dependiendo de la región y el manejo, esta estrategia puede reducir la acumulación de residuos en un 30% a 50%. Sin embargo, es crucial que el bagazo de agave se procese adecuadamente para eliminar compuestos tóxicos y mejorar su digestibilidad. La fermentación con hongos es una estrategia efectiva para este propósito. Aunque el bagazo de agave puede ser una buena fuente de fibra, debe equilibrarse con otros alimentos para asegurar una dieta completa y nutritiva para el ganado. Un reto importante sería la difusión y capacitación a los ganaderos con respecto a las técnicas de fermentación y correcta aplicación de los hongos, así como los beneficios y métodos de preparación del bagazo de agave para garantizar su adopción en las prácticas de alimentación del ganado.

Conclusiones

En este estudio se prepondera que el bagazo de agave, es un residuo significativo de la industria del tequila y otros procesos agroindustriales, presenta un gran potencial como sustrato para la bioconversión. Su uso puede contribuir a la sostenibilidad ambiental al reducir los residuos y ofrecer nuevas aplicaciones en la producción de alimentos para animales, biocombustibles y composta. La bioprospección de hongos nativos del bagazo de agave es una estrategia prometedora para identificar cepas con capacidades únicas para la degradación de lignina y celulosa así mismo los hongos con alta actividad enzimática pueden transformar el bagazo en productos de valor agregado, mejorando la eficiencia de los procesos de bioconversión y contribuir con la reducción del impacto ambiental. Por otra parte, las técnicas avanzadas, como la secuenciación de ADN de



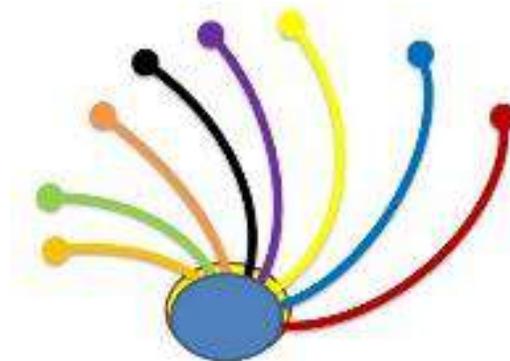
nueva generación, la metagenómica y las tecnologías ómicas proporcionar información detallada sobre los genomas, las proteínas y los metabolitos de los hongos. En resumen, el campo de la bioprospección y la biología sintética está en constante evolución, ofreciendo nuevas oportunidades para la innovación y la mejora de procesos. La colaboración interdisciplinaria y el avance en tecnologías emergentes pueden llevar a descubrimientos significativos y aplicaciones prácticas en la gestión de residuos y la producción de nuevos productos sostenibles.

Referencias

- Cortés M.C.I. y García M.R.F. (2017). Morphology of the bagasse fibers obtained from the elaboration process of mezcal and effects on their tensile properties, *Journal of Natural Fibers*, 14(2). <https://doi.org/10.1080/15440478.2016.1193089>
- González G. Y., González R. O. y Nungaray A. J. (2005). Potencial del bagazo de Agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos e-Gnosis (3), 133-178
- González, C., y Fernández, R. (2021). Aplicaciones de la PCR en el aislamiento e identificación de hongos. *Revista de Biología Molecular y Celular*, 13(2), 112-125. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1914>
- Hernández, M.J., Rebollar, R.A., Mondragón, A.J., Guzmán, S.E. y Rebollar, R.S. (2016). Costos y competitividad en la producción de bovinos carne en corral en el sur del Estado de México. *Investigación y Ciencia*, 24, (69), 13-20. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2016691860>
- Martínez, D., y Pérez, J. (2019). Secuenciación de genes específicos para la identificación de hongos filamentosos. *Journal of Molecular Microbiology*, 18(4), 215-230. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1914>
- Pérez, J., y Gómez, M. (2017). Pruebas bioquímicas para la identificación de hongos. *Journal of Microbial Biochemistry*, 12(3), 112-125.
- Posada, D. y Crandall, K.A. (1998). MODELTEST: testing the model of DNA substitution. *Bioinformatics* 14, 817-818. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/14.9.817>
- Swofford, D.L. (2002). PAUP*. Phylogenetic Analysis Using Parsimony (*and Other Methods). Version 4. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00191.x>

Aspectos relevantes en el uso de probióticos como promotores del crecimiento en producción animal

Tarsicio Medina-Saavedra
Lilia Mexicano-Santoyo
Gabriela Arroyo-Figueroa
Emmanuel Pérez-Hernández
Juan Picazo-Ramírez





Introducción

Los promotores del crecimiento animal se utilizan debido a la necesidad de mejorar el rendimiento y la eficiencia en la producción. Estos pueden ser compuestos químicos, antibióticos, hormonas o aditivos alimentarios que se agregan a la dieta de los animales para promover un crecimiento más rápido, una mejor conversión alimenticia y, en algunos casos, una mayor producción de carne, leche o huevos. Es importante destacar que el uso de promotores del crecimiento en la producción animal está regulado en muchos países debido a preocupaciones sobre la salud animal, la seguridad alimentaria y el impacto ambiental.

Algunos ejemplos comunes de promotores del crecimiento incluyen a los antibióticos, que en dosis subterapéuticas promueven el crecimiento al reducir la carga bacteriana en el tracto gastrointestinal, sin embargo, el uso excesivo de antibióticos en la producción animal ha generado preocupaciones sobre la resistencia antimicrobiana y su impacto en la salud pública. También se usan hormonas de crecimiento, como la somatotropina bovina recombinante (rBGH) en bovinos, para aumentar la producción de leche y mejorar la eficiencia alimenticia. No obstante, su uso también ha generado controversia debido a preocupaciones sobre la salud animal y la seguridad alimentaria. En particular, en cerdos y bovinos se usan los beta-agonistas como la raptopamina, para promover el crecimiento muscular y la lipólisis, lo que resulta en una mayor producción de carne magra.

Debido a la necesidad de limitar el uso de antibióticos como promotores del crecimiento en la producción ganadera, se utilizan aditivos alimentarios para aumentar la disponibilidad de nutrientes en los piensos, su disponibilidad y absorción en el tracto gastrointestinal, así como en los intestinos de los animales utilizados para regular y promover la flora interna. Por otra parte, se están desarrollando y promoviendo prácticas de producción animal más sostenibles y éticas como el uso de los probióticos y prebióticos que promueven el crecimiento de bacterias beneficiosas en el tracto gastrointestinal, lo que puede mejorar la salud digestiva y la eficiencia alimenticia de los animales.

De acuerdo con la Asociación Científica Internacional de Probióticos y Prebióticos, los probióticos sólo debe utilizarse en alimentos en forma de microorganismos vivos, en una concentración adecuada, cepas bien definidas, suficientemente confiables y con beneficios probados para la salud del huésped.

El uso de probióticos en la producción animal no solo puede mejorar la salud y el bienestar de los animales, sino que también puede tener beneficios económicos al mejorar la eficiencia alimentaria y la calidad de los productos animales, al tiempo que ayuda a abordar preocupaciones sobre el uso excesivo de antibióticos. La inclusión de probióticos en la dieta se relaciona con las restricciones que se aplican en muchos países,



respecto al uso de antibióticos en la alimentación del ganado.

Probióticos, prebióticos, simbióticos y postbióticos

Los probióticos son definidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) como microorganismos vivos, como bacterias (*Lactobacillus* y *Bifidobacterium*) o levaduras (*Saccharomyces*) que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren beneficios para la salud del huésped. Se llega a considerar como un agente bioterapéutico cuando tiene una acción curativa comprobada, al igual que un medicamento.

Para que los microorganismos puedan ser utilizados como probióticos en la dieta animal no deben ser considerado como patógeno, ser resistente a los factores físicos y ambientales del propio animal, con adecuada viabilidad durante el procesamiento, almacenamiento y manipulación de los alimentos elaborados. Además de ser resistentes al ambiente gastrointestinal, poder adherirse a la pared intestinal, tener la capacidad de colonizar el tracto gastrointestinal y poder crecer rápidamente en medios económicos.

Por otro lado, los prebióticos son sustancias alimenticias no digeribles como las fibras, entre ellos los polisacáridos no almidón (celulosas, hemicelulosas, pectinas, gomas y mucílagos), la inulina, los fructooligosacáridos, los galactooligosacáridos, el almidón resistente (almidón y los productos procedentes de la degradación del almidón, que nutren selectivamente a microorganismos beneficiosos en el intestino, favoreciendo su multiplicación. Su importancia radica en que estimulan el crecimiento y la actividad de bacterias beneficiosas en el intestino, lo que contribuye a mantener un equilibrio saludable en el microbiota intestinal. Un efecto sinérgico al estimular el crecimiento de cepas específicas y contribuir a la instalación de un microbiota que favorece la salud.

Los prebióticos, como los fructanos tipo inulina, mejoran la barrera mucosa digestiva y modulan las funciones nutricionales de la microbiota, mejorando así el metabolismo del comensal. Además, puede ayudar a prevenir la enfermedad inflamatoria intestinal. La simbiosis entre el prebiótico y el probiótico genera sustancias benéficas que incluyen ácidos orgánicos, ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como butirato, acetato y propionato; proteínas funcionales (enzimas), polisacáridos extracelulares (EPS), vesículas extracelulares (EV), paredes celulares (LPS), ácido gamma aminobutírico (GABA), vitaminas, péptidos ribosomales (bacteriocinas), entre otros, o bien puede liberar una molécula después de ocurrir la lisis celular bacteriana, esta molécula es conocida como postbiótico, que son sustancias bioactivas que influye a la respuesta fisiológica en el hospedero.

Los probióticos y la salud intestinal

El uso de probióticos en la producción animal ha ganado popularidad como una estrategia



para mejorar la salud intestinal, la eficiencia alimenticia y el rendimiento general de los animales, representan una herramienta prometedora para mejorar la salud intestinal, la eficiencia alimenticia y el rendimiento de producción en la industria ganadera, al tiempo que proporcionan una alternativa sostenible y segura a los antibióticos promotores del crecimiento. Sin embargo, es importante reconocer que su eficacia puede variar según la cepa probiótica, la dosis y las condiciones específicas de producción.

En los rumiantes, la microbiota ruminal es responsable de cubrir aproximadamente el 70% del requerimiento energético diario. Los microorganismos que forman parte del microbioma ruminal tienen colectivamente la capacidad de hidrolizar carbohidratos estructurales como celulosa, xilano, manano, pectina, inulina, betaglucano y almidón resistente (que no puede ser digerido por los animales y tiene una variedad de enzimas). Los ácidos grasos de cadena corta como el ácido acético, el ácido propiónico y el ácido butírico juegan un papel muy importante en la salud y nutrición animal.

Aumento en la digestión y absorción de nutrientes

Con el uso de probióticos como aditivos en alimentación animal se busca principalmente mejorar la productividad, asociada con un aumento en la digestión y absorción de nutrientes. Uno de los mecanismos de los probióticos es cambiar la dinámica de las poblaciones microbianas mediante la producción de bacteriocinas, las cuales reducen el crecimiento de microorganismos patógenos en el tracto gastrointestinal y promueve el crecimiento de microflora beneficiosa. Este efecto induce una digestión más eficiente y, en consecuencia, favorece el rendimiento del animal.

Es el caso de los pollos de engorde y cerdos que al recibir una dieta adicionada con *Lactobacillus* hay un incremento en proteína y grasa, junto con un aumento significativo de peso y reducción en la incidencia de diarreas, debido al aumento de la actividad enzimática de la amilasa en el intestino, ocasionada por los probióticos administrados y un aumento en la actividad de la sucrosa y la lactasa, además de que se producen enzimas extracelulares como amilasa, celulasa, proteasas y metaloproteasas, favoreciendo la digestión de nutrientes, además de un importante aumento del agua tamaño y número de las vellosidades intestinales, lo que incrementa el área de absorción de nutrientes.

El uso de *Basillus* en la dieta de los animales también producen compuestos antimicrobianos, vitaminas y carotenoides. Estos probióticos pueden degradar la aflatoxina B1, una micotoxina que causa importantes pérdidas económicas en alimentos o concentrados y también representa una amenaza para la salud humana y animal. Los microorganismos que pueden unirse a las aflatoxinas pueden considerarse probióticos y las bacterias más importantes pertenecen a los géneros *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, también se han utilizado diferentes cepas de bacterias ácido-lácticas y levaduras. Las



interacciones biológicas entre las aflatoxinas y las bacterias ácido lácticas y otros probióticos se le nombra desintoxicación biológica. Para eliminar aflatoxina B1 se han usado con buenos resultados *Lactobacillus rhamnosus* GG y *L. rhamnosus* LC705, las cuales removieron hasta el 80% de las aflatoxinas.

Los probióticos y la modificación del ambiente intestinal

Los probióticos juegan un papel importante en el cambio del entorno intestinal. Cuando se consumen en cantidades suficientes, estos microorganismos vivos pueden tener un impacto positivo en la salud gastrointestinal. Los cambios en la flora intestinal debidos a la ingesta de probióticos provocan cambios en el metabolismo, como la absorción de nutrientes, la descomposición de sustancias no digeribles, la regulación del almacenamiento de energía, la síntesis de vitaminas esenciales y la mejora de la barrera intestinal.

Además, los probióticos ayudan a mantener la integridad del epitelio intestinal, previenen daños por factores externos y promueven la reparación del revestimiento intestinal. Aunque todavía necesitamos comprender mejor los mecanismos de acción y las interacciones de los probióticos con el huésped, diferentes cepas pueden tener efectos específicos en el intestino y el sistema inmunológico, lo que dificulta el uso adecuado de los probióticos.

El uso de probióticos para tratar casos de diarreas en animales busca mejorar la salud intestinal, el equilibrio del microbioma, mejorar la salud y vitalidad de los animales y reducir la mortalidad. Los probióticos como *Lactobacillus* protegen al huésped mediante la inhibición, desplazamiento y control de microorganismos patógenos, reduciendo así el riesgo de infección bacteriana. Los probióticos administrados en combinación con terapia de hidratación reducen la duración y la gravedad de la diarrea. Sin embargo, es necesario evaluar los efectos específicos de la cepa.

Los probióticos como promotores de crecimiento

Los probióticos representan una de las alternativas naturales al uso de antibióticos promotores del crecimiento en animales (Tabla1), ya que no causan efectos secundarios y proporcionan una mejor digestibilidad, aumento de peso y conversión alimenticia.

El uso de los antibióticos como promotores del crecimiento se remonta a 1940, cuando Stokstad y Jukes usaron clortetraciclina en la alimentación de pollos con propósito de mejorar la absorción de la vitamina B12, lo que generó importante ganancia en peso, alta resistencia a infecciones y una rápida conversión alimenticia. Sin embargo, el uso continuo provocó altos niveles de residuos en la carne y los productos animales, sin mencionar la aparición de resistencia en algunas cepas bacterianas, lo que generó preocupación entre los consumidores.

Una vez introducidos en la dieta, los probióticos disminuyen el pH intestinal, liberan



metabolitos protectores como ácidos grasos, peróxido de hidrógeno y bacteriocinas, especialmente aquellas que previenen el crecimiento de *Candida albicans*, *Clostridium perfringens* y bacterias *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella fluorescens*, *Salmonella enterica*, *Schottmirellii*, *M. rubella*, *M. paradysenteriae*, *Sarcina lutea*, *Serratia marcescens*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Lactococcus lactis*, *Vibrio cholerae* y *Vibrio enteritidis*. Los probióticos también ayudan a regular la motilidad intestinal y la producción de moco, utilizan mecanismos enzimáticos que modifican y bloquean los receptores de toxinas, evitando así la colonización por patógenos competitivos.

Tabla 1. Microorganismos utilizados como probióticos en los animales y el hombre.

Microorganismos	Genero	Especie
Bacterias lácticas no Esporuladas (Gram +)	Lactobacillus	L. acidophilus, L. plantarum, L. casei, L. rhamnosum, L. GG, L. delbrueckii bulgaricus, L. reuteri, L. fermentum, L. brevis, L. lactis, L. cellobiosus
	Bifidobacterium	B. bifidum, B. longum, B. thermophilus, B. infantis, B. adolescents, B. animalis
	Streptococcus	S. thermophilus, S. lactis, S. cremoris, S. salivarius, S. intermedius, S. leuconostoc
	Enterococcus	E. faecali, E. faecium
	Lactococcus	L. lactis
	Pediococcus	P. acidilactici
	Leuconostoc	L. mesenteroides
Bacterias lácticas esporuladas (Gram+)	Sporolactobacillus	S. inulinus
Bacterias no lácticas Esporuladas	Bacillus	B. subtilis, B. coagulans, B. clausii, B. cereus (var. toyoi), B. licheniformis
	Propionibacterium	P. freudenreichii
Levaduras	Saccharomyces	S. cerevisiae, S. Boulardii
Hongos	Aspergillus	A. niger, A. oryzae

Fuente: Díaz-Reyes et al. (2008).

Disponible en: [http:// monografias.umcc.cu/monos/2008/Agronomia/m083.pdf](http://monografias.umcc.cu/monos/2008/Agronomia/m083.pdf)

Los probióticos como promotores de crecimiento buscan mejorar la producción, mediante un aumento en la digestión y absorción de nutrientes. La digestibilidad de los nutrientes en pollos y cerdos de engorde al usar *Lactobacillus* en la dieta se refleja en el aumento de la ganancia de peso, disponibilidad del calcio, proteína y grasa además de la reducción de incidencias de diarreas. La mayor digestibilidad de nutrientes está relacionada con el aumento de la altura de las vellosidades intestinales y de la actividad enzimática en el intestino, como la amilasa, sucrosa, lactasa, celulasa, proteasas, metaloproteasas entre otras, ocasionada por los probióticos administrados.



Los probióticos y el sistema inmune

La inmunidad es la capacidad del cuerpo para resistir patógenos invasores. Se ha descrito que los probióticos pueden modular la respuesta inmune no sólo a nivel de la mucosa intestinal sino también a nivel sistémico. En este sentido, los probióticos confieren beneficios a la salud al modificar la flora intestinal y fortalecer la inmunidad del huésped. Los probióticos, junto con sus moléculas efectoras, confieren efectos inmunomoduladores, antiangiogénicos, antialérgicos y anticolitis. Las interacciones entre los probióticos y las células inmunitarias son importantes para la homeostasis del tejido mucoso y la inmunidad innata.

Cuando se utilizan bacterias lácticas, estas son capturadas por las células M presentes en el epitelio, provocando la estimulación de los tejidos linfoides asociados a la mucosa intestinal. Los probióticos y su interacción con las células dendríticas es debido a su capacidad de polarizar la respuesta inmune adaptativa. Sin embargo, la maduración de esta célula presentadora de antígeno y la producción de citocinas dependen de la cepa de probiótico ya que puede haber inhibición o estimulación de la producción de citocinas, en células producidas en el bazo los lactobacillus inducen una fuerte respuesta mientras que en las placas de Peyer el efecto inductor es más bajo.

Al interactuar los probióticos con las células epiteliales estas son estimuladas. Una mezcla de varias cepas de probióticos induce una producción de las citocinas liberadas por las células del sistema inmunitario que interviene en la inflamación en las células epiteliales intestinales y la activación de vías de señalización. Este tipo de respuesta sugiere que la inducción de una respuesta inmune equilibrada puede darse por mecanismos distintos a la inmunosupresión, en este sentido los probióticos tienen la capacidad de controlar algunas bacterias, como *Salmonella* sp. y *Escherichia coli*, hongos y protozoos.

Los probióticos favorecen la producción de la inmunoglobulina A y M, la modulación de la producción de citocinas de la respuesta adaptativa, la liberación de quemoquinas (pequeñas proteínas, secretadas por células, que modulan el sistema inmunitario), la activación de las células asesinas naturales y el desarrollo de células T reguladoras.

Los probióticos intervienen en un efecto inmunomodulador sobre la inmunidad innata al aumentar los niveles de óxido nítrico (NO). Esto se debe a que el óxido nítrico (NO) es un mensajero intercelular que regula el tono vascular, la activación plaquetaria y las respuestas inmunes, y como neurotransmisor en el sistema nervioso central, eliminando bacterias, virus, protozoos y células tumorales. Los macrófagos representan una fuerte fagocitosis de *Salmonella* a través de un mecanismo autorregulador en la producción de NO, además de que se activan durante las respuestas inmunes *in vivo* y se exponen a la acción de la citosina *in vitro*.



El uso de probióticos reduce los signos clínicos de la infección por coccidias en pollos de engorda, al mismo tiempo que mejora la inmunidad innata y adquirida de una manera dependiente de la cepa bacteriana.

Probióticos utilizados en rumiantes

En la actualidad la productividad de los rumiantes requiere una dieta alta en concentrados, lo que implica establecer nuevas tecnologías, ya que su digestibilidad está limitada por la cantidad de proteína presente en el endospermo vítreo de los cereales y se corre el riesgo de alterar la homeostasis fisiológica con una reducción del pH del rumen, cambios en la microbiota ruminal y enfermedades metabólicas e infecciosas.

En un ambiente de acidez ruminal los *Lactobacillus* spp. puede reemplazar a la bacteria *Streptococcus bovis*, iniciando una acumulación excesiva de lactato, lo que implica el uso de aditivos como los ionóforos, antibióticos, propóleos, aceites esenciales, simbióticos, entre otros, con el riesgo de residuos en productos y subproductos de origen animal. Una alternativa es la suplementación con la levadura *Saccharomyces cerevisiae* ya que favorece el aumento de la población de protozoos ruminales, que degradan rápidamente los gránulos de almidón, y una estabilización más eficiente del pH ruminal, además de que tienen la capacidad de consumir el oxígeno que llega al ambiente ruminal, lo que favorece a las bacterias celulolíticas.

Por otra parte, se han utilizado tres especies de hongos ruminales (*Orpinomyces joyonii*, *Neocallimastix patriciarum* y *Piromyces communis*) capaces de digerir entre el 40 y el 50% del almidón presente en el maíz, capaces de penetrar la matriz proteica del maíz con sus rizoides, pero no lo hacen en los gránulos de almidón mediante la liberación de amilasas extracelulares. Además, generalmente producen una mayor variedad de enzimas que las bacterias del rumen, lo que, combinado con la acción mecánica de las hifas que penetran los alimentos, facilita la acción de otros microorganismos como las mismas bacterias.

Teniendo en cuenta que los ionóforos son antibióticos y que puede provocar resistencia cruzada con otros microorganismos, resultan interesantes y necesario la opción de los probióticos, que ayudan a equilibrar el microbioma del tracto gastrointestinal y mantienen o aumentan la microflora beneficiosa, lo que mejora la eficiencia de la utilización de nutrientes, con un aumento de las concentraciones de propionato y acetato, disminuyendo las concentraciones intraruminales de N-amoniaco lo que favorece la digestibilidad y reduce la acidosis ruminal en animales de alto rendimiento.

Como alternativa también se utiliza la suplementación asociada con bacterias y levaduras, ya que ofrece un mayor potencial de uso en la producción animal. Aunque los probióticos y los ionóforos tienen diferentes vías de acción, los resultados finales parecen ser muy similares.



Retos al futuro en el uso de probióticos en la producción animal

Es necesario desarrollar un marco regulatorio claro que establezca estándares de calidad, seguridad y eficacia para los productos probióticos destinados a animales, para garantizar la inocuidad de los alimentos y promover un uso responsable de estos aditivos.

Se requiere continuar investigando los mecanismos de acción de los probióticos, así como evaluar su efectividad en diferentes especies animales y condiciones de producción, que permitirá optimizar su uso y desarrollo de formulaciones más eficientes. Es importante aumentar la disponibilidad y acceso a los productos probióticos para los productores pecuarios, que promueva la producción local y facilitar la distribución, especialmente en países en desarrollo.

Los altos costos de producción de los probióticos pueden limitar su uso, por lo que es necesario desarrollar tecnologías que permitan reducir los precios y hacerlos más accesibles para los productores.

Conclusión

El uso de los microorganismos benéficos como probióticos en producción animal han demostrado ser una alternativa efectiva y segura para mejorar la salud y el rendimiento de los animales. Los probióticos han sido ampliamente estudiados y utilizados en diferentes especies, incluyendo aves y rumiantes, para aumentar la digestión y absorción de nutrientes, mejorar la microbiota intestinal y fortalecer el sistema inmunológico. Además, disminuyen la morbilidad y la mortalidad en los animales, lo que resulta en una mayor productividad y eficiencia en la producción animal.

En comparación con los antibióticos, los probióticos no generan resistencia bacteriana y no tienen efectos colaterales negativos en los animales ni en el medio ambiente. Su uso responsable y adecuado puede contribuir a mejorar la seguridad alimentaria y reducir los impactos ambientales negativos. Sin embargo, su adopción masiva en la industria ganadera puede estar limitada por factores como la falta de conocimiento, disponibilidad limitada, costos de producción y regulación inadecuada. A pesar de estos desafíos, la investigación y promoción del uso de probióticos en la ganadería pueden ser fundamentales para enfrentar los desafíos actuales y futuros.

Referencias

- Bitencourt, L.L., Silva, J, R.M., De Oliveira, B. M.L., Días, G. S., Lopes, F., Siécola, S., De Fátima, Z.O. y Pereira, M.N. (2011). Digestibilidad de la dieta y rendimiento de vacas lecheras suplementadas con levadura viva. *Scientia Agricola*, 68(3):301–307. doi.org/10.1590/S0103-90162011000300005.
- Cabello, C.L.C. (2022). Los productos bióticos, definición y modo de acción. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 30 (supl. 1):55-70. <https://doi.org/10.53588/alpa.300506>.
- Castillo, B.L.V. (2017). Probióticos y prebióticos como alimentos funcionales en nutrición



- animal. *Zoociencia*, 3(2).
<https://revistas.udca.edu.co/index.php/zoociencia/article/view/514>
- Cutting, S.M. (2011). Bacillus probiotics. *Food Microbiol.* 28:214-220.
<https://doi:10.1016/j.fm.2010.03.007>.
- Gadde, U., Kim, W H., Oh, S.T. & Hyun, S.L. (2017). Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: A review. *Anim. Health Res. Rev.* 18:26-45. doi:10.1017/S1466252316000207.
- Granados-Chinchilla, F. (2017). A review on phytochemicals (Including essential oils and extracts) inclusion in feed and their effects on food producing animals. *J. Vet. Med. Sci.* 3:555620. doi:10.19080/JDVS.2017.03.555620002.
- Gutiérrez, R.L.A., Montoya, O.I. & Vélez, Z.J.M. (2013). Probióticos: una alternativa de producción limpia y de remplazo a los antibióticos promotores de crecimiento en la alimentación animal. *Producción + Limpia*, 8(1):135-146.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552013000100010&lng=en&tlng=es.
- Hernández, A., Coronel, R.C. & Gil, V.J.M. (2020). Novedades en probióticos: evidencias, indicaciones y seguridad. *Pediatra Integral* 24(3):151-165.
www.pediatriaintegral.es/category/publicacion-2020-05/.
- Jin, L.Y., Ho, N.A. & Jalaludin, S. (2000). Digestive and bacterial enzyme activities in broilers fed diets supplemented with Lactobacillus cultures. *Poultry Science.* 79:886-891. <https://doi:10.1093/ps/79.6.886>.
- Manzano, A., Claudia, E.G., Diana, & Poveda, E. (2012). Efectos clínicos de los probióticos: qué dice la evidencia. *Revista chilena de nutrición*, 39(1):98-110.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182012000100010>.
- Medina, S.T., Arroyo, F.G., Herrera, M.C. & Mexicano, S.L. (2017). Bacillus subtilis como probiótico en avicultura: aspectos relevantes en investigaciones recientes. *Abanico veterinario*, 7(3):14-20. <https://doi.org/10.21929/abavet2017.73.1>.
- Molina, A. (2019). Probiotics and their mechanism of action in animal feed. *Agron. Mesoam.* 30(2):601-611, <https://doi:10.15517/am.v30i2.34432>.
- Neto, R.F., Oliveira, A.F., Sayuri, M.E., Marcondes, G.M., Almeida, B.M., Barbacena R.S. & Coelho, P.H. (2020). Fungal probiotics in the high-grain diet ruminants. *raz. J. of Develop., Curitiba*, 6(7): 53562-53584. <https://doi:10.34117/bjdv6n7-851>.
- Shaffi, M. S. & Hameed, M. K. (2023). The role of probiotics in animal nutrition and health. *N.a. J. Adv. Res. Rev.* 17 (3):276-280.
<https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.17.3.0396>.
- Setlow, P. (2006). Spores of *Bacillus subtilis*: their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals. *J. App. Microbiol.* 101:514-525. <https://doi:10.1111/j.1365-2672.2005.02736.x>.



-
- Soto, D.A., Rondón, C.A.JE., & Iglesias, G.J.M. (2023). Probiotics in animal production: action mechanisms and beneficial effects on animal husbandry. *Pastos y Forrajes*, 46.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942023000100025&lng=es&tlng=en.
- Toumi, R., Samer, A., Soufli, I., Rafa, H. & Touil, B.C. (2021). Role of probiotics and their metabolites in inflammatory bowel diseases (IBDs). *Gastroenterol. Insights*. 12(1):56-66, <https://doi.org/10.3390/gastroent12010006>.
- Vizcaíno, R.M.T., Coromoto, M.S., Morales, A. y Torres, N. (2016). Usos clínicos de los probióticos. *Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría*, 79(1), 029-040.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06492016000100007&lng=es&tlng=es
- Yirga, H. (2015). The use of probiotics in animal nutrition. *J. Probiotics Health* 3:132.
<https://doi:10.4172/2329-8901.1000132>.
- Zhang, Z., & I. Kim. (2014). Effects of multistrain probiotics on growth performance, apparent ileal nutrient digestibility, blood characteristics, cecal microbial shedding, and excreta odor contents in broilers. *Poult. Sci.* 93:364-370.
<https://doi:10.3382/ps.2013-03314>.

Forrajes nativos como alternativa para la suplementación de conejos chinchilla

Saraí Ramírez-Morales
Litzy Itzel Soto-Romano
Carlos Alberto García-Munguía
Miguel Alejandro Martínez-Jiménez





Introducción

La demanda de ingredientes disponible en la alimentación de animales productivos, es una de las características con mayor valor dentro del manejo de estos animales. Las materias primas con aporte proteico, son en su mayoría caros y disponibles en ciertas temporadas. El uso de las alternativas en la dieta de los animales, es de gran interés ya que, en las investigaciones de los últimos años, los resultados en los parámetros productivos de diferentes especies son de carácter significativo. La suplementación con alternativas en la alimentación de animales productivos, son de interés económico y gran alcance en producciones sustentables, ya que algunas de las alternativas son obtenidas para un mejor aprovechamiento de recursos, así como un mejor manejo dentro de la alimentación de animales productivo.

Los forrajes nativos son elementos poco convencionales en animales de producción intensiva, ya que solo son aprovechados en su mayoría en producciones de pastoreo, a su vez de manera no intencional, ya que algunos de estos forrajes crecen en los alrededores y estos son aprovechados por los animales que se encuentren cerca de ellos. Existen diversos forrajes nativos, hidropónicos u obtenidos directamente de la naturaleza que son de interés nutricional, por sus características nutricionales de los mismos, así como su palatabilidad, disposición e interés económico que representan.

Los conejos de razas productoras de carne son animales que tienen la capacidad de poder sobrellevar una dieta con forraje fresco igual que los rumiantes, sin embargo, los usos de alimentos comerciales contienen nutrientes que el simple forraje no podría sostener por sí mismo, por lo que es una opción, proporcionar un porcentaje de forraje en la producción de los conejos productivos como suplemento. Por ello, es importante la investigación de los forrajes en la alimentación de conejos productivos, ya que su capacidad herbívora conlleva a un mejor aprovechamiento de estos recursos de manera considerable.

Producción de conejo en el sur del país

A nivel nacional la cunicultura ha tenido un crecimiento lento e innovador, ya que se considera una actividad pecuaria, que aún no cuenta con las suficientes tecnologías en la producción para alcanzar estándares y altos niveles de producción, así como registros productivos, para el control y mejor manejo para el impulso de esta especie como proteína, en relación con la carne de pollo o cerdo. SAGARPA es un organismo en toda la República Mexicana que impulsa la cunicultura como una de las mejores alternativas para combatir los índices de pobreza, proporcionar una alimentación nutritiva a la sociedad y generar empleos en las zonas rurales del país.

En la zona sureste del país se encuentran poblaciones con índices de pobreza más extremas, en relación con el resto de la República, por ello la cunicultura en estados



como Puebla, Tlaxcala, Oaxaca y Veracruz, se han beneficiado con este tipo de alternativa cárnica, con la participación de cunicultores. Puebla y Tlaxcala, se consideran entidades de mayor producción de conejos en el país. El principal producto que brinda el sector cunícola es la carne de conejo, pero con la diversa cultura que tienen estos estados, se ha innovado en las diferentes presentaciones del uso de esta carne, con la elaboración de platillos típicos, y el procesamiento de jamón, salchicha y chorizo utilizando esta proteína.

Además de lo antes mencionado, se pueden derivar diversos subproductos del conejo, donde se puede comercializar la piel, el pelo, patas y cola, para la industria de la vestimenta, las excretas como abono orgánico de gran calidad, perfecto fertilizante para los cultivos de hortalizas y de fácil degradación, al igual el uso de los huesos para las artesanías características de la región. En la zona sur, caracterizada por el consumo y producción de pescado, la carne de conejo se considera la segunda proteína de interés, ya que, al ser un elemento proteico, sus altos contenidos de hierro y de fácil digestión hacen una carne perfecta para el consumo. Donde los niños y adultos mayores se consideran los mejores consumidores de esta carne.

Producción de conejo en Veracruz

En el estado de Veracruz más del 80% de los productores de conejo, manejan sus instalaciones en traspatio y de autoconsumo, esto a los deficientes apoyos gubernamentales para la tecnificación de esta especie productiva. La cunicultura en este estado se encuentra en peligro, ya que por los costos que significan las instalaciones, y el mismo mantenimiento de los animales, significan una razón de interés para los productores aun ejerciendo esta práctica. Los actuales cunicultores carecen de materiales para instalaciones más tecnificadas, incluyendo la solicitud de recursos de entidades, pero cada vez el acceso a alimentos y demás insumos para la producción están considerándose un punto importante para la pérdida de esta actividad pecuaria.

Sin embargo, productores al ver una proteína con buen potencial de gran calidad, se rehúsan a dejar esta práctica, por lo que han buscado alternativas para disminuir costos y poder distribuir de una mejor manera la canal de conejo. Por lo que la solución más factible es aprovechando las características de la especie en cuanto su alimentación, ya que al ser herbívoro puede consumir plantas, o forrajes, al estar en zonas con una humedad y precipitaciones adecuadas para el crecimiento de árboles y arbustos, además de un excelente suelo para el desarrollo de especies nativas. Han visualizado una alternativa para disminuir los costos de alimentación, ya que estos contribuyen a más del 62% de la producción, al utilizar y optimizar recursos de los alrededores para contribuir en un mejor manejo nutricional de estos animales.

Las razas de conejos han sido un tema a tratar en las consideraciones necesarias para cada tipo de ambiente y la adaptación de las mismas, ya que algunas temperaturas



en los diferentes estados, condiciones diferentes, igual que cualquier especie productiva, repercute en los diferentes parámetros productivos. Los conejos chinchillas, son animales muy dóciles, resistentes a enfermedades, además de ser una especie productiva, también pueden ser considerados como animales de compañía, o excelentes para la producción de pie de cría.

Por su tamaño y cuidados, pueden estar en instalaciones convencionales, preferente en jaulas horizontales, muchas de estas comercializadas en el ámbito, por lo que el precio, no es elevado, o no se necesita instalaciones especializadas para su producción.

Esta raza, se caracteriza por su excelente rendimiento al canal, y su piel (pelaje), para la elaboración de vestimenta, entre otros usos que se les puede otorgar por su característico color gris y la suavidad que prevalece después de tiempo, incluso no necesita cuidados especiales.

Estudios han observado, incluso comparando las especies de Nueva Zelanda y California, con los conejos chinchilla, donde este último resulto sobresaliente como la raza California, y en algunos puntos como en los cuartos posteriores de mayor calidad, peso y tamaño a comparación de los conejos Nueva Zelanda, teniendo un punto a favor del uso de los conejos Chinchilla, en la producción de carne y piel.

Forrajes alternativos en la producción de conejo

El uso de forrajes disponibles dentro de las zonas donde se encuentra una gran diversidad de plantas endémicas, es un recurso no aprovechado para la alimentación en animales estabulados, aunque la cultura gastronómica donde ciertas especies de plantas son utilizadas como ingredientes exóticos, la sociedad no utiliza estos mismos como fuente de fibra o proteica. Las investigaciones relacionadas con las alternativas utilizando plantas o recursos disponibles, con procesos físicos para la adición de estos en las dietas y con transformaciones relacionado a la presentación, como harinas elaboradas o incluso el peletizado utilizado más común en alimentos de conejos.

Sin embargo, el uso de forrajes verdes y el uso de especies nativas, es todavía un concepto y uso de investigaciones, ya que en animales herbívoros es algo fundamental de gran aprovechamiento de interés económico, al disminuir un porcentaje de alimento comercializado o procesado, al suplementar con el uso de un forraje de esta índole. La investigación en la nutrición de conejos de engorda ha tenido ciertas características de interés, ya que algunas producciones desarrollan problemas a consecuencia de aumento de costos en la alimentación dentro de la producción cunícola.

Poblaciones de bajos recursos en las zonas del sur, han tenido inconvenientes al resolver este tipo de situaciones, ya que, al tener un costo elevado, la proteína de conejo a pesar de su fácil manejo y su adaptación a lugares estrechos. En países como Cuba y



Brasil, este tipo de técnicas y manejo nutricional es más estimulante y abierto en las diferentes alternativas propuestas para el óptimo uso de nuevas opciones para disminuir el costo de esta proteína con el objetivo de tener una carne nutritiva y de mejor calidad, aun precio aceptable para los consumidores.

Investigadores evaluaron forrajes locales con alto valor nutricional para formular raciones alimenticias para conejos en fase de engorde, como una alternativa de alimentación que contribuya a disminuir la dependencia al consumo de alimento balanceado comercial y reducir los costos de alimentación. En los últimos veinte años, se han realizado estudios de investigación de diferentes líneas, y el uso de especies nativas como forraje para conejos, en diferentes presentaciones como forraje verde, harina y forraje deshidratado.

Las especies estudiadas con efectos positivos en la producción de conejos de engorda, se mencionan la leucaena (*Leucaena leucocephala*) donde incluso se realizó una dieta en la presentación de pelet. Naranjillo (*Trichanthera gigantea*) y morera (*Morus alba*) como adición a la dieta de conejos de engorda en forma de harina, donde mencionaban el uso de estos forrajes en la dieta con una sustitución de 30% en las dietas evaluadas.

Mientras que *Tithonia diversifolia* (*Trichanthera gigantea*), *Lablab purpureus* (dólico), *Stizolobium niveum* (mucuna) y *Erythrina americana* Miller (Pichoco), la suplementación de estos forrajes nativos en las dietas de conejos de producción de engorda, utilizando estas plantas como forraje verde, mostrando aceptabilidad y efectos en los parámetros productivos, como la ganancia diaria de peso (GDP), en los tratamientos con porcentajes mayores de suplementación.

***Erythrina americana* Miller como alternativa en los forrajes de conejos en México.**

En el estado de Veracruz, se encuentra el árbol Pichoco (*Erythrina americana* Miller) el cual tiene propiedades medicinales que se han aprovechado, usos culinarios, la madera es utilizada para la elaboración de artesanías y el árbol es plantado en sistemas agroforestales como cerca viva.

Es un árbol de 4-5 m de altura con una copa muy ramificada y una corteza lisa de color pardo claro. Tiene espinas en las ramas, hay espinas anchas y cónicas en el tronco. Las hojas son alternas y trifoliadas, con tres folíolos puntiagudos, rómbico-ovados, de 7-22 cm de largo y ancho. El follaje se cae en la estación seca del invierno. Las flores erectas, vistosas, cónicas, situadas en espigas terminales aparecen a principios de la primavera y son de color carmín y ligeramente pubescentes. Las legumbres miden hasta 12 cm de largo, están constreñidas entre las semillas, retorcidas o fuertemente enrolladas y terminan en un pico largo, angosto y curvo. Las semillas oblongas, de unos 0.7-1.0 cm de largo, son de color rojo intenso.



Estos árboles se desarrollan en suelos ácidos tropicales con un requerimiento de temperatura alta, por encima de los 28°C, requiere humedad, aunque toleran bien los periodos secos. La especie *E. americana Miller* sus hojas tienen un valor nutricional alto y puede utilizarse como complemento alimenticio incluso, las flores son valoradas como ingrediente para diversos platillos tradicionales las semillas son utilizadas para la confección de joyería artesanal y con la madera se elaboran diversas artesanías. En la medicina tradicional mexicana, a esta planta se le atribuyen diferentes propiedades, tales como antídoto, narcótico, laxante, diurético, expectorante, antiinflamatorio, antiasmático, antimalárico y antidermatitis.

La composición bromatológica que este tipo de hoja oscila entre 22% de proteína cruda, fibra detergente neutro 52-58%, fibra detergente ácido 28-34%, por lo que son dos compuestos muy importantes en la formulación de dietas de animales. Existen estudios previos donde el uso del follaje de este árbol es utilizado en animales de pastoreo, en ovinos los compuestos fenólicos que contiene este forraje, mostraron un efecto en los nematodos gastrointestinales y efecto en los parámetros de ganancia de peso en los individuos que consumieron este forraje.

El uso de estas hojas en animales productivos en estabulado, también tuvieron un efecto importante, se realizaron estudios donde ovejas ligeras al tener libre acceso al forraje, tuvieron un comportamiento productivo ideal, y concluyeron que el uso de este alimento en cortos periodos, se puede utilizar como una fuente única, con los nutrientes adecuados.

En los conejos el uso de hojas de Pichoco (*Erythrina americana Miller*), se han realizado estudios con harina proveniente de este follaje a través de dietas formuladas, incluyendo este ingrediente como parte importante de la formulación, menciona la investigación que se disminuyeron costos de hasta un 26% en la producción de alimento. Productivamente, los animales obtuvieron un mejor resultado al implementar un 20% de esta harina en su dieta, obteniendo un rendimiento al canal de hasta un 68.79%, demostrando que el uso de esta alternativa tiene un costo beneficio muy considerable en el efecto productivo de los conejos y el forraje alternativo. Los conejos consumen alrededor de un 30% en relación a su peso vivo de forraje verde, contribuyendo a satisfacer las necesidades de estos animales, contribuyendo un punto importante en el uso de forraje fresco como parte del plan de alimentación.

Conclusiones

Las alternativas nutricionales en la alimentación de animales productivos, es una necesidad por la deficiencia y disponibilidad de diversos ingredientes utilizados para la formulación y suplementación de los animales. Existen diversas plantas nativas que crecen en las diferentes zonas del país, que no son utilizadas y aprovechadas, siendo



una especie que puede ser consumida, por animales que necesitan un forraje en su alimentación. La cunicultura produce una de las proteínas disponibles, que puede ser utilizada en zonas donde es posible un mejor aprovechamiento de recursos disponibles como son los forrajes nativos, además de que los conejos con diversos estudios realizados, su mejoramiento genético y su alimentación a base un porcentaje de forraje fresco, es mejor expresado, incluso en el rendimiento al canal. La combinación de forraje verde disponible, como pueden ser forrajes nativos y un alimento balanceado con granos, se pueden obtener resultados favorables en los parámetros productivos y en un periodo un beneficio económico, al utilizar un recurso natural disponible. Por ello la necesidad de la investigación e información de diferentes ramas de la producción con el uso de estas alternativas de forrajes nativos, además de la publicación y divulgación de estos proyectos. Además de la disponibilidad de la información a productores de escasos recursos y que cuentan con esta forma de forraje, para la alimentación de sus animales productivos.

Referencias

- Brenes, A. (2014). Respuesta productiva de conejos alimentados con follaje fresco de nacedero. *UNED Research Journal / Cuadernos de Investigación UNED*, Vol. 6 (2), pp. 205-211.
- Cabrera, D.L.R., Álvarez, S. A. y Casanovas, C.E. (2020). Sustitución parcial del concentrado por harina de forraje deshidratado de *Tithonia diversifolia* como alternativa en la ceba de conejos Pardo Cubano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 123–127.
- Flores, D. y Arteaga A. (2019). Evaluación de un alimento peletizado a base de forraje para conejos en fase de levante y ceba en la Granja Experimental Villa Marina. *Mundo FESC*. 9(17).
- Flores, D. & Hidalgo, D. (2020). Evaluation of a granulate of *Boehmeria nivea* and *Trichanthera gigantea* on the productive parameters in rabbits in the ceba phase. *Mundo FESC*, 10 (19): 80-87
- Fuentes, F., Poblete, C. y Huerta, M. (2011). Respuesta productiva de conejos alimentados con forraje verde hidropónico de avena, como reemplazo parcial de concentrado comercial. *Acta Agron.* 60(2).
- Martínez, J., Mazorra, C., Serrano, J. & Borroto, A. (2022). Characterization of rabbit production systems in the Ciego de Ávila municipality, Cuba. *Ciencia UAT*. 17(1).
- Martínez, M. (2010). Caracterización de la harina de follaje de *Mucuna sp.* y su efecto en la fisiología digestiva del pollo de ceba. Instituto de Ciencia Animal. San José de las Lajas. Tesis Dr. 106 p.
- Nieves, D., Terán, O., Vivas, M., Arciniegas, G., González, C. y Julio, L. (2009). Comportamiento productivo de conejos alimentados con dietas basadas en follajes



tropicales. *Rev. Cient.* (Maracaibo) 19(2).

Palma, O. y Hurtado, E. (2010). Comportamiento productivo de conejos durante el período de crecimiento-engorde alimentados con frutos de mango (*Mangifera indica*) en sustitución parcial del alimento balanceado comercial. *Idesia*. 28(1): 33-37.

Las fases de la Luna y su relación con eventos reproductivos

Luís A. Saavedra-Jiménez
María B. Bottini-Luzardo
Rosa I. Cortes Rojas
Krisma Julio Gatica
Heladio Moreno-Melo





Introducción

Durante milenios el ser humano ha vivido en armonía con los diversos ritmos de la naturaleza con el propósito de asegurar su supervivencia. Nuestros antepasados observaron con atención los trayectos del Sol y la Luna, con la intención de elaborar calendarios y predecir sus efectos sobre la naturaleza. El conocimiento tradicional que tiene el productor sobre los efectos de la Luna en la producción agrícola y pecuaria son prácticas empíricas muy antiguas, que han adquirido de sus ancestros y que aplican en la actualidad, constituyendo así un enfoque significativo en el uso adecuado de sus tradiciones, obteniendo excelentes beneficios. El efecto proveniente del astro lunar sobre las actividades agropecuarias depende de su luminosidad, acercamiento e incluso de la radiación y gravedad que este pueda ejercer sobre los seres vivos, influyendo en los procesos de cultivo, producción y reproducción.

De los conocimientos más ancestrales y conocidos es la influencia de la Luna sobre la gestación en animales y seres humanos, y la superstición del alumbramiento en ciertas fases lunares. En la ganadería, las fases lunares influyen en la reproducción de los rumiantes, considerando la dominancia del sexo femenino cuando se logra la fecundación en Luna menguante hacia Luna nueva, con partos más fáciles y de cuerpos con menor volumen, y cuando la misma se logra en cuarto creciente hacia Luna llena, prevalece el sexo masculino y partos con características opuestas al femenino.

A pesar de las diferentes publicaciones respecto a los efectos de la Luna sobre el comportamiento reproductivo de los animales, aún no ha sido plenamente aceptada en el ámbito científico, considerándose conocimiento empírico o simples creencias. Por lo anterior, el objetivo de la presente revisión fue analizar de forma crítica el efecto de las fases lunares en el comportamiento de los animales, haciendo énfasis en las características reproductivas de ganado bovino.

La Luna y sus fases

La Luna se define como el único satélite natural de la Tierra, ligado a ésta por gravedad y que se encuentra a 384,400 km. La Luna no brilla, refleja la luz del Sol. Al igual que durante el día en la Tierra, la luz del Sol también ilumina la superficie de la Luna. Es decir, la Luna tiene una cara diurna y una cara nocturna, y como la Luna orbita la Tierra cada mes, no tenemos una vista continua de toda la cara de la Luna que mira al Sol. La mayor parte del tiempo, la vista de la Luna desde la Tierra es hacia parte del lado iluminado por el Sol y parte del lado oscuro al mismo tiempo. A medida que la Luna gira alrededor de la Tierra, el ángulo entre la Luna y la Tierra cambia progresivamente afectando la proporción de la luz solar reflejada por la Luna.

Cuando la luz del Sol ilumina sólo la cara oculta de la Luna (la cara que no se puede observar directamente desde la Tierra), esa fase se llama *Luna nueva*. Cuando la



luz del Sol ilumina sólo la cara visible de la Luna (la cara que siempre mira a la Tierra), se denomina *Luna llena*. El resto del mes, se observa una cantidad diferente de la cara diurna de la Luna. Estas vistas en continuo cambio de la parte de la Luna iluminada por el Sol son las fases de la Luna, que dependen de la posición relativa de la Luna con respecto a la Tierra y el Sol. El ciclo se repite una vez al mes (cada 29,5 días).

De manera común, se pueden identificar perfectamente cuatro fases lunares clásicas:

- Luna nueva:** se caracteriza porque no puede observarse ya que se ubica entre el Sol y la Tierra.
- Luna en cuarto creciente:** Se puede observar menos de la mitad de la Luna, debido a que refleja la luz que llega del Sol. Dentro de la fase de cuarto creciente, se puede subdividir en *primer cuarto*, en el que aumenta el porcentaje de la superficie Luna que se ilumina y la *Luna gibosa creciente*, que se caracteriza por una forma globosa.
- Luna llena:** en esta fase la Luna se encuentra totalmente iluminada, se encuentra detrás de la Tierra con respecto al Sol, en la Luna llena se distingue la *Luna gibosa menguante*, en la que se puede observar la Luna casi totalmente iluminada, con una pequeña área que no se ilumina.
- Luna en cuarto menguante:** la superficie iluminada vuelve a quedar reducida a menos de la mitad de su superficie, para nuevamente iniciar la fase de Luna nueva.

En la actualidad, se encuentran disponibles evaluaciones más detalladas y precisas y, además, software que permite el cálculo exacto de la fase lunar. Por tanto, se puede realizar una asignación más precisa de los ciclos lunares. En ese contexto, además de las fases lunares clásicas, para evaluar con mayor o menor exactitud se han propuesto diversas clasificaciones del ciclo lunar, por ejemplo:

- 2 fases:** creciente, de Luna nueva a Luna llena, y menguante, de Luna llena a Luna nueva)
- 4 cuartos:** primero, de Luna nueva a primer cuarto; segundo, de primer cuarto a Luna llena; tercero: de Luna llena al tercer cuarto; cuarto, del tercer cuarto, a Luna nueva. Aproximadamente 7.4 días de duración cada uno.
- 8 periodos:** Luna nueva a cuarto creciente (0 a 3.69 días), cuarto creciente a primer cuarto (3.69 a 7.38 días), primer cuarto a cuarto menguante (7.38 a 11.07 días), cuarto menguante a Luna llena (11.07 a 14.76 días), Luna llena a menguante (14.76 a 18.45 días), gibosa menguante hasta el último cuarto (18.45 a 22.14 días), último cuarto hasta cuarto menguante (22.14-25.83 días) y cuarto menguante hasta Luna nueva (25.83 a 29.53 días).
- 30 períodos:** 15 en fase creciente y 15 en fase menguante, de 0.984 días (~1 día) de duración cada uno. Cada período de 15 días corresponde al ciclo semilunar



(~14.8 días de duración), cuyo inicio y final coinciden con la Luna llena y la Luna nueva, y la alineación de la Luna con la Tierra y el Sol.

Como se puede inferir, obtener conclusiones definitivas u observar efectos significativos en el evento estudiado debido a la etapa lunar puede verse influenciado por la amplitud definida para las diferentes fases lunares, es decir, el número de fases en que se ha dividido el ciclo lunar puede llevar a observaciones diferentes.

La gravedad lunar sobre los líquidos

La gravedad afecta a los líquidos a través de dos fenómenos: la presión hidrostática y la capilaridad. En el caso de la presión hidrostática, esta aumenta con la profundidad del líquido debido al peso de la columna de este sobre el punto en cuestión, esto explica porque la presión en el fondo de un cuerpo de agua es mayor que en la superficie. Por otro lado, la gravedad también influye en la capilaridad, fenómeno en el cual los líquidos ascienden o descienden en tubos delgados. Esta fuerza es resultado de la interacción entre las fuerzas de cohesión y de adhesión. La gravedad afecta otros aspectos del comportamiento de los líquidos, como la sedimentación y la convección.

Uno de los efectos más evidente de la Luna sobre los líquidos, que es posible observar sobre las masas de agua, es la marea. Así, por ejemplo, el nivel de los mares varía en función de la gravedad lunar sobre todo en Luna llena o Luna nueva, que afecta directamente a los líquidos debido a que aumenta la gravedad al estar la Tierra, la Luna y el Sol alineados, generando elevación de las mareas conociéndose este fenómeno como mareas vivas.

Fuera de estos factores, la intensidad de la luz de la Luna y los campos geomagnéticos alcanzan su punto máximo alrededor de la Luna llena y el último cuarto del ciclo lunar, mientras que la atracción gravitacional y la amplitud de las mareas alcanzan su punto máximo durante la Luna nueva y la Luna llena.

La gravedad y los líquidos corporales

Los líquidos corporales no están exentos de los efectos de la gravedad. El agua interviene en funciones fisiológicas importantes, es requerida para procesos como el transporte, digestión y metabolismo de nutrientes, la eliminación de los productos de desecho y del calor, el mantenimiento del balance de iones y fluidos, y la provisión de un medio acuoso para el desarrollo fetal. La interacción entre la gravedad y los sistemas fisiológicos del cuerpo es compleja, y se ve influenciada por diferentes factores, como la actividad física y la salud. De manera general, el efecto de la gravedad sobre los líquidos corporales se observa en:



- Distribución de los líquidos, la gravedad influye en la distribución de líquidos en el cuerpo. Cuando el individuo está de pie, la gravedad impulsa los líquidos hacia abajo, causando acumulación en las extremidades, sobre todo en las inferiores. Por el contrario, cuando el individuo está recostado, la distribución es más homogénea.
- Circulación sanguínea, cuando el individuo está de pie, la sangre tiende a acumularse en las extremidades inferiores a causa de la gravedad. Esto puede aumentar la presión en las venas de las piernas. Para contrarrestar este efecto, el sistema circulatorio se apoya de las válvulas en las venas y la acción de los músculos.
- Presión intracraneal, la gravedad hace que los líquidos cerebrospinales se acumulen en la parte inferior del cráneo, lo que puede contribuir a la sensación de presión en la cabeza cuando se está en posición vertical durante periodos prolongados.
- Aunque de manera diferente, el líquido amniótico, líquido que rodea y protege al feto dentro del útero durante el embarazo, también está influenciado por la gravedad. Los efectos de la gravedad se observan en:
 - Distribución del líquido amniótico, en condiciones normales, el líquido amniótico se distribuye de manera uniforme alrededor del feto, proporcionando un medio acuoso para el desarrollo del feto. La posición y movimientos de la madre, así como la posición del feto pueden afectar la distribución del líquido. La gravedad también ejerce una presión sobre el líquido amniótico, y por tanto sobre el feto.
 - Presión sobre el feto, el líquido amniótico protege al feto de los factores externos, incluyendo los efectos de la gravedad, sin embargo, la gravedad ejerce una ligera presión hacia abajo, lo que puede modificar la posición del feto dentro del útero.
 - Movimientos fetales, el líquido amniótico permite que el feto se mueva con relativa facilidad, los movimientos fetales también están influenciados por la fuerza de gravedad.

Efecto lunar sobre los animales

La Luna es responsable de varios ciclos ambientales, pero su poder de iluminación durante la noche es posiblemente el ciclo más relevante para los seres vivos. El efecto de la Luna puede ser atribuida a factores como la gravedad y los cambios de luz. La influencia de la Luna sobre el comportamiento animal ha sido observada durante largo tiempo atribuyéndose cierto dominio sobre el comportamiento de los animales en eventos, por ejemplo, de tipo reproductivo, actividad alimentaria, patrones de sueño y movimientos de migración. Las variaciones cíclicas relacionadas con el ciclo lunar pueden estar mediadas por la melatonina y los esteroides endógenos, como la liberación de neurohormonas desencadenada por factores como la radiación electromagnética y/o



fuerza gravitacional de la Luna. Sin embargo, estos comportamientos pueden variar según la especie y otros factores como los ciclos biológicos e interacciones sociales. A continuación, se presentan algunos ejemplos.

Ritmo circadiano

El ritmo circadiano es un reloj interno natural que regula el ciclo de sueño y vigilia en los seres vivos. Se repite aproximadamente cada 24 horas. Este ritmo es regulado por elementos internos y externos como la luz solar, el núcleo supraquiasmático (reloj maestro en el cerebro), hormonas, temperatura corporal, actividad física, alimentación, entre otros, y aunque la evidencia científica ha desestimado la idea del impacto de la fase lunar sobre el ritmo circadiano, este no debe negarse. El ritmo circadiano se modifica por la luz solar, y si la Luna refleja la luz del Sol, es posible inferir que, de manera indirecta, habrá cambios en los patrones de secreción de hormonas como el cortisol y la melatonina, hormonas relacionadas con la vigilia y el sueño.

Comportamiento

El Sol es la fuente de luz más importante modificando los ritmos circadianos para casi todas las especies, sin embargo, la luz de la Luna también modula la actividad nocturna en organismos, desde larvas de invertebrados hasta primates. En especies como los murciélagos y aves nocturnas, algunas investigaciones reportan que su actividad es mayor en Luna nueva mientras que en Luna llena son inactivos. Animales como ñúes, cebras, gacelas o búfalos establecen diferentes estrategias de protección según la fase lunar, por ejemplo, durante las noches más oscuras forman manadas para evitar el ataque de los depredadores, como los Leones del Serengeti, que utilizan la oscuridad para emboscar a sus presas.

Las aves de tipo migratorio utilizan la luz como guía durante sus viajes nocturnos, no es de extrañar entonces que, aumenten el tiempo de vuelo durante las noches con mayor luminosidad. Los crustáceos, como los cangrejos y camarones, pueden ser más activos durante la marea alta, que ocurren durante la Luna llena o nueva. En especies, como los búhos o felinos se pueden observar adaptaciones para tener mayor sensibilidad al sonido o al movimiento que les permite acechar a sus presas sin ser detectados gracias a la oscuridad lunar. También el ciclo lunar modifica el comportamiento del zooplancton ártico, provocando olas de migración vertical durante la fase de Luna llena en invierno, enfatizando la importancia de la luz de la Luna como estimulante lumínico en ese período.

Alimentación

La fase lunar puede influir en los hábitos alimenticios de ciertos animales. La influencia de la fase lunar puede variar según la especie y el hábitat. Es importante tener en cuenta



que la relación entre la fase lunar y los hábitos alimenticios de los animales aún está siendo investigada y comprendida en su totalidad.

En el caso de los roedores, algunas especies de peces como el atún y el pez espada, o algunos depredadores como los felinos, la búsqueda de alimento puede aumentar en las noches de Luna llena, posiblemente, debido a condiciones de mayor luminosidad lo que incrementa su capacidad de encontrar sus fuentes de alimento, trayendo desventajas a las especies depredadas, como las ratas canguro de Merriam, que pierden la ventaja de ocultarse en la oscuridad y, por tanto, son más propensas a ser atrapadas cuando la Luna está llena.

En el caso de algunas aves, como los albatros, se ha observado que durante la Luna llena realizan vuelos de alimentación más largo, aprovechando la visibilidad para localizar presas en el mar. Algunos herbívoros pueden ajustar sus patrones de pastoreo en función de la luz lunar. Por ejemplo, pueden preferir alimentarse en áreas abiertas y bien iluminadas durante las noches de Luna llena para detectar mejor a los depredadores y huir en caso de ser necesario.

Salud

Durante siglos, la gente ha creído que la Luna afecta el comportamiento humano, al grado de acuñar la palabra “lunático” para referirse a aquellas personas con cambios de humor frecuentes e inesperados que se consideraban afectados por la Luna. Se cree que las fases lunares pueden influir en la presentación de diversas enfermedades y/o trastornos relacionados con la salud mental (psiquiátricos, neurológicos, por ejemplo), la salud física (enfermedades vasculares, paro cardíaco, por ejemplo) e incluso en la reproducción tanto en animales y en humanos. Sin embargo, las observaciones que respalden la conexión entre las fases lunares y la incidencia de enfermedades han sido anecdóticas y la mayoría de los estudios que investigan esta relación no han encontrado evidencia sólida, incluso es limitada y contradictoria. Algunas enfermedades que se han relacionado con las fases lunares en animales incluyen:

- A. El trastorno afectivo estacional: que se caracteriza por la aparición o empeoramiento de la depresión durante el otoño y el invierno, meses cuando la duración diaria de la luz del día disminuye y los pacientes presentan síntomas como resultado de una desalineación circadiana inducida estacionalmente.
- B. Epilepsia: aunque no existe evidencia científica para respaldar esta asociación, se ha observado un aumento de casos de convulsiones durante la fase de Luna llena.
- C. Trastornos mentales: se ha especulado que la fase lunar podría influir en trastornos como esquizofrenia o la enfermedad bipolar. Aunque los resultados son escasos, existe evidencia que señala que los pacientes bipolares pueden mostrar cambios en el estado de ánimo sincronizado con las fases lunares.



- D. Aunque la información no es concluyente, se ha propuesto que el sueño humano y la actividad cortical están sincronizado con las fases lunares. Se ha documentado que la duración y el momento del inicio del sueño se modifica a lo largo del ciclo lunar, al grado que el tiempo de inicio del sueño y el punto mínimo de la duración del sueño tienen lugar de 3 a 5 días antes de la noche de Luna llena, incluso algunas personas han reportado dificultades para dormir durante las noches de Luna llena.
- E. La luz afecta el ritmo circadiano, cambios en los patrones de luz podrían incrementar de manera indirecta la presencia de diabetes, presión alta y otros desordenes metabólicos.
- F. Sin resultados concluyentes, se ha reportado la influencia de la Luna en las convulsiones, el accidente cardiovascular isquémico y el ataque cardiaco han mostrado resultados no concluyentes.

La evidencia no es concluyente pero la influencia de la Luna en la gravedad, el flujo magnético, la presión atmosférica, la luminosidad de la Tierra y como afecta la patogénesis y el comportamiento requieren investigación más profunda para comprender la conexión entre las fases lunares y la salud de los individuos.

Reproducción

Los eventos reproductivos son importantes para la continuación de las especies. Estos eventos responden a condiciones ambientales que afectan de forma diferente a cada individuo. Es conocido el efecto de temperaturas extremas, los ciclos de luz - oscuridad, y, por supuesto, la disponibilidad de alimento, sin embargo, es difícil explicar cómo la Luna afecta la reproducción en los animales. Por un lado, la variación en la intensidad de la luz de la Luna ha sido un factor explicativo de la conducta sexual de los animales, y acompañando al factor luminosidad, otra posible explicación podría atribuirse a la secreción de melatonina, hormona que se secreta durante la ausencia de luz. Estas variaciones de luminosidad y concentración de melatonina influyen la cantidad de hormona liberadora de gonadotropina GnRH, a través de la disminución o aumento de su concentración, permitiendo que se secreta hormona luteinizante (LH) y foliculoestimulante (FSH). El estradiol, hormona responsable del comportamiento sexual de los animales, es también liberado en mayor o menor concentración según la fase lunar.

En peces machos se ha observado un aumento de andrógenos y velocidad de nado de los espermatozoides durante el primer cuarto de Luna, mientras que en hembras se observó un mayor desarrollo de las gónadas. Así mismo, los niveles de esteroides plasmáticos aumentan cerca del primer cuarto del ciclo lunar. Algunas especies de animales marinos, como corales y peces, han mostrado patrones reproductivos que



parecen estar sincronizados con las fases lunares. Se cree que esto puede estar relacionado con la influencia de la luz lunar en la liberación de gametos. En insectos, peces, anfibios y crustáceos se puede sincronizar su actividad reproductiva con las fases de la Luna. Por ejemplo, ciertos tipos de polillas, e incluso la Tilapia, pueden ser más activas durante las noches de Luna llena cuando están buscando parejas para aparearse. También, se ha observado que ciertas especies de ranas ponen sus huevos cuando hay mayor luminosidad, lo que coincide con la Luna llena. En el caso de peces ha sido observado que cambian el momento de desove en función de la fase lunar, por ejemplo, el pez conejo dorado y el pez blanco laberinto sincronizan el desove con el primer cuarto de Luna; el pez cola horquilla con la Luna llena, y el pez conejo pradera marina con la Luna nueva. Sin embargo, la migración de desove se inicia durante la Luna nueva, cuando la disponibilidad de luz es más baja.

En el caso de las aves de corral, la Luna nueva es la fase más común en que las gallinas empollan los huevos, pero se recomienda echarlas durante la fase de Luna creciente para obtener un mayor porcentaje de nacimientos. Por otro lado, algunos mamíferos, como los primates, muestran un incremento de la actividad reproductiva en ciertas fases lunares.

Es importante mencionar que los efectos de la Luna sobre el comportamiento reproductivo de las diferentes especies animales son débiles y, en ocasiones, imperceptibles, además de estar acompañados por otros factores, pero es posible inferir que la fase lunar, e indirectamente la luz de la Luna, modifica los hábitos reproductivos de las diferentes especies.

Influencia de la Luna sobre el ciclo reproductivo

El conocimiento empírico sobre la Luna está íntimamente relacionado con las diversas formas del uso de sus facetas, tanto para el cultivo, como para gestaciones de los animales domésticos. En el medio ganadero se dice que cuando un animal entra en celo, el animal está “enlunado”, y si se analizan alguno de los síntomas de la hembra en esta etapa se nota que hay un aumento del flujo de temperatura sanguínea a nivel de útero, crecimiento folicular e hiperactividad. Los diferentes informes científicos sobre la influencia de la Luna en los eventos reproductivos, apareamiento, gestación, parto, por ejemplo, de diferentes especies animales siguen siendo controversiales, incluso, muchos investigadores se muestran escépticos sobre este fenómeno, dado que los eventos reproductivos se ven afectados por factores de tipo genético, nutricional, ambiental, social e incluso metodológicos, y cada especie responde de manera diferente a estos factores, llegar a conclusiones definitivas del efecto de la Luna sobre los diferentes eventos del ciclo reproductivo es complicado.



Apareamiento y gestación

A pesar de la existencia de resultados contradictorios en la ganadería, las fases lunares se han relacionado con el apareamiento. Una posibilidad es que el ciclo lunar influya en el índice de ovulación y fertilización. Existe un periodo de aparente reposo sexual entre la Luna llena y fase de cuarto menguante, conforme los individuos entran al periodo de cuarto creciente a Luna llena, la actividad sexual se va incrementando, por lo que podemos inferir una aparente correlación con las fases lunares. Y aunque no hay evidencia estadística, se ha determinado que, en algunas especies, como la humana, tienden a ovular en la fase oscura del periodo lunar. Por otro lado, se ha determinado que la concepción al primer servicio se ve afectada por la fase lunar. En la fase de cuarto creciente las tasas de concepción son bajas, en cambio, la concepción al primer servicio es significativamente mayor en la fase menguante, pero en otras investigaciones se llega a la conclusión que durante la Luna llena se aumenta la posibilidad de preñez de la hembra.

En los mamíferos, diferentes factores pueden influir en la duración de la gestación. Entre ellos, factores maternos, fetales, ambientales y genéticos son listados, incluso el sexo de la cría pudiera modificar la duración de la gestación. Respecto a la fase lunar, se comenta que cuando la fecundación se inicia durante la Luna nueva o llena, la gestación se acorta, por ejemplo, en ganado de lidia, se reportó que la gestación es más prolongada cuando la vaca se gesta en las fases de cuarto menguante o creciente, la razón para ello es que la presencia de Luna llena o nueva genera una variación hormonal que podría desencadenar la finalización de la gestación, siendo más claro este fenómeno en las hembras múltiparas. Incluso, se han observado diferencias significativas en la duración de la gestación debidas a la época del año, siendo más prolongados los periodos de gestación en los partos de invierno, cuando los días son más cortos. Es posible inferir que existe influencia de la Luna, la cantidad de luz por las noches, modificando la duración de la gestación.

También se considera que la fase lunar en el momento de la gestación puede determinar el sexo de la cría. Al igual que en otras áreas, no existe evidencia concluyente, pero se ha observado que cuando la fecundación se logra en el periodo de Luna menguante hacia Luna nueva, el sexo de la cría es femenino, y cuando se logra en Luna creciente hacia la Luna llena, predomina el sexo masculino. E independiente al sexo, según la creencia, para el apareamiento de cualquier animal la mejor fase lunar es el cuarto creciente hacia Luna llena, donde la progenie es más fuerte y de mayor crecimiento.

En las últimas fases de la gestación, la hembra soporta un gran volumen uterino que está condicionado por la producción creciente de estrógenos y la disminución de la progesterona, por tanto, la Luna llena y nueva acentúan las variaciones hormonales, lo



que puede originar un adelantamiento del parto. Sin embargo, de manera opuesta, se ha hipotetizado que, debido a la fuerza gravitacional durante las fases de Luna nueva y llena, que afecta la posición del feto, amnios y útero, habría menos posibilidad del desarrollo de partos.

Parto

A la Luna se le asigna una influencia superior en el parto, al grado de que se considera que influye en la frecuencia de partos. Se puede observar un incremento en el número de partos en la fase de Luna nueva, en cuarto menguante y cuarto creciente el número es similar, y el número se reduce drásticamente en las fases de Luna llena. Aunque la información no es concluyente, su posible influencia se aborda desde varias maneras. La explicación más frecuente se basa en la influencia de la Luna sobre los fluidos corporales y la concentración hormonal. Por un lado, la afectación de la Luna se debe a la gravedad, se debe recordar que el feto se encuentra dentro de un saco lleno de líquido, cuya distribución, presión y movimientos se pueden ver afectados por efecto de la gravedad.

Desde otro punto de vista, la luz lunar tiene efecto sobre los receptores retinianos de melatonina, cuyos niveles pueden cambiar en función de la fase lunar y afectar los partos. Los niveles de melatonina se reducen en la época de Luna llena debido a mayor presencia de luz. Durante el embarazo los niveles de melatonina aumentan y se reducen drásticamente en el momento del parto. Por lo tanto, una reducción de los niveles de melatonina durante los días cercanos a la Luna llena podría estar relacionada con el momento del parto, enviando señales al cuerpo que podrían influir y posiblemente desencadenar el parto inminente.

Además de la influencia que la Luna pueda ejercer sobre los líquidos, y la relación de la luz lunar con la concentración de melatonina, se ha demostrado que los niveles de sodio (Na) y litio (Li) séricos cambian en función de la fase lunar. Así mismo, durante las fases más cercanas a la Luna llena, donde se presenta un aumento de gravedad, la concentración de oxitocina aumenta, produciendo con ella un aumento en la presión arterial, y que, en trabajo sinérgico con la oxitocina, aumentan la contractibilidad uterina, favoreciendo el inicio el parto.

También se relaciona el efecto de la Luna con la facilidad al parto, pero, al igual que en otros eventos relacionados con la reproducción, la evidencia de la influencia de la Luna sobre la presentación del parto no es definitiva, incluso se presenta evidencia controversial. Si bien es cierto que, cualquier fase de la Luna es buena para desencadenar el parto, los partos de Luna menguante hacia Luna nueva son partos fáciles y de obtención de cuerpos de menor volumen, llegando a predominar el nacimiento de hembras, incluso observándose un mayor porcentaje de partos normales y baja frecuencia de problemas al parto; mientras que los partos de Cuarto creciente hacia Luna llena son partos difíciles y cuerpos de mayor volumen, generalmente se registran



nacimientos de machos, por lo que la descendencia nacerá fuerte.

Conclusión

Los eventos reproductivos se ven afectados por una gran variedad de factores ambientales como temperatura, humedad, precipitación, presión barométrica, radiación solar, etc., cuyo impacto incluso es diferente entre los individuos y razas. A pesar de que algunos parámetros reproductivos siguen patrones similares en ciertas etapas del ciclo lunar, el efecto biológico de la de la Luna no se ha sido totalmente comprobado, por tanto, los hallazgos deben considerarse como asociaciones, y no indicadores de una causalidad biológica.

Referencias

- Bhattacharjee, C., Bradley, P., Smith, M., Scally, A. y Wilson, B. (2000). Do animals bite more during a full moon? Retrospective observational analysis. *BMJ*, 321, 1559-1561. <https://doi.org/10.1136/bmj.321.7276.1559>
- Chinchilla-Vargas, J., Kerns, K. y Rothschild, M.F. (2018). Lunar and climatic effects on boar ejaculate traits. *Animal Reproduction Science*, 193, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.04.006>
- El-Darawany, A. H. A., El-Tarabany, M. S., Al-Marakby, K. M. y Atta, M. A. (2019). Effect of lunar cycle on some reproductive aspects of female goats. *Biological Rhythm Research*, 52(3), 355-366. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1600264>
- García, M. V., Garrote, A. I., Sánchez, M. G., García, F. y Molina, M. (2010). Influencia lunar y barométrica sobre los partos y la rotura espontánea de membranas ovulares. *Revista de Enfermería*, 14, 5-11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6612187>
- Mera, R. I., Artieda, J., Muñoz, M. y Romero, K. (2017). Influencia lunar en cultivos, animales y ser humano. *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(1), 37-47. <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/520/252>
- Morales-Luengo, F., Salamanca-Zarzuela, B., Marín, S., Escribano, C. y Caserio, S. (2020). Influencia externa en los partos: efecto lunar gravitacional y meteorológico. *Anales de Pediatría*, 93(6), 367-373. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.02.007>
- Morgan, E. (2001). The Moon and Life on Earth. In: Barbieri, C., Rampazzi, F. (eds) *Earth, Moon Relationships*. Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0800-6_25
- Palacios, C. y Abecia, J. A. (2014). Does lunar cycle affect lamb production after artificial insemination in sheep? *Biological Rhythm Research*, 45(6), 869-873. <https://doi.org/10.1080/09291016.2014.923621>
- Paungger, J. y Poppe, T. (1993). La Influencia de la Luna: Uso práctico del calendario

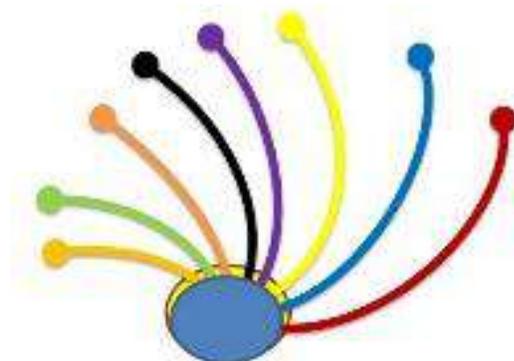


lunar en la vida cotidiana (J. Romero, trad.; 2da ed.). Martínez Roca (Trabajo original publicado en 1991).

Zimecki, M. (2006). The lunar cycle: effects on human and animal behavior and physiology. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 60, 1-7.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16407788/>

Caracterización de las principales regiones de producción de carne de bovino en México

Ricardo Avilés-Ruiz
Oscar Guadalupe Barrón-Bravo
Rubén Darío Garza-Cedillo
Miguel Ruiz-Albarrán
Filiberto Anzures-Olvera





Introducción

Desde el punto de vista económico y nutrimental, la ganadería bovina es una actividad de vital importancia a nivel mundial, ya que contribuye asegurando la soberanía alimentaria. La carne de bovino por sus características nutrimentales es de gran importancia para el humano, dado que es rica en proteínas, minerales (potasio, fósforo y hierro) y vitaminas para el buen funcionamiento del organismo. Su consumo se ha asociado al nivel de desarrollo económico y nivel de vida de la población. Según las estadísticas, México se ha mantenido en el top ten de los países con mayor producción mundial y en Latinoamérica. Por otra parte, el 28% de la carne consumida por los humanos en el mundo fue de bovino, con un per cápita de 8 a 15 kg anuales y con 9.2 kg en promedio. Para satisfacer esta demanda cárnica, México cuenta con más de 35 millones de cabezas de bovinos, de los cuales más de 32 millones son bovinos para carne. Este impacto económico superó los 175 mil millones de pesos en el país desde el 2011. Además, esta cadena agroalimentaria también juega un papel importante en el contexto social, ya que es la cadena pecuaria más ampliamente difundida en la nación, dado que está presente en todos los ambientes climáticos y en todas las entidades federativas, representando el sustento económico de la mayoría de los ganaderos mexicanos, ya sea como fuente única o complementaria de ingresos. De la misma forma, la entrada de divisas fue de 21,274 millones de pesos por la exportación de aproximadamente un millón de cabezas de ganado en pie. Los principales estados exportadores fueron Chihuahua, Sonora, Durango y Tamaulipas en el año 2020. Este último gracias a su ubicación en la región tropical. Dicha región tropical mexicana, concentra más de la mitad de las unidades de producción bovina y se produce el 80.0% de la biomasa forrajera del país, la cual es utilizada mediante el pastoreo. Gracias a esto, se logró una población considerable de ganado bovino productor de carne en el Estado de Tamaulipas, lo cual juega un papel importante en la economía nacional. Por lo anterior, el objetivo es distinguir las principales regiones de producción de carne de bovino en México.

Panorama de la comercialización mundial de carne de bovino

En años recientes, la producción mundial de carne ha crecido a un ritmo moderado, principalmente por los cambios en la alimentación a favor de las dietas saludables sustentadas en carne de pollo. En 1980 la participación mundial de la carne de bovino, con respecto a pollo y cerdo, era de 33.3% con una producción de 45.6 millones de toneladas, mientras que en 2011 fue de 21.0% con 62.5 millones de toneladas. Si bien la participación de la carne de bovino ha disminuido a nivel mundial, el mercado es sumamente dinámico. En algunas regiones del mundo, como en Estados Unidos de América, se ha incrementado el consumo y la participación de los diferentes países ha



cambiado. La región de Europa participaba con 30.0% de la producción mundial en 1980, mientras que en 2011 disminuyó a 17%. Esta reducción de participación europea fue cedida a Brasil y China, que en conjunto representan 24.3% de la carne de bovino a nivel mundial. El caso de México ha mostrado un crecimiento lento. Sin embargo, éste ha sido sostenido: en 1980 representaba 1.63%, mientras que 2.88% en 2011, lo que en términos relativos ha incrementado su productividad.

Por una parte, los países con mayor crecimiento en la producción de carne son China y Brasil, mientras en caso contrario, la Unión Europea y Argentina han perdido en participación. Si bien en términos de producción, los europeos han decrecido en el tema del comercio y dicha participación resulta contradictoria. En el caso de China y Brasil, el primero ha destinado su producción casi exclusivamente para el mercado interno, mientras el segundo se ha dirigido al mercado internacional, demostrado por un crecimiento sustancial en las exportaciones y una disminución constante del volumen de importaciones.

Los países dominantes en el mercado de la carne exportando hacia Estados Unidos de América, son Australia, Canadá y Nueva Zelanda con una participación aproximada de 80.0%. La competencia por el mercado americano es rigurosa, prueba de ello es que la participación, fuera de dichos países, ha tendido a reducirse, ya que de representar 7.0% pasó a sólo 1.8%. El país que ha perdido participación es Argentina, con una tasa de reducción promedio anual de 9.0%. Por el contrario, México y Uruguay presentan las mayores tasas de crecimiento en la participación con Estados Unidos de América en los últimos años. México salió de una participación de 0.15% en 1994 a 12.08% en 2012, es decir, 30.0% anual en promedio; mientras que Uruguay transitó de 0.34% a 3.05%. Por lo anterior, la producción de bovinos en México es de suma importancia.

La producción de bovinos en México

Entre las actividades pecuarias, la producción de bovinos es la más sobresaliente a nivel mundial. En México, los bovinos para la producción de carne y leche, representan el 32% del Producto Interno Bruto del rubro alimentario. El 28% de la carne consumida es de bovino, con un consumo per cápita de 9.2 kg. El valor de la producción bovina se calcula en más de 208 mil millones de pesos, además genera 4.2 millones de empleos directos y 12.5 millones indirectos, con más de 1.4 millones de unidades de producción pecuaria. En general, se contó con un inventario de 35,224,960 cabezas de bovinos, de los cuales 32,661,138 fueron bovinos para producción de carne y 842 mil personas alimentan y cuidan los hatos ganaderos. Así, México, fue el sexto productor mundial con más de dos millones de toneladas y suministró aproximadamente el 3 y 10% de la producción de carne bovina mundial y de América Latina, respectivamente. En este sentido, la entrada de divisas fue de 700 millones de dólares en el año 2019, con la exportación de un millón



de cabezas de ganado en pie en promedio, lo que equivale a 21,274 millones de pesos y en el ciclo 2019-2020 de la exportación de ganado a Estados Unidos de América y concluyó en agosto con un total de 1,392,863 cabezas, de los cuales 1,071,185 fueron becerros y 321,678 vaquillas. Los principales estados exportadores fueron Chihuahua con 507,562 cabezas, Sonora con 350,831 cabezas, Durango con 212,422 cabezas y Tamaulipas con 154,454 cabezas en el año 2020.

Por otro lado, en las regiones tropicales se encuentra más del 50% de las unidades de producción y en esta región se produce el 80% de la biomasa forrajera del país, la cual es utilizada mediante el pastoreo. La población de ganado bovino para producción de carne en los estados de Tamaulipas y Veracruz, es en su mayoría bajo pastoreo, en el 2018 fue de 5,422,996 cabezas de ganado, lo que representó el 16.79% de la población total del país. Dado que estos estados se encontraron entre los mayores productores de ganado bovino de carne, principalmente, juegan un papel importante en la economía nacional.

Características productivas de bovino para carne en México

La carne de bovino es una de las más consumidas en México, ésta es obtenida de los bovinos (*Bos Taurus*, *Bos indicus* y sus cruza), que son animales vertebrados, mamíferos y ungulados, son ruminantes herbívoros, capaces de digerir hierbas, paja, forrajes, heno, etc. Entre los granos y forrajes comúnmente empleados para alimentar a los bovinos se encuentran la alfalfa, el sorgo, el maíz, la cebada, los ensilados, la avena y diversos pastos, entre otros. Estos animales sobreviven en un variado rango de climas, desde los desiertos a las regiones templadas, así como en los bosques tropicales. Existen aproximadamente 30 razas utilizadas para la producción de carne, entre las más importantes se encuentran las siguientes:



En México desde el 2012, la carne de bovino es la segunda con mayor producción nacional después de la carne de ave, con una participación de 30.5% en la producción total de carne en canal, así como de 35.3% del valor generado. Asimismo, contribuye con 9.2% del volumen de alimento producido en el sector pecuario nacional y con 23% del



valor total pecuario. La producción de carne de bovino se encuentra influenciada por las condiciones climáticas regionales, por lo que existe una alta estacionalidad. El volumen de producción más alto se presenta entre octubre y diciembre de cada año, mientras en el mes de abril, se encuentra el mínimo de producción del año.

¿De dónde proviene la carne de bovino para la industrialización en México?

Los productos cárnicos en México provienen del sistema vaca-cría de bovinos carne y del sistema doble propósito y en menor medida de los sistemas intensivos de producción de leche, los cuales proveen animales para los engordadores a pequeña escala, la engorda en corral a grande escala y para la exportación a Estados Unidos de América de becerros destetados. Este sistema vaca-cría consiste en razas puras y sus cruza europeo con cebú (*Bos Taurus* con *Bos indicus*).

Los ranchos de raza pura registran sus animales en asociaciones de criadores de raza pura con el propósito de promocionar y vender pie de cría, puesto que estos animales son sometidos a evaluaciones genéticas. Los animales que no tienen registro o que son desecho se destinan a la engorda. Los sistemas de producción de razas puras también incluyen a los establos lecheros industriales, los cuales proveen a los engordadores con becerros y vacas de desecho. Los hatos de raza pura destinados para la función zootécnica de rodeo también proveen una cantidad menor de animales para engorda y los de desecho para la cadena de procesamiento de carne de res.

Los hatos de cruza de los sistemas vaca-cría son los más numerosos en México y están localizados en todas las regiones agroecológicas. Su manutención es a base del pastoreo en potreros o en agostaderos y su principal producto son los becerros destetados. Una parte de estos becerros, principalmente en los estados del norte, son destinados para la exportación a Estados Unidos de América. En estos sistemas pecuarios, los sementales y semen para inseminación artificial son adquiridos de los ranchos de raza pura (mencionados anteriormente).

Las cruza de razas utilizadas en estos hatos varían de acuerdo con la región geográfica, en el 50% de las unidades de producción del sistema vaca-cría se encuentran animales cruzados, mientras que el 30% son de raza pura europea sin registro y el 15% con alta influencia del criollo, descendiente del ganado importado de España durante la colonización.

Los sistemas doble propósito se desarrollan principalmente en las regiones tropicales y su objetivo es la producción de leche y venta de becerros. Las cruza de la especie *Bos primigenius*, las subespecies *Bos primigenius indicus* (Cebú principalmente Gyr) y *taurus* (Suiza, Holstein, Jersey, Montbeliard y Simmental) son usadas en las regiones tropicales. La raza Cebú aporta la capacidad notablemente heredable de adaptación, supervivencia y resistencia a pestes de insectos, parásitos, enfermedades y a climas extremos y de las razas *Bos tauros* heredan el potencial lechero. La mayoría de



los sistemas vaca-cría (95.8%) venden los becerros a compradores locales e intermediarios, quienes abastecen a grandes y pequeños productores de engorda en corral en todo el país.

El mercado nacional consiste en la engorda de ganado en corral de forma intensiva y después procesar la carne para su industrialización. Todas las regiones geográficas de México tienen este sistema. Sin embargo, el nivel de manejo y cantidad de días que permanecen en engorda es diferente, dependiendo del mercado local. En las regiones tropicales, periodos prolongados se dan en pastoreo y pocos días (70-90 días) en corral de engorda comparado con las regiones templadas y áridas donde largos periodos (130-150 días) en corral de engorda es común.

Consumo de carne de bovino en México

La producción de carne de bovino para exportación a Estados Unidos de América, Japón y Corea del Sur ha tenido un crecimiento en México. Sin embargo, el consumo a nivel nacional ha decrecido. En este apartado se abordarán los principales factores que han contribuido en dicho fenómeno.

Los cinco principales estados productores de carne de bovino en México (Veracruz, Jalisco, San Luis Potosí, Durango y Baja California) se localizan en la región tropical y subtropical (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estados con mayor producción de carne de bovino en México (SIAP, 2023).

Estado	Producción de carne (ton)
Veracruz	287,065.023
Jalisco	262,233.545
San Luis Potosí	134,584.526
Durango	121,167.661
Baja California	114,150.109
Chiapas	113,355.213
Sinaloa	112,701.226
Michoacán	103,857.561
Chihuahua	92,718.267
Sonora	78,646.307
Tabasco	78,102.637
Nuevo León	77,234.261
Oaxaca	67,155.856
Guanajuato	59,860.142
Estado de México	44,112.306
Tamaulipas	46,998.952
Aguascalientes	46,350.928
Guerrero	44,914.983



Procesamiento y venta de la carne de bovino

En el 2018, existieron 44% rastros de inspección federal, 33% privados y 21% municipales en México. La carne destinada para exportación fue procesada en rastros de inspección federal, mientras que la carne del mercado nacional es procesada en cualquiera de los tres tipos de rastro.

- Rastro Tipo Inspección Federal** son aquellas instalaciones dedicadas al sacrificio de animales, proceso de envasado, empacado, refrigerado o industrializado y que están sujetos a regulación por parte de la SADER. En este contexto, el sello **TIF** es símbolo de calidad e inocuidad a nivel Nacional e Internacional.
- Rastro Particular** es el lugar o local cuyos propietarios obtienen licencia del Ayuntamiento, así como tarjetas de salud para realizar operaciones relacionadas con la guarda y sacrificio de animales, además de la distribución de la carne y todos los derivados del mismo.
- Rastro Municipal** comprende las instalaciones físicas propiedad del municipio, destinadas al sacrificio de animales que posteriormente será consumido por la población.

La venta de carne de res en México fue tradicionalmente en canal fresco en carnicerías. Sin embargo, la carne en canal congelada ha ido ganando terreno en el mercado nacional. Además, se ha visto un incremento de venta de carne en supermercados de cortes estilo español, mientras que el Norte de México es comúnmente vendida empaquetada. Se van dando cambios en la forma de vender, especialmente en supermercados, los cuales son parte de modificaciones en el estilo de vida causando cambios en la infraestructura comercial, prácticas de comercialización y especialización de productos en la industria. Un ejemplo de ello es la reconocida “carne asada” en el Norte de México.

Se ha encontrado que los cortes de carne importada de Estados Unidos de América que se ofrecían con más frecuencia en los supermercados de las cinco ciudades más grandes de México eran derivados de la espaldilla y pierna y eran preferidos a los de costilla y lomo. Sin embargo, los precios de estos cortes no están al alcance de toda la población (consumidores) en cuestión económica. Así, en una encuesta realizada por parte de INIFAP en una región de alta marginación en la región del Altiplano Tamaulipeco, se encontró que la dieta diaria del 100% de los encuestados es principalmente a base de cereales, leguminosas y aceites. Los pobladores de esta región no tienen acceso o suficiente dinero para comprar proteína de origen animal, por lo tanto, las tiendas locales no ofrecen venta de carne. Sin embargo, algunos habitantes crían sus animales para obtenerla.



Por otro lado, resulta difícil obtener un producto cárnico homogéneo para venta al menudeo en el mercado nacional, dado que los productores de bovinos carne a pequeña escala se enfocan más en la ganancia de peso diaria y el peso vivo final de los animales, más que en la calidad de la canal.

Regiones de mayor producción de carne de bovino en México

Diferencias en la alimentación y tipo de ganado son debidas a diferencias en las regiones agroecológicas de México en cuanto a la producción de carne de bovino.

A) Región de Mexicali

El área de Mexicali es geográficamente aislada que provee a Tijuana y a la región de Baja California. El valle de Mexicali cuenta con una vasta área de tierra de riego (Río Colorado) utilizada principalmente para cultivar vegetales, trigo y forrajes. El trigo es el principal grano usado en la alimentación en la engorda de bovinos en corral. Dado que, pocos bovinos son disponibles localmente, el abastecimiento de terneros es de otros lugares como: Sonora, Chihuahua, la costa del Pacífico y Centroamérica.

Los altos ingresos de la población en la región proveen un mercado fuerte que consume carne de bovino de calidad. La industria es una de las más avanzadas técnicamente y representa el nivel promedio más alto de intensidad en producción de engorda de bovinos en corral de México. El Estado de Baja California tiene los más altos parámetros de inspección federal en los rastros o plantas de sacrificio “Tipo Inspección Federal” (TIF), para rastros municipales de todos los Estados de México. Su producción cumple con la calidad para exportar a mercados de Estados Unidos de América y al oriente (Japón, Corea del Sur, Taiwán, etc.).

B) Región Regiomontana

El área de Monterrey (incluyendo Saltillo y Monclova, Coahuila) es una de las regiones más antiguas de producción de ganado bovino. Su cercanía de Monterrey con los Estados Unidos de América ha resultado en una convergencia sustancial de la preferencia de carne mexicana con el estilo de producción de Estados Unidos de América, resultando en producción que, en algunos casos, se aproxima al estilo americano; no obstante, tiene menos grasa y marmoleo. En otros casos, los productores en esta región se enfocan en el mercado del centro de México y proveen carne magra. Sin embargo, en todos los casos, hay una fuerte preferencia local por carne con grasa blanca y animales jóvenes, lo cual es obtenido de las novillas, mientras que los toros son producidos para mercados más al sur. El abastecimiento animal consiste principalmente de novillas que no cumplen los requisitos para ser exportadas a Estados Unidos de América y otras que vienen de la región norte de la costa del Golfo de México. Se ha visto



un incremento en la traída de animales del sur cuando hay un déficit en el abastecimiento local y regional.

El Estado de Nuevo León tiene un sistema de clasificación de la carne que es parecido al de Estados Unidos de América; sin embargo, con diferencias en la definición de los niveles, los cuales son selecto, bueno, estándar y comercial. El criterio de clasificación está basado en el tiempo en almacén (menos de 42 meses, basado en osificación), color magro, cobertura grasa y marmoleo. La mayoría de los productores logran 80-85 % bueno, menos del 5% logran selecto. El criterio de calidad comercial es común para vacas y toros longevos que son sacrificados.

El área de Monterrey tiene cercanía con el Estado de Tamaulipas, quien es el mayor productor de grano de sorgo en México, así como cercanía con Estados Unidos de América para la importación de recursos alimentarios. Otro aspecto de esta área a destacar es la limitada producción de forraje. No obstante, pocos sistemas de producción son a baja escala y la mayoría exporta becerros destetados a Estados Unidos de América.

La industria de producción de ganado bovino en el noroeste de México presenta tanto ventajas como desventajas. Monterrey es el segundo mercado metropolitano en México. Tiene un alto nivel económico y un distinguido gusto por la carne de res con respecto al resto del país. El abasto regional de ganado y grano también ayuda a la producción. En la región se importan grandes cantidades de carne. Monterrey es probablemente el mercado más americanizado, lo que lo convierte en un nicho potencial para la importación de carne de bovino de Estados Unidos de América. Sin embargo, las exportaciones de becerros destetados hacia dicho país son masivas. Dicho fenómeno se da debido a que en México los costos de producción son mayores a los de Estados Unidos de América (Texas).

C) Región Tapatía-Bajío

Jalisco y Michoacán son tradicionalmente entre los estados fuertes de región del sistema vaca-cría en áreas de clima templado de México. Por esta razón, el área ha sido el mayor proveedor de carne de res, no solamente para el mercado de la zona metropolitana de Guadalajara sino también para la mega metrópoli de la Ciudad de México. Tradicionalmente, el ganado era finalizado en pastoreo; sin embargo, el mercado consumidor de las zonas urbanas fue rápidamente desarrollando gusto por la carne de res finalizado en engorda en corral.

Jalisco es parte de la vasta región agrícola del Bajío y es el estado con mayor producción de cultivos. Número uno en producción de grano, segundo en plantación de maíz (con alta producción), cuarto en sorgo y séptimo en trigo. El estado es también el mayor productor de cultivos forrajeros y el número uno en producción de maíz y avena



para ensilaje, el sexto en ensilaje de sorgo, quinto en heno de alfalfa y segundo en área con cultivos forrajeros mejorados. El estado es el mayor productor de leche, cerdo, carne de ave y huevo y tiene el tercer lugar en inventario de ganado bovino. Así, el estado tiene una competencia considerable por la producción entre las industrias ganaderas; no obstante, también una producción sustancial de forrajes, producción de menor calidad y residuos de cultivos y alimentos que pueden ser utilizados por la industria ganadera.

La producción en corral de engorda se ha producido en la región en forma limitada por muchos años; sin embargo, parece estar creciendo gracias a la preferencia del mercado por la carne de res. El ganado es criado por periodos de tiempo cortos (70-100 días) y comercializado sin grasa externa y sin marmoleo. Gran parte del ganado proviene del área de Jalisco/Michoacán, pero parte se trae también del sur. La mayoría de las novillas y los toretes se colocan después de una crianza tradicional en pastos o de una crianza intensiva con pastos y alfalfa con riego en la región del Bajío. Debido al corto período de alimentación, el ganado de esta región suele ser colocado en corrales para engorda con pesos algo mayores.

La región de Guadalajara-Bajío es la que concentra la mayor producción de engorda en corral de bovinos en el país, con los mercados más grandes, tanto la zona metropolitana de Guadalajara como la Mega metrópoli de la Ciudad de México. La región cuenta con un clima favorable para la crianza de ganado y una abundancia de diversos recursos para la producción que consisten primeramente de forrajes de todas las calidades y algunos granos, así como los esquilmos de cultivos y subproductos de industrias alimentarias. En los últimos años, la producción de ganado de carne se extendió hacia el Bajío, incluyendo también a Aguascalientes, Querétaro y Michoacán. Una de las más grandes industrias de engorda en corral en México se estableció en Michoacán y es la más grande empresa de procesamiento de carne de res mexicana en los últimos años (SuKarne®).

D) Región de La Comarca Lagunera

La región Lagunera en el suroeste de Coahuila y noreste de Durango es rica en agricultura de cultivos de riego. La región se ha sometido a cambios en los últimos años. La expansión de ganado de producción de leche, así como producción de cerdo y aves, en la región ha disminuido la producción de carne de bovino.

Tradicionalmente, la región de Torreón como en toda la región norte de México, la ganadería de la cruce de razas europeas/Cebú es la carne de preferencia por su marmoleo. Este es también el enfoque de algunos productores en esta área que alimentan sus novillos y novillas y producen carne principalmente para el mercado de la región de Monterrey y Chihuahua. Torreón está posicionado en el norte-centro de México y debido a esto surte de ganado a Coahuila, Nuevo León, Durango y Chihuahua. Sin



embargo, la competencia con el mercado de Estados Unidos de América y otras áreas de producción de bovinos en México (Sequía severas inducen reducción en los inventarios ganaderos de la región Norte de México) tienen una aguda reducción en el abasto de ganado en la región norte.

En la década pasada, muchos productores en la región se han proveído de ganado de la región de la costa del Golfo y sureste de México. Dependiendo de la calidad del ganado, machos pueden ser criados hasta novillos para el mercado de carne del norte o, probablemente, como toros para el mercado del centro de México.

Como resultado del aumento en ganado de producción de leche en la región, algunos productores se especializaron en ganado Holstein y, recientemente, nuevos hatos han surgido donde la engorda de becerros Holstein se finalizan en confinamiento.

E) Región Hermosillo-Chihuahua

El estado de Sonora tiene una extensa área de cultivos de riego y es el mayor productor de trigo, algodón y cártamo en México. Sonora también produce cultivos forrajeros, incluyendo alfalfa y rye grass. El estado tiene industrias de producción de carne de cerdo y huevo, así como producción del sistema vaca-cría.

La industria en corrales de engorda de bovinos en Sonora es similar a otras áreas en el Norte de México; no obstante, la posición geográfica de la región del estado es algo limitada. Con una de las áreas más antiguas en producción de bovinos, la industria en Sonora parece tener pérdidas en mercados, debido al crecimiento de otras regiones de México como son: Mexicali, Culiacán y Torreón.

El estado de Chihuahua presenta zonas extensas de clima semiárido y templado para el pastoreo de sistemas extensivos. El sistema vaca-cría es el que predomina y el 40.0% de los productores exportan sus becerros a los Estados Unidos de América. El ganado de este estado y los estados vecinos se encuentran entre la mejor calidad en México y, con cruza de razas europeas (Hereford y Angus) finalizan bien en corrales de engorda.

F) Región de Culiacán

En muchos aspectos, el estado de Sinaloa comparte características de producción de cultivos con su vecino estado de Sonora, ambos tienen una extensa área de cultivos de riego. El clima en la región es predominantemente tropical seco; sin embargo, el estado tiene una gran parte de temporal. Sinaloa es el quinto productor de sorgo y trigo en México. El cuarto en producción de algodón. El estado produce cultivos para forraje, incluyendo cultivos forrajeros mejorados para ensilaje de sorgo. Sinaloa tiene una gran industria del sistema vaca-cría y es un productor también importante de carne de cerdo y pollo.



La producción de ganado en Culiacán es destinada hacia el mercado de la región metropolitana de la Ciudad de México, así como para finalización en la región del Bajío. Las razas que predominan son el Cebú sobre la costa de Sinaloa y Nayarit. La industria se privilegia gracias a la abundancia de granos, alimentos proteicos y forrajes, los cuales solo están en competencia con la demanda para la alimentación de porcinos y aves.

G) Región del trópico húmedo

Esta extensa área alberga una gran cantidad de producción de engorda en corral que son a pequeña escala. Solamente hay unas cuantas industrias a gran escala en Mérida y en Veracruz. Sin embargo, la engorda en corral a gran escala se está expandiendo significativamente.

Actualmente se van dando cambios en la producción y prácticas de mercado, en el trópico húmedo pueden tener implicaciones significativas para la industria de la carne de bovino en México. La producción tradicional de finalización en pastoreo en esta región requiere dos años después del destete para finalizar el ganado. Varias alternativas han surgido en cuestión de producción y mercado de la carne de bovino:

- Vender más becerros al destete para trasladarlos al Norte de México.
- Vender becerros para finalizar en corral de engorda, ya sea en la región o en el Norte de México.
- Finalizar de forma semintensiva en pastoreo con suplementación.
- Finalizar en corral de engorda. Estas alternativas reducen el periodo de pastoreo posdestete a 1-2 años y potencialmente el forraje de sobra se utilizaría para incrementar la producción vaca-cría.

H) Región de La Huasteca

Finalmente, la región a la que el presente manuscrito hace énfasis. La parte Sur de Tamaulipas y la región de La Huasteca representan un área en desarrollo para la industria de la carne bovina mexicana. La mayoría de las operaciones son recientes o se han extendido en los últimos 15 años. Hasta hace dos décadas, la mayoría del ganado bovino producido en el área fue finalizado en pastoreo. Los productores dedicados a la engorda de bovinos en la región central de México comenzaron a comprar y transportar becerros producidos en La Huasteca y finalizarlos allá. El sistema vaca-cría es el que predomina en la región y los becerros son vendidos al destete. Los toros que tradicionalmente eran castrados para tener una mayor ganancia de peso en pastoreo ahora se dejan intactos. Los productores rápido empezaron a criar el ganado localmente más que venderlo a otras regiones de México. Sin embargo, el principal cliente es Estados Unidos de América.

Así, el área tiene claro que su mayor mercado está en la región metropolitana de la Ciudad de México y las exportaciones a Estados Unidos de América de machos y



hembras después de ser destetados (20% de los productores exportan sus becerros). La exportación se realiza mediante acopiadores (compradores intermediarios que recopilan los becerros en la región). De 1989 al 2010, las exportaciones de ganado para engorda hacia Estados Unidos de América fueron de más de un millón por año de ganado con un peso menor a 181.6 kg. La región pecuaria está creciendo hacia la región costera del Golfo de México y finalizar la engorda en corrales es más común que en pastoreo. San Luis Potosí es el tercer productor de carne en el país, con alrededor de 800 mil cabezas de vacas productivas, gracias predominantemente a las engordas que se tienen en Tamuín, donde se encuentra el único rastro TIF del estado. Una desventaja es la cercanía con la región Regiomontana, la cual consume gran parte del grano producido en la región. Sin embargo, la cercanía de ambas regiones con Estados Unidos de América mitiga este problema, dado que la importación de granos de dicho país es constante.

En La Huasteca, el costo de producción de carne de bovino es bajo, esto debido al sistema en pastoreo. Sin embargo, esto ha cambiado debido al cambio climático y las sequías prolongadas que se han presentado continuamente, las cuales provocan menor inventario ganadero y mayor costo de producción. Al respecto, se ha observado que en los rastros municipales se reciben más hembras en gestación, probablemente una causa sea el desabasto de alimento y un diagnóstico reproductivo erróneo que las clasifica como desecho, terminando en el matadero o rastro. Por otro lado, el alza en los insumos como fertilizantes, combustible, entre otros debido a la pandemia por COVID 19 y la guerra en Ucrania, también han provocado que las unidades de producción pecuaria sean menos rentables.

La industria de la crianza de bovinos en la región es a pequeña escala. No obstante, en las últimas décadas tuvo un crecimiento rápido, el cual en la actualidad es a la baja. Una ventaja de la región es que se producen granos, sorgo y soya; sin embargo, al igual que la región Regiomontana y, en general en todo el país, sufre de escasez de forraje en temporada seca y por las sequías que han azotado el área en los últimos años. Una práctica común en la región es la suplementación de los becerros, dado que en la región se carece de pasturas, tanto en calidad como en cantidad. El ganado para engorda en corral viene principalmente del Sur de Tamaulipas, Este de San Luis Potosí, Norte de Veracruz y la región Huasteca de Querétaro e Hidalgo. En Tamaulipas, el municipio de Soto La Marina destaca sobre los demás por su inventario ganadero y producción de carne (Cuadro 2), representado la primera posición.

Los bovinos en la región Sur de Tamaulipas.

En los municipios del Sur de Tamaulipas existen las principales problemáticas como:

- 1) Conocer la producción de carne a nivel local.
- 2) Carencia de información sobre la industrialización de carne para la toma de decisiones en los rastros municipales.



- 3) La inexistencia de información del procesamiento de carne de bovino.
- 4) Falta de información para saber qué es lo que se procesa y de dónde proviene los animales que se procesan en los rastros municipales de Tamaulipas.

Cuadro 2. Municipios con mayor producción de carne del Estado de Tamaulipas (SIAP, 2023).

Municipio	Producción de carne (ton)
Soto la Marina	5,592.200
González	4,197.363
Aldama	4,083.930
Victoria	3,359.914
Altamira	2,432.405
San Fernando	1,730.761
El Mante	1,274.341
Reynosa	888.534

En el 2023, investigadores del INIFAP reportaron que el 58.8% del inventario de los hatos en el municipio de Llera, Tamaulipas son vacas adultas. Lo anterior, lo obtuvieron en una encuesta dirigida a productores de bovinos de producción de carne en dicho municipio. Además, en el 2020, reportan que el 100.0% de los productores de bovinos en el Mante, Tamaulipas, vendieron los animales de desecho a \$ 19.3±5.1 pesos/kg al consumidor, teniendo como destino el mercado local con 75% y 25% al mercado municipal, y cuando los productores deciden desechar a un bovino, el 98% de los productores lo hacen por la edad avanzada del animal y el 90% por la baja fertilidad. En menor medida, el 48% de los productores los desechan por baja producción, el 40% por el temperamento agresivo, el 26% por enfermedades y en muy raros casos por problemas podales.

Así también, en un estudio con registros de los animales sacrificados en el rastro municipal de Soto la Marina, se encontró que los bovinos sacrificados fueron cruza de razas puras o sintéticas (Beefmaster) o cruza de las mismas. Esto nos mostró que en el municipio de Soto la Marina el mejoramiento genético ha tenido impacto positivo. Por otro lado, investigadores en 2023, encontraron que la raza de ganado más utilizada por los productores del municipio de Llera, Tamaulipas fue la Beefmaster con al menos el 35%, también reportaron otras en menor porcentaje como: Simmental, Holstein-Brahman (Holando-Cebú), Charolais, Criollo, Pardo Suizo y sus cruza. De forma contraria, investigadores en 2020 encontraron que en las unidades de producción de bovinos carne en el municipio del Mante, Tamaulipas, los hatos en su mayoría estuvieron conformados por ganado criollo (56%), seguido de cruza de Pardo Suizo×Cebú (34%) y razas



especializadas (10%) para la producción de carne: Pardo Suizo, Beefmaster, Charolais y Suiz-Bú.

Conclusión

En México, la mayor producción de carne de bovino se desarrolla en la región de Mexicali, Regiomontana, Tapatío-Bajío, La Comarca Lagunera, Hermosillo-Chihuahua, Culiacán, Trópico húmedo y La Huasteca distribuidas en clima árido, semiárido templado y tropical. Si bien, estas regiones abastecen las metrópolis de México por venta en supermercados o carnicerías locales. Sin embargo, no abastecen la demanda nacional por lo que se recurre a la importación de productos cárnicos. Con respecto a las importaciones, existen discrepancias en esta cadena productiva, dado que México exporta ganado joven a Estados Unidos de América e importa carne, tanto de bovino, como de otras especies. Por otro lado, la presión ambiental globalizada obliga a que la producción pecuaria sea más eficiente y sustentable, logrando reducir la huella hídrica y de carbono, así como resistir las sequías cada vez más prolongadas.

Referencias

- Barrón-Bravo, O. G., Avilés-Ruiz, R., Ángel-Sahagún, C. A., Alcalá-Rico, J. S. G. J., Arispe-Vázquez, J. y Garza-Cedillo R. D. (2023). Caracterización de unidades de producción familiar de bovinos, Llera, Tamaulipas, México. *Abanico Boletín Técnico*. <https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico/index>
- Barrón-Bravo, O. G., Garay-Martínez, J. R. y Avilés-Ruiz, R. (2021). Caracterización de las unidades de producción familiar de bovinos en Llera, Tamaulipas. XXXIII Semana Internacional de Agronomía. Durango, México. pp.
- COMECARNE (2018). Compendio estadístico 2017. Consejo Mexicano de la Carne, 1,1–57. <http://comecarne.org/wp-content/uploads/2018/05/Compendio-Estadistico-2017-v7-1-sin-elab.pdf>
- El sol de San Luis (2023). <https://www.elsoldesanluis.com.mx/local/slp-tercer-productor-de-carne-con-un-rastro-tif-2713552.html>
- FAS-USDA (2020). Foreign Agricultural Service – United States Department of Agriculture. Global Market Analysis. https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf
- Garay-Martínez, J. R., Barrón-Bravo, O. G., Maciel-Torres, S. P., Avilés-Ruiz, R., Joaquín-Cancino, S. y Bautista-Martínez Y. (2020). Caracterización de las unidades de producción de bovinos en El Mante, Tamaulipas. *Ciencia e Innovación*. 3(1):113-124.
- González Sáenz Pardo, J. R. y Hernández Ortiz, R. (2012). “*Boophilus microplus*: estado actual de la resistencia a los acaricidas en la frontera México Estados Unidos y su impacto en la relación comercial”. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 3(Supl



- 1):1-8.
- González-Padilla, E., Lassala, A., Pedernera, M. y Gutiérrez C. (2019). Cow-calf management practices in Mexico: Farm organization and infrastructure. *Veterinaria México AO*. 6(3):1-17.
- North, M. A., Frank, J. A., Ouweneel, B. y Trisos, Ch. H. (2020). Global risk of heat stress to cattle from climate change. *Environmental Research Letters*. 18:094027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aceb79>
- OECD (2019). Organization for Economic Cooperation and Development. Meat consumption (indicator). <https://doi.org/10.1787/fa290fd0>
- Osio-Martínez, Á. Y., Zetina-Córdoba, P., Morales-Méndez, S., Ramírez Navarro, R., Canizal Jiménez, E. y Ortega-Cerrilla, M. E. (2022). Slaughter of pregnant cows in the municipal abattoir of Pijijiapan, Chiapas, Mexico. *Agroproductividad* 15(9):51-55. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i9.2137>
- Parra-Bracamonte, G. M., Lopez-Villalobos, N., Morris, S. T. y Vázquez-Armijo, J. F. (2020). An overview on production, consumer perspectives and quality assurance schemes of beef in Mexico. *Meat Science*. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108239>
- Peel, D. S., Mathews, K. H. y Johnson, R. J. (2011). Trade, the Expanding Mexican Beef Industry, and Feedlot and Stocker Cattle Production in Mexico / LDP-M-206-01 Economic Research Service/USDA
- Ríos, J. A. y Castillo M. L. (2015). La competitividad de la carne fresca de res mexicana en el mercado estadounidense. *Estudios Fronterizos, nueva época*. 16:221-245.
- Rojo-Rubio, R., Vázquez-Armijo, J. F., Pérez-Hernández, P., Mendoza-Martínez, G. D., Salem, A. Z. M., Albarrán-Portillo, B., González-Reyna, A., Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, S., Cardoso-Jiménez, D., Dorantes-Coronado, E. J. y Gutierrez-Cedillo, J. G. (2009). Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health Production*. 41:715-721.
- SIAP (2018). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/516342/Inventario_2018_Bovino_carne.pdf
- SIAP (2020). Portal electrónico del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, consultado el 24 de octubre del 2020 de: <https://www.gob.mx/siap/articulos/laganaderia-simbolo-de-fortaleza-del-campo-mexicano>.
- SIAP (2023). Portal electrónico del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado el 12 de septiembre del 2023. <https://www.gob.mx/siap/articulos/laganaderiasimbolo-de-fortaleza-del-campo-mexicano>
- Statista Research Department (2021). Producto interno bruto (PIB) del sector pecuario en México del primer trimestre de 2015 al segundo trimestre de 2021.



<https://es.statista.com/estadisticas/608600/pib-del-sector-de-laganaderia-en-mexico/>

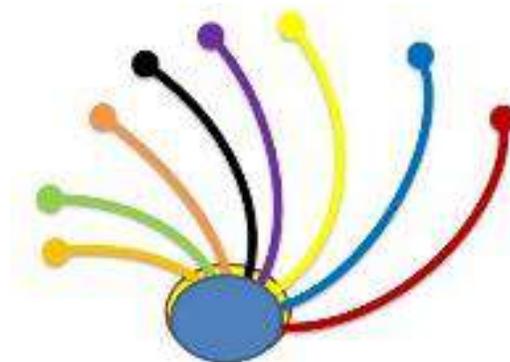
Tellez-Delgado, R., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M. Á., García-Mata, R., y García-Salazar, J. A., (2012). Caracterización del consumidor de carne Bovina en la zona metropolitana del Valle de México. *Agrociencia*. 46(1):75-86.

Valdez, U. M., Hernández, O. R., Lagunes-Quintanilla, R. y Saines, C. E. (2020). Importancia del tamizaje de susceptibilidad a los ixodíctidas en las unidades de producción pecuaria: el caso de un municipio de la sierra alta del estado de Hidalgo. *Ganadería.com Pecuario*.

<https://www.ganaderia.com/destacado/Importancia-del-tamizaje-de-susceptibilidad-a-los-ixodictidas-en-las-unidades-de-produccion-pecuaria-el-caso-de-un-municipio-de-la-sierra-alta-del-estado-de-Hidalgo>

Estrés calórico en ovejas de pelo lactando durante el verano en el trópico

José Luis Ponce-Covarrubias
Maricela Ruiz-Ortega
Aurora Matilde Guevara-Arroyo
Julio César Gómez-Vargas
Abdelfattah Zeidan Mohamed Salem
Ethel Caterina García y González





Introducción

En el mundo, la población humana ha aumentado y con ello también las necesidades de consumo de alimento de origen animal. Por ello, tanto en la agricultura como en la ganadería se debe producir más con menos insumos en armonía con el medioambiente. Los efectos de las malas prácticas antropogénicas a través de la historia se reflejan en el calentamiento global como resultado de las emisiones de los gases de efecto invernadero. El cambio climático está incrementando la temperatura ambiental, ocasionando cambios en los patrones de precipitación, el incremento en los niveles del mar, sequías e inundaciones. Esto se ve reflejado en el incremento del índice de temperatura y humedad (ITH), el cual favorece que los animales sufran estrés por calor (EC). Consecuentemente afecta la termorregulación y dificulta la normotermia de los animales en producción.

Los pequeños rumiantes comparados con rumiantes mayores son rústicos y se adaptan a cualquier ambiente, encontrándose en cualquier región agroecológica del mundo (desierto hasta trópico). En las ovejas, las altas temperaturas afectan negativamente su comportamiento productivo y reproductivo, ya que disminuyen el consumo de alimento e incrementan las demandas de energía para activar los mecanismos fisiológicos de termorregulación. Así, las ovejas de lana de origen templado sufren mayormente los efectos del EC que las ovejas de pelo (problemas de fertilidad, crecimiento fetal y se afectan las características de la leche durante la lactancia), lo cual genera consecuencias negativas en el lactante.

Se sabe que las razas de ovinos de pelo son originarias de climas cálidos, sus características genóticas y fenotípicas les permiten ser más tolerantes a los efectos adversos del EC. Al respecto se han realizado estudios en regiones áridas, desérticas y tropicales del mundo durante el verano, y han observado que activan mecanismos de termorregulación fisiológica, metabólica y endocrina que son responsables de la habilidad de estas razas para evitar la hipertermia. Por lo antes mencionado, la presente revisión tiene como objetivo dar a conocer el estado actual del conocimiento respecto al efecto del EC en las ovejas de pelo sobre la reproducción y lactación durante el verano en un ambiente tropical.

La ovinocultura en México y el estado de Guerrero

México cuenta con un inventario de ganado ovino de 8.9 millones de cabezas orientado principalmente a la producción de carne; el 50 % se localiza en estados del centro del país: Estado de México (15.9 %), Hidalgo (13.4 %), Veracruz (8.1 %), Oaxaca (6.1 %) y Puebla (5.5 %). El otro 50 % se encuentra en el resto del país incluyendo al estado de Guerrero, el cual contribuye con 166,077 cabezas de ganado ovinos, predominantemente de genotipo de pelo, distribuido mayormente en las regiones Montaña (15,710 cabezas),



Costa Grande (10,474 cabezas), Tierra Caliente (7,788) y Norte (7,105 cabezas). El resto de ganado se localiza en las otras cuatro regiones (Centro, Acapulco, Costa Chica y Sierra).

En México, incluyendo el estado de Guerrero, se practica una ovinocultura principalmente bajo un sistema extensivo (>60 %), y desde hace algunos años se está transitando a los sistemas semiextensivos (>30 %) e intensivos (<10 %). Bajo este manejo productivo es difícil convencer a los productores que realicen la adopción de nuevas tecnologías, así como, las prácticas de manejo zootécnico (nutrición, reproducción, genética, aplicación de vitaminas y minerales) y sanitario (vacunación y desparasitación). Es necesario buscar estrategias para la implementación de tecnologías aplicadas a la producción ovina que contribuyan a que los ovinocultores mejoren sus procesos productivos y tengan un sistema de producción sustentable y rentable.

La búsqueda y aplicación de estrategias tecnológicas contribuye a que los productores reciban asesoramiento técnico-científico en sus sistemas de producción de ovinos y mejorar la cadena productiva. Asimismo, es necesario realizar la vinculación entre universidades y gobierno (municipal, estatal y federal) para poder apoyar en la gestión de recursos a través de proyectos productivos que promuevan la adopción de técnicas zootécnicas y sanitarias dirigidas a mejorar el desempeño de los rebaños locales. Hay que destacar que estos proyectos deben estar adaptados a la diversidad agroecológica (playas, planicies y montañas) e idiosincrasia de los diferentes pueblos originarios del estado de Guerrero. Para cumplir con este asesoramiento, es necesario contemplar el uso racional los recursos locales y emplear los criterios de la economía circular en los rebaños ovinos contribuyendo a mitigar los efectos del calentamiento global. Lo anterior, aprovechando recursos locales y el uso racional de desechos orgánicos de los rebaños, así como, aprovechamiento de forrajes y frutas de temporada para la alimentación de los pequeños rumiantes.

El calentamiento global y el efecto invernadero

El calentamiento global, es el aumento de las temperaturas del aire cerca de la superficie de la tierra causado por los gases de efecto invernadero que impiden que el calor se escape al espacio. Desde 1958, existe evidencia sobre el registro de variables indicativas del calentamiento global, ya que se registró el comportamiento del CO₂, fluctuaciones de glaciares, niveles del mar y temperaturas ambientales que alertaban sobre los efectos nocivos que podía generar en el planeta. Actualmente, los efectos del calentamiento global y los gases de efecto invernadero sobre la vida en la tierra son una realidad causando sequías, tormentas atípicas y huracanes de magnitudes nunca antes vistas. La Comisión Internacional sobre el Cambio Climático calcula que la temperatura global para el próximo siglo aumentará a 6 °C, trayendo consecuencias graves para la vida en la tierra que probablemente sean irreversibles.



Actualmente el 50% de la superficie terrestre es caliente, y se proyecta que en el próximo siglo la temperatura de la superficie aumentará a causa del calentamiento global, problema que provocará cambios en la temporada y cantidad de lluvias, disponibilidad de pastos para la alimentación del ganado. La especie ovina, debido a su rusticidad y adaptación a condiciones climáticas extremas, es una opción para obtener proteína de origen animal en regiones desérticas y tropicales donde se disminuye la disponibilidad y calidad de forraje por efecto de sequías prolongadas e incendios forestales. Los pequeños rumiantes tienen la habilidad de convertir la materia fibrosa y de mala calidad en proteína (carne o leche), bajo condiciones de producción donde otras especies no podrían producir, ni vivir. Ante estas circunstancias una estrategia efectiva para mantener la producción de carne y leche es la selección genética de razas adaptadas o de pelo que puedan producir en estos escenarios hostiles.

En diferentes regiones agroecológicas del mundo, los ovinos nativos y/o adaptados han mostrado tolerar las condiciones de EC manteniendo su producción de carne o leche constante. En regiones áridas y tropicales de México, los ovinos de pelo han tenido una extraordinaria adaptación a condiciones calientes y húmedas, observándose una plasticidad fisiológica y metabólica que les permite tolerar el EC, sin mermar drásticamente la capacidad reproductiva y productiva de las ovejas durante todo el año.

Estrés calórico en ovinos de pelo

El EC se puede definir como el aumento en la temperatura interna del cuerpo por encima de los niveles eutérmicos, desencadenando una serie de respuestas fisiológicas y conductuales, todas ellas dirigidas a disminuir la producción de calor central e incrementar la disipación del calor hacia el medio ambiente. Este problema se ha observado en las diferentes especies de interés zootécnico, especialmente en el ganado lechero por problemas de carga y disipación del calor obtenido del ambiente y la alta tasa metabólica que implica la síntesis de leche. El EC de regiones tropicales, como las que presenta el trópico de Guerrero, se asocia a los efectos del cambio climático y, la triada temperatura ambiental y humedad relativa, que en conjunto permiten calcular el índice de temperatura y humedad (ITH). En los ovinos de pelo, estos factores junto al incremento de las constantes fisiológicas indicativas de EC, temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR) se incrementan cuando aumenta el ITH >72 unidades. Se ha propuesto que el EC en los ovinos comienza a partir de las 82 unidades de ITH, llegando hasta ≥ 84 unidades <86 , con EC severo y muy severo. Lo anterior, se refleja en problemas en las ovejas con consecuencias graves para la reproducción, gestación, producción y lactancia. Bajo estas circunstancias, los ovinos bajo EC presentan una serie de ajustes fisiológicos, endocrinos, metabólicos y celulares que se activan cuando los



termorreceptores de la piel captan un incremento en la temperatura ambiental procesando una respuesta fisiológica adaptativa al calor.

Efectos del estrés calórico en la reproducción y la lactancia

En las ovejas estresadas por calor son evidentes los cambios en las funciones biológicas, ya que disminuyen el consumo de alimento, alteración en el metabolismo del agua, proteínas, energía y minerales; asimismo, en las reacciones de la secreción de hormonas metabólicas, reproductivas y metabolitos sanguíneos que influyen en algunas funciones fisiológicas de sobrevivencia, mantenimiento, crecimiento, reproducción y lactancia. Las ovejas tienen la capacidad de convertir alimentos fibrosos en proteína (carne y leche), sin embargo, el EC reduce el consumo de alimento y el crecimiento de los corderos. La exposición a altas temperaturas ambientales activa los mecanismos fisiológicos para disipar el calor corporal, resultando en un incremento en la FR, TR, consumo de agua y disminución en el consumo de alimento. Algunos estudios muestran que el consumo de materia seca disminuye después de la exposición al EC en ovejas de razas Croix, Karakul, Rambouillet, Sardo y Comisana. También el consumo y la eficiencia alimenticia disminuyeron en corderos Suffolk en condiciones de calor en cámara climática (30.5 °C) en comparación con el grupo no expuesto a la cámara (19.3 °C). Este mismo suceso se ha observado en ovejas que son pastoreadas en horas calientes, que incrementan sus constantes fisiológicas (FR y TR) a diferencia de cuando son pastoreadas durante horas frescas. Por lo anterior, se sugiere que es necesario pastorear a los ovinos durante horas frescas de la mañana o de la tarde y evitar las horas calientes e hipertermia.

Estos problemas de estrés por calor en las ovejas afectan la fertilidad, la carga de calor y la activación del eje-hipotálamo-hipófisis-adrenal en el eje reproductivo, y el efecto indirecto en el consumo de alimento para reducir el calor metabólico produciendo desequilibrios energéticos y de nutrientes. Estos mecanismos influyen negativamente en el eje-hipotálamo-hipófisis-gonadal, afectando fuertemente las fases y etapas del ciclo estral y el ciclo ovárico en las ovejas. También se observan problemas en el desarrollo folicular, la ovulación, la supervivencia embrionaria y fetal sobre todo cuando las hembras alcanzan en su punto máximo de EC. Las ovejas en gestación y lactación son más susceptibles al estrés debido a que requieren una mayor demanda de energía, las hembras en lactación producen mucho calor metabólico, haciéndolas más susceptibles al EC. Las ovejas cíclicas bajo EC presentan menores posibilidades de fecundación y mayores posibilidades de mortalidad embrionaria, al parto se ha observado que las ovejas que sufrieron estrés por calor tuvieron bajo peso de la placenta y de las crías. Además, la capacidad de termorregulación de los corderos puede comprometerse debido al estrés que sufrieron las madres durante la gestación. En algunos estudios realizados en una región árida y caliente de México encontraron que en las ovejas de pelo bajo EC no afecta la fertilidad, la conducta estral y la ovulación. Sin embargo, se encontró en base



a los perfiles plasmáticos de progesterona que la funcionalidad del cuerpo lúteo es afectada por el EC severo y crónico, lo que se traduce en un soporte hormonal deficiente. Es probable que esto se deba a la regresión temprana de los cuerpos lúteos, tal como se observó en ovejas Pelibuey después de estar sujetas a altas temperaturas (37 ± 2.5 °C) en una cámara climática.

El EC y la subalimentación afectan negativamente el desarrollo gestacional y el crecimiento de las crías en ovinos. Las altas temperaturas ambientales durante la gestación en ovejas reducen el crecimiento placentario, y afectan la transferencia de nutrientes al feto. Este evento retrasa el crecimiento de los fetos y corderos, con poca vitalidad y altas probabilidades de muerte temprana. Estos factores influyen durante la fertilización (óvulo y espermatozoide) y trae problemas durante la gestación, parto y postparto. Teóricamente la programación fetal sugiere que el ambiente intrauterino puede alterar la expresión del genoma fetal, lo que resulta en adaptaciones del desarrollo que modifican permanentemente la actividad del eje hipotálamo-hipofisario-gonadotrópico, así como, el desarrollo de los tejidos y órganos, incluido el desarrollo placentario. Así, la señalización extrauterina busca implementar respuestas adaptativas y predictivas por los cambios epigenéticos, proporcionando un vínculo entre los cambios ambientales y fisiológicos para prepararse para el entorno posnatal. Algunos estudios muestran que las ovejas con restricción de nutrientes traen problemas en la preparación de la glándula mamaria afectado la producción de leche, suceso que afecta el periodo neonatal y retardando el crecimiento.

Por otra parte, en las vacas lecheras las altas temperaturas y el EC provocan una disminución en el consumo de materia seca, producción y composición de la leche. En ovejas lecheras existen pocos estudios que no son consistentes si el estrés afecta la producción de leche. En vacas estresadas por calor el consumo de alimento disminuye a partir de los 26 °C de temperatura ambiental, siendo hasta 40 % cuando la temperatura llega a los 40 °C. El mismo fenómeno ocurre con el consumo de agua, si este disminuye puede sufrir una severa deshidratación y pierde hasta el 12 % de su peso corporal. En climas cálidos, el consumo de agua puede incrementarse entre los 10 y 12 % durante el verano. En vacas lecheras la producción de leche comienza a disminuir a partir de los 27 °C de temperatura ambiental sin importar la edad o la etapa de lactación. La disminución en la producción de leche en vacas estresadas por calor es de 0.38 kg/vaca/día por cada grado centígrado que aumenta durante el verano. La caída en la producción de leche se da tanto por efectos directos como indirectos del EC, los primeros son los ajustes en el metabolismo de energía y proteína para priorizar la disponibilidad de nutrientes durante la termorregulación y no para la producción de leche, y los segundos, se relacionan con la disponibilidad de alimento y alteraciones de la salud de la vaca lechera. Asimismo, incrementa el estrés oxidativo, alterando la actividad metabólica y molecular de las



células del tejido secretor mamario, afectando las características de la leche (contenido de grasa y proteína). Algunos estudios, mostraron que la progenie de vacas estresadas por calor reduce significativamente la producción de leche, comparado con las que nacieron de hembras bajo condiciones termoneutrales. Esto se puede explicar debido a que en la última etapa de gestación se altera el patrón de metilación del tejido mamario recolectado durante la primera lactancia, reforzando que el EC ejerce cambios epigenéticos de largo plazo y transgeracional en la glándula mamaria.

En las ovejas estresadas por calor se observa similar comportamiento al observado en vacas lecheras. En efecto, en las ovejas lactando EC la velocidad del viento y humedad del aire (45 a 55 %) influyó positivamente para que la producción de leche incrementara en un 10 %. En cambio, la producción de leche disminuyó en un 20 % cuando el ITH aumentó de 65 a 75 unidades. Este mismo comportamiento fue observado en otros estudios realizados con ovejas lecheras que, aunque se redujo la producción de leche, el EC no tuvo efectos marcados sobre la composición de la leche, excepto en el recuento de células somáticas de la leche, que aumentó de 236.000 a 375.000 células/mL cuando la temperatura pasaron de 21-24°C a 33-36°C. La carga de calor disminuyó el consumo de materia seca, fibra detergente neutra, fracción de hemicelulosa, del día 10 al 20 % cuando la temperatura aumentó de 12 a 16 °C y la producción de leche disminuyó un 18 %. De acuerdo con la variación del tamaño corporal entre las ovejas y las vacas, son afectadas por el EC y afecta la producción láctea ya que ambas especies necesitan realizar ajustes fisiológicos, metabólicos y hormonales para disipar el calor y así termorregularse. Sin embargo, es necesario realizar mayor investigación en ovejas lecheras bajo condiciones de EC, particularmente en condiciones ambientales de trópico.

Termorregulación en ovinos de pelo

Los ovinos estresados por calor activan mecanismos fisiológicos de termorregulación para disminuir mantener normotermia y equilibrio del agua, así como mecanismos compensatorios y adaptativos para ser más termotolerantes. El EC en ovinos esta influenciado por el ITH, observándose EC cuando el ITH es > 72 unidades, aunque Marai et al. (2007) ha propuesto que el EC se presenta a partir de las 82 unidades, basándose en el ITH de 82 a <84 unidades (EC moderado), de ≥84 a <86 (EC severo) y ≥86 (EC muy severo). Otro estudio sugiere que las ovejas de pelo comienzan a experimentar signos de EC cuando el ITH alcanza las 78 y 79 unidades, aunque se requiere determinar el punto de inflexión en los ovinos de pelo, tal como está establecido en otras especies. Es claro que los ovinos de pelo tienen mayor rusticidad y tolerancia a altas temperaturas respecto a los ovinos de lana que muestran mayor sensibilidad a factores bioclimáticos.

Los ovinos de pelo muestran mayor tolerancia al EC en diferentes climas (desierto-tropical), este efecto es el resultado de adaptaciones genéticas y fenotípicas, así como de los mecanismos fisiológicos, metabólicos y endocrinológicos, que ayudan a mantener el



equilibrio corporal del agua y el gasto energético bajo. Por ejemplo, los ovinos estresados por calor disminuyen el consumo de materia seca de 13 a 17 % cuando la temperatura se incrementa (28 a 45 °C). También, incrementan el consumo de agua y disminuyen la eliminación de heces, orina, reabsorción de Na^+ , Cl^- y K^+ para evitar la deshidratación. Además, para disipar el calor emplean algunos mecanismos de tipo evaporativos y no evaporativos. En efecto, condiciones de EC redistribuyen la irrigación sanguínea hacia la piel del cuerpo para la disipación de calor por mecanismos no evaporativos, siendo la principal vía la radiación de la piel. Al respecto, algunos estudios donde se usó la termografía infrarroja encontraron que todas las regiones anatómicas del cuerpo pueden disipar el calor mientras el gradiente de temperatura entre la piel y el ambiente se mantenga a favor del animal. En los ovinos, las regiones anatómicas del cuerpo de mayor disipación de calor son aquellas más desprotegidas de pelo o lana. Los ovinos de lana tienden a disipar mayor porcentaje de calor a través de las orejas y las piernas, mientras que los ovinos de pelo en las áreas anatómicas de los ojos y región perianal, debido a la ausencia o reducida cantidad y tamaño del pelo en estas partes. Sorprendentemente en ambiente tropical durante el verano los carneros Santa Inês mantienen la termorregulación testicular, aunque las temperaturas ambientales y rectales sean altas (diferencia entre la TR y testicular ≥ 6 °C). Recientemente se encontró en carneros Dorper de una región desértica que las temperaturas ambientales del verano comprometen la temperatura testicular y afecta la calidad espermática. Sin embargo, estos animales activaron mecanismos fisiológicos para termorregularse y así mantener la homeotermia.

El principal mecanismo que ayuda a evitar la hipertemia en ovinos bajo EC es el aumento de la FR, ya que el 60 % se disipa por el sistema respiratorio; así cuando se incrementan las temperaturas ambientales y aumenta la TR también se incrementa la FR. Aunque, la evaporación de agua a través de la piel por sudoración es baja (~10 %), contribuye activando la vasodilatación y redistribución de la irrigación sanguínea hacia la piel promoviendo la pérdida de calor a través de la radiación, convección y sudoración.

El ajuste metabólico que emplean los ovinos bajo EC es a través de la activación del sistema hipotalámico-adrenal, responsables de activar los mecanismos evaporativos y no evaporativos de termorregulación, así como proveer energía a estos. La principal fuente de energía en los ovinos bajo EC es la glucosa, junto con el cortisol y la interacción de otras hormonas (como la insulina) participan en la activación de la glucogenólisis y la gluconeogénesis hepática para una rápida disponibilidad de energía. Se ha observado que las corderas en crecimiento y ovejas en lactación bajo EC presentan niveles de glucosa por debajo de lo normal. El cortisol y catecolaminas ejercen efecto catabólico en el tejido adiposo y muscular para emplear ácidos grasos no esterificados como fuente de energía para la termorregulación y liberar aminoácidos gluconeogénicos. Otros autores han demostrado un incremento en la concentración sérica de urea asociada al



catabolismo proteico producto de posibles alteraciones en la síntesis de proteína microbiana del rumen. En este sentido, los ajustes endocrinos de aclimatación crónicos consisten en la disminución de hormonas tiroideas y una mayor concentración de insulina. En condiciones de EC generan una mayor liberación de tirotrópina, disminuyendo la concentración de tiroxina (T4) y desyodación a triyodotironina (T3), aunque esto dependerá de la raza del ovino. Es claro que los mecanismos fisiológicos y endocrinos juegan un papel determinante en la termorregulación de los ovinos bajo EC, sin estos mecanismos además del compromiso del bienestar en poco tiempo los animales morirían debido a la hipertermia causada por el EC. Por lo tanto, es vital el uso de estrategias aplicadas a las instalaciones, donde los animales se puedan refugiar para mitigar el EC, siempre y cuando se contemple el sistema de producción de ovinos y la economía del productor.

Estrategias de mitigación del estrés calórico

Es importante considerar las estrategias que existen para mitigar el EC de ovinos en condiciones de climas tropicales. Un aspecto que considerar es la adaptación de los animales frente al EC, la selección de la raza es muy importante, la cual debe estar adaptada a las condiciones extremas de calor y humedad del clima tropical. Para tal fin, se pueden usar ovinos de razas de pelo que han demostrado que son termotolerantes a cualquier clima, cuentan con capacidad genética para tolerar y adaptarse a climas cálidos. Algunos estudios realizados en la región árida del noroeste de México durante el verano, se ha documentado de su capacidad productiva y reproductiva de los ovinos de pelo no disminuye drásticamente durante el verano. Estas características de adaptación se han reportado en climas tropicales de Brasil donde demuestran que, aunque en este tipo de ambientes el efecto de la humedad es alto, la producción es constante con este tipo de raza. La activación de mecanismos termorregulatorios de tipo fisiológico, metabólico y endocrinológico, son responsables de la habilidad que tienen estas razas para evitar y tolerar la hipertemia.

Una segunda opción sería utilizar sombras naturales o artificiales que consiste en implementar medidas para mejorar las condiciones ambientales donde se encuentran los ovinos, si es en corral una simple sombra con láminas galvanizadas, malla sombra, con enramadas con hojas de palmeras o árboles locales y la implementación de sistemas silvopastoriles y árboles como cercas vivas que contribuyen a mejorar el ambiente de los ovinos en pastoreo. Los árboles son una excelente estrategia para mitigar el EC en el ganado, el follaje de estos bloquea los rayos solares por lo frondoso de sus copas, dependiendo el tipo de árbol, y sobre todo porque crean un microambiente idóneo para refrescar ya que cambia la temperatura y humedad bajo estos. Existen estudios en ovejas domésticas y salvajes que durante el pastoreo cuando se incrementa la temperatura ambiental se refugian a la sombra de los árboles disminuyendo significativamente la



temperatura corporal. Por ejemplo, se ha observado que las corderas que permanecen bajo la sombra de árboles en un sistema silvopastoril desde el mediodía hasta la tarde disminuyen su temperatura vaginal. En otro estudio realizado en un clima seco y caliente de Arizona, encontraron que las personas que estuvieron bajo la sombra de árboles y bajo paneles solares no encontraron diferencias en la temperatura corporal lo que sugiere que esta diferencia se debe al bloqueo de los rayos solares. Por su parte, en una región árida de México encontraron que las corderas cuando las previeron de sombras con lámina galvanizada disminuyeron la FR, TR, las células sanguíneas y mejoró la respuesta inmune. También observaron que es importante no proveer de techo a todo el corral para permitir que por la noche no se encierre el aire caliente y no afecte el bienestar de los animales.

Una tercera opción es el manejo nutricional, que se basa en la respuesta natural del animal para reducir de manera voluntaria el consumo de alimento para disminuir el calor metabólico. Para ello, se pueden usar complementos alimenticios energéticos y proteicos, que son las medidas más utilizadas en el ganado ovino bajo EC. Los aditivos alimentarios que actualmente se están investigando para mitigar el EC en ovinos son los antioxidantes, betaína, cromo, imitadores de la insulina y manipulación de concentrados para retardar la fermentación.

Se ha observado que el aumento de la temperatura corporal de los rumiantes por efecto de trabajo metabólico que realizan durante el consumo de fibra es de un 8 %, y varía de acuerdo con el alimento. Al respecto, en algunas investigaciones han reportado que el uso de concentrados isoenergéticos en las ovejas disminuyó la FR (-11 %) sin cambio en la TR (0 %) en comparación con las ovejas que consumieron una dieta de forraje. En otro estudio encontraron que la alimentación con concentrado incrementó la FR (+10 %) y disminuyó la TR (-11 %). También, diseñaron un experimento con ovejas donde alimentaron con una ración de 50 % de trigo y 50 % de maíz en condiciones termoneutrales y condiciones de EC encontrando que el maíz disminuyó la FR (-22 %) y la TR (-26 %) en comparación con el trigo. Curiosamente, hubo diferencias en la temperatura del flanco derecho e izquierdo, indicando diferencias en el calor producido por la fermentación entre ovejas alimentadas con maíz y trigo.

Adicionalmente, se están utilizando antioxidantes para mitigar los efectos negativos del estrés oxidativo en ovejas estresadas por calor en diferentes etapas fisiológicas (crecimiento, engorda y lactación). Algunas investigaciones han demostrado el efecto benéfico con el uso de vitamina E + Se, así como extractos vegetales ricos en polifenoles y flavonoides. Sin embargo, para el uso de estos compuestos es necesario considerar la dosis, severidad del EC y la raza. La adición de vitamina E + Se en la dieta disminuye el estrés oxidativo y contribuye a reestablecer la normotermia en ovinos bajo EC. En el trópico de Guerrero, en las vainas de cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq)



Wild) se han encontrado algunos compuestos fenólicos (catecol, ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido gálico, entre otros) que se pueden usar como antioxidantes, complementarlos a través de infusión oral, o bien, mezclado en forma de harina en dietas suministradas a ovinos bajo EC. Observándose que después del suministro de la dieta disminuye la FR y TR en ovinos estresados por calor. Es necesario la búsqueda de plantas y vainas que contengan metabolitos secundarios asegurando un efecto benéfico para los ovinos bajo EC, y también se puede utilizar en ovejas para incrementar la tasa ovulatoria y calidad de la ovulación.

Conclusiones

El estrés calórico en ovejas de pelo lactando durante el verano provoca cambios fisiológicos y endocrinos que afectan el comportamiento reproductivo y lactacional, repercutiendo negativamente en la producción, salud y bienestar animal. La hipertemia afecta la conducta estral, la ovulación y la fertilidad en las ovejas durante la época de empadre, producción láctea y características de la leche particularmente el conteo de células somáticas. Las ovejas EC utilizan mecanismos fisiológicos (evaporativos y no evaporativos) y endocrinos para disipar el calor y así no llegar hasta el punto de comprometer la salud. Por lo tanto, la implementación de estrategias para mitigar el EC de las ovejas lactando en el trópico son de suma importancia. Es necesario implementar estrategias para mitigar el EC donde se contemple una economía circular y se le pueda dar uso a los recursos locales disponibles para construir instalaciones donde se involucre el manejo, bienestar animal y cuidado ambiental.

Referencias

- Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Corrales, J.L., Corrales, G., Ramírez-Bribiesca, E., Guerra-Liera, and J.E. (2020). Biological responses of hair sheep to a permanent shade during a short heat stress exposure in an arid region. *Small Ruminant Research*, 189, 106-146. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106146>
- Barragán-Sierra, A., Avendaño-Reyes, L., Mellado-Bosque, M., Meza-Herrera, C.A., Vicente-Pérez, R., Castañeda, V.J., Díaz-Molina, R. and Macías-Cruz, U. (2023). Seasonal heat stress compromises testicular thermoregulation and semen quality of Dorper rams raised in a desert climate. *Journal of Thermal Biology*, 118, 103-137. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103737>
- Barragán-Sierra, A., Avendaño-Reyes, L., Hernández-Rivera, J.A., Vicente-Pérez, R., Correa-Calderón A., Mellado, M., Meza-Herrera, C.A. & Macías-Cruz, U. (2021). Thermoregulation and reproductive responses of rams under heat stress: Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 910-931. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5624>.



- Cannas, S., Palestrini, C., Canali, E., Cozzi, B., Ferri, N., Heinzl, E., Minero, M., Chincarini, M., Vignola, G., and Dalla-Costa, E. (2018). Thermography as a non-invasive measure of stress and fear of humans in sheep. *Animals*, 8, 146-152. <https://www.mdpi.com/2076-2615/8/9/146>
- Correa-Calderón, A., Avendaño-Reyes, L., López-Baca, M.A. y Macías-Cruz, U. (2022). Estrés por calor en ganado lechero con énfasis en la producción de leche y hábitos de consumo de alimento y agua: Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(2), 488-509. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5832>
- García y González, E.C., Pineda-Burgos, B.C., Ruiz-Ortega, M., Cortez-Romero, C., Paredes-Alvarado, M. y Ponce-Covarrubias, J.L. (2024). El estrés calórico afecta a las hembras ovinas Blackbelly durante el verano en el trópico. *Revista MVZ Córdoba*, 29(1), e3186. [https://doi.org/10.21897\(r,vz.3186](https://doi.org/10.21897(r,vz.3186)
- García y González, E.C., Ruiz-Ortega, M., Guevara-Arroyo, M., Pineda-Burgos, B.B., Torres-Agatón, F., Gómez-Vagas, J.C., Elghandour, M.M.M. & Ponce-Covarrubias, J.L. (2024). Effect to heat stress on lactating Blackbelly ewes during summer in a tropical environment. *19th International Scientific Research Congress Science and Engineering*, Ubak 16-17 mart 2024. ISBN: 978-625-6671-12-6. 94 p.
- Hernández-Ruiz, P.E., Elghandour, M.M.M.Y., Ponce-Covarrubias, J.L., Pineda-Burgos, B.C., Adegbeye, M.J., Mellado, M., Salem, M.Z.M. and Salem, A.Z.M. (2024). Exploring the potential of phenolic and antioxidant compounds identified and quantified of *Caesalpinia coriaria* fruits and their impacts on lambs' performance and health. *The EuroBiotech Journal*, 8(2), 74-94. <http://doi.org/10.2478/ebtj-2024-000v>
- Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Meza-Herrera, C.A., Aréchiga, C.F. and Avendaño-Reyes, L. (2018). Thermoregulatory response to outdoor heat stress of hair sheep females at different physiological state. *International Journal of Biometeorology*, 62, 2151–2160. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1615-2>.
- Macías-Cruz, U., López-Baca, M.A., Vicente, R., Mejía, A., Álvarez, F.D., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C.A., Mellado, M., Guerra-Liera, J.E., and Avendaño-Reyes, L. (2016). Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *International Journal of Biometeorology*, 60, 1279–1286. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1123-6>.
- Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F.D., Rodríguez-García, J., Correa-Calderón, A., Torrentera-Olivera, N.G., Molina-Ramírez, L. and Avendaño-Reyes, L. (2010). Growth and carcass traits in pure Pelibuey lambs and crosses F1 with dorper and katahdin breeds in confinement. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 42, 147–154.



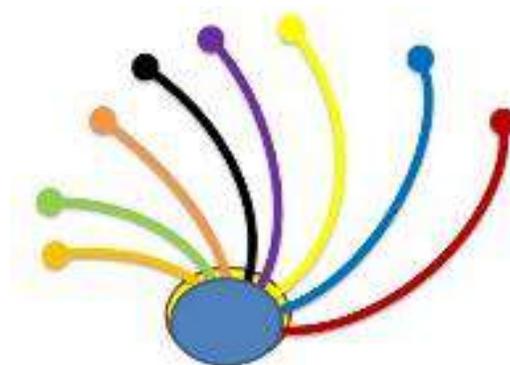
- Macías-Cruz, U., López-Baca, M.A., Vicente, R., Mejía, A., Álvarez, F.D., Correa-Calderón, A., Meza-Herrera, C.A., Mellado, M., Guerra-Liera, J.E. and Avendaño-Reyes, L. (2016). Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *International Journal of Biometeorology*, 60, 1279–1286.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-015-1123-6>
- Macías-Cruz, U., Saavedra, R., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Torrentera, N.G., Chay-Canul, A., López-Baca, M.A. and Avendaño-Reyes, L. (2020). Feedlot growth, carcass characteristics and meat quality of hair breed male lambs exposed to seasonal heat stress (winter vs. summer) in an arid climate. *Meat Science*, 169, 108-112.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174019305182>
- Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Fadiel, A. & Abdel-Hafez, M.A.M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep — A review. *Small Ruminant Research*, 71(1):1-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003>
- Ponce-Covarrubias, J. L., García y González, E. C., Ramírez-Bribiesca, J. E. and Pineda-Burgos, B. C. (2023). Reproductive response of synchronized and extensively grazed Blackbelly ewes during the summer in the tropics. *Journal Animal Behaviour Biometeorology*, 11(1), 11:e2023001.
<https://jabbnnet.com/article/doi/10.31893/jabb.23001>
- Ruiz-Ortega, M., García y González, E.E., Hernández-Ruiz, P.E., Pineda-Burgos, B.C., Sandoval-Torres, B.C., Velázquez-Morales, J.V., Rodríguez-Castillo, J.d.C., Rodríguez-Castañeda, E.L., Robles-Robles, J.M., and Ponce-Covarrubias, J.L. (2022). Thermoregulatory response of Blackbelly adult ewes and female lambs during the summer under tropical conditions in southern Mexico. *Animals* 12, 1860.
<https://doi.org/10.3390/ani12141860>
- Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J., Malik, P.K., Naqvi, S.M.K. & Lal, R., (2017). Adapting Sheep Production to Climate Change, Sheep Production Adapting to Climate Change. *Springer*, 1, 71-93. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4714-5_1
- Vicente-Pérez, A., Avendaño-Reyes, L., Barajas-Cruz, R., Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., Vicente-Pérez, R., Corrales-Navarro, J.L. y Guerra-Liera, J.E., (2018). Parámetros bioquímicos y hematológicos en ovinos de pelo con y sin sombra bajo condiciones desérticas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5, 259–269. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1544>.
- Vicente-Pérez, R., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., López-Baca, M., de los, Á. and Lara-Rivera, A.L. (2020). Impact of heat stress on the hair sheep production. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11, 205–222.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4923>



Vicente-Pérez, R., Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Luna-Palomera, C. y Chay-Canul, A. (2019). Relación de temperatura rectal y frecuencia respiratoria con temperaturas de pelo obtenidas por termografía en ovejas gestantes estresadas por calor. *Información técnica económica agraria*, 115, 219–230. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=6307>

Morera (*Morus nigra*) como complemento alimenticio de rumiantes

Rómulo Bañuelos Valenzuela
Lucía Delgadillo Ruiz
Carlos Meza López
Norma Gaytán Saldaña
Benjamín Valladares Carranza
María Isabel Chávez Rubalcaba





Introducción

La *Morus nigra* (morera) es originaria de una zona ubicada al pie del Himalaya y su cultivo se ha extendido desde zonas con climas templados de Asia a todo el mundo, por lo que se considera “cosmopolita”. Por lo tanto, ahora está muy extendido su cultivo ya puede adaptarse a las condiciones climáticas. La *Morus nigra* L. es un árbol nativo de Asia occidental, bien adaptado y puede medir hasta 9 metros de altura, presentando hojas ovaladas, flores monoicas o dioicas y de color oscuro, frutos y un sabor agradable el aspecto otoñal de su follaje, la hace tolerante a la contaminación atmosférica.

Las especies más relevantes de este género son *Morus alba*, *Morus nigra*, *Morus sugirió*, *Morus laevigata* y *Morus bombycis* de las que han surgido innumerables variedades e híbridos mediante una intensa selección y mejora genética, incluidos varios poliploides. A pesar del creciente interés por esta planta, con excepción de la región asiática, la disponibilidad de germoplasma de morera es mucho más limitada.

La posición taxonómica y el entorno en el que se encuentra, a pesar de ser un título comúnmente utilizado, ha sido explorado de manera breve en los análisis y escritos que tratan sobre la morera. En esta perspectiva, existen pocas referencias publicadas que describan los aspectos importantes de la forma y estructura de las plantas pertenecientes al género *Morus*. La hoja de morera (*Morus alba*), perteneciente a la familia de las *Moraceous* esta planta, se utiliza comúnmente como medicamento en la medicina tradicional China para los seres humanos y fuente de alimento para los gusanos de seda tiene una larga historia de cultivo en todo el mundo.

Según Vijayan *et al.* reportaron que en China se han identificado veinticuatro especies de moreras, de las cuales solo cuatro: *Morus alba*, *Morus multicaulis*, *Morus atropurpurea* y *Morus mizuho*, son cultivadas en gran escala para propósitos de sericultura, mientras que las restantes son consideradas especies silvestres. En el caso de Japón tan solo se reportan diecinueve especies de moreras, únicamente *Morus alba*, *Morus bombycis* y *Morus latifoil* las cuales son cultivadas y de mayor presencia en los cultivos.

Propiedades nutricionales de las hojas de morera

A nivel mundial la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señala a la morera *Morus nigra* como un árbol o arbusto con un gran valor forrajero. El servicio de producción animal (AGAP) del departamento de la agricultura de la FAO establece que la morera *Morus nigra* produce más elementos nutritivos digeribles que la mayoría de los forrajes tradicionales. En este sentido, en 1996 se introdujeron variedades en Costa Rica y se han realizado hasta la fecha investigaciones sobre aspectos agronómicos, composición bromatológica, valor nutritivo y respuesta animal, entre otros.



La morera es generadora de una gran cantidad de biomasa según los reportes en China, su área de campo se ha estimado en 700,000 ha y aproximadamente 1.82×10^7 toneladas, respectivamente. La hoja de morera además tiene propiedades muy apetecibles y digeribles 70–90%, macronutrientes para animales herbívoros, especialmente por su alto contenido de proteínas (15-28%) y buenos perfiles de aminoácidos esenciales, que son similares a los del heno de alfalfa.

Sin embargo, hasta ahora, las hojas de morera no han sido completamente utilizadas como fuente de alimento en la nutrición animal debido al alto contenido de humedad, pero el ensilado es un método eficiente para resolver este problema. Kung *et al.* y Müller *et al.* han confirmado que los ensilajes fermentados de hojas de morera muestran características más apetitosas para las preferencias de los animales. Además, las hojas de morera tras el ensilado mantienen propiedades bioactivas mejoradas como su capacidad antioxidante y la facilidad retener el contenido total de flavonoides e incluso mejorar sus propiedades bioactivas mediante aditivos. Wang *et al.* reportan que al adicionar aditivos al ensilaje de hojas de morera incrementa su calidad.

Las hojas de morera (*Morus alba*) han sido durante mucho tiempo el alimento único para el gusano de seda (*Bombyx mori*). Los árboles crecen en condiciones climáticas variadas, desde templado a tropical, en todo el mundo. El rendimiento de biomasa de las hojas frescas suele ser del orden de 25 a 30 toneladas/ha/año con un intervalo de corte de alrededor de 9 a 10 semanas, mientras que las hojas tienen un alto contenido de proteínas (18 a 25% en MS) y alto (75 a 85%) y digestibilidad de la materia seca MS *in vivo*.

Las hojas de morera tienen un gran potencial rico en proteínas complemento forrajero para la nutrición animal. La producción de hojas frescas de morera y la materia seca total (MS) por hectárea depende del clima condiciones, características del suelo, variedad, densidad de plantas, técnicas de aplicación de fertilizantes y cosecha, pero en términos de nutrientes digeribles, la morera produce más que la mayoría de los forrajes tradicionales.

Composición química

La composición de la morera abarca diversos metabolitos, tales como azúcares neutros como arabinosa, galactosa, glucosa, ramnosa, xilosa y manosa, junto con una cantidad considerable de ácido urónico, manifestándose como ácido galacturónico y ácido glucurónico. Con relación a los aminoácidos, el glutamato es el más prominente, constituyendo aproximadamente el 20%, seguido por glicina y aspartato. El contenido graso de la *Morus nigra* es mínimo, siendo el ácido linoleico, ácido oleico, ácido palmítico y ácido esteárico los componentes principales, constituyendo entre el 69.66% y el 78.02% de los ácidos grasos totales.



En cuanto a las vitaminas, predominan la vitamina C, vitamina A y algunas del grupo B. Los ácidos orgánicos presentes son ácido succínico, ácido acético, ácido málico, ácido cítrico y ácido tartárico. El contenido de ácido titulable varía entre 0.20% y 2.65%, siendo mayor en la *Morus nigra* que en la *Morus alba*. Los minerales presentes en la mora son el potasio, calcio, fósforo, sodio, zinc, cobre y selenio. se han reportado estudios demostrando que el contenido de potasio en la *Morus nigra* es mucho mayor que en otras frutas.

Propiedades fitoquímicas de las hojas de morera

Existen dos categorías principales de compuestos fitoquímicos derivados de plantas, que son los tipos primarios (como aminoácidos, carbohidratos, proteínas y clorofila) y los fitoquímicos secundarios (como flavonoides, terpenoides, alcaloides, saponinas, antraquinonas y aceites volátiles).

La hoja de morera tiene propiedades antioxidantes, antibacterianas y de mejorar el sistema inmunológico debido a sus abundantes componentes fitoquímicos bioactivos, como polisacáridos, flavonoides, ácido fenólico y alcaloides, por lo tanto, puede usarse como una alternativa de aditivo “verde” para reemplazar adecuadamente los probióticos mejorando la función inmune y prevención de enfermedades. Así, la hoja de morera puede utilizarse como alimento funcional, tanto como fuente o complemento alimenticio en las dietas de rumiantes y animales monogástricos por su contenido nutricional y actividad biológica reportada.

Los alimentos contienen una amplia variedad de compuestos fitoquímicos que mejoran la calidad de sus complementos nutricionales. Las especies del género- *Morus* como fuente forrajera se caracterizan por su excelente capacidad de producción de biomasa, composición química, alta degradabilidad ruminal y adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas, de suelo y disponibilidad.

Tanto las hojas como los frutos albergan cantidades significativas de compuestos fenólicos, tales como antocianinas como cianidina-3-glucósido, cianidina-3-rutinósido y pelargonidina, flavonoles como quercetina, rutina y kaempferol, flavanonas como naringenina y ácidos fenólicos como ácido clorogénico, ácido gálico y ácido cafeico (Tabla 1).

Flavonoides

Los flavonoides abarcan una variedad de grupos y se encuentran presentes en diferentes verduras y frutas. Poseen una estructura fundamental compartida: C6-C3-C6 que generalmente contiene un heterociclo y normalmente se asocian con azúcares (glicósidos) lo que les permite disolverse en agua.

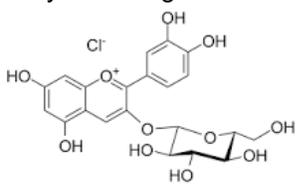
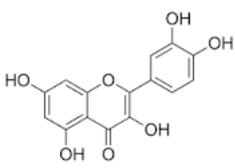
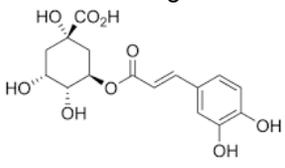
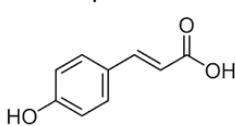
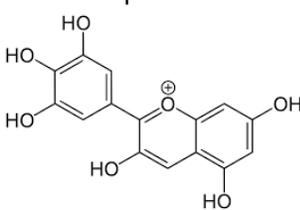
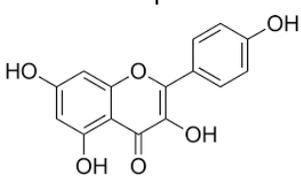
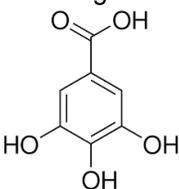
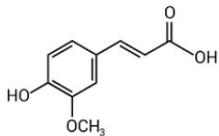
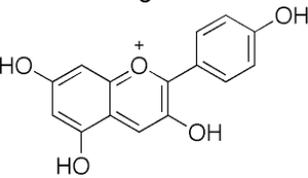
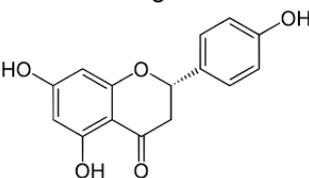
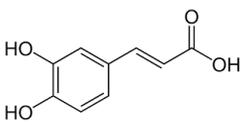
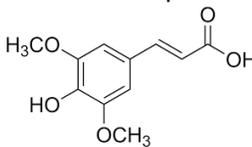


Antocianinas

La antocianina constituye el componente activo predominante y la sustancia cromogénica principal en las moras, lo que hace que esta sea reconocida como una fuente significativa de antocianina en la alimentación. La cantidad de antocianina presente es elevada, el pigmento es resistente y tiene la capacidad de disolverse por completo en agua, además de mostrar una actividad bioactiva más pronunciada. En consecuencia, se convierte en un pigmento frutal insustituible.

La antocianina más prevalente en las moras es el cianidina-3-glucósido (C3G), abarcando entre el 53.94% y el 78.23% del total de antocianinas presentes. El cianidina-3-rutinosido (C3R) comprende aproximadamente entre el 19% y el 43.83%, mientras que el pelargonidina-3-glucósido (P3G) se encuentra en una proporción cercana al 5%.

Tabla 1. Principales compuestos fenólicos de la *Morus nigra*.

Antocianinas	Flavonoles y Flavononas	Ácidos fenólicos	Derivados de ácido cinámico
Cyanidin 3-glucoside 	Quercitina 	Ácido clorogénico 	Ácido p-cumárico 
Delphinidin 	Kaempferol 	Ácido gálico 	Ácido ferúlico 
Pelargonidin 	Naringenin 	Ácido cafeico 	Ácido sinápico 

Ácidos Fenólicos

En las moras, la concentración de ácidos fenólicos varía desde 0.02952 hasta 0.17564 mg/g fw. El ácido clorogénico se destaca como el componente fenólico principal en las



moras de color negro, mientras que, en las moras blancas y rojas, la rutina toma el papel predominante.

Actividad antioxidante de *Morus nigra*

El estrés oxidativo surge a raíz del desequilibrio entre los mecanismos de peroxidación y antioxidantes presentes en el cuerpo. Esto abarca tanto los impactos amplios de las especies reactivas de oxígeno (ROS) como los procesos diseñados para corregir y disminuir el daño causado por los compuestos relacionados con la peroxidación en el organismo.

La *Morus nigra* exhibe una capacidad antioxidante particularmente notable, lo que explica su capacidad para desacelerar el proceso de envejecimiento y prevenir tres de las principales causas de mortalidad en humanos: enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes. Los compuestos antioxidantes se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, y al respecto Hunyadi *et al.* evaluó la capacidad antioxidante de la *Morus nigra* a través de técnicas de poder reductor/antioxidante férrico (FRAP) y capacidad de captación en cuanto a radicales libres.

La efectividad antioxidante de la mora ha sido confirmada en múltiples ocasiones. Investigadores liderados por Xu *et al.* emplearon compuestos aislados de la mora para evaluar su capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) y su capacidad para eliminar radicales DPPH. Silva *et al.* utilizaron ensayos de eliminación de radicales de 2,2-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH), y los datos mostraron una alta actividad antioxidante, que se atribuyó a la concentración elevada de compuestos fenólicos y El ácido nordihidroguaiarético (NDGA).

Toxicología de *M. nigra*

La morera a lo largo de milenios ha sido empleada tanto como fruto como en la medicina tradicional. Sin embargo, en la literatura, existe muy poca información sobre sus efectos toxicológicos en relación con el uso prolongado de esta planta utilizada como antioxidante y antiinflamatorio. Estos efectos de las plantas medicinales y sus componentes fitoquímicos han sido bien documentados. Por lo tanto, encontrar agentes hepatoprotector naturales eficaces y seguros es uno de los objetivos futuros, particularmente en las bayas más populares como el arándano, fresa, frambuesa y mora, que se encuentran entre las mejores plantas con un alto valor medicinal debido a la presencia de una amplia gama de componentes fenólicos bioactivos. En estas plantas se han reportado efectos biológicos de amplio espectro que incluyen antidiabético, anticancerígeno, antienvjecimiento, neuroprotector, y actividades reguladoras del metabolismo de los lípidos.



Morera con el nombre científico de *Morus nigra* crece en diferentes partes del mundo y la diferencia de las condiciones *in vitro*, la eficacia *in vivo* de los compuestos fitoquímicos depende principalmente de su absorción, distribución, metabolismo, excreción y farmacocinética. Los estudios han demostrado que los flavonoides, son los principales compuestos fitoquímicos que se encuentran en *M. nigra*, pueden absorberse del tracto gastrointestinal después de la administración oral.

La identificación y cuantificación de los niveles de seis flavonoles como rutina, isoquercitrina, astragalina, quercetina, kaempferol e isorhamnetina en plasma de rata después de una dosis oral única (1 g/kg) de extracto de hojas de morera mostró una concentración máxima que oscilo entre 6.8 ± 4.6 y 132.5 ± 73.3 ng/mL, el tiempo para alcanzar la concentración plasmática máxima de 0.19 ± 0.06 a 0.30 ± 0.13 h, y vida media de eliminación del flavonoide que oscilo entre 0.87 y 1.19 h. Los glucósidos (isoquercitrina y rutina) se liberan en forma de aglicona después de ser hidrolizado en el tracto intestinal por bacterias.

Después de la absorción, los flavonoides sufren metabolismo de primer paso de fase II en las células epiteliales del intestino delgado y el hígado. Las formas predominantes de los metabolitos presentes en el plasma son los conjugados con grupos metilo, glucuronato y sulfato. Finalmente, estos se excretan a través de la bilis y el riñón.

Se realizó un estudio de rutina utilizando como marcadores iodo I^{125} y con I^{123} hesperetina en ratones demostró que en la primera hora después de la administración oral, estos flavonoides se encontraron en el estómago e intestinos delgados. Entonces, la radiactividad observada del tracto gastrointestinal superior disminuyó mientras el del intestino grueso mostró su máxima absorción después de 3 a 4 h de administración. La rutina y la hesperetina marcadas fueron detectados en diferentes órganos incluyendo el hígado, pulmón, riñones, corazón y bazo en 1 a 24 h.

Además de los estudios en animales descritos anteriormente, varios reportes clínicos han abordado la farmacocinética de flavonoides en voluntarios sanos. Los resultados mostraron diferencias considerables entre los grupos de flavonoides con respecto a la absorción en el intestino delgado (que van del 0 al 60% de la dosis administrada) y vida media (que oscila entre 2 y 28 h). Las antocianinas se pueden detectar en la sangre en cuestión de minutos del consumo oral, lo que sugiere que estos compuestos pueden absorberse rápidamente desde el estómago además del intestino delgado. El grado de absorción de antocianinas del tracto gastrointestinal se ve afectado por su azúcar y los grupos acilados.

El mecanismo exacto después de la absorción de antocianinas por el tubo digestivo aún es incierto, se ha sugerido que la bilitranslocasa, un portador de membrana de aniones orgánicos en el hígado y el estómago participa en la biodisponibilidad de las antocianinas. Concentraciones plasmáticas máximas de antocianinas totales se ha informado que se encontraron en el rango de 1 a 100 nmol/L en estudios en humanos



analizado el plasma de participantes sanos después del consumo de purés de mora se observó que algunas antocianinas (cianidin-3-glucósido y cianidin-3-rutinósido) podrían ser absorbidas intactas como compuestos naturales y se metabolizan ampliamente en derivados metilados, glucuronidados y sulfatados.

Las concentraciones plasmáticas máximas de cianidina-3-glucósido y cianidin-3-rutinósido fueron 47 ± 8 ng/mL (tmax: 66 ± 15 min) y 11 ± 3 ng/mL (tmax: 108 ± 12 min), respectivamente. Además, informaron que la metil-cianidin-glucurónido y 3-metil-cianidin-3-glucósido fueron los principales conjugados de antocianinas que se encontraron en el plasma. La biotransformación de antocianinas se realiza mediante enzimas ubicadas en el intestino delgado, hígado y riñón. A diferencia de las condiciones *in vitro*, la eficacia *in vivo* de los fitoquímicos depende principalmente de su absorción, distribución, metabolismo, excreción y farmacocinética. Los estudios han demostrado que los flavonoides, es el principal fitoquímico los compuestos que se encuentran en *Morus* pueden absorberse del tracto gastrointestinal después de la administración oral.

Las antocianinas se logran detectar en la sangre en cuestión de minutos del consumo oral, lo que sugiere que estos compuestos pueden absorberse rápidamente desde el estómago además del intestino delgado. El grado de absorción de antocianinas del tracto gastrointestinal se ve afectado por la estructura de su azúcar y restos de grupos acilados. El mecanismo exacto después de la absorción de antocianinas en el tubo digestivo.

En un estudio llevado a cabo por Yilmaz *et al.* se utilizaron linfocitos periféricos humanos cultivados con el fin de examinar el posible efecto genotóxico de la fruta de *Morus nigra*. Los resultados de su investigación demostraron que el jugo de la fruta no presentaba efectos genotóxicos, pero sí exhibía una actividad protectora frente a los cambios genómicos inducidos por la mitomicina.

Por otra parte, se ha reportado que el extracto etanólico obtenido de las hojas (en dosis de hasta 1000 mg/kg por vía oral y consumido durante un período de 28 días) no provocó efectos tóxicos en los tejidos del hígado y los riñones. Adicionalmente, al evaluar la toxicidad aguda del extracto etanólico de las hojas en ratones, no se observó mortalidad ni signos de toxicidad en dosis de 2 g/kg administrados por vía intraperitoneal y 5 g/kg por vía oral. Por lo tanto, según la revisión de datos previa, se indica que no se observan efectos tóxicos significativos vinculados al consumo esporádico y de corto plazo de *Morus nigra*.

Conclusiones

Esta revisión examinó las propiedades nutricionales, químicas y fitoquímicas comúnmente conocidas de morera tanto en México como en otros países ya que es originaria de Asia, pero se ha convertido en una planta cosmopolita. Se encontró que



las hojas tienen propiedades nutricionales de manera natural como procesada en silos, además de contener múltiples compuestos fitoquímicos como flavonoides, antocianinas y fenoles, también se encontró que morera no es tóxica ya que para que muestre este efecto negativo se requiere un consumo mínimo de diez veces el peso corporal del animal. Sin embargo, se recomienda una evaluación más exhaustiva en estudios posteriores para garantizar la seguridad de su consumo a largo plazo.

Referencias

- Baby, B., Antony, P. & Vijayan, R. (2018). Antioxidant and anticancer properties of berries. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(15), 2491-2507. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1329198>
- Cai, M., Mu, L., Wang, Z. L., Liu, J. Y., Liu, T. L., Wanapat, M. & Huang, B. Z. (2019). Assessment of mulberry leaf as a potential feed supplement for animal feeding in PR China. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 32(8), 1145. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6599953/>
- Giampieri, F., Alvarez-Suarez, J. M., Cordero, M. D., Gasparrini, M., Forbes-Hernandez, T. Y., Afrin, S., ... & Battino, M. (2017). Strawberry consumption improves aging-associated impairments, mitochondrial biogenesis and functionality through the AMP-activated protein kinase signaling cascade. *Food chemistry*, 234, 464-471. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.017>
- He, L., Zhou, W., Wang, C., Yang, F., Chen, X. & Zhang, Q. (2019). Effect of cellulase and *Lactobacillus casei* on ensiling characteristics, chemical composition, antioxidant activity, and digestibility of mulberry leaf silage. *Journal of dairy science*, 102(11), 9919-9931. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16468>
- Hooshmand, S., Mahdinezhad, M. R., Taraz Jamshidi, S., Soukhtanloo, M., Mirzavi, F., Iranshahi, M., ... & Ghorbani, A. (2021). *Morus nigra* L. extract prolongs survival of rats with hepatocellular carcinoma. *Phytotherapy Research*, 35(6), 3365-3376. <https://doi.org/10.1002/ptr.7056>
- Hao, J., Gao, Y., Xue, J., Yang, Y., Yin, J., Wu, T. & Zhang, M. (2022). Phytochemicals, pharmacological effects and molecular mechanisms of mulberry. *Foods*, 11(8), 1170. <https://doi.org/10.3390/foods11081170>
- Hunyadi, A., Martins, A., Hsieh, T. J., Seres, A. & Zupkó, I. (2012). Chlorogenic acid and rutin play a major role in the *in vivo* anti-diabetic activity of *Morus alba* leaf extract on type II diabetic rats. *PloS one*, 7(11), e50619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050619>
- Kazemi, S., Shirzad, H. & Rafieian-Kopaei, M. (2018). Recent findings in molecular basis of inflammation and anti-inflammatory plants. *Current pharmaceutical design*, 24(14), 1551-1562. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180403122003>
- Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J. & Schmidt, R. J. (2018). Silage review:



- Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of dairy Science*, 101(5), 4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Li, F., Li, C., Chen, Y., Liu, J., Zhang, C., Irving, B., ... & Guan, L. L. (2019). Host genetics influence the rumen microbiota and heritable rumen microbial features associate with feed efficiency in cattle. *Microbiome*, 7, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0699-1>
- Lee, W., Lee, Y., Kim, J. & Bae, J. S. (2018). Protective effects of pelargonidin on lipopolysaccharide-induced hepatic failure. *Natural Product Communications*, 13(1), 1934578X1801300114. <https://doi.org/10.1177/1934578X1801300114>
- Li, F., Li, C., Chen, Y., Liu, J., Zhang, C., Irving, B., ... & Guan, L. L. (2019). Host genetics influence the rumen microbiota and heritable rumen microbial features associate with feed efficiency in cattle. *Microbiome*, 7, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0699-1>
- Li, Z., Chen, X., Liu, G., Li, J., Zhang, J., Cao, Y. & Miao, J. (2021). Antioxidant activity and mechanism of resveratrol and polydatin isolated from mulberry (*Morus alba* L.). *Molecules*, 26(24), 7574. <https://doi.org/10.3390/molecules26247574>
- Li, H. X., Jo, E., Myung, C. S., Kim, Y. H. & Yang, S. Y. (2018). Lipolytic effect of compounds isolated from leaves of mulberry (*Morus alba* L.) in 3T3-L1 adipocytes. *Natural product research*, 32(16), 1963-1966. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1354190>
- Müller, C. E. & Udén, P. (2007). Preference of horses for grass conserved as hay, haylage or silage. *Animal feed science and technology*, 132(1-2), 66-78. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.02.013>
- Vijayan, V., Pradhan, P., Braud, L., Fuchs, H. R., Gueler, F., Motterlini, R., ... & Immenschuh, S. (2019). Human and murine macrophages exhibit differential metabolic responses to lipopolysaccharide-A divergent role for glycolysis. *Redox biology*, 22, 101147. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101147>
- Wang, Y., Chen, X., Wang, C., He, L., Zhou, W., Yang, F. & Zhang, Q. (2019). The bacterial community and fermentation quality of mulberry (*Morus alba*) leaf silage with or without *Lactobacillus casei* and sucrose. *Bioresource technology*, 293, 122059. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122059>
- Wen, P., Hu, T. G., Linhardt, R. J., Liao, S. T., Wu, H. & Zou, Y. X. (2019). Mulberry: A review of bioactive compounds and advanced processing technology. *Trends in food science & technology*, 83, 138-158. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.017>
- Xu, X., Huang, Y., Xu, J., He, X. & Wang, Y. (2020). Anti-neuroinflammatory and antioxidant phenols from mulberry fruit (*Morus alba* L.). *Journal of Functional*

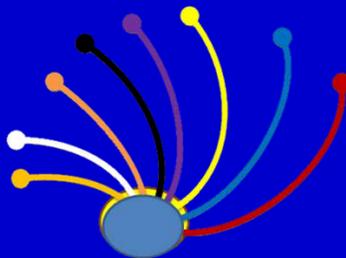


Foods, 68, 103914. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103914>

Yilmaz, S., Ucar, A. & Göktaş, B. (2019). Genotoxic and genoprotective potential of black mulberry (*Morus nigra*) fruit. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91, e20190337. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920190337>

Sección 3

Agricultura



La importancia del beneficio en la calidad de las semillas para la agricultura

Edgardo Bautista Ramírez





Introducción

La semilla es el principal eslabón en la cadena de producción agrícola, por lo que es necesario realizar actividades que potencialicen sus características genéticas y fisiológicas adquiridas durante su producción en campo. Este conocimiento no es nuevo, los agricultores de distintos puntos de la historia de la humanidad han buscado seleccionar y dar los mayores cuidados a lo que se destina para la siembra. Sin embargo, no fue hasta los años ochenta que este conocimiento se agrupa en cuatro conceptos: calidad genética, física, fisiológica y sanitaria. Cuyas características pueden incrementarse considerablemente con el beneficio y aumentar la posibilidad de rendimientos óptimos en la agricultura.

A nivel mundial la agricultura se clasifica en dos sistemas de producción de semilla: la formal e informal. En el caso particular de México, el sistema informal se le denomina sistema local. Ambas (formal y local) interactúan y permiten satisfacer la demanda de semilla para la agricultura nacional. Entre sus diferencias más significativas se encuentra el vigor de las semillas que es consecuencia de su método de obtención, tratamiento, condiciones de almacenamiento, entre otras. Siendo las obtenidas en el sistema formal las de mayor vigor, mientras que la mayor ventaja de las semillas obtenidas en el sistema local es su adaptabilidad a las condiciones limitantes agroclimáticas propias de cada región.

Dentro del tipo de calidad en semillas, la fisiológica es la más estudiada. Una respuesta hipotética de esta diferencia es que, la mejora en las otras tres calidades (física, sanitaria y genética) y su interacción conlleva a la formación de plántulas normales (aquellas con sistema radicular prominente y plúmula vigorosa con capacidad para su establecimiento satisfactorio en campo) en las pruebas de germinación (concepto sintetizado de calidad fisiológica). En el proceso de la producción de semillas la mejora sustancial de la calidad física y sanitaria ocurre durante el beneficio o acondicionamiento de las semillas. Es en el proceso de beneficio se eliminan semillas vanas, pequeñas, muy grandes, impurezas, entre otros componentes de la materia prima que demeritan la calidad de la semilla. Por ello, el presente trabajo tiene por objetivo, documentar la importancia del beneficio y su efecto en la calidad de las semillas, conocimiento que puede ser utilizado tanto en el sistema formal como local de producción de semillas.

Criterios básicos para mejorar la calidad de la semilla

En términos de inversión económica, la producción de semilla llega a ser tres veces más cara que la producción de grano. Cualquier persona física y moral que deseen entrar al mercado de las semillas le implicará competir con grandes, medianas y pequeñas empresas semilleras transnacionales y nacionales. Sin embargo, existen ventajas que deberán considerarse, tales como: el precio de venta de las semillas suele ser más



estable que la de grano, las tecnologías generadas por las instituciones públicas, y la existencia de regiones donde por logística o rentabilidad las transnacionales no entran (mercados cautivos para los nuevos semilleros). Por ello, es necesario realizar un buen proceso de producción y beneficio de semilla para competir con calidad.

En cualquier especie vegetal, la producción de semillas es una actividad aún más complicada que la producción de grano. Las complicaciones surgen desde la selección del terreno para la producción y en el entendimiento de la biología reproductiva de la especie en cuestión. La mayoría de las actividades en campo se orientan a mejorar la calidad genética y fisiológica (Cuadro 1). Mientras que la calidad física y sanitaria mejoran en el proceso de beneficio al eliminar impurezas y semillas vanas (lo que eventualmente mejora la calidad fisiológica).

Cuadro 1. Actividades claves en campo para mejorar la calidad de la semilla.

Actividades	Calidad que se mejora
<ul style="list-style-type: none"> • Selección de terreno donde no se haya sembrado la especie al menos en un ciclo agrícola anterior. • Aislamiento con base a las normas oficiales mexicanas establecidas. • Desmezcle en distintas etapas fenológicas. • Polinización controlada basada en el objetivo de la producción y sistema de polinización de la especie. 	Calidad genética
<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de maquinaria. • Control de plagas y enfermedades • Cosecha con maquinaria adecuada o manual. 	Calidad física
<ul style="list-style-type: none"> • Densidad óptima de siembra y la proporción correcta entre macho y hembra. • Riego oportuno. • Fertilización con base a la demanda del cultivo y variedad. 	Calidad fisiológica
<ul style="list-style-type: none"> • Cosechar en madurez fisiológica. • Control de malezas. 	Calidad sanitaria

En el beneficio de las semillas la calidad física mejora cuando se eliminan restos de malezas, semillas de otras especies, restos de estructuras seminales, hojas o cualquier otro material. Mientras que la sanitaria mejora sustancialmente cuando se eliminan semillas afectadas por plagas o enfermedades. Todo lo anterior ocurre en el beneficio de las semillas. Sin embargo, si esta actividad no se hace de forma correcta puede resultar contraproducente, por ello, es necesario:

- Limpiar la maquinaria a utilizar.
- Si es posible eliminar materia prima dañada antes del beneficio.
- Que cada actividad realizada sea supervisada por personal capacitado.



- Conocer la humedad de la semilla con la que se trabaja, para tomar decisiones.
- Seleccionar un tratamiento químico o biológico que proteja a la semilla de plagas de almacén, enfermedades y de ser posible con bioestimulantes para la germinación.

Existen muchos equipos (cribadoras, clasificadoras rotativas, mesa de gravedad, seleccionadoras ópticas, etc.) que pueden realizar la limpieza y clasificación de las semillas, aunque todas siguen los mismos principios básicos, separan por tamaño, forma, peso y en algunos casos por color, este último aún de difícil acceso para las micro y pequeñas empresas de semillas. Aunque la limpieza física hace énfasis en eliminar impurezas paralelamente mejora la calidad fisiológica. Ejemplo de lo anterior, es el resultado del beneficio de las semillas de maíz, el cual hace que la germinación aumente de un promedio de 47.5 % en materia prima a 95 % en semilla tratada (Figura 1). El aumento en la calidad fisiológica de las semillas en el beneficio es debido a que la limpiadora elimina semillas banas (desecho por aire) semillas muy pequeñas (desecho de clasificadora), semillas muy grandes (desecho por desbrozadora), además de semillas dañadas por insectos (Figura 2).

En el sistema local de producción de semillas, no se tienen normas escritas de calidad. Las semillas que se utilizan en el sistema local de semillas no son beneficiadas con la rigidez con la que se hace en el sistema formal y su almacenamiento se hace bajo condiciones ambientales. En este sentido, la pérdida en la calidad fisiológica aumenta cuando la temperatura y humedad relativa en almacenamiento son altas. En muestras de maíces nativos colectados en la Región Altos de Jalisco, México en febrero de 2022, almacenadas en promedio por cuatro meses a temperatura ambiente en las bodegas de los productores (temperatura media 18 °C y precipitación de 817 mm anuales), el porcentaje de germinación varió de 72 a 98 %, lo que demuestra el deterioro (pérdida de su capacidad para la formación de plántulas normales) que sufren las semillas nativas (Cuadro 1).

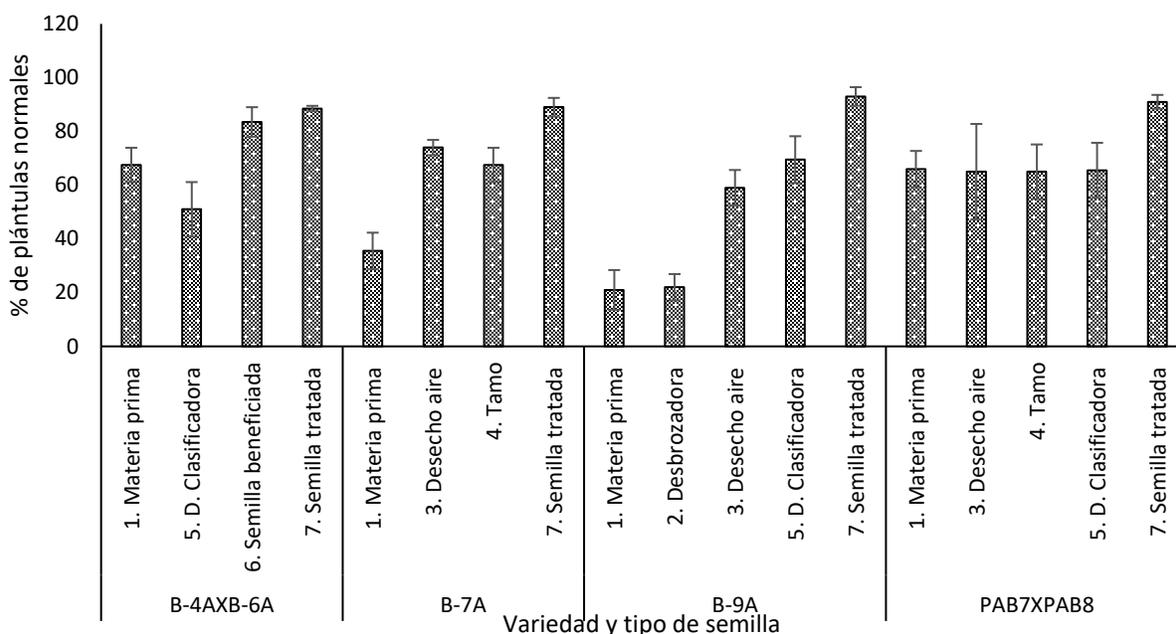


Figura 1. Efecto del beneficio de semillas sobre la germinación (%) de cruza simples y líneas de maíz producidas en La Huerta Jalisco en el ciclo agrícola OI 2022/2023.

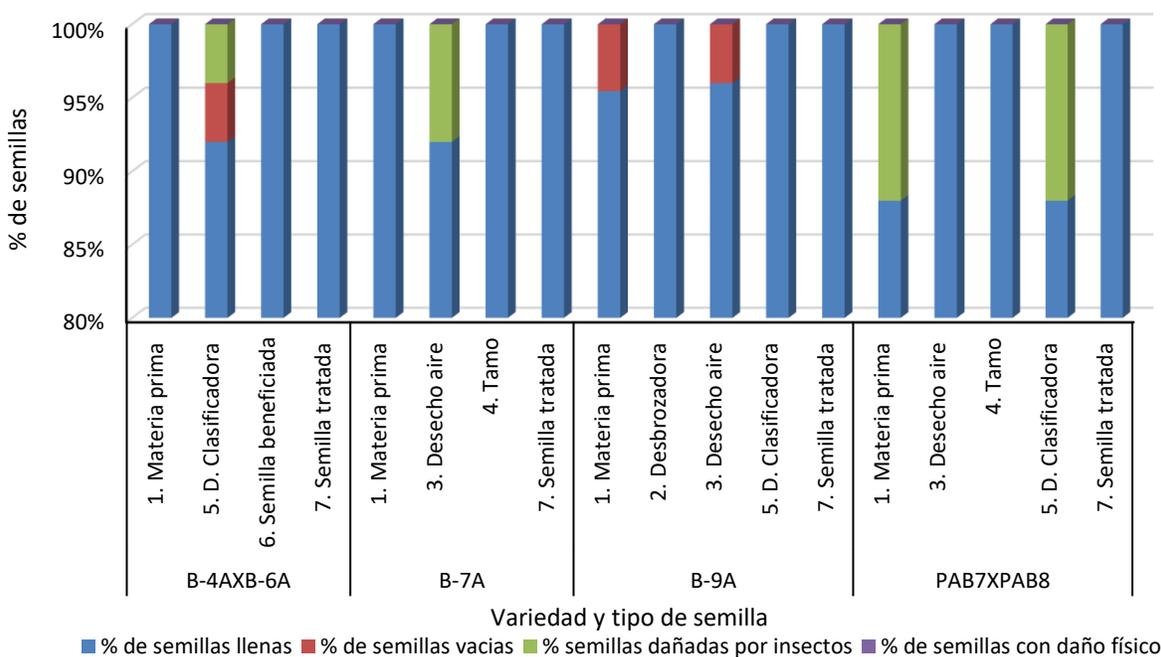


Figura 2. Semillas llenas, vacías, dañadas por insectos y daño físico (%) en pruebas de rayos X de muestras de cruza simples y líneas de maíz producidas en La Huerta Jalisco en el ciclo agrícola OI 2022/2023 obtenidas en el beneficio de semillas.



Cuadro 1. Valores máximos, mínimos y promedios obtenidos en una prueba de germinación de semillas de maíces nativos colectados en febrero 2022 en los Altos de Jalisco.

Valor	Plántulas normales	Plántulas anormales	Semilla sin germinar
Máxima	98	19	8
Mínima	72	1	1
Promedio	89.20	6.81	3.92

Aplicar los principios básicos de acondicionamiento de semillas (secado, limpieza y clasificación) que se siguen en el mercado formal de semillas en el sistema local permitirá aumentar sustancialmente la calidad fisiológica de las semillas de especies nativas como el maíz. Sin embargo, para que en México esto sea posible es necesario desarrollar un plan nacional ambicioso, donde se aprovechen elementos del sistema de producción local y formal y contar con la participación de tomadores de decisiones, científicos especializados en semillas, técnicos y productores. Sin embargo, esta situación se complica debido a varios factores, entre ellos, que programas de formación de recursos humanos (posgrado en semillas) tienen cada vez menos solicitud y por ende apoyo.

Efecto de la humedad en el beneficio de las semillas

En el sistema formal de producción de semillas, cuando la materia prima llega a la planta de beneficio de semillas se toman submuestras basadas en la especie, número de sacos, volumen, entre otros factores. Con las submuestras obtenidas se forma una muestra compuesta, la cual se homogeniza y se toman tres muestras cada una de un kilogramo. Una de esas muestras se denomina muestra de trabajo, otra se envía al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) para la obtención de etiquetas y la última se resguarda para aclaraciones u otros usos.

Con la muestra de trabajo se determinan los tamaños de cribas a utilizar, los tamaños que se obtendrán, porcentaje de desecho y la humedad de la semilla. Determinar el contenido de humedad permite saber si la materia prima entra a secado artificial, se extiende bajo sombra o bien entra directamente al beneficio. Aunque existe literatura en donde se dan recomendaciones de la humedad con la que se debe beneficiar las semillas de distintas especies, en muchos casos es difícil mantenerla, sobre todo en regiones o épocas más secas del año, ya que las semillas son higroscópicas (que pierden o ganan humedad del ambiente). Ejemplo, si la semilla de frijol a beneficiar tiene una humedad menor al 10 % el beneficio se complica, ya que el golpeteo que sufre la semilla



durante la limpieza, clasificación, tratamiento y envasado hace que la cubierta seminal se rompa hasta el grado de que los cotiledones se separen.

Para disminuir los problemas que se ocasionan con el sobresecado de la semilla se recomienda cosechar en madurez fisiológica. Para ello, es necesario buscar indicadores fisiológicos, tales como la formación de la capa negra (en semillas de maíz), cambio de color en el fruto, secado de la planta, entre otros. Sin embargo, lo más recomendable es tomar muestras en campo y medir la humedad con métodos directos o indirectos.

En el sistema local, el secado es más de tipo empírico y lo aprendido por técnicos que alguna vez llegaron a capacitar a los productores. De este último podemos mencionar la obtención de semilla de café en la Sierra Norte de Puebla, el cual se obtiene de plantas sobresalientes, se despulpa a mano, se deja fermentar, se lava con suficiente agua y se deja secar a la sombra para sembrarlo en un periodo máximo de dos meses. Ejemplo del conocimiento empírico que no ha cambiado es el beneficio y almacenamiento de la semilla de maíz que hacen los productores de las comunidades de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM); las mazorcas se dejan en las azoteas de las casas hasta que les sea posible desgranar (más de diez días después de la cosecha), aprovechando que en invierno no hay lluvias, para después seleccionar las sobresalientes. Esto contradice lo sugerido en el sistema formal, donde se recomienda el secado en sombra con humedad menores al 40 %, o secadoras artificiales donde es posible controlar la temperatura, corriente de aire y humedad para que las estructuras de las semillas tengan el tiempo necesario para el reajuste de la membrana celular. Por lo que sería necesario tomar datos climáticos de las condiciones de secado de las mazorcas en la RBSM y determinar su efecto en el vigor y la germinación de las semillas.

La importancia del tratamiento de las semillas

El tratamiento químico o biológico para las semillas, es un elemento clave para aumentar la calidad fisiológica de las semillas y que en combinación con las condiciones de almacenamiento (temperaturas y humedades bajas) prolongan la vida útil de las semillas. Los productos utilizados como tratamientos han cambiado con el tiempo, se pasó de utilizar arsénico al uso de productos biológicos que en principio son más amigables con el medio ambiente. Sin embargo, el desarrollo de productos es un proceso largo y costoso que en muchos de los casos solo puede ser financiado por las grandes empresas. Lo que eventualmente se traduce en productos con precios altos y de difícil acceso para las micro y pequeñas empresas semilleras.

Entre los productos biológicos estudiados para ser alternativas en el tratamiento a las semillas agrícolas se encuentran extractos de especies vegetales, consorcios bacterianos y hongos. Respecto a estos últimos, su efecto benéfico puede estar ligado a la liberación de hormonas reguladores del desarrollo en las semillas. Mientras que las



propiedades de los extractos vegetales pueden ser una alternativa en el control de plagas y enfermedades. El reto es generar un producto que contengan los elementos biológicos necesarios y que interactúen de forma positiva en el control de plagas, enfermedades y estimulación de las semillas.

En la literatura se reportan esfuerzos de diversos grupos de trabajo por identificar agentes biológicos que demuestren la eficacia deseada. Entre esos esfuerzos se encuentran los realizados por el Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP. Que a la fecha han identificado hongos y bacterias que estimulan el desarrollo fisiológico de las plántulas durante los primeros siete días de iniciada la imbibición de las semillas. Los trabajos se encuentran en desarrollo, por lo que a nivel experimental se evalúan las unidades formadoras de colonias (UFC) de la bacteria identificada como Y-35 que aumenten la velocidad de emergencia, vigor y acumulación de materia seca en plántulas (Figura 3). A la par de lo anterior, se continúa con la identificación de otros microorganismos que funcionen como control de plagas en almacén y enfermedades transmitidas por semillas.

Otra de las alternativas para aumentar las opciones de desarrollo de tratamientos en semillas es la exploración de las actividades que se realizan en el sistema local de semillas. En la Sierra Norte de Puebla, la semilla de maíz es tratada con extracto de la planta llamada en totonaco Zinaxqui (*Murraya paniculata* L.) para evitar que los roedores se coman la semilla sembrada, se desconoce si tiene algún otro efecto positivo, por lo que es necesario realizar un perfil químico del extracto. Actividades como la citada anteriormente, son practicadas por diversos grupos culturales de México, algunas se encuentran documentadas en exploraciones etnobotánicas, mientras muchas más son olvidadas por los agricultores más jóvenes; por lo que es relevante revalorizar este conocimiento tradicional.

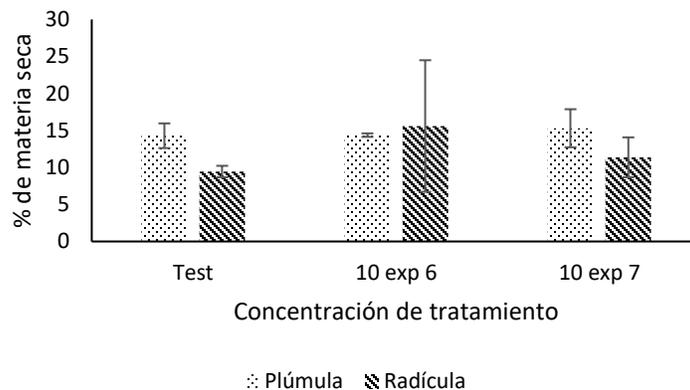


Figura 3. Porcentaje de materia seca acumulada en la aplicación de dos concentraciones de levadura en materia prima de semillas de maíz.



Conocimiento y diseño del equipo para el beneficio de las semillas

Para poder abordar este apartado empezamos por rescatar elementos importantes mencionados en este documento para el beneficio de las semillas en el sistema formal: 1) las semillas se pueden separar por tamaño, forma, peso y color, 2) la humedad de la semilla previa al beneficio es clave para la toma de decisiones y 3) el conocimiento biológico de la especie. Lo que se desea es que el beneficio mejore la calidad física, fisiológica, sanitaria y genética. Sin embargo, si no se conoce lo anterior, esto puede ser contraproducente o perder una gran cantidad de semilla (buena) durante este proceso. Por ello, entre las cosas que se deben de considerar en una planta de beneficio son:

- 1) Tener cribas y cilindros para la limpiadora y clasificadora respectivamente de todos los tamaños posibles y las dos principales formas (redonda u oblicuas). En el caso de la limpieza de semillas de maíz, algunas líneas tienen semilla muy pequeña que inclusive una criba 17/64" no es capaz de lograr una buena limpieza. Por lo que es necesario idear formas para la limpieza y clasificación.
- 2) La capacidad de cada máquina y su relación con la materia prima. Las plantas limpiadoras de semillas están conectadas por elevadores de semillas que llevan la semilla de un equipo a otro. En muchos de los casos el proceso inicia con una limpiadora, la cual debe tener la capacidad suficiente para alimentar a los cilindros clasificadores y estas a su vez a la mesa de gravedad. Por lo que tampoco hay que olvidar medir o estimar la capacidad de cada elevador. Desafortunadamente la capacidad final estará dada por la calidad de la materia prima. En la limpieza de semilla de frijol, cuya materia prima se cosecha con maquinaria especializada, es muy común tener terrones y polvo que dificulta el lavado, por lo que la limpieza se hace a la capacidad mínima de cada equipo, evitando así obstrucciones en el flujo del beneficio.
- 3) La altura de caída de la semilla al subir por los elevadores. La elevación de la semilla no es lo más importante, el problema es hacer que la semilla caiga de manera suave en cada proceso de limpieza y clasificación. En la planta de semillas del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco la altura máxima de elevación de la semilla es de 5.5 metros; sin embargo, la caída a los cilindros clasificadores no es directa. En la primera caída de la elevación más alta, la semilla cae a 2.5 m de altura en un ángulo de 35° respecto del primer cilindro a lo largo de un tubo de 3 m (Figura 4). Esto es suficiente para que la semilla resbale de manera fluida sin comprometer su integridad.
- 4) Al igual que el resto del proceso también existe maquinaria diseñada para la aplicación de tratamiento, cuyo principio básico es tratar de utilizar la menor cantidad de dispersante (agua) posible, sin embargo, es necesario que el equipo sea calibrado y que antes de empacar se determine la humedad. En este sentido, la humedad para empacar la semilla debe ser entre 9 a 11 % en el caso de las



semillas ortodoxas como el maíz y frijol.

- 5) Hoy día la mayoría de las empresas de semillas venden su producto por número de semillas. Sin embargo, lo que no cambia es el material utilizado para el empaquetado, el cual es a base capas de papel con una capa interna de polietileno. Como se ha mencionado anteriormente, las semillas son seres vivos y como tal respiran, por lo que al almacenarlas en este tipo de envase permite su transpiración sin comprometer su integridad. Además de su facilidad al manejo.



Primera caída de la altura máxima a la que se elevan las semillas

Figura 4. Planta de beneficio de semillas del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco del INIFAP.

En el caso del sistema local de producción de semilla, debido a la falta de maquinaria para la clasificación de semilla se realizan actividades que tienen principios similares. En el caso del maíz, las mazorcas seleccionadas se desgranaban a mano, y solo la parte central de la misma para obtener tamaños homogéneos. La semilla desgranada se ventea manualmente para eliminar tamo y semilla vana. Por lo que hay áreas de



oportunidad que deberán ser exploradas para mejorar el beneficio de las semillas, aprovechando los elementos existentes en cada región.

Desarrollo tecnológico desde la producción hasta el beneficio de las semillas

Como en cualquier disciplina, las investigaciones en semillas avanzan sobre los cimientos que sus resultados forman, sin embargo, las necesidades por resolver siguen siendo mayores. Los cambios en las políticas públicas han tenido consigo impactos tales como el aumento considerable en la producción de maíz en las zonas de riego y de buen temporal, la formación de un mercado de semillas y empresas nacionales consolidadas, entre otras. Además, ha tenido impacto en quienes tienen la capacidad para realizar investigación en tecnología de semillas. Con la participación de la iniciativa privada la capacidad de distribución de semillas mejoradas aumentó; sin embargo, el desarrollo tecnológico se privatizó y su acceso se vuelve cada vez más complicado, debido a la protección intelectual. Bajo este escenario, es necesario que las instituciones públicas trabajen con las semilleras emergentes, las micro y pequeñas empresas para el desarrollo de tecnología adecuada a sus necesidades. Entre las líneas prioritarias de investigación destacan:

- Manejo agronómico de líneas sobresalientes,
- Sincronización floral en la producción de híbridos,
- Métodos de multiplicación de variedades que garanticen la pureza genética sin afectar el vigor de las semillas,
- Tecnología para la crioconservación de polen y su uso en la polinización dirigida,
- Nanotecnología y tratamientos biológicos de las semillas,
- Diseño y desarrollo de equipo para micro y pequeños productores de semillas. y
- Vida útil de la semilla.

Conclusiones

Al beneficiar las semillas su calidad genética, física, fisiológica y sanitaria mejora sustancialmente, otorgando ventajas significativas al momento de su siembra y etapas fenológicas posteriores. Los principios por los cuales se realiza, la limpieza, clasificación, tratamiento y almacenamiento son los mismos tanto en el sistema local como formal de producción de semillas, la diferencia radica en el rigor y uso de la tecnología que hacen en el sistema formal. Por lo que es necesario seguir desarrollando trabajos en el beneficio de semillas tanto en el sistema local como formal de semillas en México.

Referencias

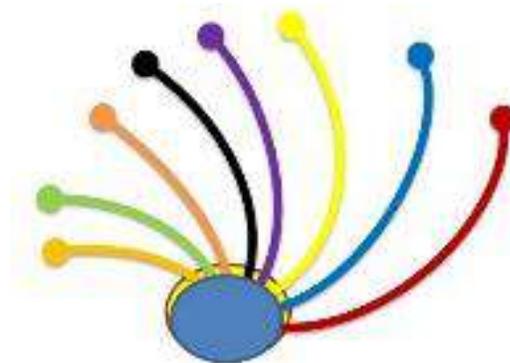
Bautista-Ramírez, E., Rubio-Camacho, E. A., Sangerman-Jarquín, D. M. y González-Santos, R. (2022). ¿Qué publican las revistas mexicanas en tecnología de



- semillas? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(8), 1457-1467. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i8.3352>
- Castillo-Quiroz, D., Antonio-Bautista, A., Ávila-Flores, D. Y., Sáenz-Reyes, J. T. y Castillo-Reyes, F. (2018). Tratamientos químicos y biológicos para estimular la germinación en semillas de *Nolina cespitifera* Trel. *Polibotánica*, (45), 147-156. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.11>
- Copeland, L. O. y McDonald, M. F. (2012). *Principles of seed science and technology*. Springer Science & Business Media. 467p.
- Cordova-Tellez, L. y Burris, J. S. (2002). Alignment of lipid bodies along the plasma membrane during the acquisition of desiccation tolerance in maize seed. *Crop science*, 42(6), 1982-1988.
- Cordova-Tellez, L. y Burris, J. S. (2002). Embryo drying rates during the acquisition of desiccation tolerance in maize seed. *Crop science*, 42(6), 1989-1995.
- Escobar-Álvarez, J. L., Ramírez-Reynoso, O., Saguilán, P. C., Gutiérrez-Dorado, R., de los Ángeles Maldonado-Peralta, M. y Valenzuela-Lagarda, J. L. (2021). Viabilidad y germinación en semillas de maíz criollo del estado de Guerrero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(II). <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2963>
- Ley sobre Producción, Comercio y Certificación de Semillas, Diario Oficial de la Federación (D.O.F). 15 de junio de 2007 (México).
- López-Torres, B. J., Rendón-Medel, R. y Camacho Villa, T. C. (2016). La comercialización de los maíces de especialidad en México: condiciones actuales y perspectivas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE15), 3075-3088.
- MacRobert, J.F., Setimela, P.S., Gethi, J. y Worku, M. (2014). *Manual de producción de semilla de maíz híbrido*. México, D.F. CIMMYT. 36 p.
- Moreno, M. E. (1996). *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. 3ra. Ed. Instituto de Biología, UNAM. México. 393 p.
- Popinigis, F. (1985). *Fisiología da sementé*. 2da. Ed. Brasilia. 289 p.
- Ruiz-Ramírez, S., Bautista-Ramírez, E., Ramírez-Díaz, J. L., Salinas-Moreno, Y., Alemán-De la Torre, I. y Cortés-Cruz, M. A. (2022). Factores determinantes en la producción de semillas de maíz, perspectiva de las empresas semilleras del Occidente de México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1). <https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081003>

Micropropagación de portainjertos de aguacate como herramienta biotecnológica para el mejoramiento del cultivo

Magali Ruiz-Rivas
Flor de Fátima Rosas-Cárdenas
Luis Mario Tapia-Vargas
Anselmo Hernández-Pérez
Víctor Manuel Coria-Ávalos





Introducción

México es el país considerado como la zona más importante productora del cultivo de aguacate a nivel internacional, Michoacán particularmente es el estado denominado como región histórica en la producción del fruto. En el año 2023, México conservó su posición como la principal nación exportadora de aguacate la cual contribuyó con el 30% de la producción mundial de la fruta, con un incremento de alrededor del 6% en la producción durante la última década. Así pues, al conocer la importancia del cultivo de aguacate en el país, se hace necesario contribuir al fortalecimiento del sistema producto mediante la generación y uso de herramientas biotecnológicas que permitan subsanar problemas en las unidades de producción, ya que, aunque el manejo en el cultivo de aguacate hasta estos momentos ha resultado eficiente, es necesario adaptarse a los nuevos retos en la agricultura, donde los factores que limitan la producción se ubican tanto en bióticos como en abióticos. Dentro de los factores de origen biótico; destacan enfermedades como antracnosis, Sunblotch y la tristeza del aguacatero; esta última ocasionada por el Oomiceto *Phytophthora cinnamomi*, con epifitias muy severas, ya que le enfermedad afecta al sistema radical del árbol hasta ocasionar su muerte. Por otro lado, los factores abióticos se centran en problemas que ocasionan estrés fisiológico en las plantas debido a las malas condiciones del suelo como altas concentraciones de sales, erosión, pérdida de la biodiversidad microbiana benéfica y la falta de agua por periodos prolongados que deriva en sequía y como contraparte lluvias torrenciales que ocasionan la inundación de suelos; además de las altas temperaturas ocasionadas por el cambio climático, las cuales influyen directamente en la fisiología reproductiva de los árboles, esto conlleva finalmente a la disminución en la producción del fruto o en el peor de los casos a la muerte de las unidades de producción. En un intento por subsanar estas problemáticas y con el uso de la Biotecnología, a través de la técnica de cultivo de tejidos vegetales en condiciones *in vitro*, se busca la estandarización de protocolos con el objetivo de lograr la propagación masiva de ejemplares con características de resistencia a factores tanto bióticos como abióticos. Actualmente ya se han reconocido y ubicado ejemplares con características de resistencia, pero aún no se ha desarrollado metodología alguna que sea completamente eficiente para la propagación clonal de los mismos, donde cada unidad de producción conserve las características fisiológicas deseables del árbol del que tiene origen, que a su vez permita la adaptación a condiciones ambientales desfavorables.

Por consiguiente, en este capítulo abordaremos temas relacionados con la técnica de cultivo *in vitro* de tejidos vegetales y su uso potencial como una de las herramientas Biotecnológicas para la propagación de ejemplares con características de tolerancia a diferentes tipos de estrés bióticos y abióticos para el desarrollo y mejoramiento del cultivo de aguacate en México.



Los términos de resistencia y tolerancia pueden confundirnos, pero es importante saber distinguirlos. La tolerancia se determina por la capacidad del árbol para continuar con su ciclo de vida aún con la presencia de algún fitopatógeno, en otras palabras, la producción del fruto se mantiene aún con el fitopatógeno o la enfermedad presente; en cambio, la resistencia involucra mecanismos de defensa activos propios del árbol, los cuales mitigan la infección, colonización o reproducción del agente fitopatógeno; Así pues, los árboles resistentes presentan infecciones leves o nulas, por lo que la enfermedad no logra desarrollarse.

A lo largo de los años, las investigaciones en el cultivo de aguacate se han adecuadas a las diferentes necesidades; en este momento se cuenta con variedades portainjertos con características de resistencia a enfermedades ocasionadas por el Oomiceto *Phytophthora cinnamomi*, tales como: “Duke 7”, “Velvick”, “Merensky 2 (Dusa)”, “Bounty”, “PP4 (Zentmyer)”, “PP14 (‘Uzi)”, “PP24 (Steddom)”, “J-Gallo (Julian)”, “Day (VC 207)”, “SHSR-04”, pero también se menciona a “Toro Canyon”, para resistencia a *Phytophthora citricola*, a “Albacia” para resistencia a *Rosellinia necatrix*, a “VC 51” para tolerancia a riego con agua salina, a “Borchard” para tolerancia a suelos calcáreos solo por mencionar a los más importantes.

Importancia de la estandarización de protocolos de cultivo *in vitro* de árboles portainjertos de aguacate para su propagación masiva

La producción del fruto de aguacate se ve influenciada por el tipo de inflorescencia que desarrolle (determinada e indeterminada), además de considerarse una especie de polinización cruzada y altamente heterocigótica, por lo que las progenies resultan impredecibles, así que aquellas producidas por un sólo árbol son extremadamente variables a nivel genotípico y fenotípico.

La micropropagación clonal de tejidos vegetales en condiciones *in vitro*; permite mantener linajes genéticos idénticos al material vegetal que les dio origen, lo que facilita la propagación de material vegetal perteneciente a ejemplares con características de resistencia ante factores bióticos y abióticos.

Con respecto a las unidades productivas de aguacate, estas se conforman por la variedad de producción y por el árbol portainjerto, este último confiere características como resistencia a enfermedades, al pH del suelo, salinidad del agua, falta de humedad; además de interferir en la productividad, ya que influye en características morfológicas y fisiológicas mediante un aumento en la eficiencia por área de copa, menor alternancia en la producción, mayor o menor capacidad de absorber nutrientes del suelo, menor porte, adelanto de floración y de cosecha, mayor acumulación de aceite en el fruto, mejora en el comportamiento postcosecha y mayor resistencia del fruto a antracnosis.

Actualmente el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), cuenta con selecciones de árboles de aguacate resistentes a



enfermedades, los cuales tienen potencial para ser utilizados como portainjertos, siempre y cuando se logre mantener las características genotípicas y fenotípicas del ejemplar del cual tuvieron origen. Aunque el método de acodo sigue siendo de utilidad para la propagación de especies de aguacate, tiene como inconveniente un bajo número de clones, sin considerar el daño físico al que se somete el ejemplar donante al ser mutilado indeterminado número de veces; por tal motivo, es necesario la generación de tecnologías en el sistema producto aguacate que permitan la propagación clonal de selecciones con características de tolerancia a enfermedades que no sacrifiquen al árbol del cual tienen origen.

Aunque en nuestro país, el método de injerto, con sus diferentes variantes es el más utilizado para la propagación comercial de variedades de aguacate (Frolich y Platt, Brokaw, Allesbeste); los árboles portainjertos utilizados en dicho método aún tienen origen a partir de semillas, lo que lleva a una alta tasa de variabilidad y con ello la pérdida de características favorables para el cultivo, ya que, como se mencionó anteriormente, los árboles portainjerto ofrecen a la unidad productiva el sistema radical, con toda la importancia que esto conlleva.

Así pues, el cultivo de tejidos y células representa una alternativa efectiva e interesante en el área de Biotecnología Vegetal, ya que permite la clonación y propagación masiva así como el mantenimiento del material vegetal en condiciones ambientales controladas (temperatura, luz y tensión de oxígeno), libres de patógenos (virus, bacterias y hongos), en un espacio reducido y con estabilidad genética con un alto rendimiento, lo que facilitará futuros estudios moleculares que ayudarían para la selección y clonación de plantas con características deseables, para generar información sobre posibles moléculas o genes marcadores de resistencia a estrés biótico (por ejemplo: trips, araña roja y cirsitalina, barrenador de la semilla y ramas, *Phytophthora cinnamomi*, *Sphaceloma perseae*, *Colletotrichum gloeosporioides*) o abiótico (frío, calor o sequía), esto permitiría la selección y mejora genética de ejemplares, así como su conservación en un banco de germoplasma (para poner a resguardo toda variedad de plantas de aguacate con las características deseadas), donde las plantas se puedan mantener libres de patógenos y listas para su aclimatación en campo.

Sin embargo, aunque el número de publicaciones científicas donde se mencionan protocolos completos para la propagación de tejidos vegetales de aguacate es extenso, lo cierto es que las diferentes técnicas para la propagación mediante cultivo *in vitro* de ejemplares varían entre especies, debido a factores que influyen en la estandarización de la técnica, principalmente el estado fisiológico del árbol; que repercute directamente en la concentración de fitohormonas, la cantidad de microorganismos a los que se encuentran expuestos los ejemplares y las condiciones climáticas en la toma del material



vegetal; todo esto lleva a generar protocolos específicos para cada árbol, con una considerable inversión de tiempo y costos de laboratorio para la adaptación de la técnica.

En este momento no operan laboratorios en el país destinados específicamente para tal fin, posiblemente debido a la existencia de pasos críticos en los protocolos, que como se mencionó anteriormente requieren ser estandarizados específicamente para cada árbol, ni aunque seleccionados los tejidos vegetales de los árboles con las características deseables para su propagación (varetas con yemas vegetativas), aun así existen pasos críticos en el proceso de adaptación de los tejidos vegetales a condiciones asépticas, como la desinfección de los tejidos, uno de los principales y críticos; ya que al tratarse de ejemplares sometidos a condiciones ambientales presentan una gran cantidad de microorganismos tanto en tejidos superficiales como de forma endógena; otro punto a cuidar es la oxidación de los tejidos, la vitrificación, la generación y desarrollo de estructuras vegetales, como lo es el cuello de botella el desarrollo de raíces en condiciones *in vitro* y la adaptación de las plántulas a condiciones de invernadero. Aún con todas estas condicionantes, se vuelve necesario establecer un sistema de propagación masiva eficiente en este cultivo, el cual es altamente requerido por la industria del aguacate.

Fitoreguladores utilizados en técnicas de propagación mediante cultivo *in vitro*

El uso de fitoreguladores en las técnicas de cultivo *in vitro* favorece el desarrollo de estructuras vegetales al acelerar los procesos de reproducción celular, debido a que intervienen directamente en los mecanismos metabólicos y fisiológicos de los tejidos vegetales.

Como primera mención se encuentran las citocininas, fitohormonas encargadas de accionar los distintos procesos en la planta relacionados con crecimiento y desarrollo, ya que promueven la diferenciación celular y la inducción de yemas en callos y órganos. Por su origen pueden clasificarse en dos grupos, naturales y artificiales; las primeras se sintetizan en la raíz y meristemas apicales; mientras que las de origen sintético, representadas por 6-Bencilaminopurina y Tidiazuron y son mucho más eficientes que las hormonas de origen natural, ya que interfieren en la inducción de nuevos brotes en plantas leñosas y herbáceas. Han sido pocas las citocininas naturales aisladas e identificadas, la más ampliamente distribuida es la zeatina, extraída del endospermo del maíz, que además de ser la citocinina natural más potente, está presente tanto en plantas superiores como en inferiores. Al igual que con los demás reguladores de crecimiento, las citocininas tienen un intervalo amplio de efectos regulatorios, éstas promueven la división celular y el efecto tiene lugar en concentraciones tan bajas como 5×10^{-11} M; mientras que en concentraciones de 5×10^{-8} M inhiben el crecimiento de las raíces, inhiben la elongación del tallo, estimulan el alargamiento de hojas, actúan en el retraso de la senescencia, en la dominancia apical y tienen un papel fundamental en la organogénesis,



ya que pueden inducir la brotación de yemas en tejidos vegetales en condiciones *in vitro*. Para la fase de iniciación del cultivo *in vitro* de aguacate en condiciones controladas las citoquininas más utilizadas han sido Benciladenina (BA), en concentraciones que van desde 0.1 – 2.0 mgL⁻¹ sola o en combinación con ácido Giberélico (AG₃); la Kinetina (Kin) en concentraciones de 0.01 mgL⁻¹ combinada con Ácido Indol Butírico (AIB) y finalmente la Metatopolina (MT) en una concentración de 0.1mgL⁻¹ sola o en combinación con AG₃ 0.1mgL⁻¹.

Las giberelinas descubiertas en la época de los años 30 por científicos japoneses son conocidas por promover el crecimiento del grupo de los diterpenoides tetracíclicos que actúan en varios procesos de desarrollo de vegetales, se utilizan en el cultivo de meristemos y para elongación de las regiones subapicales del explante, ya que inducen división celular, lo que se traduce en una mayor área foliar y biomasa en las hojas, aumentando el tamaño de éstas; aunque existen más de 100 de estas hormonas, sólo unas cuantas son las que tienen actividad biológica. La giberelina más utilizada en la micropropagación de aguacate es AG₃ en concentraciones de 0.1mgL⁻¹; siempre en combinación con alguna citoquinina, lo que hace pensar en un efecto sinérgico.

Las auxinas fueron las primeras hormonas vegetales descubiertas, y tienen un papel relevante en la regulación de varios procesos del desarrollo y crecimiento de las plantas. La forma predominante en las plantas, es el ácido indolacético, que se encuentra en las regiones de la planta donde tiene un crecimiento activo como en meristemos apicales, hojas jóvenes y frutos. En el cultivo de tejidos vegetales, éstas ayudan a la inducción y elongación celular, así como la promoción de raíces adventicias, el crecimiento inicial de los meristemos y desarrollo de callos. Las auxinas más utilizadas en el cultivo de aguacate son el ácido indol butírico (AIB), ácido indol-acético (AIA) y Ácido Nafatalenacético (ANA) en concentraciones de 0.1 a 4mgL⁻¹.

Es importante mencionar que el movimiento de las auxinas señala la síntesis de etileno e incrementa la dominancia del ácido giberélico en los puntos de desarrollo vegetal como los meristemos en concentraciones adecuadas, y que a su vez el etileno, que influye en muchas características del desarrollo y crecimiento de las plántulas puede alterar la señalización, la síntesis o el transporte de estas, o en muchos casos los tres mecanismos así pues, un exceso en las concentraciones de auxinas pueden actuar de forma negativa en el desarrollo de raíces, de ahí la importancia de evaluar protocolos.

Estandarización de protocolos de propagación clonal mediante cultivo *in vitro* de tejidos vegetales

Aunque el método de acodo sigue siendo de utilidad para la propagación de especies de aguacate, tiene como inconvenientes un bajo número de clones, además de representar un daño físico para la unidad productiva; por tal motivo, es necesario la estandarización



de protocolos y tecnologías en el sistema producto aguacate que permitan la propagación clonal masiva de selecciones con características de resistencia a enfermedades que no sacrifiquen al árbol del cual tienen origen.

El cultivo *in vitro* de especies vegetales ofrece las ventajas de que en un medio aséptico se puedan reproducir gran cantidad de plantas, en menor tiempo y espacio, a partir de los explantes de una planta madre. El desarrollo se da en un ambiente controlado y libre de patógenos, pudiendo producirse en cualquier época del año, así mismo reduce la posibilidad de generar pérdidas genéticas por cruzamiento, aunque en el caso del aguacate aún no se ha obtenido de manera efectiva un método de micropropagación clonal masivo que pueda ser aplicado para cualquier especie de aguacate.

El proceso de micropropagación de especies vegetales se resume en cinco etapas (Figura 1): la primer etapa es la selección de la planta madre de acuerdo con las características fisiológicas o fenotípicas que se desean, tales como árboles de porte bajo, buen comportamiento de vida poscosecha de los frutos, rendimiento y eficiencia productiva, época de producción (cubrir todo el año), sin alternancia y con alta concentración de la producción, tolerancia a temperaturas frías, cálidas, uso eficiente del agua, resistencia a plagas y enfermedades, la segunda etapa es el establecimiento del cultivo en condiciones asépticas; donde se procede a la descontaminación de los explantes vegetales para la obtención de cultivos axénicos con explantes viables, los cuales no deberán presentar oxidación ni necrosis; los principales medios de cultivo utilizados en el cultivo *in vitro* de aguacate son principalmente Murashige and Skoog (MS) en concentraciones diluidas a la mitad y Woody Plant Medium (WPM); una vez seleccionado el medio basal se da paso a la tercera etapa denominada multiplicación, donde los explantes previamente descontaminados y viables son colocados en medios de cultivo adicionados con fitoreguladores, los cuales son requisito indispensable en las técnicas de cultivo *in vitro* utilizadas para la generación de estructuras vegetales; para este paso se destaca el uso de citoquininas que promueven la división celular y desarrollo de brotes, entre las cuales se encuentran: Bencil Adenina, Bencil- Amino Purina (BAP), Tidiazuron (TDZ), Zeatina (ZEA), Metatopolina (MT), así como las giberelinas que regulan procesos de crecimiento en tallos y generación de hojas (AG₃), diversos estudios han tenido mejores resultados al aplicar combinaciones de estas en comparación con el uso de estas por separado. Una cuarta etapa es la generación de raíces en los explantes, la cual se lleva a cabo adicionando auxinas al medio de cultivo, estas tienen la capacidad de regular el crecimiento y división celular en las zonas radicales, estimulando la generación y aparición de raíces; ejemplo de ellas son: el Ácido Indol Acético (AIA), Ácido Nafatalen Acético (ANA) y Ácido Indol Butírico (AIB) las más utilizadas en la propagación clonal de aguacate. Finalmente, la última etapa es la de aclimatación, donde las plántulas con presencia de raíces son llevadas a condiciones de invernadero en sustrato hasta su posterior colocación en campo.



Figura 1. Etapas del proceso de propagación de explantes de aguacate variedad criollo en condiciones *in vitro*.

Problemas comunes encontrados en la micropropagación de aguacate

El proceso de desinfección de los tejidos vegetales representa un paso crucial para el establecimiento del cultivo *in vitro*, ya que influye de manera directa en la calidad de los explantes; pues si se utilizan sustancias abrasivas, oxidantes o deshidratantes en altas concentraciones o durante largos periodos estos dañarán a las células vegetales e impedirán su desarrollo normal pero sino se utilizan, se corre el riesgo de contaminación en el medio de cultivo por parte de microorganismos tanto endófitos como ambientales, ya que la velocidad de crecimiento de los microorganismos es mayor que la de las células vegetales; lo que conlleva a los explantes a la muerte por oxidación como consecuencia de la secreción de metabolitos secundarios de los microorganismos durante su crecimiento. Por ello es necesario estandarizar las condiciones para obtener cultivos asépticos con material vegetativo de calidad, libres de microorganismos patógenos y sin oxidación celular. En el cultivo de aguacate los desinfectantes más comunes son: etanol al 70%, hipoclorito de sodio o calcio al 3% y una o dos gotas de Tween 20 (monolaurato de polioxietilensorbitano).

Durante el proceso de micropropagación de aguacate se puede encontrar un fenómeno denominado “Hiperhidricidad”, el cual es un desorden fisiológico que ocurre durante la fase de proliferación o multiplicación y que tendrá efectos negativos en la capacidad de enraizamiento y aclimatación de los explantes. Este desorden se ve fuertemente influenciado por el largo tiempo de estímulo de Benciladenina (BA), en el



medio de cultivo, o por las diferentes edades ontogénicas ya que los explantes juveniles son más fáciles de recuperarse en comparación con los adultos. Existen dos tipos de hiperhidricidad que pueden distinguirse en los explantes de aguacate; una denominada hiperhidricidad “suculenta” o letal, donde los tejidos presentan un aspecto anormal con síntomas de hinchazón, callos en la base, hojas y brotes de color verde pálido, y un drástico decremento en las capacidades de elongación y proliferación; la otra “no suculenta” los explantes toman una coloración verde oscuro con un aspecto húmedo, si bien esta condición no impide la proliferación ni el enraizamiento sí podría limitarlos o retrasarlos.

Diversos autores mencionan diferencias en la capacidad de enraizamiento y aclimatación de los portainjertos de aguacate propagados mediante cultivo *in vitro*, por lo que un protocolo estandarizado para una variedad o especie puede no funcionar para otra. Estas diferencias están relacionadas con las características estructurales específicas del portainjerto. Estudios en la universidad de Queensland, Australia encontraron que algunas diferencias estructurales entre variedades de portainjertos “Reed” y “Velvick” como son haces vasculares, hojas y raíces de plántulas cultivadas en tejidos, índice estomático, densidad estomática, densidad de tricomas, densidad de los islotes venosos, densidad de terminación de las venas y un cambium fascicular prominente y menos fibras del floema en los tallos se correlacionan positivamente con la capacidad de enraizamiento. El éxito de la aclimatación se correlacionó positivamente con la presencia de xilema secundario completamente diferenciado en la raíz. La presencia de células epidérmicas más pequeñas, una alta densidad estomática y una densidad reducida de terminaciones venosas se asociaron con un menor éxito de aclimatación. Estos hallazgos respaldarán las estrategias de optimización para la micropropagación no solo de portainjertos de aguacate difíciles de enraizar y de aclimatar, sino también de otras plantas leñosas perennes que experimentan problemas similares.

De acuerdo con estos antecedentes sobre los procesos de enraizamiento se puede plantear el uso de hormonas vegetales para inducir el cambium fascicular, mediante el incremento de los periodos con auxinas para permitir el xilema completamente desarrollado o con el hacer uso de diferentes concentraciones o mezclas de auxinas, sin dejar de lado los efectos de las altas concentraciones de estas.

Cultivo *in vitro* como herramienta Biotecnológica para el aguacate en México y su relación con el cambio climático global

El cultivo de aguacate requiere un ambiente cálido y subhúmedo para su desarrollo; sin embargo, variaciones violentas de temperatura como las que vivimos actualmente debidas al cambio climático afectan la fisiología del árbol, ya que alteran la polinización,



aceleran el desarrollo del cultivo disminuyendo el tiempo de los ciclos de maduración lo que lleva a la generación frutos de menor calidad.

En estos momentos es verdaderamente útil conocer información completa sobre cómo el cambio climático ha impactado en el desarrollo de enfermedades en aguacate. De antemano se sabe que el sistema radical del aguacate otorgado por variedades criollas como portainjertos es superficial y relativamente ineficiente para la absorción de agua, lo que lo hace susceptible a la pudrición de las raíces, enfermedad conocida en México como “tristeza del aguacatero”, ocasionada por el Oomiceto *Phytophthora cinnamomi*, es por esta razón que se voltea la mirada hacia el sistema de reproducción vegetal mediante la herramienta de cultivo *in vitro*, la cual ha mostrado alta eficiencia en la propagación de especies vegetales, por lo que se hace necesario estandarizar protocolos en plantas de aguacate, los cuales facilitarían los estudios y la multiplicación masiva de clones con características deseables, como la tolerancia o resistencia a factores bióticos y abióticos. La micropropagación en aguacate se puede enfocar en la multiplicación de especies de aguacate que presenten tolerancia a enfermedades o con resistencia a condiciones de suelos salinos o calcáreos.

El desarrollo de enfermedades en cultivos de interés comercial es consecuencia de procesos interactivos complejos entre un agente primario y una planta susceptible en el marco de un ambiente adecuado, que en la literatura fitopatológica se ha ilustrado generalmente por el denominado triángulo etiológico, conformado por: 1. Un ambiente favorable en el desarrollo de las enfermedades, 2. La presencia de un huésped susceptible y 3. Un patógeno virulento. Aunque el ambiente etiológico incluye componentes bióticos, por ejemplo, microbiota propia del suelo y las superficies vegetales, e insectos vectores que contribuyen a la dispersión de los patógenos y a la infección de la planta por ellos, generalmente son los de naturaleza abiótica como exceso o insuficiencia de agua, humedad relativa y nutrientes; temperaturas desfavorables; concentración insuficiente de O₂, exceso de CO₂, los factores ambientales de mayor importancia. Puesto que las variaciones de dichos factores asociadas con el Cambio Climático inciden sobre cada uno de los tres componentes del triángulo etiológico, los impactos potenciales que dichas variaciones pueden tener sobre las enfermedades de los cultivos han sido considerados de interés estratégico por los fitopatólogos.

Entre las repercusiones asociadas con el Cambio Climático, las concernientes a la temperatura, precipitación y humedad ambiental, y el incremento en la concentración de CO₂ atmosférico, son las que repercuten en mayor extensión sobre los componentes del triángulo etiológico, y potencialmente pueden determinar efectos más significativos sobre la incidencia y severidad de las enfermedades en los cultivos. La valoración eficiente y predicción de los impactos que dichas variaciones pueden tener sobre la



sanidad de los cultivos y la protección de sus rendimientos, constituyen uno de los retos más importantes que afronta actualmente el campo.

Como resultados de diversas investigaciones sobre la epidemiología de las enfermedades, se ha demostrado que las modificaciones ambientales asociadas con el Cambio Climático pueden dar lugar a alteraciones importantes en: a) los ciclos vitales de los agentes fitopatógenos; b) el desarrollo de la patogénesis en las enfermedades; y c) la fisiología de las interacciones entre la planta y el patógeno. Lo que resulta en efectos directos sobre: a) la distribución geográfica de los patógenos, b) la incidencia y severidad de las enfermedades y las pérdidas de rendimiento que éstas originen y c) la eficiencia de las estrategias empleadas para el control de las enfermedades.

Mejoramiento genético y herramientas moleculares

Existe una amplia diversidad genética de aguacate en México que se puede usar para identificar genes involucrados en rasgos importantes, como la calidad de la fruta y el tamaño del árbol, mediante el mapeo de asociación; dado que ya se encuentra disponible el transcriptoma del aguacate raza mexicana, será posible estimar la función de cada uno de los diferentes genes detectados y sugerir su asociación a alguna característica agronómica de interés.

Investigadores en nuestro país han completado un borrador del genoma del aguacate, la estimación actual sugiere que el genoma del aguacate contiene aproximadamente 34,000 genes; 29,345 con evidencia de actividad transcripcional. El estudio revela que el popular aguacate variedad Hass, que comprende la mayor parte de todos los aguacates cultivados y consumidos a nivel mundial, heredó aproximadamente el 61 por ciento de su ADN de variedades mexicanas y aproximadamente el 39 por ciento de las guatemaltecas. Además del aguacate Hass, los científicos también secuenciaron aguacates de México, Guatemala y las Indias Occidentales, que albergan variedades nativas genéticamente distintas de la fruta.

A partir de los resultados de la elucidación del genoma del aguacate, será posible realizar cruza y con ello acelerar los procedimientos de mejoramiento genético del fruto, lo que permitirá realizar estudios de asociación con el genoma, con la firme intención de identificar características que en el mediano plazo permita tener árboles de aguacate con características deseables como lo son aquellas variedades adaptadas a fenómenos como la sequía prolongada, periodos de temperaturas extremas y la aparición de nuevas plagas, de ahí la relevancia de continuar con la investigación, así como implementar un programa integral de mejoramiento genético a nivel nacional, para que los hallazgos se vean reflejados en beneficios para los agricultores.

De esta manera, mediante la estandarización de protocolos de cultivo *in vitro* de especies de aguacate sería posible en un futuro evaluar la modificación genética de especies, con el objetivo de buscar mejoras en el cultivo, ya que al tratarse de sistemas



aislados y controlados no representarían peligro alguno para los ecosistemas y sí enormes ventajas en los estudios moleculares.

Conclusiones

En conclusión, es evidente que los procesos de desinfección y enraizamiento son los cuellos de botella en la generación de clones. Aunque en el grupo de trabajo hemos logrado estandarizar un método con alta eficacia para la obtención de explantes de aguacate en condiciones asépticas; así como la implementación de un protocolo con una alta eficiencia en la generación de estructuras aéreas en los explantes. Se logró la generación de raíces en un sistema de cultivo *in vitro* en explantes de aguacate variedad criollo mediante el uso de Ácido Indol Butírico adicionado en el medio de cultivo. Pero será necesario trabajar con un método que permita un aumento en el porcentaje de raíces en condiciones *in vitro*, esto se podría lograr con la variación sobre la concentración de fitoreguladores o con el uso de mezclas de estos mismos.

La estandarización y uso de la técnica de cultivo *in vitro* facilitaría futuros estudios moleculares que ayudarían para la selección y clonación de plantas con características deseables, para generar información sobre posibles moléculas o genes marcadores de resistencia a estrés biótico (por ejemplo: trips, araña roja y crisalina, barrenador de la semilla y ramas de aguacate, *Phytophthora cinnamomi*, *Sphaceloma persea*, *Colletotrichum gloeosporioides*, etc.) o los de tipo abiótico (salinidad del suelo, temperaturas extremas y sequía), lo que permitiría la selección y mejora genética de ejemplares, así como su conservación en un banco de germoplasma (para poder poner a resguardo toda variedad de plantas de aguacate, donde las plantas se puedan mantener libres de patógenos y listas para su aclimatación en campo.

Referencias

- Alberti, M. F., do Amaral Brogio, B., da Silva, S. R., Cantuarias-Avilés, T. & Fassio, C. (2018). Advances in propagation of avocado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(6), 1–18. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018782>
- Alcántara, J., Godoy, A., Alcántara, J. & Sánchez, R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 32, 109–129. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v17n32/1794-2470-nova-17-32-109.pdf>
- Bandaralage, H. J. C., Hayward, A., O'Brien, C. & Mitter, N. (2015). Gibberellin and cytokinin in synergy for a rapid nodal multiplication system of avocado. *Actas Proceedings Recursos Genéticos y Manejo de Viveros*, 99-103. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:417386#.WTbpPyx7C7w.mendeley&title=Gibberellin and cytokinin in synergy for a rapid nodal multiplication system of avocado - UQ eSpace>



- Barceló, A. & Pliego, F. (2003). *Micropropagation of avocado* (Persea americana Mill).
- Barrientos, A. (2017). Present and future of avocado rootstocks and varieties in the world and Mexico. *Memorias Del V Congreso Latinoamericano Del Aguacate.*, 1–14.
- Boland, G. J., Melzer, M. S., Hopkin, A., Higgins, V. & Nassuth, A. (2004). Climate change and plant diseases in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26(3), 335–350. <https://doi.org/10.1080/07060660409507151>
- Castañón, Z. & Leal, J. M. (2018). Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate (Persea americana Miller), causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Temas Agrarios*, 23(2), 131–143. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1297>
- Coakley, S. M. & Scherm, H. (1999). Cambio climático y manejo de las enfermedades en plantas. *Climate Change and Plant Disease Management*, 876(6), 399–426. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.37.1.399>
- Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N. & Travers, S. E. (2006). Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 44, 489–509. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143420>
- Hiti-Bandaralage, J., Hayward, A., & Mitter, N. (2022). Structural Disparity of Avocado Rootstocks *In Vitro* for Rooting and Acclimation Success. *International Journal of Plant Biology*, 13(4), 426–442. <https://doi.org/10.3390/ijpb13040035>.
- Jain, S.M. & Häggman, H. (2007). Protocols for micropropagation of woody trees and fruits. In *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits* (Issue October 2018). <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6352-7>.
- López, G.R., Cortés, R.M., Herbert, M.P., de la Luz Sánchez, P.J., Vidales, F., Fernández, P.I., Chávez, G.A. & Salgado, G.R. (2007). Micropropagación y pruebas de resistencia *in vitro* a *Phytophthora cinnamomi* de materiales de aguacate raza mexicana. *Proceedings VI World Avocado Congress*, 978, 1–6.
- Manning, W. J. & v. Tiedemann, A. (1995). Climate change: Potential effects of increased atmospheric Carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃), and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. *Environmental Pollution*, 88(2), 219–245. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(95\)91446-R](https://doi.org/10.1016/0269-7491(95)91446-R)
- Palomares, A.M.E., Vidales, F.I., Guillén, A.H. & Salgado, G.R. (2003). Influencia de espacios de crecimiento, temperaturas e intensidades de luz en la conservación *in vitro* de germoplasma de aguacate. *Proceedings V World Avocado Congress*, 103–109.
- Rendón Anaya, M., Ibarra Laclette, E., Méndez Bravo, A., Lan, T., Zheng, C., Carretero Paulet, L., Perez Torres, C. A., Chacón López, A., Hernandez Guzmán, G., Chang, T. H., Farr, K. M., Brad Barbazuk, W., Chamala, S., Mutwil, M., Shivhare, D., Alvarez Ponce, D., Mitter, N., Hayward, A., Fletcher, S., ... Herrera-Estrella, L. (2019). The avocado genome informs deep angiosperm phylogeny, highlights



- introgressive hybridization, and reveals pathogen-influenced gene space adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(34), 17081–17089. <https://doi.org/10.1073/pnas.1822129116>
- Restrepo, C., Gil, A., Gómez, F. & Torres, J.U.A. (2018). *In vitro* propagation of avocado (*Persea americana*) cv. Hass by morphogenesis. *Acta Agronómica*, 67, 160–167. *In vitro* propagation of avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass) through morphogenesis (unal.edu.co)
- Rijswick, C., Magaña, D., Salinas, G. & Piggott, P. (2023). World Avocado Map 2023: Global Growth Far from Over.
- Teixeira, J., Dobránszki, J. & Ross, S. (2013). Phloroglucinol in plant tissue culture. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 49, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11627-013-9491-2>
- Vidales Fernández, I., Larios Guzmán, A., Tapia Vargas, L., Guillén Andrade, H. & Villaseñor Ramírez, F. (2011). Criopreservación de germoplasma de aguacate. *Proceedings VII World Avocado Congress*, VII(September), 5–9.

**Datos actuales en el cultivo de
zarzamora y resultados de un
proyecto estratégico en Michoacán**

Magali Ruiz Rivas
Rosalba Lira Ortiz
Anselmo Hernández Pérez
H. Jesús Muñoz Flores
J. Trinidad Sáenz Reyes
Lorena Jacqueline Gómez Godínez





Introducción

Actualmente México cuenta con 14 tratados comerciales internacionales vigentes, siendo el firmado con E.U.A. y Canadá el más amplio y antiguo, ya que se firmó en 1992, entrando en vigor en 1994; asimismo, México ha ampliado sus mercados a naciones de difícil acceso como son las asiáticas y las de medio oriente; esto gracias a que en nuestro país existe una amplia gama de sistemas de producción que cuentan con certificaciones reconocidas en mercados internacionales tales como la otorgada a productos orgánicos, productos de mercado justo, tipo Inspección Federal, así como certificaciones técnico religiosas (Kosher y Halal) para los mercados que así lo demandan. Entre los productos agropecuarios que más se exportan; y de los cuales Michoacán es el principal productor, de acuerdo con el SIAP en el año 2022, se encuentran el aguacate con 3,000 millones de dólares y las berries con 1,000 millones de dólares anuales; ubicando al cultivo de la zarzamora dentro de estas últimas, donde impacto social es alto, ya que genera al menos 3 empleos directos por hectárea, al dar ocupación a más de 100,000 jornaleros en actividades de manejo del cultivo, cosecha y corte de fruto; sin considerar a las personas que realizan actividades de transporte a empacadoras, comercialización, servicios técnicos, etc. Todo lo anterior ha permitido ofertar un producto de calidad, con alta aceptación en el mercado de exportación para la fruta de zarzamora a más de 31 países.

Cerca del 20% de la superficie total del estado de Michoacán está destinada para la producción de cultivos perennes y cíclicos; de este porcentaje la mayor proporción del espacio se ocupa para el cultivo de maíz seguido por la del aguacate, lo que deja a las berries, aún con su alto valor comercial, con únicamente el 2% de la superficie cultivada, colocando a este sistema producto en una posición de producción intensiva. Con esto como antecedente, los municipios de Michoacán más productivos en términos económicos son aquellos que producen aguacate o berries para exportación. Aun con una superficie limitada, Michoacán cuenta con 98.5% del total de la producción de berries a nivel nacional, lo que lo hace mantener la supremacía en la cosecha de este cultivo. Para el 31 de diciembre del 2020 se contaban con 8,675 hectáreas sembradas con zarzamora, de las que se obtuvo una producción de 201,336 toneladas con un rendimiento total de 23.629 ton/ha. El valor de producción de zarzamora en Michoacán se incrementó 23.4% comparado con lo obtenido en 2018. El precio pagado al productor de la zarzamora fue de 44 mil 393 pesos por tonelada.

Importancia económica del cultivo de zarzamora

El cultivo de zarzamora cuenta con dos temporadas de corte a lo largo del año, las cuales determinan la mayor oferta anual nacional de la mora: abril-junio (38.6%) y noviembre-diciembre (23.6%). El cultivo tiene un importante impacto económico y social, se calcula que se emplean 65 mil personas principalmente mujeres para su cuidado y cosecha con



un pago promedio de 400 pesos por jornada. El valor de la producción ha crecido casi cuatro veces en los últimos nueve años, se ha registrado aumento tanto en rentabilidad como en producción y superficie cosechada; estos dos últimos indicadores han crecido 2.5 y 1.9 veces, respectivamente. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) desde hace dos décadas el cultivo de zarzamora a nivel mundial ha mantenido un crecimiento anual constante del 3.1%, llegando a una producción de 527,000 t en el año 2000 y cerca de 927,344 t en el año 2020. En el caso de México, el cultivo de zarzamora ha mantenido un importante crecimiento de producción desde el año 2015 (123,000 t), alcanzando las 298,024 t en 2019; aunque, es importante señalar que en el año 2020 la producción y las áreas de zarzamora cosechadas en México disminuyeron respectivamente hasta 215,924 t y 9,554 ha debido a los efectos de la pandemia del COVID-19 y a afectaciones ocasionadas por el hongo *Fusarium oxysporum* y otros microorganismos de los géneros *Phytophthora* y *Rhizoctonia*.

Características de ancestros varietales del cultivo de zarzamora

El género *Rubus* presenta algunos de los problemas taxonómicos más difíciles, esto se debe en parte a la frecuencia de la poliploidía; así como a la frecuente aparición de hibridación y a la apomixis, donde se conservan diferencias menores entre plantas porque las plántulas son genéticamente idénticas a sus padres. Como resultado, el número de especies que deben ser reconocidas en una región determinada pueden variar enormemente. El género se representa como un arbusto vigoroso cuyos tallos son altos, arqueados angulados con lados surcados y pruinosos color violeta, de 6 a 10 mm de diámetro, los cuales están armados con espinas largas y curvadas; de 5 a 11 espinas por cada 5 cm, de base ancha (5 a 9 mm). Las hojas son pedadas, a veces digitadas compuestas de tres o cinco folíolos dispuestos radialmente, ligeramente vellosas en el haz, de fieltro blanco en el envés. Inflorescencia en panícula larga, generalmente bastante estrecha, con ramas extendidas y armadas, ellas y los largos pedicelos densamente cubiertos de pelos adpresos. Las flores suelen ser rosadas, a veces de color rosado brillante o blanco, con pétalos redondeados. Sépalos reflexos, densamente pilosos en el exterior. Frutos aromáticos, con drupas pequeñas.

Aunque la primera variedad introducida en Los Reyes, Michoacán fue 'Brazos' actualmente predomina 'Tupy', la cual ha sido liberada por las agroexportadoras y cuya ventaja consiste en requerir menos horas de frío, así como ser libres de uso.

Actualmente, se utiliza el sistema de producción forzada, al cual se adaptó perfectamente la variedad brasileña de uso libre 'Tupy', introducida desde la década de 1990; la cual responde muy bien a las prácticas culturales como son defoliación y poda de los arbustos, lo que ha permitido reemplazar el requisito de 100 a 200 horas frío y adelantar la cosecha de febrero a octubre para de este modo ampliar la época de producción Si bien la



variedad Tupy se presenta como una de las más utilizadas en México, en los últimos años ha presentado problemas ocasionados por enfermedades como el marchitamiento por *Fusarium*; hongo que ocasiona grandes pérdidas por la reducción en el número de plantas y llegando a impactar de manera importante en la calidad del fruto, por ello es importante trabajar en programas de mejoramiento genético con el objetivo de generar variedades que conserven dulzura, color, tamaño, jugosidad y textura, y que además sean resistentes a plagas y enfermedades.

El mercado actual ofrece diferentes variedades libres para la comercialización de planta de zarzamora con fines productivos, cada una con diferentes características fisiológicas que las distinguen, tales como volumen de producción, tipo de fruto (tamaño, color, dulzura, textura, forma), requerimientos nutricionales, requerimientos climáticos, tiempos de vida de anaquel, resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades.

A continuación se presentan las características más relevantes de las variedades que han funcionado como precursores de nuevas plantas para producción, las cuales pueden presentar ventajas frente a sus ancestros como mejoras en el manejo del cultivo o en la calidad de la fruta.

Variedad Tupy. Es resultado del cruce entre las variedades Uruguay y Comanche. Se trata de un cultivar comercial mundial que fructifica floricaña en regiones como América del Sur y Central. Los tallos son rastreros, muy espinosos y vigorosos. Tiene alto rendimiento y muy buena calidad de fruto. Produce frutos negros firmes con excelente potencial poscosecha. El peso medio de las bayas es de 5 a 7 g. El rendimiento es de unos 5.000 kg/ha (1,8 - 2,0 kg por planta). En el hemisferio sur, la cosecha comienza a mediados o finales de noviembre y continúa hasta febrero, por lo que las bayas frescas se envían a muchos países. Su tolerancia al calor es excelente. Normalmente, Tupy requiere un enfriamiento de aproximadamente 200 horas, pero se puede reducir. Algunas investigaciones muestran que el cultivo del Tupy en regiones de invierno templado (por ejemplo, zonas subtropicales) permite la cosecha antes del período tradicional de recolección. Esto tiene un impacto importante en el mercado porque hace posible la comercialización de bayas frescas durante períodos de menor oferta. Los frutos en su mayoría son amargos, tiene muy buena resistencia a enfermedades como Roseta o Doble Flor, y marchitez por *Verticillium sp.*, pero es bastante propenso a enfermedades como Tizón de la caña, moho gris, tizón del espolón o mancha morada (*Didymella applanata*).

Variedad Brazos. Fue generada por la Universidad Texas A&M en 1959. Resultado de la segunda generación del cruce originado por la selección entre Lawton y Nessberry, seleccionada en 1950. El cultivar Brazos había sido el estándar en Texas durante muchos



años. Los tallos son semirectos, vigorosos, espinosos. Las plantas son muy productivas y tienen frutos de maduración muy temprana. Las flores son blancas, grandes, tienen cinco folíolos y su floración es simultánea. Comienza, normalmente, en la segunda semana, alcanzando su pico de floración en la última semana de abril. Las primeras bayas maduran a principios de junio. Los frutos son jugosos y grandes, suaves, atractivos y uniformados, típicamente de 8 g, de sabor dulce con intenso aroma floral. El sabor es dulce-ácido, pero destaca la acidez y un poco de astringencia. El color es negro azabache. Los arbustos de mora de Brazos son resistentes a la sequía y al calor, pero tienen poca resistencia al invierno. El período de descanso es de unas 300 horas. Los frutos de Brazos no son adecuados para el almacenamiento. Además, poseen buena tolerancia a las enfermedades.

Comanche. Liberada en 1974 en Arkansas, proveniente de la cruce de las variedades Darrow x Brazos con un hábito de crecimiento erecto. La floración es muy temprana (noviembre), y su brotación se puede uniformizar, lo que reduce el periodo de cosecha.

Cheyenne. Liberada en 1974 en Arkansas. Muestra un hábito de crecimiento erecto al segundo año de establecida. Es de vigor intermedio, entre Comanche y Cherokee. La floración normal es de 30 días después de Comanche. De fácil cosecha y tarda 50 días de flor a fruto. Su fruto es el más largo y con un peso promedio de 6.2 g, firme y de mejor sabor que el fruto de Comanche.

Cherokee. Liberada en 1974 en Arkansas. Tiene un hábito de crecimiento erecto, propio para la cosecha mecánica. Su floración es de 15 días después de Cheyenne y su período de flor a fruto es de aproximadamente 50 días. Los frutos son firmes, de baja acidez (0.22% de ácido málico), muy dulce y brillante.

Logan. Es una variedad precoz, el fruto es grande, color marrón, suave aromático, es de tipo guía y muy productiva. Se ha mostrado con buena brotación en regiones frías (cosecha en mayo) y en regiones con altitud entre 1800 – 2000 msnm, libres de heladas, tiene excelente brotación y la cosecha es de enero a febrero.

Shawnee. Liberada en Arkansas en 1985. Presenta un hábito de crecimiento erecto, lo que se expresa al segundo año, pero con despunte de verano. Es el cultivar más tardío a la floración. Presenta un fruto grande de 7.2 g y de excelente sabor para consumo en fresco. Apto para lugares con problemas de heladas invernales.



Choctaw. Liberada en Arkansas en 1990. Es un cultivar erecto y vigoroso, precoz y de fruto mediano (5-6 g por fruto). Posee la semilla más pequeña de los actuales cultivares de zarzamora. Dulce y firme, de bajo requerimiento de frío y calor, de fácil plantación.

En la actualidad existen variedades privadas con excelente potencial productivo, solo que la identidad de ellas es reservada, siendo empresas como Planasa®, Giddings®, Driscolls®, Sun Belle®; por mencionar algunas, aquellas que cuentan con variedades mejoradas que se han desarrollado en conjunto con Universidades como la de California en Estados Unidos.

En cuanto a la introducción de nuevas variedades, para muchos pequeños productores representa una oportunidad, cuando se puede acceder a ellas sin erogar los costos asociados al uso de las patentes.

Principales plagas y su control en zarzamora

Trips (*Frankliniella* spp.). Es un insecto que se alimenta de las estructuras florales, interfiriendo la polinización. No causa daño directo a la fruta, pero su presencia demerita la calidad. Para su control se recomiendan realizar aplicaciones antes de que inicie la apertura de flores rotando algunos de los productos siguientes: Diazinon en dosis de 4-5 L/ha; Malatión 1.0-1.5 L/ha; Spinosad 0.2-0.3 L/ha; Spinetoram 0.2-0.4 L/ha; Tiametoxam 0.3-0.4 L/ha.

Araña roja o araña de dos manchas (*Tetranychus urticae*). Se alimenta del follaje maduro, causa clorosis y defoliación severa, se le puede controlar con aplicaciones de Abamectina 0.5-1.0 L/ha; Aceite parafínico de petróleo 1.0 -2.0 L/ha; Bifentrina 0.8-1.0 L/ha; Etoxazole 0.2-0.4 L/ha.

Mosca del vinagre de alas manchadas (*Drosophila suzukii*). Debe ser detectada de manera muy oportuna para evitar los daños. La hembra ovípara en los frutos y al eclosionar las larvas se alimentan de la pulpa ablandándola, bajo esta condición ya no sirven para comercializarlos. Se debe colocar trampas cebadas con vinagre para su monitoreo y con base en los índices de captura decidir la aplicación de plaguicidas para control, utilizando Spinetoram o cipermetrina en dosis convencionales.

Mosca blanca (*Trialeurodes* sp.), chinches (*Nezara viridula*). Se consideran plagas secundarias que en general son controladas con las mismas aplicaciones realizadas contra las plagas anteriores.



Gusano enrollador de la hoja (*Argyrotaenia* sp.). En su estado larvario se alimenta del follaje, se puede controlar con los hongos entomopatógenos *Metarhizium anisopliae* y *Paecilomyces fumosoroseus*, así como formulaciones de *Bacillus thuringiensis*.

Principales enfermedades presentes en el cultivo de zarzamora y su control

El control de las enfermedades fúngicas ha dependido en gran medida de los tratamientos con agroquímicos; sin embargo, su uso representa un severo riesgo para la salud humana y contribuye al aumento de la contaminación al medio ambiente. Para reducir este problema, existe la necesidad de investigar, generar, validar, transferir y adoptar estrategias que sean accesibles, sencillas de aplicar y no tóxicas para seres humanos y animales. En la actualidad, los productos naturales gozan de amplia aceptación y reemplazan cada vez más a los productos de síntesis química. Como respuesta a esta tendencia, se ha producido un creciente interés en la utilización de aceites esenciales y extractos de plantas como fungicidas naturales, no perjudiciales para el medio ambiente.

Las enfermedades que más daño causan en el cultivo de zarzamora están relacionadas con hongos; una de ellas es la “cenicilla” ocasionada por *Sphaerotheca macularis* que afecta severamente las partes vegetativas cuando se presentan condiciones de humedad relativa baja y altas temperaturas. Se ha mencionado su control con Azoxystrobin en dosis de 0.2-0.8 kg/ha; bicarbonato de potasio 2.0-4.0 kg/ha o Myclobutanil 0.25 kg/ha, poniendo especial atención en las dosis, evitando exceder la concentración mencionada para evitar futuros problemas de resistencia en los organismos patógenos.

Otras de las enfermedades mencionadas en las problemáticas del cultivo es el “Mildiu de la zarzamora”, ocasionado por *Peronospora sparsa*, el “moho gris” por *Botrytis cinerea*, “antracnosis” y “tizón de brotes”, ambas ocasionadas por *Colletotrichum gloeosporioides*, “roya anaranjada” por *Arthuriomyces peckianus*, “mancha de la hoja” *Cercospora* sp; estas se pueden controlar aplicando fungicidas como Fosetyl-Al en dosis de 2.0 a 3.0 kg/ha o Difenconazole 4.0-6.0 L/ha, nuevamente haciendo hincapié en las dosis requeridas.

Fusarium Oxysporum, se menciona como el agente causal de la “secadera de planta”, se puede contrarrestar con *Trichoderma* spp., Procloraz y difenoconazol (estos dos últimos fungicidas son de origen químico y aún no se ha determinado su residualidad en los frutos, por lo que su uso aún es restringido).

“Proyecto estratégico para el rescate y atención integral al cultivo de la zarzamora”

El problema de la “secadera de plantas de zarzamora”, ocasionado por *Fusarium oxysporum* comenzó a manifestarse en las plantaciones comerciales desde hace aproximadamente 10 años, desafortunadamente la problemática ha crecido exponencialmente, a tal punto en que los productores han optado por abandonar el cultivo



ante la imposibilidad de acceder a tecnologías para manejo de la enfermedad que les permita reducir los daños ocasionados a las plantas, principalmente en las regiones productoras en Michoacán, lo que se prevé ocasionará alto impacto de deterioro en la actividad socio-económica en los municipios productores, si se considera la alta tasa de ocupación a personas que genera el cultivo, así como el elevado valor de la producción.

Estudios llevados a cabo en el 2022 en el cultivo de zarzamora mencionan a *Fusarium oxysporum* como agente causal de la problemática de marchitez en el cultivo, con pérdidas de más de 2 mil 500 hectáreas, por todo esto fue necesaria la generación y de un Proyecto Estratégico para el Rescate y Atención Integral al Cultivo de la Zarzamora planeado por la Secretaría de Agricultura en el estado de Michoacán con quienes el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) colaboró, dicho proyecto se basó en tres ejes principales, el primero fue la asistencia técnica para productores de zarzamora beneficiados con el programa, el segundo fue la aplicación de insumos en el cultivo para el control de *Fusarium* sp., enfocados para la transición a insumos de origen biológico (*Trichoderma* sp., *Bacillus*, algas etc.) y finalmente, la implementación y repoblación de nuevas parcelas con planta de calidad y libre de fitopatógenos.

Control y manejo de la secadera de plantas de zarzamora en Michoacán mediante el apoyo del programa estratégico de la SECRETARÍA DE AGRICULTURA

En atención a la problemática de la secadera de plantas, para el año 2022, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) de Michoacán autorizó la implementación de un “Proyecto estratégico para el rescate y atención integral al cultivo de la zarzamora”, el cual contempló tres puntos específicos, el apoyo directo a los productores con planta de zarzamora con alta calidad genética y fitosanitaria, acompañamiento técnico a los productores y apoyo con insumos para manejo fitosanitario de suelos y plantaciones con problemas de *F. oxysporum*; en este último punto se destaca como antecedente que el control de las enfermedades fúngicas, ha dependido en gran medida de los tratamientos con químicos; sin embargo, se sabe que su uso indiscriminado representa un severo riesgo para la salud humana y contribuye al aumento de la contaminación al medio ambiente. Entre los primeros estudios llevados a cabo por el grupo del Dr. Rebollar para el manejo de la enfermedad se menciona el efecto de fungicidas comerciales que mostraron potencial inhibitorio sobre aislamientos de *F. oxysporum* provenientes del Valle de Los Reyes, Michoacán (Una de las principales regiones productoras de zarzamora en el país); dichos aislamientos fueron sometidos a pruebas en condiciones *in vitro*, y los resultados reflejaron toxicidad e inhibición en el crecimiento del agente patógeno mediante el uso de Procloraz®, el cual resultó ser el más tóxico para una muestra de 6 aislamientos con diferentes niveles de patogenicidad, seguido del Tiabendazol y



Difenoconazol®, los resultados arrojados por estos estudios sentaron las bases para las pruebas en campo, esto siempre mediante el uso racional de los productos, respetando dosis y frecuencias de aplicación.

Con apoyo de personal técnico se diseñó un plan de actividades, con la aplicación de insumos agrícolas en plantaciones de zarzamora en cada etapa fenológica (Tabla 1). Destacando que los fungicidas químicos fueron aplicados únicamente en las etapas vegetativas tempranas del cultivo, debido a que aún se desconoce la residualidad de estos en el fruto (Procloraz® y Difenoconazol®).

A partir del mes de noviembre se comenzó con el conteo de primocañas con ramas productivas o floricañas. En la figura 1 se muestra la parcela de validación inicial (poda al ras), previo a la implementación de los insumos y al manejo con asistencia técnica en el mes de abril del 2022, el productor mencionaba la presencia de floricañas con máximo 7 flores (futuros frutos) en promedio; para el mes de noviembre de ese año se logró formación de cargadores con un promedio de 14 frutos.

En opinión del productor, la parcela manejada con los insumos de apoyo proporcionados por el proyecto estratégico y aplicación de la tecnología INIFAP, se mostró un control evidente de la enfermedad, esto en comparación con la temporada 2021 y con la sección testigo, donde el manejo fue convencional sin asesoría técnica.

Toda vez que se trató de la misma planta, la cual fue podada a ras de piso y presentaba daños fuertes de “secadera” por presencia de *F. oxysporum*, para el mes de diciembre el cultivo en general mostró un desarrollo saludable iniciando la fase productiva; se observan leves daños con incidencia que no rebasa el 5 % de las plantas, lo que se considera no significativo.

En opinión del técnico asesor de esta parcela, se observó un impacto favorable de los productos aplicados sobre la plantación de zarzamora; esto tanto en el caso de la sección con “poda al ras”, como en la sección de “plantación nueva”. Es evidente una reducción en la incidencia y severidad de la enfermedad en las plantas.



Tabla 1. Actividades para seguimiento en la parcela de validación (poda al ras + tecnología propuesta), para manejo de plantaciones de zarzamora en suelos infestados por *F. oxysporum*. Peribán, Michoacán. 2022.

Fecha	Tamaño y/o estado fenológico	Actividad realizada e Insumos aplicados
20-04-2022	Se realizó poda al ras Altura de planta 50-80 cm	Se realizó poda al ras
30-06-2022	(2° hilo)	Observación sobre desarrollo fenológico
12-07-2022	Desarrollo vegetativo (2° hilo)	Observación sobre desarrollo fenológico
15-07-2022	Desarrollo vegetativo (2° hilo)	Se realizó muestreo de suelo
20-07-2022	Desarrollo vegetativo (2° hilo)	Aplicación a través de sistema de riego con Sportak 1.0 L + Nitroplus 10.0 L + Biopromotor root 2.0 L + Biotec master 2.0 L
30-07-2022	Desarrollo vegetativo (2° hilo)	Aplicación de Nitroplus 5 L + Biopromotor 1.0 L + Botec master 1.0 L
01-08-2022	Desarrollo vegetativo (4° hilo)	Aplicación de Nitroplus 5 L + Biopromotor 1.0 L + Biotec master 1.0 L
13-08-2022	Desarrollo vegetativo	Aplicación en el sistema de riego de Biotec master 1.0 L + Urea 10 kg + Bioprotec sustenta 5.0 L
24-08-2022	Desarrollo vegetativo (En sazonamiento)	<i>Trichoderma harzianum</i> 800 g + <i>B. subtilis</i> 5.0 L + enraizador 2 L
12-09-2022	Desarrollo vegetativo (Maduración de caña, brotación de yemas y próximo a cuadro)	Aplicación de <i>Trichoderma harzianum</i> 800 g + <i>Bacillus subtilis</i> 5.0 L
25-09-2022	Defoliación	Observación sobre desarrollo fenológico Aplicación de Sulfonit 45 kg + Urea 5.0 kg + Ac. Fosfórico 2.0 L + Zinc 2.0 kg + Cobre 1.0 kg + Citrolina 2.0 L + Break tru 100 mL
28-09-2022	Defoliación	Observación sobre desarrollo fenológico
10-11-2022	Desarrollo de cargadores	Aplicación de Grow 20 2 kg + Biopromotor 2.0 L + Grow 21 1.0 L + SMicromax 2.0 L + Pekacid 5.0 kg Tdz 10 g + Ag3 15 g + 6 Bap 20 g
12-11-2022	Desarrollo de cargadores	Aplicación foliar de Nutrigrem 500 g + Nutribalance 300 g + Gapol 300 mL + 6 Bap 10 g + Escalibu 300 mL + Malathión 500 mL + Bioprotec cuv 500 mL
16-11-2022	Desarrollo de cargadores	Aplicación en riego de Nitroplus 20 L + Grow more 20 1.0 kg + Nutribalance 2 kg + Biopromotor 2.0 L + Nutriflorales 1.0 kg + Nutri pk 1.0 kg + Solubor 500 g + Zinc 500 g



Figura 1. Resumen de las fenologías del cultivo de zarzamora presentadas en la parcela de validación. Izquierda: planta con poda al ras al inicio del ensayo, centro: generación y desarrollo de floricañas (inicio de mes de noviembre), derecha: desarrollo de cargadores con 14 frutos en promedio (principios de diciembre).

Resultados de encuesta de diagnóstico realizada a productores de zarzamora de las principales regiones productoras de zarzamora en Michoacán como resultado de la aplicación de un proyecto estratégico de la Secretaría de Agricultura

De acuerdo con una encuesta de satisfacción dirigida a 133 productores beneficiarios del “Proyecto estratégico para el rescate y atención integral al cultivo de la zarzamora” planeado por la Secretaría de Agricultura en colaboración con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental Uruapan Michoacán como agente técnico (INIFAP C.E Uruapan), se menciona un alto grado de satisfacción de los productores por los apoyos recibidos por parte del proyecto y demandan la continuidad y ampliación del mismo; el 50.4 % de los productores (67 productores) con plantaciones en etapa productiva observaron un incremento en la producción de fruto de calidad al final del programa, el resto de productores a los cuales se les apoyó con la entrega de planta nueva de calidad genética y fitosanitaria, se encontraban en desarrollo vegetativo, por lo que al momento del levantamiento de la encuesta de satisfacción fue imposible estimar si la producción sería mayor con respecto a años anteriores; sin embargo, los productores hicieron notar las ventajas de utilizar planta nueva, pues notan mayor vigor, presencia de mayor número de brotes, mejor generación y calidad de raíz, así como follaje más verde (relacionado a mejor actividad fotosintética).

En referencia la inversión económica, el 83% (110 productores) mencionan notable reducción de gastos de inversión y visualizan una mejora en la rentabilidad del cultivo. El 70% (92 productores) mencionaron haber obtenido mayor solvencia económica



familiar; además de que el 52% (69 productores) notaron una activación del flujo económico en la región, con respecto a la compra y venta de insumos. En tanto que el 81% (107 productores) hizo hincapié en el ahorro de dinero en la compra de insumos de calidad, mencionan que dicho ahorro fue utilizado en la compra de herramienta, mantenimiento en equipo de riego o en la mejora de espalderas o túneles en las parcelas, por lo que destacan las ventajas de contar con asesoría técnica personalizada, quienes los apoyaron en el uso y manejo de los insumos comprados.

En cuestión social, el 94% (125 productores) concuerdan en que el proyecto estratégico contribuyó a la generación de fuentes de empleo a través de jornales, lo cual se soporta con la afirmación del 17% (22 productores) que perciben una disminución en los índices de desempleo y consecuentemente en la disminución de índices delictivos. El 34% (45 productores) aseguran que el programa impidió la desintegración familiar al limitar la partida de sus familiares o conocidos hacia el extranjero en búsqueda de nuevas oportunidades. Para el 16% (21 productores) la utilización de mayor cantidad de jornales impactó favorablemente en su calidad de vida, destacando las posibilidades de educación de sus hijos.

Otro factor de alto impacto fue que el 67% (89 productores), afirmaron que gracias al proyecto lograron recuperar sus parcelas ya que el aumento en los precios de los insumos, las enfermedades, la falta de maquinaria y mano de obra, mermaban la producción, haciendo poco rentable el cultivo abriendo la posibilidad al abandono del cultivo. Mientras que el 17% (23 productores) observaron la apertura de oportunidades a mujeres productoras de zarzamora.

Finalmente, los productores notaron la importancia de utilizar y reemplazar plantaciones viejas con aquellas que presentaban calidad genética y fitosanitaria, ya que observaron mejor desarrollo vegetativo, con mayor vigor y generación de brotes, así mismo mencionan la necesidad de trabajar con variedades resistentes a la enfermedad, lo que podría ayudar aún más al aumento en la producción de frutos.

Conclusiones

Dado que la totalidad de los productores se mostraron satisfechos con la asistencia técnica recibida para el control y manejo de la enfermedad de la “secadera de plantas” ocasionada por *Fusarium oxysporum*; la cual, al momento no ha sido erradicada, pero que con la aplicación del paquete tecnológico la manifestación de los daños se redujo significativamente, dando lugar a un aumento en el número de inflorescencias y cargadores de fruto, que finalmente se vio reflejado en aumentos en la producción; se hace necesario dar continuidad a proyectos estratégicos que apoyen al cultivo de la zarzamora en Michoacán, destacando tres principales ejes como son la presencia de personal técnico capacitado que trabaje cercanamente y oriente a los productores de



zarzamora en el uso y aplicación de insumos agrícolas; así mismo, el uso de plantas que cuenten con calidad genética y fitosanitaria para sustituir aquellas que ya presentan problemas de desarrollo; y finalmente la generación de planes de manejo del cultivo incluyendo control de plagas y enfermedades, en los cuales se incluyan insumos de origen natural que presenten baja o nula toxicidad al medio ambiente y que no alteren la calidad del fruto para su aceptación en el mercado nacional y de exportación.

Referencias

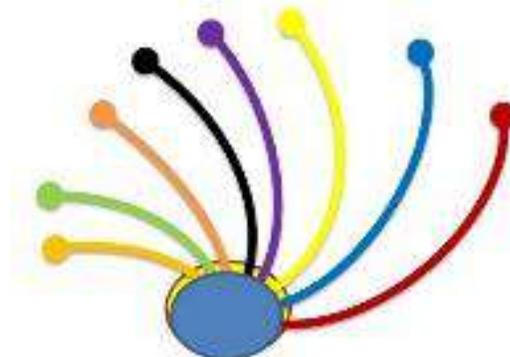
- Abdel-Monaim, M.F, Abo-Elyousr K.A.M. & Morsy K.M. (2011) Effectiveness of plant extracts on suppression of damping-off and wilt diseases of lupine (*Lupinus termis* Forsik). *Crop Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.09.016>.
- Bajpai, VK, Na, M. y Kang, SC (2010). El papel de las sustancias bioactivas en el control de patógenos transmitidos por los alimentos derivados de *Metasequoia glyptostroboides* Miki ex Hu. *Toxicología alimentaria y química*, 48(7), 1945-1949.
- Boscotas (2018). Fluctuación poblacional de *Drosophila suzukii* en cultivos de zarzamora (*Rubus* sp.) y zonas boscosas de michoacán *Population dynamics of Drosophila suzukii* crop of blackberry (*Rubus* sp.) and wooded areas *Introducción La mosca del vinagre de alas mancha*. June, 766.
[http://www.socmexent.org/entomologia/revista/2016/EA/Em 354-360.pdf](http://www.socmexent.org/entomologia/revista/2016/EA/Em%20354-360.pdf)
- Campos-Arguedas, F., Sarrailhé, G., Nicolle, P., Dorais, M., Brereton, Nueva Jersey, Pitre, FE y Pedneault, K. (2022). Diferentes patrones de temperatura y UV modulan la maduración de las bayas y la acumulación de compuestos volátiles en *Vitis* sp. *Fronteras en la ciencia vegetal*, 13, 862259.
- Clark, J. R. & Finn, C. E. (2011). Blackberry Breeding and Genetics. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 5(Special Issue I), 27–43.
<https://doi.org/10.1002/9780470168035.ch2>
- Ezieke, A. H., Serrano, A., Clarke, W. & Villa-Gomez, D. K. (2022). Bottom ash from smouldered digestate and coconut coir as an alkalinity supplement for the anaerobic digestion of fruit waste. *Chemosphere*, 296, 134049.
- Fernández, J., Strik, B. C., Zhao, Y. & Finn, C. E. (2015). Trailing blackberry genotypes differ in yield and postharvest fruit quality during establishment in an organic production system. *HortScience*, 50(2), 240–246.
<https://doi.org/10.21273/hortsci.50.2.240>
- Jennings, D. L. (1988). *Raspberries and blackberries: their breeding, diseases and growth*.
[http://www.cabi.org/isc/default.aspx?site=144&page=2540&LoadModule11=CABI SEARCHRESULTS&LoadAction=LoadAbstract&term=do:%22Raspberries+and+blackberries:+their+breeding,+diseases+and+growth.%22&AbstractSearchTerm=do:%22Raspberries+and+blackberries:+their+br](http://www.cabi.org/isc/default.aspx?site=144&page=2540&LoadModule11=CABI%20SEARCHRESULTS&LoadAction=LoadAbstract&term=do:%22Raspberries+and+blackberries:+their+breeding,+diseases+and+growth.%22&AbstractSearchTerm=do:%22Raspberries+and+blackberries:+their+br)



- Hukkanen, A., Kostamo, K., Karenlampi, S. & Kokko, H. (2008). Impact of agrochemicals on peronospora sparsa and phenolic profiles in three rubus arcticus cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 1008–1016.
<https://doi.org/10.1021/jf072973p>
- Iza, M., Viteri, P., Hinojosa, M., Martínez, A., Sotomayor Correa, A. & Viera, W. (2020). Diferenciación morfológica, fenológica y pomológica de cultivares comerciales de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Enfoque UTE*, 11(2), 47–57.
<https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.529>
- Kostamo, K., Toljamo, A., Palonen, P., Valkonen, J. P. T., Kärenlampi, S. O. & Kokko, H. (2015). Control of downy mildew (*Peronospora sparsa*) in arctic bramble (*Rubus arcticus* ssp. *arcticus*). *Annals of Applied Biology*, 167(1), 90–101.
<https://doi.org/10.1111/aab.12211>
- Muratalla L.A., Livera M.M. y Galindo M.R. (1998). Establecimiento y manejo del cultivo de la zarzamora (*Rubus* spp.). In: Memorias del Cuarto Curso de Capacitación para Productores de Zarzamora y Frambuesa. SEDAGRO y Colegio de Postgraduados. Valle de Bravo. México. pp: 19-39.
- Norton, G. W. and Alwang, J. and Kassie, M. and Muniappan, R. (2019). Economic impacts of integrated pest management practices in developing countries. CABI, Publishing, Boston, 140–154. <http://doi:10.1079/9781786393678.0140>
- Rebollar, A., Silva-Rojas, H. V., López-Cruz, I., Boyzo-Marín, J., & Ellis, M. A. (2012). Fungicide spray programs to manage downy mildew (dryberry) of blackberry caused by *Peronospora sparsa*. *Crop Protection*, 42, 49–55.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.06.007>
- Rebollar, A., y Silva, H. V. (2021). La Marchitez de la Zarzamora: Diagnóstico, Epidemiología y Manejo Integrado (*Fusarium Wilt of Blackberry: Diagnosis, Epidemiology and Integrated Management*).
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.13808543>.
- Rodriguez-Bautista, G., Ledesma, S. D. S., Cruz-Izquierdo, S., López-Medina, J., Gutierrez-Espinosa, A., Cruz-Huerta, N. y Núñez, L. M. V. (2019). Distribución y variabilidad morfológica de especies de zarzamoros en México (*Rubus* spp L.). *Biotecnia*, 21(2), 97-105. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i2.935>
- Segura, S., Rebollar-Alviter, A., Boyzo-M, J., Hernández-Bello, M. & López-Medina, J. (2012). Genetic resources of blackberry wild species in michoacan, Mexico. *Acta Horticulturae*, 946(April), 107–112.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.946.14>

***Dactylopius coccus* Costa: aplicación de su pigmento y cera en cosméticos**

Gabriela Arroyo-Figueroa
Tarsicio Medina-Saavedra
Lilia Mexicano-Santoyo
María Isabel García-Vieyra
Jorge Gustavo Dzul-Cauich
Carlos Hernán Herrera-Méndez





Introducción

La producción de cosméticos hoy en día se encuentra cuestionada y presionada a cambiar su orientación por la nueva tendencia de sus consumidores, hacia una cosmética más natural, que suprime el uso de químicos de cualquier índole, especialmente aquellos en los que su aplicación está comprobada como dañino para la salud. En este sentido los cosméticos se elaboran con extractos vegetales, aceites esenciales, plantas medicinales y colorantes, entre otros, y se caracterizan por carecer de sustancias tóxicas, irritantes o alergénicas, utilizadas en los cosméticos convencionales, como aceites minerales, fenol y fenil, ftalatos, solventes derivados del petróleo y fragancias artificiales, por mencionar algunos. Por lo anterior, muchas industrias cosméticas están tratando de emplear colorantes y pigmentos que provengan de la naturaleza o bien alguna otra materia prima de origen vegetal o animal, como las ceras o aceites.

Por consiguiente, en este capítulo explicaremos investigaciones en función a la aplicación de la cera y del pigmento del insecto *Dactylopius coccus* Costa en el área de cosméticos. Iniciando por lo que es el insecto, mencionando algunos de los productos obtenidos de él, llevándolo a la aplicación en la elaboración de una bala labial y finalmente se mencionan algunas pruebas fisicoquímicas que pueden emplearse en la valoración del cosmético.

***Dactylopius coccus* Costa**

Un insecto muy importante para México porque forma parte de su historia es *Dactylopius coccus* Costa, que se hospeda en el nopal y es conocido como grana carmín, grana fina, grana cultivada, o de manera popular como cochinilla, y por nuestros antepasados como Nocheztli (sangre de tuna) (Figura 1). En tiempo de la Colonia este colorante llamo mucho la atención de los españoles, por lo que intensificaron su cultivo, lo que logró que obtuviera el tercer lugar de exportación después del oro y de la plata. Lamentablemente con el surgimiento de los colorantes sintéticos en el año de 1856, disminuyó su producción y aplicación. La grana cochinilla fina se caracteriza por tener un alto porcentaje de ácido carmínico (18 al 25%).

Del ácido carmínico se pueden obtener varios subproductos que pueden ser usados como colorantes o pigmentos en diversas áreas como cosméticos, alimentos, fármacos, papel y textiles. Este colorante tiene la ventaja de ser altamente antioxidante, lo que permite que al ser utilizado en un producto cosmético le confiera esta característica. Además, el extracto acuoso de la grana cochinilla se encuentra exento de certificación por parte de la FDA. Otro de los productos que son mencionados en este trabajo es la cera obtenida del insecto (coccicerina), de la cual se presenta su posible aplicación dentro de una bala labial (Figura 1).



Figura 1. Insecto *Dactylopius coccus* Costa (grana cochinilla cultivada o fina) en producción intensiva, donde se observa la cera blanca producida por el insecto (coccicerina).

Algunos productos de la grana cochinilla fina

Este insecto es empleado usualmente en la industria para dar color a los productos, a través de sus subproductos (carmín, lacas y extracto hidrosoluble), considerados como sustancias biodegradables que pueden ser usados en la elaboración de cosméticos, según la base del cosmético a obtener, por ejemplo, para base acuosa se usa el extracto hidrosoluble del insecto y para base oleosa se usa el carmín de cochinilla, pigmento rojo intenso conocido también como laca carmín, que se produce adicionando una sal al extracto hidrosoluble de la grana cochinilla, obteniéndose un precipitado, el cual ya seco es el pigmento laca carmín (complejo ácido carmínico- aluminico cálcico) (Figura 2).

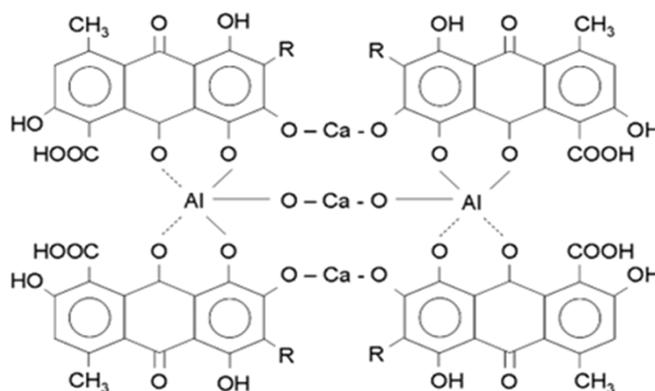


Figura 2. Complejo ácido carmínico-aluminico cálcico.



Cera (Coccicerina) proveniente de la grana cochinilla fina

La superficie del insecto grana cochinilla está protegida por un polvo ceroso (coccicerina) (Figura 1). Este material que cubre al insecto, como una capa pulverulenta o como un revestimiento de hilos o finas laminillas, es un mecanismo de defensa contra sus enemigos naturales o como protección contra los factores climáticos adversos. Al momento de cosechar el insecto, retirando a las hembras del nopal en el momento en que completaron su desarrollo, se realiza un manejo postcosecha en el que se incluye separar la cera del insecto mediante un proceso de tamizado. Generalmente en procesos de producción intensiva del insecto esta cera se desecha. Al recolectar la cera se hace una limpieza de ésta, mediante el lavado con un solvente generalmente acetona, que disuelve la cera y lo restante, componentes que no son cera se desechan. Se deja evaporar el solvente y se obtiene la cera lista para usarse (Figura 3).



Figura 3. Muestra de la coccicerina ya limpia.

Uso del pigmento y cera obtenidos del insecto en una bala labial

Este pigmento natural (laca carmín, Figura 2), se ha venido empleando en la elaboración de una bala labial, en donde se usan cuatro ceras principales (cera de abeja, candelilla, carnauba y microcristalina), las tres primeras son ceras naturales, la primera de origen animal y la segunda y tercera de origen vegetal, las cuales le dan ciertas características a la bala tales como suavidad, brillo, sedosidad, etc. La cuarta y última cera es sintética y provee a la bala labial de un punto de fusión más elevado, para que ésta pueda perdurar en lugares donde incrementa el calor. Sin embargo, debido a que en la producción intensiva del insecto se desechan grandes cantidades de la cera coccicerina proveniente



del insecto grana cochinilla, se plantea utilizar como sustituto de la cera sintética (microcristalina), por una cera totalmente natural como la coccicerina en la elaboración de una bala labial y realizar un análisis fisicoquímico para determinar la calidad del producto final (pruebas organolépticas, determinación de color, punto de fusión y porcentaje de humedad), para posteriormente compararlo con la bala labial elaborada con la cera sintética.

Características fisicoquímicas de la cera coccicerina

Para poder usar la coccicerina dentro de la bala labial se debe realizar un el análisis de las características fisicoquímicas, tales como: pruebas organolépticas (aspecto físico, olor, color, pH (en solución al 10% en alcohol etílico, mediante un potenciómetro), punto de fusión analizado mediante el aparato Melting Point Fisher ® Scientific o algún otro aparato que se use para determinación del punto de fusión. En la tabla 1 se observan algunos de los resultados de las características de la cera coccicerina comparada con la cera microcristalina (cera derivada del petróleo). Se puede confirmar que la coccicerina presenta un mayor punto de fusión. Por lo demás, se determina que las características de la coccicerina permiten que pueda ser empleada en la elaboración de la bala labial siempre y cuando se use como pigmento el subproducto proveniente del mismo insecto (carmín de cochinilla), para que no interfiera en el color final del producto. el punto de fusión en la cera coccicerina tenía un mayor valor en el rango, que la cera microcristalina, como se observa en la tabla 1, lo que permite inferir que podría usarse en la elaboración de la bala labial e inclusive podría dar ventaja al obtener un mayor punto de fusión en ésta.

Tabla 1. Comparación de las características fisicoquímicas de la coccicerina y de la cera microcristalina.

Pruebas	coccicerina	microcristalina
Aspecto físico	Polvo	Sólido en placas
color	blanco-rojizo	blanco
olor	característico	Sin olor
pH	6.43	6.53
Punto de fusión (°C)	86-115.67	71-98

Procedimiento para elaboración de la bala

El procedimiento para la elaboración de la bala labial radica en homogenizar dos mezclas que se mencionan a continuación, como se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 4.

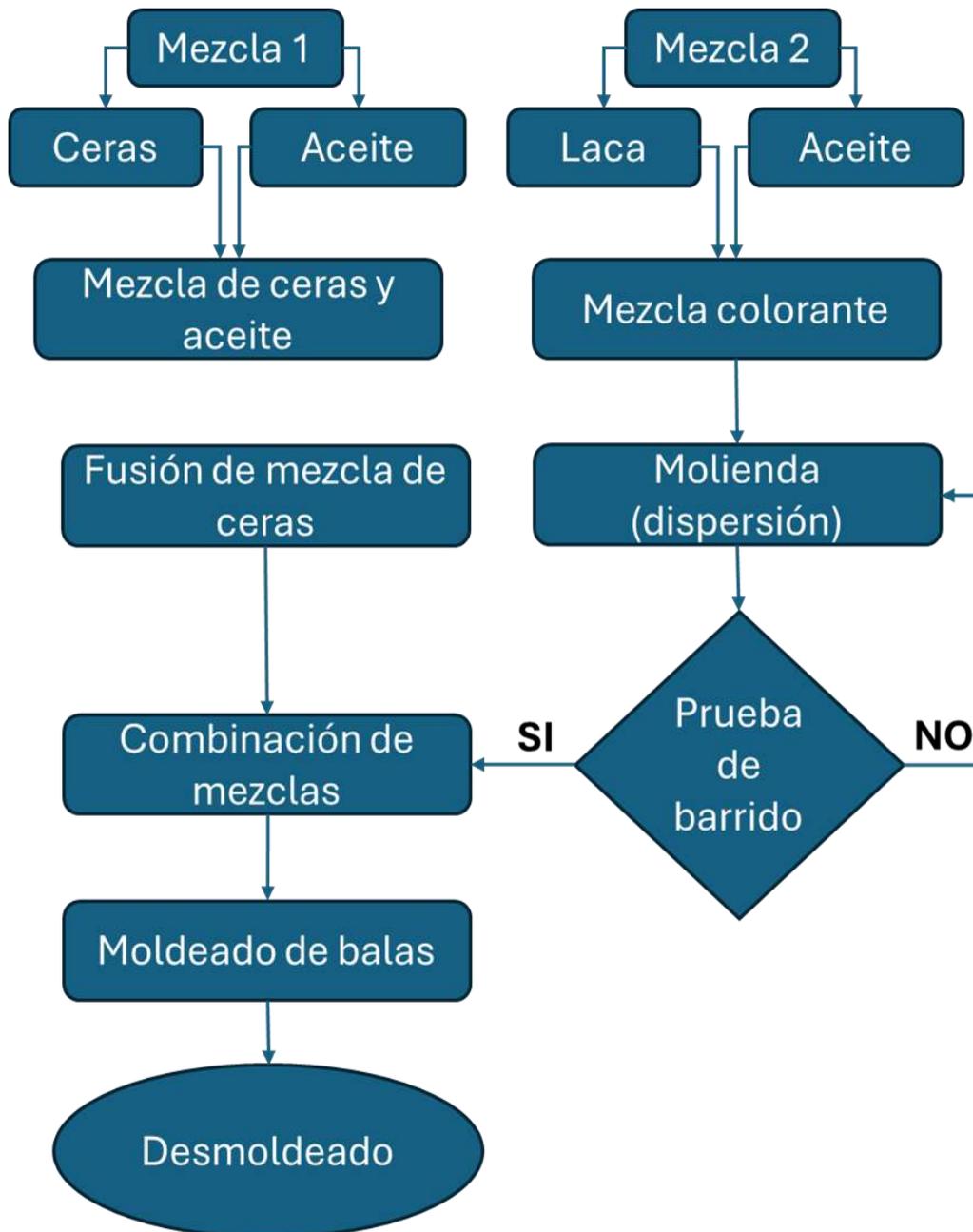


Figura 4. Diagrama de flujo que muestra la elaboración de bala labial.

Mezcla (1). Consiste en combinar las ceras junto con aceite de castor en baño María a una temperatura de 90°C, hasta obtener una incorporación homogénea cristalina. Esta mezcla se enfría hasta alcanzar una temperatura de 80 °C. Mezcla (2). En un mortero se muele laca carmín con aceite de castor durante 2 min aproximadamente. Una



vez pasado este tiempo, se realiza un barrido sobre un papel para observar si no se presentan grumos o pequeñas partículas de colorante. En los casos que se presenten estas imperfecciones, se vuelve a moler y se repite la prueba del barrido las veces que sean necesarias, hasta que no se presente ningún grumo. Una vez finalizada la molienda, se procede a adicionar la Mezcla (2) a la Mezcla (1) a 80°C, lentamente. Se agitan durante 5 min y se vierten con la ayuda de una jeringa de plástico estéril al molde con cuidado de no quemarse. Se deja enfriar la mezcla en el molde. Una vez solidificada la mezcla, se abre el molde con cuidado y se obtiene de esta manera la bala labial.

La bala obtenida se puede colocar en una base y posteriormente colocar la tapa, obteniendo así lo que se conoce de manera comercial como un lápiz labial. En la figura 5, se muestra la representación de la base donde se coloca la bala, y de un lado se muestra la tapa, para finalmente obtener un lápiz labial común.

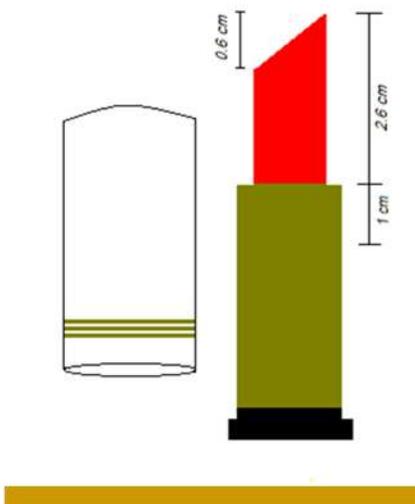


Figura 5. Representación de la base y la tapa, con la bala de un lápiz labial.

Pruebas fisicoquímicas de la bala labial

Las pruebas fisicoquímicas para realizar en la valoración de la bala labial pueden ser las siguientes:

- Prueba organoléptica que consiste en determinar las características de aspecto de la bala mediante la vista (color), tacto, olfato.
- Medición de Color con ayuda de un colorímetro modelo CR-400 marca ® Minolta, donde se miden las coordenadas CIELab* (L^* , a^* y b^*) de la bala labial (Figura 6(a)).
- Punto de fusión de la bala con ayuda de un Fisher ® Scientific (Melting point), se colocan 0.2 g de la bala labial en este aparato en una base de calentamiento,



observar la temperatura de un termómetro a través de una lupa incluida en el aparato y tomar el registro al momento en que empieza y termina de fundirse (Figura 6(b)).

- Medición del pH con ayuda de un potenciómetro, modelo HI2211 marca ® HANNA, disolviendo la cera en una solución al 10%, usando acetona como solvente y tomando el registro del pH (Figura 6(c)).
- Porcentaje de humedad, se puede usar una termo balanza modelo MB23 marca ® OHAUS, colocando 0.3 g de la bala para llevar a cabo la medición, en un tiempo de un minuto y cincuenta segundos, a una temperatura de 105 °C (Figura 6(d)).

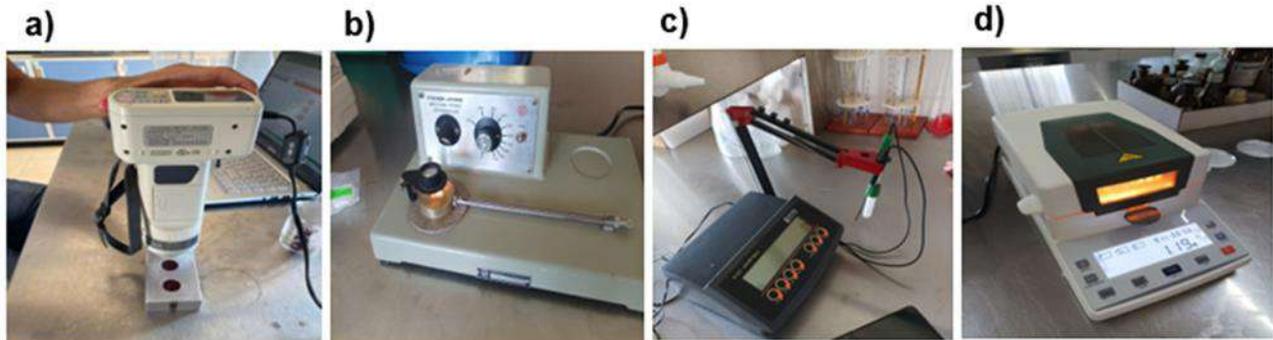


Figura 6. Equipo utilizado para realizar las pruebas fisicoquímicas de la bala labial. (a) Colorímetro, usando las coordenadas CIELab* (L*, a* y b*). (b) Fisher, para prueba del punto de fusión. (c) Potenciómetro, para la prueba de medición del PH. (d) Termo balanza, para la prueba del porcentaje de humedad.

Conclusiones

Se concluye que se puede usar el pigmento obtenido del insecto *Dactylopius coccus* Costa dentro de la bala labial y además se puede obtener un producto cien por ciento natural al sustituir la cera sintética (microcristalina), por la cera coccicerina, producto del mismo insecto, además de aumentar el punto de fusión de una bala labial. Aunque se recomienda realizar algunas pruebas de alergia para el uso del producto, como son las pruebas de parche.

El uso o aplicación de la coccicerina puede ser una opción para los productores intensivos de grana cochinilla, debido a que en el manejo postcosecha del insecto se desecha toda la cera, cuando puede tener un uso en el área de cosméticos.

Referencias

Arco, J. (2020). Cosmética natural, una apuesta de futuro. El farmacéutico: https://www.elfarmacéutico.es/tendencias/te-interesa/cosmetica-natural-una-apuesta-de-futuro_111248_102.html.



- Arroyo, G., Herrera, C. H., Dzul, J. G., Vargas, L. y Peña, V. (2016). Medición del color en productos cosméticos elaborados con subproductos de la grana cochinilla. Universidad de Guanajuato, Departamento de Ingeniería Agroindustria. Salvatierra Gto. *Acta Universitaria*. 26(1). <https://doi.org/10.15174/au.2016.836>.
- Arroyo-Figueroa, G., Herrera-Méndez C. H. y Vargas-Rodríguez., L. (2010). Inspección de la materia prima de la bala para un lápiz labial elaborado con laca carmín. pp. 213-221. En: Portillo, L. y A. L. Viguera (eds). *Conocimiento y Aprovechamiento de la grana cochinilla*. Universidad de Guadalajara, México.
- Arroyo Figueroa, G., Medina Saavedra T., García Vieyra M. I., Dzul Cauich J. G., Vargas Rodríguez L. y Herrera Méndez C.H. (2019). Calidad y solidez de un producto cosmético elaborado con el extracto del insecto grana cochinilla. *Journal of Agro-Industry Sciences*. 1(1): 7–10. <https://www.redunia.org/revista/index.php/redunia>.
- Arroyo-Figueroa, G., Medina-Saavedra, T., Pérez-Sánchez, R. E. y Ortiz-Rodríguez, R. (2020). Morfología y edad del cladodio de *Opuntia ficus-indica* sobre la producción de *Dactylopius coccus* costa y contenido de ácido carmínico. *NovaScientia*. 12(24). pp.: 1 – 13. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2519>.
- Arroyo-Figueroa, G., Ruiz-Aguilar G.M.L., Herrera-Méndez C. H., Pérez-Nieto A., Vargas-Rodríguez., L. (2010). Empleo de la laca carmín para elaborar un lápiz labial a nivel laboratorio. Pp. 207-2012. En: Portillo, L. y A. L. Viguera (eds). *Conocimiento y Aprovechamiento de la grana cochinilla*. Universidad de Guadalajara, México.
- Arroyo-Figueroa, G., Vargas-Rodríguez, L., García-Vieyra, M. I. y Rodríguez-Ruiz, S. (2022). Composición cosmética con acción antioxidante a base de aceite de semilla de tuna y carmín de cochinilla. Patente No. MX/a/2017/012577.
- Badui Dergal, S. (2006). Química de los alimentos. 4a ed. México: Pearson Educación, XVII., 715 p. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>.
- Barel Andre O., Paye M., Maibach Howard I. (2001). Handbook of cosmetic Science and technology. ed. Marcel Dekker. New York. pp. 859.
- Carrillo, G. E. (2016). Investigación y desarrollo gráfico de productos cosméticos. Tesis doctoral, Universidad san Francisco de Quito USFQ, Colegio de Comunicación y Artes Contemporáneas, Quito. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5784/1/124604.pdf>.
- Chaillou, L. L. & Nazareno, M. A. (2006). New method to determine antioxidant activity of polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(22), 8397-8402. <https://doi.org/10.1021/jf061729>
- Echegaray, N., Guzel, N., Kumar, M., Guzel, M., Hassoun, A. & Lorenzo, J. M. (2023). Recent advancements in natural colorants and their application as coloring in food and in intelligent food packaging. *Food Chemistry*, 404, 134453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134453>



- Erazo Erazo, R., Cárdenas Ruiz, J., Woolcott Hurtado, J.C. y Caso Huamaní, M. J. (2004). Extracción de ácido carmínico a partir de cochinilla utilizando tecnología más limpia. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*. 7(1): 51-55. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4695>.
- Figueroa, G. A., Picazo, R. M. Á., Del Llano Zepeda, A. A., Sánchez, A. M., Espino, E. J. M., García, E. M. y Arroyo, A. D. J. R. (2023). Aplicación de la cera natural provenientes del insecto *Dactylopius coccus* Costa, en cosméticos naturales. *Jóvenes en la ciencia*, 21, 1-6. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto>.
- Franco-Frías, F.; Arroyo-Figueroa, G.; Domínguez-Hernández, M. E; Medina-Saavedra, T. (2019). Evaluación del contenido de ácido carmínico con respecto al sacrificio y secado de *Dactylopius coccus* Costa en Nopaltepec, Estado de México. *Revista de Invención Técnica*. 9(3): 9-14. <https://doi.org/10.35429/JOTI.2019.9.3.9.14>.
- González, E. A., García, E. M. & Nazareno, M. A. (2010). Free radical scavenging capacity and antioxidant activity of cochineal (*Dactylopius coccus* C.) extracts. *Food chemistry*, 119(1), 358-362. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.030>.
- Hernández-Hernández, F. d., Muñoz, F. G., Dueñas, I. D. y Mendoza, H. L. (2005). La cochinilla fina del nopal colorante mexicano para el mundo. *Revista ciencia*. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/56_4/cochinilla.pdf.
- Latos-Brozio, M. & Masek, A. (2020). The application of natural food colorants as indicator substances in intelligent biodegradable packaging materials. *Food and Chemical Toxicology*, 135, 110975. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110975>
- López, L. F., González, D. M., Gómez, J. A. y Albarracín, C. (2009). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines con énfasis en ingredientes naturales para la industria cosmética en Colombia. Bogotá: *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12924>.
- Tayupanta, T. M. (2015). La investigación en la cosmética natural. Quito-Ecuador: Editorial Universitaria Abya-Yala. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19015>

Evaluación socioeconómica del impacto negativo de *Neopestalotiopsis rosae* en cultivos de fresa del estado de Michoacán

Rosalba Lira-Ortiz
Magaly Ruiz-Rivas
Anselmo Hernández-Pérez





Introducción

El estado de Michoacán se encuentra como principal productor de fresa dentro de la república mexicana, con alrededor de 326,191.10 toneladas anuales, lo que equivale al 73.54 % de la producción nacional. Dicha producción se ha visto seriamente afectada por la incidencia de plagas y enfermedades que han diezmando la producción dentro de la entidad, causando declives en la producción, pérdidas económicas, así como pérdida total de los cultivos. De entre las enfermedades que han tenido un mayor impacto en las zonas productoras está la proliferación del hongo fitopatógeno *Neopestalotiopsis rosae*, el cual se ha presentado en frutos tropicales como la jaca, el aguacate y la fresa.

Generalidades sobre el cultivo de fresa

El origen de la fresa, tal y como la conocemos el día de hoy, comienza hace aproximadamente 250 años, con la hibridación de material proveniente de Sudamérica *F. chiloensis chiloensis* (L.) Miller subespecie *chiloensis* forma *chiloensis* y la *F. virginiana* Miller subespecie *virginiana* h., la cual se llevó de forma accidental. A partir de ese momento se realizó el mejoramiento genético de la especie, dando origen a múltiples variedades.

La fresa es una planta de entre 30-45 cm que presenta un ciclo vegetativo perenne, posee múltiples hojas trifoliadas, de borde aserrado, la raíz presenta aspecto fibroso, cuyas raíces estructurales de soporte se originan en la corona; ésta, es una roseta de hasta 2.5 cm de diámetro de tejido vascular a partir de las cuales se generan hojas y tallos rastreros, también llamados estolones, a partir del cual brota una nueva planta hija; sus frutos pueden variar en coloración del blanco al rojo, de tamaño variable y forma globosa, cónica con forma de corazón (Fig. 1).



Figura 1. Producción de fresa en el estado de Michoacán



En campo se desarrolla con características óptimas en condiciones de suelo de tipo arenoso y un pH de entre 5.7 y 6.5, y una humedad relativa de alrededor del 70 %. Las diferentes variedades de fresa, se pueden diferenciar debido a sus necesidades de fotoperiodo, ya que si el fotoperiodo es menor a 8 horas se considera una variedad de día corto, las variedades de día neutro son indiferentes al número de horas de fotoperiodo, mientras que las de fotoperiodo largo, necesitan más de 8 horas por día.

Plagas y Enfermedades

Uno de los más grandes desafíos en la producción y cultivo de cualquier alimento es el combate de las plagas y enfermedades que atacan en cada temporada, las cuales llegan a causar daño a diferentes grados y con impacto a la economía local, ocasionando que cada día más productores lleguen a abandonar sus cultivos o cambiar su uso de suelo.

En la mayoría de los casos, tanto las plagas como las diferentes enfermedades, arriban en suelos susceptibles, en aquellos que han tenido poco mantenimiento, así como en aquellos en los que los factores ambientales favorezcan su crecimiento y expansión.

Las enfermedades de mayor impacto en la producción de fresa, son aquellas causadas por hongos, ya que el cultivo del fruto, requiere una humedad de alrededor del 70 %, lo que favorece su crecimiento, por lo que es imperante tener un manejo de campo mediante prácticas culturales, como la limpieza del sustrato, mantener buen drenaje, evitar riegos insuficientes, realizar determinaciones de susceptibilidad de plagas y enfermedades, y mantener un monitoreo preventivo y correctivo de campo en forma permanente.

Principales plagas asociadas al cultivo de fresa

Araña ciclamina (*Phytonemus pallidus* (Banks))

Esta plaga se presenta perforando los brotes de las hojas, donde segrega toxinas mediante su saliva, lo que causa deformidades en las hojas, ocasionando que estas se curven hacia dentro, evitando su total desarrollo y con una coloración amarilla marrón. Al evitar su total desarrollo, las plantas presentan enanismo, menor número de flores y con ello, menor cantidad de frutos.

Araña roja (*Tetranychus urticae* (Koch))

Se caracteriza por disminuir el vigor de la planta, ya que se alimenta de la salvia, con ello se disminuye también la calidad y cantidad de fruto. Se presentan más a menudo en las flores, dañando los receptáculos y alimentándose de ellos. Los frutos afectados presentan deformidades y una coloración bronce. Esta plaga ha demostrado una amplia variación genética heredable como respuesta a los productos acaricidas, lo que queda evidenciado en su capacidad de desarrollo de resistencia en poco tiempo.



Chinche (*Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois))

Se alimenta principalmente del meristemo de los tejidos reproductivos, causando perforación en los aquenios, produciendo deformaciones en el fruto, disminuyendo la calidad, ya que presenta una característica llamada “cara de gato”; con ello también disminuye la producción, otra de las características visibles son la fragmentación de las hojas, coloración café, caída de las yemas, flores y frutos (Fig. 2).



Figura 2. Daño característico en fruto causado por chinche (*Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois))

Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith))

Es un insecto polífago altamente adaptable y resistente a los cambios ambientales. Se alimenta principalmente de hojas y brotes tiernos, en especial de los cogollos, dependiendo de la infestación, puede llegar a causar una defoliación completa (Fig. 3).

Mosca de mantillo (*Bradysia paupera* (Tuomikoski))

Ataca en la mayoría de los casos a plantas jóvenes en ambientes muy húmedos, principalmente a las raíces, ocasionando una disminución de agua y nutrientes hacia las hojas y frutos, provocando un marchitamiento, pérdida de vigor, coloración amarilla y un escaso crecimiento.



Principales enfermedades asociadas al cultivo de fresa

Antracnosis (*Colletotrichum spp.*)

La antracnosis es una enfermedad causada por el hongo *Colletotrichum spp.* capaz de causar daños tanto en la etapa pre cosecha como postcosecha, afecta especialmente a las plantaciones en cielo abierto o encharcamiento, ya que uno de sus métodos de dispersión es por salpique. Comienza como lesiones rojas que se van oscureciendo, llegando a rodear el peciolo o estolón.



Figura 3. Daño característico en hoja causado por gusano cogollero ((*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)

Mancha de la hoja (*Mycosphaerella fragariae* (Tul.))

La mancha foliar o mancha de la hoja es generada por el hongo *Mycosphaerella fragariae*, el cual se presenta como lesiones necróticas en las hojas, aunque también se le puede observar en otras partes de la planta. En estado avanzado produce la necrosis total de la hoja, pérdida de rendimiento, siendo más susceptibles las hojas jóvenes, por lo que se recomienda su manejo en las primeras observaciones de la misma, así como la eliminación de las hojas que presentan síntomas, esto con el fin de minimizar su dispersión.

Marchitez (*Fusarium oxysporum* (Schltdl))

La marchitez de la fresa está originada por el hongo *Fusarium oxysporum*, el cual reduce el crecimiento de la planta, provocando la marchitez en sus hojas y necrosis en las raíces y corona, reduciendo en un principio la calidad y cantidad de fruto, hasta la eliminación



total de la planta, este hongo utiliza la lluvia y el riego como método de dispersión, por lo que debe estar controlado el método de riego y la humedad del suelo para su tratamiento.

Moho gris (*Botrytis cinerea* (Pers.))

El hongo causante del moho gris presenta una sintomatología de elevada velocidad de dispersión, ya que puede llegar a expandirse hasta en un 95 % del fruto una vez cosechado en un tiempo de hasta 48 horas. En campo puede observarse como manchas de coloración marrón claro hacia el final del cáliz. Por lo que es necesario reconocer la sintomatología en etapas tempranas de dispersión de la enfermedad para evitar el mayor daño posible.

Pudrición de corona y raíz (*Neopestalotiopsis rosae*)

La pudrición de raíz es una enfermedad cuya principal sintomatología comienza con manchas necróticas en la hoja que se van extendiendo hasta llegar a la raíz, causando una pudrición en la corona, tornándola de color bronce y con ello la muerte de la planta; esta enfermedad también se propaga por salpique ya sea por lluvia o riego, por lo que es imperante mantener el monitoreo constante en campo, así como realizar prácticas culturales para evitar su propagación (Fig. 4).



Figura 4. Pudrición de corona y raíz en planta de fresa, causado por *Neopestalotiopsis rosae*



Métodos culturales para la prevención de plagas y enfermedades en fresa

Solarización de suelo

De entre las primeras prácticas para la erradicación de microorganismos patógenos se encuentra la solarización, la cual consiste en la elevación de la temperatura del suelo mediante la colocación de una capa de plástico, regularmente polietileno, durante el periodo de mayor radiación solar, permaneciendo así de 3-4 semanas. La solarización permite el incremento de la temperatura del suelo por arriba de los 45 °C en la capa superficial y hasta 40 °C en los primeros 25 cm de profundidad. La variación de la temperatura, depende principalmente de las características del suelo, como el contenido de humedad y sus propiedades térmicas. El uso de esta técnica permite desde la disminución hasta la erradicación de patógenos en el suelo. Esto se debe a que, al estar expuestos al calor húmedo, se reduce la viabilidad tanto de patógenos como malezas, permitiendo así limitar el uso de plaguicidas y con ello reducir sus consecuentes efectos residuales en campo.

Limpieza y tratamiento fúngico del sustrato

Previo al proceso de la siembra, se deben tener en cuenta las condiciones de campo, ya que es necesario realizar una limpieza de maleza de forma periódica. Esto involucra la eliminación de hojas secas de cosechas anteriores, debido a que son una fuente donde suelen permanecer patógenos o cepas, capaces de reanudar la infestación en las plantas (Fig. 5). En este sentido, existen métodos de limpieza, entre los cuales están la remoción manual de hojarasca y maleza, así como tratamientos químicos de eliminación. Junto con la limpieza del campo, es recomendable implementar un tratamiento de desinfección de suelo y la aplicación de antifúngicos, para minimizar los posibles riesgos de reinfestación (Fig. 6 y 7).



Figura 5. Trabajo de limpieza y eliminación de maleza del área de cultivo



Riego y Drenaje

El agua es el principal constituyente de todo ser vivo, y en el cultivo de la fresa, no es la excepción, ya que es necesario contar con un sistema de riego eficiente para su mantenimiento. El cultivo de fresa requiere una humedad en el suelo de entre el 60-70%. Se ha observado que condiciones de riego mayores al 70% favorece la presencia de hongos fitopatógenos, mientras que riegos insuficientes generan un crecimiento precario de la planta, llegando a interferir en el desarrollo del fruto durante el ciclo de cultivo. Por otra parte, el drenaje de la parcela está relacionado entre otras cosas con la capacidad de retención de humedad, tamaño de surco y la nivelación de la parcela. Estas características son básicas para evitar inundaciones e incrementar los rendimientos agrícolas, además de ser un medio para la aplicación de fertilizantes y plaguicidas (Fig. 8 y 9).



Figuras 6 y 7. Parcela sin limpieza entre surcos / Parcela sin maleza, con limpieza entre surcos



Figuras 8 y 9. Parcela sin control de riego y drenaje / Parcela con regulación de riego y drenaje



Detección y análisis de susceptibilidad

Con la finalidad de tener una mayor certeza en el cultivo, es necesario conocer y evaluar la naturaleza de las variedades de planta a utilizar, tales como sus características organolépticas, morfológicas, adaptabilidad y vulnerabilidad. Asimismo, el monitoreo continuo de las plantaciones en cada etapa de desarrollo permite la identificación de plagas y enfermedades en etapas tempranas. Por lo tanto, el conocimiento previo de la naturaleza de la variedad y la evaluación continua son fundamentales para el desarrollo de las plantaciones. Por el contrario, el uso de variedades susceptibles, tiende a incrementar los costos de producción, debido al aumento en el uso de fertilizantes, fungicidas y plaguicidas, llegando a tener costos mayores al promedio, y en casos extremos, pérdidas económicas totales debido a la pérdida parcial o total de la producción (Fig. 10).



Figura 10. Control de hongos mediante la aplicación de fungicidas

Conclusiones

De acuerdo a la evaluación socioeconómica realizada, se determinó que actividades culturales como la desinfestación y eliminación de la maleza, en conjunto con fungicidas químicos y biológicos como *Trichoderma harzianum*, permiten disminuir el efecto de *Neopestalotiopsis rosae* en cultivos de fresa del estado de Michoacán.

Referencias

Brugnara, E. C. y Colli, M. P. (2014). Mancha de la hoja y eliminación de folíolos en cultivares de fresa de días neutros bajo diferentes condiciones de cultivo, en manejo orgánico. *Idesia (Arica)*, 32(1), 89-92. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292014000100010>



- Chaves, N. y Wang, A. (2004). Combate del moho gris (*Botrytis cinerea*) de la fresa mediante *Gliocladium roseum*. *Agronomía costarricense*, 28(2), 73-85.
<https://doi.org/10.15517/rac.v28i2.60435>
- Costantini, R., Ventura-Aguilar, R. I., Hernández-López, M., Bautista-Baños, S. y Barrera-Necha, L. L. (2018). Potencial antifúngico de nanopartículas de quitosano y extracto de Arándano sobre *Colletotrichum fragariae* en fresa. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Cruz-Esteban, S., Hernández-Ledesma, P., Malo, E. A. y Rojas, J. C. (2020). Cebos feromonales para la captura de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (*Lepidoptera: Noctuidae*) en cultivos de maíz adyacentes a cultivos de fresas. *Acta zoológica mexicana*, 36. <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612255>
- Darapanit, A., Boonyuen, N., Leesutthiphonchai, W., Nuankaew, S. & Piasai, O. (2021). Identification, pathogenicity and effects of plant extracts on *Neopestalotiopsis* and *Pseudopestalotiopsis* causing fruit diseases. *Scientific Reports*, 11(1), 22606.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-02113-5>
- Espinoza-Altamirano, D., Silva-Rojas, H. V., Leyva-Mir, S. G., Marbán-Mendoza, N. y Rebollar-Alviter, Á. (2017). Sensibilidad de aislados de *Colletotrichum acutatum* obtenidos de fresa a los fungicidas metil tiofanato y azoxystrobin. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(2), 186-203. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1612-4>
- González-Santarosa, M. G., Salazar-Torres, J. C., Jaimes-Albíter, F., Ramírez-Alarcón, S. y González-Santarosa, R. (2010). Eficacia de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin en el control de *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) en fresa. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(3), 189-193.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v16n3/v16n3a7.pdf>
- Morales-Mora, L. A., Andrade-Hoyos, P., Valencia-de Ita, M., Romero-Arenas, O., Silva-Rojas, H. V. & Contreras-Paredes, C. A. (2020). Characterization of strawberry associated fungi and in vitro antagonistic effect of *Trichoderma harzianum*. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(3), 434-449. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2005-7>
- Qian, S., Dulanjalee, H., Jingyi, J., Qiang, Z., Guozhen, Z., Qi, W., Jiye, Y., Wei, Z. & Xinghong, L., (2021). Role of *Neopestalotiopsis rosae* in causing root rot of strawberry in Beijing, China. *Crop Protection*, 147.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105710>
- Rebollar A., A., Silva R., H. V., Fuentes A., D., Acosta G., U., Martínez R., M. & Parra R., B. E. (2020). An Emerging Strawberry Fungal Disease Associated with Root Rot,



- Crown Rot and Leaf Spot Caused by *Neopestalotiopsis rosae* in Mexico. *Plant Disease*, 104(8) 2054–2059. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-19-2493-SC>
- Rojas, J. C., Virgen, A., Santiesteban, A. & Cruz-Esteban, S. Los cebos azucarados no atraen a las hembras de *Spodoptera frugiperda* (*Lepidoptera: Noctuidae*) pero si afectan la atracción de los machos a la feromona sexual. *Entomología Mexicana*. 7, 145-151. <https://www.researchgate.net/publication/344180071>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (Mayo/2024) <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Vega-López, M. & Granados-Montero, M. (2023). Eficacia de benomil y folpet sobre *Fusarium oxysporum* patógeno de la fresa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(3), 485-490. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3253>
- Villegas-Elizalde, S. E., Rodríguez-Maciel, J. C., Anaya-Rosales, S., Sánchez-Arroyo, H., Hernández-Morales, J. & Bujanos-Muñiz, R. (2010). Resistencia a acaricidas en *Tetranychus urticae* (Koch) asociada al cultivo de fresa en Zamora, Michoacán, México. *Agrociencia*, 44(1), 75-81. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5527607>

Maleza y su control en el cultivo de Nopal en México

Susana Elizabeth. Ramírez-Sánchez
José Luis. Arispe-Vázquez
Lesly Carnero-Avilés
Miguel Ángel Valdez-Hernández
José Francisco Rodríguez- Rodríguez
Néstor Alberto Aguilera-Molina





Introducción

El nopal, es uno de los miembros del género *Opuntia*, L., que ha sido domesticado por la gente del Valle de México, desde tiempos ancestrales como nopal verdura, sin embargo, tiene diversos usos. Es un cultivo perene, de relativamente pocos requerimientos, especie nativa de América con una amplia distribución alrededor del mundo, además es reconocida por su importancia económica a nivel mundial, con 3.5 millones de hectáreas silvestres y poco más de 1.5 millones en hectáreas cultivadas, de éstas el 88.39% se destinan a la producción de forraje, 6.25% a producción de tuna, 4.64 % en la producción de grana cochinilla y 0.72 % a la producción de nopal verdura. En México de manera particular se cultivan para forraje 10,048 ha, para tuna 72,500 has, para nopal verdura 10,930 has y para grana cochinilla 10 ha. El cultivo de nopal en México es una actividad de gran relevancia económica y social. Este se produce en 27 entidades federativas de México como Jalisco, Estado de México, Morelos, CDMX antiguo Distrito Federal, San Luis Potosí, Aguascalientes, Hidalgo, Puebla entre otras. Es uno de los cultivos en las zonas con actividad agronómica de la Ciudad de México, como lo es Milpa Alta. En 2022, la superficie sembrada de nopal verdura fue de 12,491 hectáreas, con una cosecha de 12,365 hectáreas, su producción total fue de 872.3 miles de toneladas y el valor de la producción fue de 2,981 millones de pesos, con un precio que osciló los \$3,417.00 por tonelada. EL cultivo de nopal verdura se llevó a cabo en 27 entidades nacionales, y el estado de Morelos produjo en 2022 el 46.6% de la producción nacional, lo que lo sitúa en el primer lugar, el Estado de México es el tercer lugar (44%) en producción a nivel nacional, otras entidades como Jalisco, Michoacán y Puebla lograron producir el 21.5% en conjunto. Como todos los cultivos, tienen problemáticas, en este caso, el centro de atención es el control de maleza, ya que desde la invención de los herbicidas sintéticos, pareciera ser que es la única forma de controlar la presencia de maleza, que compite con el cultivo por luz, agua, nutrientes y espacio; existen referencias bibliográficas, que reportan pérdidas importantes debido a la presencia de maleza no controlada en un cultivo, desde un 30% hasta el total de la producción, es importante conocer las estrategias que se utilizan bajo dicha problemática y al mismo tiempo, brindar algunas alternativas de control que se han utilizado, por lo que en este trabajo se presentará el estado del arte en el control de maleza en el cultivo de nopal en México. Sin embargo, el control de maleza representa uno de los principales desafíos para los agricultores. Por lo tanto, es fundamental conocer y aplicar técnicas efectivas de control de maleza para garantizar el éxito y la rentabilidad del cultivo.

Importancia del Nopal

El nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) es parte de la alimentación del mexicano, también tiene valor socioeconómico y un simbolismo cultura e histórico en la sociedad mexicana, ya



que se encuentra en la bandera nacional. Mediante el consumo de nopal se obtienen diversas propiedades y se le puede dar diversos usos. De él se obtiene producción de fruta (tuna), el consumo de brotes o cladodios frescos, como nopal verdura, de este se elaboran varios productos como nopal en salmuera, en escabeche, dulces como la mermelada y nopal cristalizados, se ofrece como forraje al ganado, como medio de crianza para la cochinilla; se ha comprobado científicamente que consumir nopal, reduce los niveles de glucosa en sangre y los niveles de colesterol, lo que las empresas utilizan para elaborar cápsulas y comprimidos de nopal. En cuanto el uso cosmético, se encuentran en el mercado, champús, enjuagues, jabones y cremas, elaborados con nopal. Se usa para elaborar pinturas con el mucílago que desprende el cladodio. También se elaboran artesanías con la fibra, elaborando canastas y floreros y se ha logrado obtener papel de calidad

Importancia del control de maleza en el cultivo de nopal

El control de maleza es fundamental, debido a la alta competencia que afecta negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas de nopal, así como la emisión de nopalitos (en nopal verdura), lo que reduce el rendimiento. La maleza también puede actuar como hospedero de plagas y enfermedades, aumentando el riesgo de infestación en el cultivo. Además, la presencia de malezas dificulta las labores de cultivo y cosecha, lo que implica un mayor costo y tiempo de trabajo para los agricultores. Por otro lado, al establecer la plantación de nopal, este mismo, puede servir de planta nodriza para maleza, por lo que se debe evitar el establecimiento de estas, para que el cultivo objetivo, en este caso el nopal, pueda desarrollarse exitosamente. Existe el periodo crítico de competencia (PCC), que es el tiempo que el cultivo debe permanecer libre de maleza para lograr un establecimiento y desarrollo óptimo, pero este PPC se aplica en cultivos anuales, en cultivos perennes como lo es el nopal, una vez establecido el cultivo durante el primer año deberá mantenerse libre de maleza y continuarlo durante el segundo y tercer año para gramíneas estoloníferas. En este tipo de cultivos, una vez establecidos, se busca controlar la maleza en la época de lluvia, para evitar la reducción del rendimiento.

Métodos de control de maleza en nopal

Los métodos de control de maleza, de manera general, son variados, y van desde los preventivos, que son lo más recomendable y los correctivos, éstos se aplican cuando no se aplicaron preventivos o cuando éstos no funcionaron de manera adecuada. También se implementa una combinación de técnicas que conforman una estrategia: las técnicas manuales, agroecológicas, químicas, biológicas, culturales como el uso de coberturas plásticas, secas, vivas etc. Se abordarán separadamente en este escrito más adelante.



Control cultural

Se ha buscado realizar labores para reducir la presencia de maleza y aumentar la productividad del cultivo, en ese sentido la distancia entre surcos representa un factor a controlar, a pesar de que la presencia de maleza depende del banco de semillas en el suelo, las labores culturales que se realizan pueden impactar la emergencia de estas, por ejemplo, en una plantación con una distancia entre plantas de 0.50 m y distancia entre surcos de 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00 m, se encontró que no hay deferencia en la presencia de dicotiledóneas y monocotiledóneas a los 15 días pero a menor distancia hay una disminución de maleza, tanto de hoja ancha como de hoja angosta a los 45 días, de ahí que a distancias medias, menor abundancia de malezas, sin embargo se debe tener cuidado ya que al incrementar la densidad de plantas en un cultivo, se da un incremento en la competencia, originando gradualmente plantas de menor tamaño.

Control manual

En este punto es importante señalar que la distancia entre surcos y plantas al momento de la plantación juega un papel decisivo para un buen manejo de las labores culturales y propias del cultivo. En parcelas de gran extensión, se realiza un paso de rastra y solo se hace uso del azadón en los bordes o entre planta y planta. El control manual de maleza es una de las técnicas más antiguas y si se realiza adecuadamente, es efectiva. Con el uso de azadones, bioldos y otras herramientas, la maleza es retirada desde la raíz, la desventaja es que se requiere mano de obra y esta, es cara y escasa, además se requiere de dos a tres deshierbes al año. Un aspecto negativo de esta técnica es el daño mecánico que por el trabajo realizado se hace, ya que se golpean y rompen algunos cladodios, que, con las heridas, se abre la puerta para otro tipo de problema, como las bacterias y hongos causantes de enfermedades. Sin contar las plantas que por errores en el deshierbe son extraídas, reduciendo así la densidad del cultivo y por ende el rendimiento.

El control manual se utiliza en zonas de poca superficie y con pendientes superiores al 10%. Actualmente existen diversas herramientas para el deshierbe manual (cuadro 1), se utilizan según el tipo de maleza presente, la herramienta más básica es el azadón, pero en este sentido las herramientas han evolucionado, aunque no como se esperaba.

Control químico

El control químico es la herramienta más utilizada mundialmente en todos los cultivos para controlar maleza, no requiere mucha mano de obra comparada con el deshierbe manual, y se puede aplicar sin usar tractor, ya que por las lluvias el tractor, en algunos



casos, podría no lograr ingresar a la parcela, en este caso, una persona con mochila aspersor puede realizar la aplicación.

Con la correcta aplicación en tiempo y forma, referente a que el mejor momento de aplicar es cuando la maleza tiene entre dos y 5 cm de altura, en su defecto no más de 15 cm de altura, ya que posterior a esta altura, es complicado que el herbicida haga su labor, también debe considerarse las moléculas o herbicidas adecuados, el control químico de maleza es eficiente y el objetivo del cultivo, por ejemplo, para nopal verdura, no se deben aplicar herbicidas.

Cuadro 1. Herramientas para deshierbe manual.

Herramienta	Uso
Azadón	<p>Deshierbe: arranca la maleza y al mismo tiempo se utiliza para armar o elaborar los surcos es áreas pequeñas, pero también para deshierbar.</p> <p>Es muy útil es áreas donde la maleza de hoja angosta (gramíneas) ha crecido</p> <p>Muy útil para sacar las plantas de raíz en suelos no muy compactados.</p>
<p>Rastrillo de deshierbe</p> 	
<p>Deshierbador, cortador de doble filo</p> 	<p>Se utiliza en áreas donde la maleza creció por arriba de los 15 cm</p>



Existen muchas moléculas sintéticas que tienen la función herbicida y que pueden o no ser selectivos al cultivo. En el caso del nopal, es muy resistente o tolerante a la aplicación de herbicidas, sin embargo, los herbicidas de contacto como el Glifosato y el Paraquat, si le causan daño severo, pero se aplican con campana y dirigidos a la maleza. Cabe mencionar que existe poca información científica formal generada en torno al control de maleza en el cultivo de nopal, dadas las características mencionadas del nopal.

Una de las recomendaciones al aplicar este tipo de herbicidas, es aplicar con velocidades de viento menores a 8 km/h para evitar la deriva por viento y dirigir la aplicación al suelo. La Identificación de maleza es importante para el uso de herbicidas, ya que la aplicación de herbicidas debe ser con base en las especies de maleza presentes en la parcela, debido a que un solo herbicida, no controla a la diversidad de la maleza, de ahí la importancia de saber la diversidad de maleza presente.

Ejemplos del uso de herbicidas

La maleza es parte de los riesgos naturales en un agro-ecosistema, estas pueden ser nativas o introducidas. Estas en su papel de maleza, son descritas como dañinas en los sistemas de producción, estas se clasifican como perennes: ciclo de vida de tres años o más, bianuales: ciclo de vida dos años, donde en su primer año, es crecimiento vegetativo y el segundo florecen, producen semilla y mueren, y anuales: su ciclo de vida solo es de un año. Esto es importante conocerlo para seleccionar el herbicida adecuado, por ejemplo, cuando se da el caso que la maleza rebaso los 15 cm de altura, se aplica Glifosato (Faena®) o Paraquat (Gamaxone®) que son secantes y de contacto, como ya se mencionó con campana y dirigido a la maleza. En el caso de la presencia de rosa amarilla (*Galisoga perviflora* Cav.), la aplicación de Ametrina + 2,4-D mostró un control del 95% a los seis días y el efecto se mantuvo durante 13 días, pero en esta misma maleza con la aplicación de MSMA el control fue menor al 25%. Se debe recordar que el 2,4-D es un imitador de las auxinas, está clasificado dentro del grupo 4 de la HARC y a pesar de que su mecanismo de acción es incomprendido aún, parece afectar la plasticidad de la pared celular y el metabolismo de los ácidos nucleicos, lo que impacta finalmente en la membrana plasmática. La COFEPRIS fijó el límite máximo de residuos (LMR) 0.5 y 0.05 ppm para glifosato y diurón. La Comunidad Económica Europea carece de registro para plaguicidas autorizados para nopal verdura, pero para tuna indica si menciona algunos insecticidas estos valores dependen de lo establecido por cada país que autorice su uso.

Por otro lado, existen las malezas que son sensibles como el epazote cenizo (*Chenopodium album* L. Bosc ex MOQ) que es fácilmente controlado casi con cualquier herbicida, como el Glifosato y el Carfentrazone. Y dado que no existen herbicidas



selectivos a nopal por su alta tolerancia a estos, se han ido probando diferentes herbicidas, con base en las malezas presentes.

Es necesario mencionar que cada región o zona de cultivo, tiene malezas dominantes, que son, en mayor medida, las que se busca controlar, por ejemplo, en un estudio realizado en Milpa Alta, las malezas dominantes fueron *Ambrosia psilostachya* DC, *Chenopodium graveolens* Willd, *Gaura coccinea* Nutt ex Pursh, *Malva parviflora* L., *Portulaca oleracea* L., *Amaranthus hybridus* L. (Cuadro 2). En otro estudio realizado en el Estado de México, la maleza dominante fue *Cyperus rotundus* L.

Para la familia Amaranthaceae, en otras partes del mundo como Estados Unidos, Argentina, Bolivia y Brazil, por mencionar algunos, se ha registrado ya resistencia a Simazina, Glifosato, Imazetapyr, 2.4-D, Dicamba, Fomasefan, Atrazina, entre otros, es por eso que se debe cuidar lo que se aplica, la frecuencia con que se aplica y alternar los herbicidas por modos de acción, esto evita que la maleza genere resistencia.

Cuadro 2. Malezas presentes en cultivo de nopal en Milpa Alta.

Malezas presentes en el cultivo de nopal en Milpa Alta



Altamisa (Ambrosia psilostachya DC.)



Gaura coccinea Nutt. ex Pursh



Malva (Malva parviflora L.)



Malezas presentes en el cultivo de nopal en Milpa Alta



Mostacilla común (*Sisymbrium irio* L.)



Tomatillo (*Physalis patula* Mill.)



Quelite (*Chenopodium* spp.)



Verdolaga (*Portulaca oleracea* L.)



Quintonil (*Amaranthus hybridus* L.)



Oreja de ratón (*Stellaria media* L. Vill.)



Trébol (*Trifolium repens* L.)



Lentejilla (*Lepidium virginicum* L.)



Lengua de vaca, (*Rumex crispus* L.)



Malezas presentes en el cultivo de nopal en Milpa Alta		
		
<p>Ortiga (<i>Urtica urens</i> L.)</p>	<p>Diente de león (<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Weber ex F.H.Wigg., <i>Prim. Fl. Holsat.</i>, 56, 1780)</p>	<p>Chicalote (<i>Argemone mexicana</i> L)</p>
		
<p>Lechuguilla (<i>Sonchus oleraceus</i> L.)</p>	<p>Hierba de la colmena (<i>Reseda luteola</i> (L.) R. Br.)</p>	<p>Correhuela (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)</p>



Conclusiones y recomendaciones

Se encontró relativamente poca información bajo el esquema de artículos científicos, que aporten al control de maleza en el cultivo de nopal, por lo que se hace evidente la falta de información científica y publicarla. Por lo que se concluye que es necesario, generar alternativas amigables al ambiente y con la salud del ser humano en general.

Referencias

- Araúz-Blandón, E. (2006). Efecto de las distancias entre surcos sobre la incidencia de malezas en cultivo de nopal (*Opuntia ficus indica* L.) y entomofauna asociada, en Diriamba, Nicaragua. Nicaragua. Tesis de Ingeniero Agrónomo Generalista, Universidad Nacional Agraria. Dept. Protección Vegetal. Managua, Nicaragua. Repositorio <https://repositorio.una.edu.ni/2064/>
- Blanco-Navarro, A.C. y Aguilar-Zamora, A.A. (2008). Distancias entre surco y su influencia en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de nopal (*Opuntia ficus indica* L.) en Diriamba, Nicaragua. Tesis de Ingeniero Agrónomo Generalista, Universidad Nacional Agraria. Dept. Protección Vegetal. Managua, Nicaragua. Repositorio <https://repositorio.una.edu.ni/2058/>
- Cid Aguilar-Carpio, Rangel-Estrada, S.E., Sánchez-Mendoza, S.M. y Pérez-Ramírez, A. (2016). Control químico de maleza en nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller]. *Acta agrícola y pecuaria*, 2 (1): 12-16.
- Díaz-Franco A., Hernández-Maya, V., Álvarez-Ojeda, M. G y De la Garza- Caballero, M. (2014). Tecnología para la producción intensiva de nopal para verdura en Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.
- FAO (2018). Ecología del Cultivo, Manejo y Usos del Nopal. pp. 248.
- Fundación Produce (2012). El nopal: propiedades y paquete tecnológico para su producción. Fundación Produce Sinaloa, México.
- García-Ruíz, M.T. (2007). Procesos fisiológicos y contenido de polisacáridos estructurales en nopalito (*Opuntia* spp.) y su modificación por el potencial de agua del suelo. Tesis de Maestría en Fisiología vegetal, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. Repositorio <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/1654>
- Hernández-González, A.I. (2022). Análisis Socioecológico de los Agroecosistemas de Nopal y su relación con la dinámica de la cochinilla silvestre. Tesis de Maestría en Ciencias en Agroecología y Sustentabilidad. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. Pp. 81. Repositorio <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/5099?show=full>



- INEGI (2007). Censo Agropecuario: Características principales del cultivo de nopal en el Distrito Federal, caso Milpa Alta.
- Losada, H., Vieyra, J., Soriano, R., Bennett, R., Cortés, J. & Zavaleta, P. (2001). Assessing the sustainability of a terraced agroecosystem for production of nopal vegetable (*Opuntia ficus-indica*) in metropolitan Mexico City. *American Journal of Alternative Agriculture*, 16(3). <https://doi.org/10.1017/s0889189300009000>
- Márquez-Berber, S. R., Torcuato-Calderón, C., Almaguer-Vargas, G., Colinas-León, M. T. y Gardezi, A. K. (2012). El sistema productivo del nopal tunero (*Opuntia albicarpa* y *O. megacantha*) en axapusco, Estado de México. Problemática y alternativas. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 18(1).
- Martínez-Martínez, T.O. (2011). Calidad Sanitaria en la Producción de Nopal verdura (*Opuntia* sp.) en Otumba, México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Entomología y Acarología. Colegio de Postgraduados. Campos Montecillo, Texcoco, México.
Repositorio <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/590>
- Mora-Navarro, E.C.A.S. (1989). Control químico de la maleza en el nopal de verdura (*Opuntia ficus-indica*) en Naucalpan, Estado de México. Tesis de Licenciatura, Ingeniería Agrícola. UNAM, Campus Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Pp. 54. Repositorio https://repositorio.unam.mx/contenidos/control-quimico-de-la-maleza-en-el-nopal-de-verdura-opuntia-ficus-indica-en-naucalpan-estado-de-mexico-3468379?c=MkA0nd&d=false&q=*&i=2&v=1&t=search_1&as=0
- Reyes-Terrazas, S. A., Flores-Sánchez, D., Navarro-Garza, H., Pérez-Olvera, M. A. y Almaguer-Vargas, G. (2023). Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlacingo, Otumba. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 211–222.
- Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlacingo, Otumba. (n.d.). Retrieved March 29, 2024, from <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3079/5621>

Latencia en semilla de teocintle y sus implicaciones en la agricultura

Martín Quintana-Camargo
Adriana Natividad Avendaño-López
Gilberto Rodríguez Pérez
Juan Manuel Pichardo-González
Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez
María Alejandra Torres-Tapia





Introducción

La latencia de la semilla, es un proceso interno que inhibe su germinación aún bajo condiciones favorables para que esta se lleve a cabo. El estado latente de una semilla, está fuertemente influenciada por las condiciones ambientales durante su desarrollo en la planta madre; es, además, una característica cuyo grado define qué condiciones deben cumplirse para el proceso de germinación y ha sido el resultado de adaptaciones fisiológicas para asegurar la supervivencia de las especies en estado silvestre, de aquí la importancia de los parientes silvestres de cultivos como es el caso del teocintle.

Los parientes silvestres del maíz, colectivamente referidos como teocintles, son los antecesores directos de los cuales éste se domesticó por los antiguos habitantes de Mesoamérica; son un conjunto muy variable de pastos de maduración anual o perennes, y muy similares morfológica y genéticamente, al maíz; se distribuyen como poblaciones aisladas de diferente tamaño desde el sur de Chihuahua, en México, hasta Costa Rica, pero presentan su mayor diversidad en México. Adicional al reservorio genético que representa para el mejoramiento genético del maíz, hoy en día, existen regiones en diversas partes del mundo donde se cultiva para la producción de forraje, en función de su calidad nutritiva, capacidad de rebrote, tolerancia a las altas temperaturas y al estrés hídrico por carencia o exceso de humedad y desde luego también se reporta como una maleza importante.

La presente revisión gira en torno a los teocintles, un grupo de pastos sobre los cuales se han desarrollado numerosas investigaciones, principalmente en aspectos relacionados a su diversidad genética. No obstante, la latencia presente en su semilla, se convierte en una limitante para el establecimiento de trabajos de investigación y en la producción de forraje ya como cultivo agrícola.

Taxonomía del género *Zea*

El género *Zea* (Tribu Andropogoneae) se divide en dos secciones (i) la Sección Luxuriantes la cual incluye las especies perennes *Zea perennis* (Hitchc.) Reeves y Mangelsdorf y *Zea diploperennis* (Doebley, Iltis y Guzmán), las anuales *Zea luxurians* (Durieu y Asch.) Bird y *Zea nicaraguensis* Iltis (ii) la sección *Zea* incluye *Zea mays* L., que a su vez se divide en cuatro subespecies, *Zea mays* subsp. *mexicana* (Schrader) Iltis para las razas Chalco, Mesa Central, y Nobogame, *Zea mays* subsp. *parviglumis* Iltis y Doebley, especie de la cual se originó el maíz y en la que se incluye a la raza Balsas; *Zea mays* subsp. *huehuetenanguensis* (Iltis y Doebley) Doebley para la raza de teocintle Huehuetenango y *Zea mays* L. subsp. *mays* para el maíz cultivado; por lo que hoy en día, se reconocen ocho especies de teocintle.



Distribución de los teocintles en México

El teocintle se encuentra distribuido en forma silvestre, principalmente en áreas tropicales y subtropicales de México, Guatemala, Honduras y Nicaragua, en poblaciones aisladas de tamaño variable ocupando superficies desde una hectárea hasta varios kilómetros cuadrados, en nuestro país crecen tanto especies de teocintle diploides anuales, como perennes diploides ($2n = 20$) y tetraploides, ($2n = 40$). Su distribución se extiende desde la porción sur de la región cultural conocida como Aridoamérica, en la Sierra Madre Occidental del estado de Chihuahua y Valle de Guadiana en Durango, hasta la frontera con Guatemala incluyendo prácticamente toda la porción occidental de Mesoamérica. En las diferentes regiones de México existen poblaciones de teocintle con características morfológicas y genéticas que permiten su diferenciación. Un aspecto que cabe resaltar en relación con la distribución geográfica de teocintle, es que las poblaciones no tienen una distribución uniforme, sino que hay condiciones específicas de clima, suelo e influencia humana, donde es posible localizarlas. Las áreas donde crece teocintle en México son : para la raza Nobogame, El Valle de Nabogame, en la Sierra Madre Occidental; para la raza Mesa Central, el Bajío, que comprende porciones de los estados de Guanajuato, Jalisco y Michoacán en altitudes de 1700 a 2300 m, y en Durango, Durango; para la raza Chalco, El valle de México incluyendo el Distrito Federal, Chalco, Amecameca y Toluca en el estado de México, cercanías de Ciudad Serdán y Puebla, en el estado de Puebla, la raza Balsas ocupa la superficie más importante e incluye el Occidente de México; principalmente en las áreas tropicales y subtropicales del estado de Jalisco, Nayarit y Michoacán y la cuenca del Balsas incluyendo porciones de la Sierra Madre del Sur, desde Jalisco hasta Oaxaca. Recientemente tres poblaciones han sido reportadas, pertenecientes a la sección Luxuriantes, una población diploide perenne de Nayarit; una población tetraploide perenne de Michoacán y una población diploide anual de Oaxaca. A nivel mundial, su distribución data de la segunda mitad del siglo XIX.

Importancia del teocintle

Los recursos fitogenéticos representan la diversidad genética vegetal, en ellos se incluyen especies silvestres de valor potencial relacionadas con especies cultivadas, por lo que constituyen un patrimonio invaluable, su pérdida es un proceso irreversible que representa una grave amenaza para los ecosistemas, el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria mundial; así tenemos que la adaptación de los cultivos al cambio climático ha motivado un interés creciente en el valor potencial de rasgos novedosos de especies silvestres.

Las plantas de teocintle son exteriormente similares a las de maíz, (tallo, hojas y espiga) que aparentemente podrían confundirse. Sin embargo, presenta ciertas características morfológicas diferenciales en la planta adulta, como la inflorescencia femenina, la estructura de la cariósida, así como la presencia en el teocintle de



ramificaciones laterales, menos cantidad de frutos o semilla (10 granos por espiga), y carióspside encerrada entre cubiertas protectoras lignificadas, y una limitada cantidad de almidón, respecto a maíz. La característica más sobresaliente que diferencia al teocintle del maíz es la inflorescencia femenina: una estructura dística en el teocintle y una estructura polística en el maíz. El teocintle y el maíz tienen flores femeninas y masculinas en lugares separados. La inflorescencia masculina se desarrolla en posición terminal en una panícula en ambas plantas, y la femenina en la mazorca (del maíz) o la espiga (del teocintle), que ocupa una posición lateral en la planta. En la madurez, el teocintle presenta dehiscencia y sus semillas se dispersan protegidas dentro de cubiertas, las cuales pueden sobrevivir al tracto digestivo de aves y ganado, permitiendo así que las semillas se diseminen fácilmente. Por otra parte, los granos de teocintle varían considerablemente en tamaño, forma, colores y longevidad. A pesar de las diferencias morfológicas entre plantas de maíz y teocintle, desde el punto de vista genético, son muy cercanas; la hibridación es posible entre ellas y los híbridos son completamente fértiles, por lo que se reporta que el maíz y *Z. m. ssp. mexicana* se hibrida de manera natural a una tasa baja (0.1%), mientras que *Z. m. ssp. parviglumis* se hibrida con el cultivo a un nivel elevado mayor al 50%. Asimismo, a estas especies del género *Zea*, se les han atribuido una gran importancia en el incremento de la variabilidad y en la formación de las principales razas de maíz de México. También es considerado un recurso forrajero, por su alta digestibilidad (78.6%), contenido de proteína (9.6%) y el fruto tiene el doble de hierro y la misma cantidad de grasas, niacina y riboflavina que el maíz.

El uso potencial del teocintle en programas de mejoramiento genético del maíz, ha sido reportado desde los años cincuenta del siglo pasado, como una valiosa fuente de germoplasma ya que confiere resistencia a tanto a enfermedades como a otros tipos de estrés abióticos. En un estudio para incrementar en maíz el rendimiento de grano y otras características agronómicas. Las fuentes provenientes de *Zea mays* subsp. *parviglumis* incrementaron más el rendimiento de grano de las líneas, mientras que las de *Zea mays* subsp. *mexicana*, confirieron mayor precocidad. Así se han reportado genes que han contribuido a la domesticación del maíz al *tb1* que modifica la estructura de la inflorescencia y reprime el crecimiento de las ramas laterales, induciendo a un incremento en el tamaño de la espiga.

Otro rasgo potencial de los teocintles es la alta resistencia a las enfermedades virales y por hongos de maíz, así como de insectos plagas del maíz; y que incluso se han encontrado cepas aisladas de *Azospirillum* spp. y *Klebsiella* spp. conocidas como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, fijadoras de nitrógeno y productoras de sustancias reguladoras del crecimiento, ejerciendo e incluso actividad antibiótica en raíz, tallo y semillas de teocintle. Los contenidos de proteína y algunos aminoácidos esenciales se incrementaron, por lo que concluyeron que la introgresión de *Z. mays* ssp. *mexicana*



en maíz puede ayudar a producir líneas con mejor valor agronómico y mejor calidad nutricional. El uso de germoplasma de teocintle ha probado ser la única opción para conferir resistencia al maíz al exceso de humedad. La formación de raíces adventicias que auxilian a la planta a obtener oxígeno directamente del aire y la formación de arénquima en las raíces parecen ser los aspectos de mayor importancia en la adaptación a las condiciones de exceso de humedad. Por su calidad de forraje, capacidad de rebrote, valor nutritivo y facilidad de cultivo, hoy en día se cultiva en diversos países del mundo, entre los que se destacan: Egipto, Nepal, India, Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos; además, se reporta como una maleza importante sobre todo para algunas regiones de México donde afecta fuertemente la producción del grano.

Latencia en semillas

La latencia o dormancia de la semilla, es la propiedad de inhibir la germinación durante un determinado periodo de tiempo; una semilla en estado latente, evita la competencia entre individuos y asegura su sobrevivencia a catástrofes naturales al eludir periodos inadecuados para el desarrollo de la planta, por lo que representa un mecanismo de gran relevancia ecológica. Históricamente se han realizado diversas clasificaciones, una de las primeras se contempló como latencia: innata, inducida y forzada u obligada las cuales definió con la frase “algunas semillas nacen latentes, algunas adquieren la latencia y en otras es impuesta la latencia”. Posteriormente, una segunda propuesta, estableció un sistema de clasificación basada en dos tipos principales: 1) Latencia endógena, la cual se caracteriza porque los mecanismos de inhibición de la germinación se encuentran a nivel de embrión, y pueden ser de origen fisiológico, morfológico y/o morfofisiológico. 2) Latencia exógena, cuando la germinación se inhibe a causa de capas protectoras del embrión (incluyendo el tejido endospermico), cubiertas de la semilla y/o frutos (testa o pericarpio respectivamente), las causas pueden ser de origen físico, químico o mecánico; por lo que se han propuesto los términos de latencia primaria a la innata y los tipos de latencia inducida y forzada como latencia secundaria, teniendo como base si el bloqueo de la germinación sea antes o después de su dispersión.

La latencia primaria o innata previene la viviparidad de las semillas, es la forma más común. Algunas otras clasificaciones han combinado clasificaciones previas, así tenemos y que contemplan la técnica utilizada para su eliminación, así tenemos, a la latencia exógena física y exógena morfológica la cual es eliminada con métodos mecánicos o luego de un almacenamiento adecuado y los tipos de latencia endógena por su modo de acción en: fisiológica, morfofisiológica y física-fisiológica las cuales se eliminan mediante tratamientos como el osmo-acondicionamiento o utilizando fitorreguladores (ácido giberélico, etileno); y eliminando la latencia exógena de tipo químico. La latencia primaria exógena, está relacionada con las propiedades de la cubierta de la semilla considerando tres principales factores: Impermeabilidad al agua, a



gases o restricción mecánica del crecimiento del embrión. La latencia primaria endógena se subdivide en: fisiológica, morfológica y morfofisiológica caracterizada por la presencia de embriones inmaduros o rudimentarios este tipo de latencia fisiológica es regulada por inhibidores y promotores de crecimiento como el ácido abscísico (ABA) o por inhibidores metabólicos y osmóticos de vías o rutas metabólicas específicas, principalmente compuestos fenólicos. Por el contrario, la latencia primaria exógena se caracteriza por la impermeabilidad al agua, que puede ser debida a la presencia de cutículas o capas de células en empalizada. Los depósitos gruesos de suberina, lignina o cutina son comunes en los integumentos de semillas con cubiertas duras. La impermeabilidad al agua puede estar relacionada a estructuras como el hilio, o está controlada por la hendidura del estrofiolo, la cual está cubierta con una sustancia de suberina parecida al corcho. Respecto a la impermeabilidad a gases, es difícil determinar las causas debido su naturaleza volátil, sin embargo, algunas semillas presentan cubiertas selectivamente permeables al agua, pero no al oxígeno, como es el caso de la semilla de pepino, café y cadillo o abrojo.

La latencia secundaria se define como latencia inducida, este tipo de latencia se produce cuando las semillas están en condiciones fisiológicas para germinar, pero se presenta alguna característica desfavorable, como deficiencia de oxígeno, altas concentraciones de dióxido de carbono o baja temperatura, estas condiciones pueden producir alteraciones fisiológicas reversibles en la semilla. Se considera que la latencia secundaria es adquirida después de la maduración, luego de un periodo de almacenamiento e incluso después de superar un periodo previo de latencia.

El ambiente y la latencia

Las condiciones ambientales de mayor influencia sobre la presencia de latencia en la semilla son las variaciones climáticas de temperatura y humedad, las variaciones microclimáticas derivadas de aspectos fisiográficos y factores bióticos, así como la calidad espectral de la luz y el termoperiodo determinan las características específicas del lugar en el que las plantas se han adaptado para establecerse y crecer. De igual forma las condiciones hormonales y nutricionales de la planta progenitora tienen gran influencia en el establecimiento de la latencia en semilla durante su desarrollo. La resistencia de la semilla a temperaturas extremas puede manifestarse mediante tegumentos y cubiertas protectoras impermeables, así mismo, la protección de enzimas y nucleoproteínas que se desnaturalizan a altas temperaturas, compuestos que son menos lábiles cuando están deshidratados, razón por la cual, la desecación de la semilla juega un papel importante para eliminar la condición latente de la misma.

Las plantas son organismos poiquilotérmicos, es decir no son capaces de regular su temperatura interna, por lo que están estrechamente relacionadas con la temperatura



ambiental bajo la cual crecen, de tal forma que en campo se encontrará actividad fotosintética próxima a 0°C en plantas alpinas, y cercana a 50°C en algunas especies de desiertos cálidos. El estrés por temperatura es un estímulo percibido por las plantas a través de las llamadas proteínas de choque térmico (HSP) promotoras de genes cuya traducción da lugar a proteger las proteínas celulares de la desnaturalización. Este estímulo influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación; cada planta presenta requerimientos específicos de temperatura que regulan su tasa de desarrollo estableciendo sus temperaturas cardinales.

En el proceso de germinación, la semilla puede experimentar una temperatura umbral mínima por debajo de la cual no se lleva a cabo la germinación, temperatura óptima en la cual se obtiene el máximo porcentaje de germinación y temperatura umbral máxima por encima de la cual no hay desarrollo. Es muy probable que la presencia de temperaturas mínima y máxima durante el desarrollo de la semilla sean inductoras de latencia. La temperatura influye directamente en el comportamiento de la semilla mientras experimenta un periodo de latencia y es determinante en la profundidad o persistencia de este estado. Un ejemplo es el comportamiento en campo de la leguminosa forrajera *Stylosanthes humilis*, en la cual se observó que el proceso de germinación de semillas con cubierta impermeable (semillas duras) es considerablemente bajo cuando las temperaturas del suelo se incrementan, incluso la llegada de las lluvias a partir de diciembre, no alcanzan a promover la germinación y las semillas, permanecen duras (latentes) de enero hasta agosto.

Entre los factores que la semilla evita, están las épocas del año desfavorables para el crecimiento debido a las temperaturas letales, así como sequías o inundaciones. El comportamiento estará en función de factores ambientales estacionales. La temperatura juega un doble rol, ya que influye tanto en la inducción como en el rompimiento de la latencia. Las hormonas realizan una importante función en las rutas de transducción intracelular de señales de estrés. El ABA es el principal compuesto de respuesta al estrés abiótico, este inhibidor del crecimiento natural juega un papel regulador en respuestas fisiológicas diversas como la latencia en yemas y semillas y abscisión de hojas y frutos, es antagónico a las hormonas promotoras del crecimiento (auxinas y citocininas) así como al ácido giberélico (GA3). Los efectos de la temperatura sobre la germinación tienen características muy especiales cuando se trata de semillas latentes. La germinación de algunas semillas mejora notablemente bajo condiciones de baja temperatura, incluso un método de romper latencia denominado estratificación, se basa en la exposición de la semilla a temperaturas alternas, algunas semillas como el arroz responden favorablemente a tratamientos a altas temperaturas, semillas que necesitan luz para germinar presentan respuestas favorables a tratamientos de temperatura; por ejemplo, la semilla de lechuga germina en la oscuridad a temperaturas menores de 20°C, pero



necesitan de luz para germinar a temperaturas por arriba de 20°C. Las bajas temperaturas promueven la germinación y liberan de latencia a las semillas, siempre y cuando estén embebidas, ya que las bajas temperaturas sustituyen la producción de AG3; en el caso de semilla seca no se presenta el mismo efecto, debido a la presencia de ABA.

Eliminación de latencia

La pérdida de la condición latente de una semilla, está regulada por el efecto sinérgico entre estímulos ambientales y respuestas endógenas de la propia semilla, las cuales permiten a las plantas establecer su modelo propio de restricción de acuerdo a las condiciones dadas, por ejemplo, a las estaciones del año, el establecimiento del temporal o bien, una vez que la cubierta vegetal ha sido eliminada del suelo, la germinación de la semilla concluye con su etapa de dispersión. El control de la latencia y la germinación son un modelo clave para la comprensión de la integración de las plantas a su medio ambiente. Las señales del medio ambiente más importantes que perciben las semillas son la temperatura y humedad. Después de la maduración, el proceso de pérdida o eliminación de la latencia en ocasiones es simplemente a través de un periodo de almacenamiento, algunas semillas germinan luego del establecimiento del temporal debido a la lixiviación de inhibidores a través del agua. En el suelo, la cubierta de la semilla gradualmente se vuelve permeable por intemperismo, degradación microbiana, factores en el suelo como las saponinas o por el efecto de fluctuaciones de temperatura.

Frecuentemente se dice que el tránsito a través del tubo digestivo de animales es uno de los factores principales que rompen latencia entre las semillas que son dispersadas por animales; las altas temperaturas también pueden romper los tegumentos. Esto ocurre frecuentemente durante los incendios o las quemas en los terrenos de cultivo, sobre todo en los trópicos. Por otro lado, un periodo de almacenamiento de uno a seis meses a temperatura de 15 a 20°C es suficiente para eliminar la latencia en semillas de arroz, arroz rojo y avena silvestre. En las semillas fotoblásticas la presencia de luz está directamente relacionada con la eliminación o liberación de la latencia, una disminución en el fotoperiodo induce latencia, mientras un estímulo de luz es un requerimiento para la germinación, los fitocromos influyen en estos procesos a través de la degradación de proteínas. Las semillas tienen diferentes grosores de testa y diferentes pigmentaciones, lo cual modifica la cantidad y calidad de luz que llega al embrión. En lugares en los que el dosel de los árboles compite por la luz, es conveniente germinar y establecerse antes de que su sombra sea una limitante del desarrollo.

En el caso de los teocintles, se ha demostrado que mediante la eliminación de la cubierta de la cariósida (escarificación física), se promueve la germinación aun para las



semillas recién cosechadas; por lo que, según la clasificación, sería una latencia física o primaria exógena, impuesta por la cubierta, que representa una restricción en la absorción de agua. Esta condición complica el uso de la semilla (con la cubierta protectora o glumas) para su establecimiento en la producción de forraje en el norte de África y países asiáticos donde ya se realiza su cultivo; por el contrario, en nuestro país, seguirá “persistiendo” como una maleza difícil de controlar, al presentar un ciclo vegetativo más corto que el maíz, dehiscencia de sus frutos y la condición latente de sus semillas.

Conclusiones

El teocintle presenta latencia del tipo física, por lo que la manera más eficiente para su rompimiento es la escarificación mecánica, mediante la eliminación de las glumas que funcionan como barrera mecánica que impide el proceso de imbibición de la semilla. Se destaca así mismo, la importancia que tiene el teocintle como un recurso genético valioso para el mejoramiento genético del maíz; como cultivo forrajero e incluso como maleza difícil de controlar.

Referencias

- Avendaño, L. A.N., González, J. J. S., Ruiz, C. J., De la Cruz, L., Santacruz-Ruvalcaba, F., Sánchez-Hernández, C. & Holland, J. (2011). Seed Dormancy in Mexican Teosinte. *Crop Science*. 51. 2056.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2010.09.0538>.
- Azcón-Nieto, J. y Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Mc Graw Hill.
- Baskin, J. M. & Baskin, C. C. (2004). A Classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* 14:1-16. <https://doi.org/10.1079/SSR2003150>
- Bewley, J. D. & Black, M. (1997). *Seeds Physiology of Development and Germination*. (2nd ed.) Plenum Press, N.Y.
- Carcaño, M. M. G., Ferrera-Cerrato, J. Pérez-Moreno, J.D., Molina-Galán, y Bashan, Y. (2006). Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas, sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Klebsiella* aisladas de maíz y teocintle. *Terra Latinoamericana*, 24: 493-502.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57324407>
- Dermastia, M., Kladnik, J. A. Dolenc, & Chourey, P.S. (2009). A cellular study of teosinte *Zea mays* subsp. *parviglumis* (Poaceae) caryopsis development showing several processes conserved in maize. *American Journal of Botanical*. 96: 1798-1807.
<https://doi.org/10.3732/ajb.0900059>
- Doebley, J., Stec, A. & Hubbard, L. (1997). The evolution of apical dominance in maize *Nature*. 386: 28-36. <https://doi.org/10.1038/386485a0>



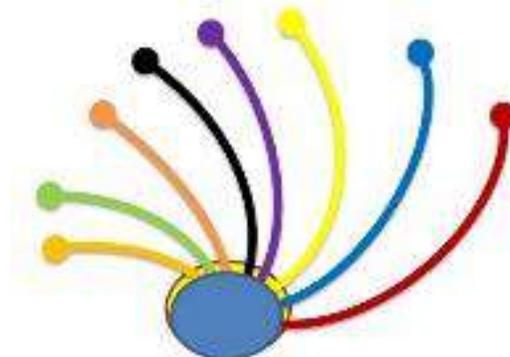
- Fenner, M. & Thompson, K. (2005). *The ecology of seeds*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Finch-Savage, B. & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* 171: 501-523.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>
- Finkelstein, R., W. Reeves, T. Ariizumi, & Steber C. (2008). Molecular Aspects of Seed Dormancy Annu. *Rev. Plant Biol.* 59:387–415.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740>
- Flint-García, S. A., Bodnar, A. L. & Scott, M. P. (2009). Wide variability in kernel composition, seed characteristics, and zein profiles among diverse maize inbreds, landraces, and teosinte. *Theor. Applied Genetic.* 119:1129–1142.
<https://doi.org/10.1007/s00122-009-1115-1>
- Foley, M. E. (2001). Seed dormancy: an update on terminology, physiological genetics, and quantitative trait loci regulating germinability *Weed Science*, 49:305–317.
[https://doi:10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0305:SDAUOT\]2.0.CO;2](https://doi:10.1614/0043-1745(2001)049[0305:SDAUOT]2.0.CO;2)
- Harper, J. L. (1957). The ecological significance of dormancy and its importance in weed control. *Proceedings of the IVth International Congress of Crop Protection* 1, 415-420.
- Nikolaeva, M. G. (1967). *Physiology of deep dormancy in seeds*. Leningrad, Russia: Izdatel'stvo Nauka" (in Russian). Translated from Russian by Z. Shapiro (1969), National Science Foundation, Washington, DC, USA: 219 p.
- Norman C. E., Lauren C. G., Subray H., Guadagnuolo, R. and Blancas L. 2007. Spontaneous hybridization between maize and teosinte, *Journal of Heredity*. 98(2):183-187. <https://doi.org/10.1093/jhered/esm002>
- Penfield, S. and King, J. (2009). *Towards a Systems Biology Approach to Understanding Seed Dormancy and Germination*. Royal Society Biological Science. 276(1673).
<https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0592>
- Sánchez G. J. J. Ruiz. C, J. A, García, G. M., Ojeda, G. R., Larios, L. D. LC, Holland JB, *et al.* (2018). Ecogeography of teosinte. *PLoS ONE* 13(2): e0192676.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192676.g002>
- Sánchez, G.J.J. (2011). *Diversidad del Maíz y el Teocintle*. Informe preparado para el proyecto: "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Vleeshouwers, L. M., Bouwmeester, H. J. and Karssen, C. M. (1995). Redefining Seed Dormancy: An attempt to integrate physiology and ecology. *Journal Ecology* 83: 1031- 1037. <https://doi.org/10.2307/2261184>



Wilkes, G. H. (2004). Corn, Strange and Marvelous: But Is a Definitive Origin Known?
Pp.3-63 In: C.W. Smith (Ed) Corn: Origin, History, Technology, and Production.
John Wiley & Sons.

Fermentación en estado sólido como medio para aumentar compuestos fenólicos en cereales

Faviola Ortiz-Robledo
Gerardo Antonio Pámanes-Carrasco
Elia Esther Araiza-Rosales
Rafael Jiménez-Ocampo





Introducción

Los cereales son considerados como alimento principal para el ser humano y animales; ocupan aproximadamente el 73% del área cosechada en el mundo y el 60 % de la producción de alimentos a nivel mundial. Su importancia también radica en el aporte de nutrientes tales como carbohidratos, proteínas, fibra, minerales, vitaminas y significativos niveles de fitoquímicos. Los granos de cereales contienen una variedad de sustancias químicas llamadas metabolitos secundarios, las cuales son moléculas orgánicas que no tienen una participación directa en el metabolismo primario, pero presentan diversas propiedades biológicas. Estos metabolitos se sintetizan en pequeñas concentraciones y se agrupan básicamente en cuatro grupos: terpenos, alcaloides, glucósidos y compuestos fenólicos. Dentro de estos grupos, los más abundantes en las plantas son los compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos presentes en los cereales se agrupan en solubles e insolubles. Dentro de los solubles, se encuentran los fenoles libres, glucosilados y esterificados, y se ubican en mayor cantidad en las capas externas de los granos como el pericarpio, testa y células de aleurona, en el endospermo su concentración es menor. En su mayoría, los fenoles insolubles forman enlaces covalentes con componentes de la pared celular como la pectina, celulosa y proteínas estructurales. La mayoría de los compuestos fenólicos en cereales ocurren generalmente en formas conjugadas o insolubles, lo cual disminuye su biodisponibilidad.

Los compuestos fenólicos presentan una variedad de propiedades biológicas entre las cuales se pueden mencionar: antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias, antitumorales, etc. Es importante mencionar que su bioactividad va a depender mayormente de su bioaccesibilidad, esto es, de la liberación de su matriz alimenticia para que esté disponible.

Por su parte, la fermentación en estado sólido es una técnica oriental muy antigua utilizada originalmente para producir diversas comidas tradicionales. Actualmente, este proceso se emplea para aumentar la bioaccesibilidad de los nutrientes y compuestos fenólicos, ya que los microorganismos utilizados en la fermentación producen enzimas que degradan la pared celular y liberan e hidrolizan complejos que hacen más digestible y biodisponibles los nutrientes.

Biosíntesis de los compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son los metabolitos secundarios más abundantes de las plantas. Los fenoles comprenden un amplio grupo heterogéneo con más de 8,000 moléculas identificadas. Su estructura básica está constituida por un grupo fenol, esto es un anillo aromático con un grupo hidroxilo (-OH) enlazado (Figura 1). Su estructura puede ser muy simple, como los ácidos fenólicos que solo tienen un grupo fenol o complejas



estructuras con dos o más grupos fenólicos, como los estilbenos y flavonoides.

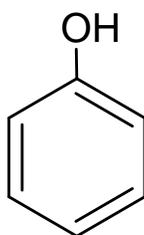


Figura 1. Estructura química del fenol.

En las plantas vasculares, los compuestos fenólicos son principalmente sintetizados por el metabolismo de los fenilpropanoides, los cuales involucran la presencia de precursores que son sintetizados por dos rutas: la del ácido shikímico y la del acetato-malonato (Figura 2). La ruta del ácido shikímico es la que proporciona la mayoría de los compuestos fenólicos en las plantas, utiliza precursores de carbohidratos simples para convertirlos en aminoácidos como fenilalanina y tirosina. Esta ruta necesita luz y se inicia en los plastos por la unión de dos productos: la eritrosa-4-fosfato (de la vía pentosas fosfato) y el fosfoenolpiruvato (de la glucólisis). Tras varias modificaciones, se sintetiza el ácido shikímico; a partir de este, se obtienen algunos fenoles. La ruta del ácido shikímico continúa con la adición de una segunda molécula de fosfoenolpiruvato, produciéndose la fenilalanina. La fenilalanina sufre varias transformaciones para transformarse en ácido p-cumárico, el cual es transformado por la enzima CoA-ligasa a p-cumaroilCoA, que es un precursor de la mayoría de los fenoles.

La ruta del acetato-malonato, también llamada ruta de los policétidos, comienza con acetilCoA, el cual sufre varias condensaciones que originan los poliacetatos. Posteriormente, los poliacetatos se reducen formando ácidos grasos, los cuales se ciclan dando lugar a las quinonas y otros metabolitos que se producen por rutas mixtas. Estas rutas combinan precursores de las rutas del ácido shikímico y del acetato-malonato para sintetizar los flavonoides.

Clasificación y estructura de compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se clasifican en dos grupos: flavonoides y no flavonoides. Dentro del grupo de los no flavonoides, se encuentran los ácidos fenólicos, cumarinas, estilbenos y lignanos (Figura 3). Los flavonoides se dividen en varias clases: chalconas, flavanonas, flavonas, flavonoles, isoflavonas, flavan-3-oles, antocianinas y taninos (Figura 4).

Los ácidos fenólicos están constituidos por un anillo aromático unido a un grupo carboxilo y al menos un grupo hidroxilo. Se dividen en ácidos hidroxicinámicos y hidroxibenzoicos. De los ácidos hidroxicinámicos más comunes son el ácido p-cumárico,



ácido cafeico y ácido ferúlico y de los ácidos hidroxibenzoicos, el ácido salicílico, ácido gálico y la vainillina. Las cumarinas se forman por fusión de un anillo bencénico con un heterociclo con oxígeno. La estructura de los estilbenos está formada por dos grupos fenilo unidos por un puente de dos átomos de carbono. Mientras que los lignanos están conformados por unidades de fenilpropanoides que corresponden a los monolignoles (alcoholes p-cumarílico, coniferílico y sinapílico).

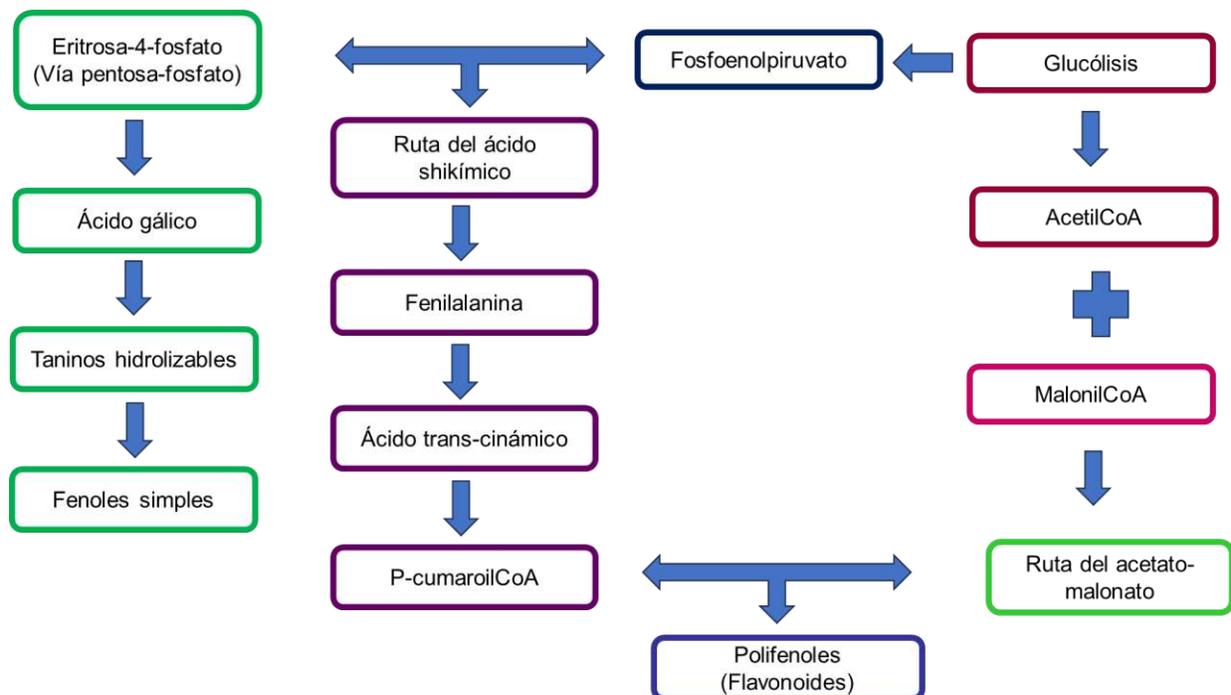


Figura 2. Esquema General de las rutas biosintéticas de los compuestos fenólicos.

Respecto a los flavonoides, su estructura común a todos los integrantes del grupo consiste en dos anillos aromáticos (designados con letras A y B) unidos mediante un puente de tres carbonos que por lo general forma un tercer anillo C (heterociclo oxigenado).

Las chalconas difieren de la estructura básica de los flavonoides en que tienen una cadena lineal para conectar los anillos A y B en lugar del heterociclo C. Las flavanonas son isómeros de chalconas, tienen un anillo heterocíclico con un oxígeno, y unido un grupo cetona en la posición 4 del heterociclo de oxígeno. Las flavonas se diferencian de las flavanonas porque presentan un doble enlace C=C entre los carbonos 2 y 3 del del anillo C.



Con respecto a las isoflavonas son isómeros de flavonas, siendo la diferencia entre ambos compuestos la posición del anillo B. En las flavonas el anillo B se encuentra unido al C₂ del anillo C y en las isoflavonas en el C₃. Los flavonoles se diferencian de las flavonas por presentar el grupo hidroxilo unido al C₃ del anillo C. Los flavan-3-oles también llamados flavanoles, presentan un grupo OH en el C₃ del anillo C y la saturación que presenta este anillo.

Las antocianinas son glicósidos que presentan el azúcar generalmente unido en el C₃ del anillo C. El C₄ del anillo C no tiene oxígeno.

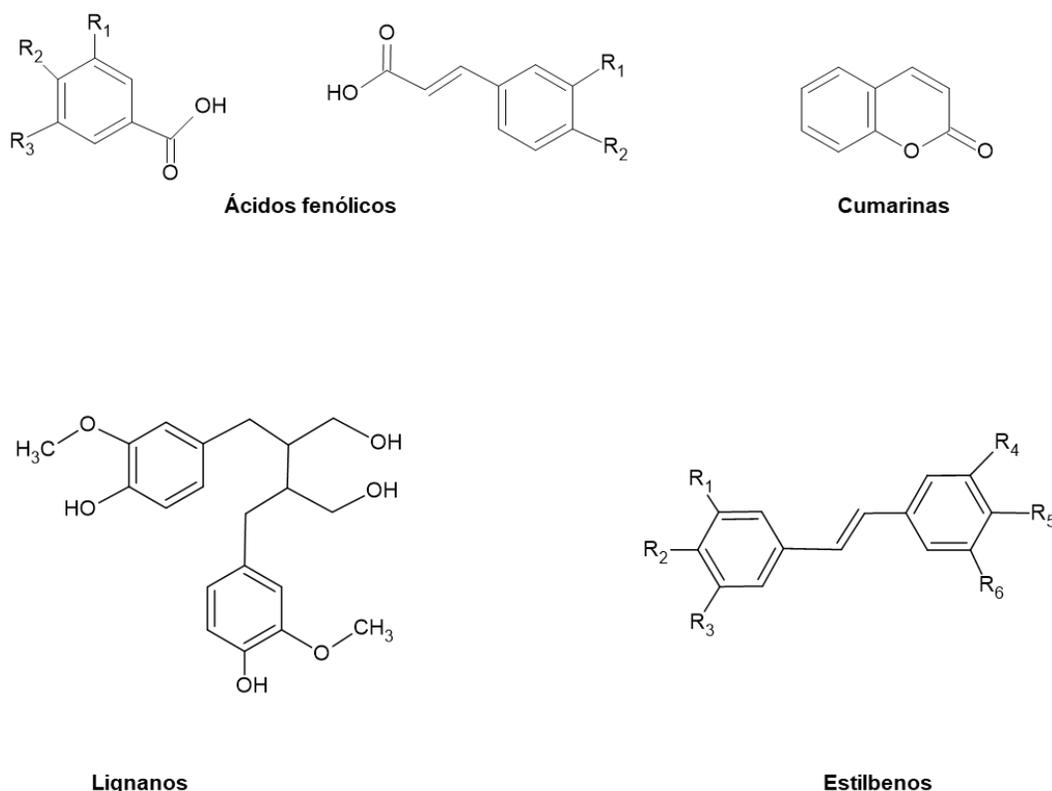


Figura 3. Compuestos fenólicos no flavonoides.

Los taninos se agrupan en dos clases: hidrolizables y condensados. Los taninos hidrolizables presentan una estructura de glicósidos. La porción glucídica generalmente es glucosa y la porción no glucídica corresponde a moléculas de ácido gálico o su dímero el ácido elágico. Los taninos condensados o proantocianidinas, provienen de la esterificación de compuestos flavonoides, como las catequinas o también llamadas flavan-3-oles.

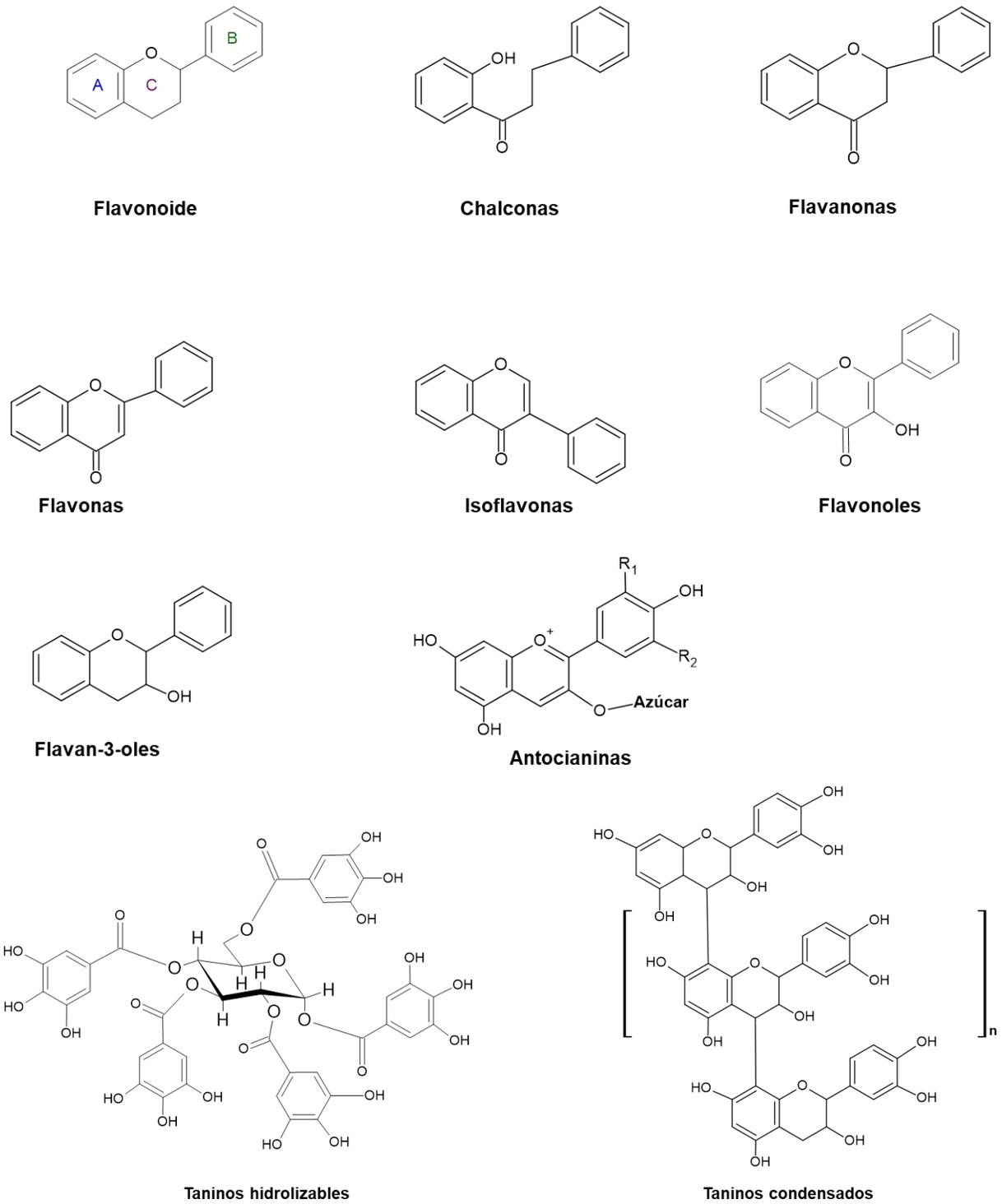


Figura 4. Estructura general de los flavonoides y clases.

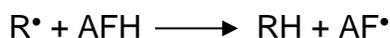


Relación entre estructura y poder antioxidante de compuestos fenólicos

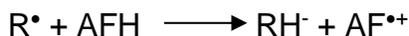
Los fenoles son compuestos que presentan propiedades antioxidantes, esto es, protegen biomoléculas como proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y azúcares del daño oxidativo, actuando como donadores de electrones. El estrés oxidativo se manifiesta cuando hay un desequilibrio en la producción de especies reactivas de oxígeno (radicales libres), desencadenando daños a nivel celular y múltiples enfermedades.

Las propiedades benéficas de los compuestos fenólicos, que se relacionan con su actividad antioxidante son: antibacterianas, antiinflamatorias, cardioprotectoras, neuroprotectoras, antitumorales, antienvjecimiento, entre otras.

Las sustancias fenólicas presentan particularmente dos mecanismos de acción antioxidante. En el primer mecanismo, los antioxidantes fenólicos (AFH) pueden donar átomos de hidrógeno a radicales libres y producir derivados estables y radicales antioxidantes. Cuanto menor es la energía de disociación del enlace O-H, más fácil será la reacción de inactivación del radical libre y por tanto mayor acción antioxidante.



En el segundo mecanismo, los fenoles pueden donar un electrón al radical libre para después convertirse en un radical catiónico. En este mecanismo, cuanto menor es la energía de ionización, es más fácil remoción de electrones, lo que se traduce en una mayor actividad antioxidante.



La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos depende del número y disposición de los grupos hidroxilo (-OH) en la molécula, presencia de dobles enlaces, glicosilación, y presencia de sustituyentes en el anillo bencénico. La posición y el número de grupos hidroxilo esta correlacionada con la antioxidación de flavonoides. La presencia de dos grupos -OH en el anillo aumenta el efecto antioxidante, mientras que tres -OH suprimen su actividad. La existencia de doble enlace C₂=C₃ en combinación con un grupo carbonil en posición 4 también significa incremento de la actividad antioxidante, ya que proporciona planaridad, expansión electrónica y desplazamiento entre anillos adyacentes. Respecto a la glicosilación, la forma C-glicósido tiene mayor capacidad antioxidante que la forma O-glicósido. Se sabe que la glicosilación interfiere con la planaridad de la molécula, la metilación y el desplazamiento de electrones. Mientras que la metilación afecta la planaridad, donación de electrones y la hidrofobicidad. Si se alterna la metilación con el grupo hidroxilo reduce la capacidad antioxidante de los fenoles.



Fermentación en estado sólido

La fermentación en estado sólido (FES) se define como la fermentación de una matriz o sustrato sólido en ausencia o baja cantidad de agua. En este proceso, la matriz sirve como soporte del crecimiento del microorganismo y además como fuente de nutrientes. Esta técnica ha sido utilizada desde tiempos antiguos en países asiáticos para producir una variedad de comidas tradicionales.

Los sustratos utilizados frecuentemente en la FES son los cereales, leguminosas, semillas oleaginosas y residuos agrícolas o forestales. Las características que debe tener el sustrato para ser empleado en la fermentación deben ser:

- Insoluble en agua, con el fin de asegurar las condiciones de incubación de la FES
- Alto contenido de carbohidratos y/o proteínas
- Estructura que posibilite la adhesión y penetración del microorganismo
- Baja tendencia a la aglomeración con el micelio y a la formación de masas compactas, para evitar restricciones difusionales de los gases

Algunos microorganismos como hongos, levaduras y bacterias lácticas, pueden ser usados en el proceso de fermentación, pero los más comúnmente empleados en la FES son los hongos filamentosos, los cuales son capaces de adaptarse a diferentes ambientes. Estos crecen de forma natural sobre sustratos sólidos porque poseen sistemas enzimáticos que les permiten utilizar varias fuentes de carbono, además de su capacidad de adhesión y penetración en las partículas del sustrato y los bajos requerimientos de actividad de agua. Se emplean en la industria para la obtención de alcaloides, esteroides, pigmentos, alcoholes, y enzimas tales como celulasas, lipasas, xilanasas y lactasas. Algunas de las enzimas producidas por hongos filamentosos para liberar los compuestos fenólicos de los cereales son: celulasas, β -glucosidasas, xilanasas y cinamoil esterases. El género *Aspergillus* es uno de los hongos más empleados en la FES. Un ejemplo de éste es el *Aspergillus oryzae*, el cual es un hongo filamentosos utilizado desde la antigüedad en la preparación de comida asiática fermentada, como el sake, salsa de soya y miso. Actualmente, es utilizado para producir compuestos bioactivos en granos y leguminosas, así como también la producción de enzimas termoestables de alto valor comercial. Así mismo, es un hongo seguro para el ser humano, ya que no produce aflatoxinas; originalmente se aisló del suelo y del arroz, de ahí el origen de su nombre. Además, es un microorganismo aerobio que crece a un rango de temperatura de 30 a 36 °C y un pH 5-6. Cuando crece, inicialmente la colonia es blanca y luego se torna verde amarillento por la producción de conidios.



Efecto de la fermentación en estado sólido sobre el contenido nutricional de cereales

Diversos estudios han demostrado que la FES tiene un impacto benéfico sobre el perfil nutricional de cereales. El principal efecto de la FES es el de aumentar el contenido proteico y su digestibilidad. Por ejemplo, en un estudio se investigó el efecto de la fermentación en estado sólido con el hongo *Rhizopus oryzae* y la mezcla de *Rhizopus oryzae* y *Lactobacillus plantarum* sobre el contenido de proteína en avena, se encontró que la proteína soluble incremento considerablemente con *Rhizopus oryzae* (104.7 %) en comparación con la mezcla de *Rhizopus oryzae* y *Lactobacillus plantarum* (44.8 %), esto quizás debido a que la proteína soluble producida por *Rhizopus oryzae* fue consumida en parte por *Lactobacillus plantarum* para sobrevivir. La FES con macrohongos como *Agaricus blazei*, *Auricularia fuscusuccinea* y *Pleurotus albidus* también ha sido reportada por aumentar el contenido de proteína en arroz, trigo y maíz. El uso de levaduras para incrementar el contenido de proteína en cereales también se ha investigado, por ejemplo, se encontró que la levadura *Saccharomyces cerevisiae* aumentó el contenido de proteína al fermentar una mezcla de harinas de arroz y garbanzo.

Con relación a otros macronutrientes, el efecto positivo o negativo de la FES va depender en gran medida de la actividad metabólica del microorganismo estudiado. Se ha reportado la efectividad del macrohongo *Pleurotus albidus* para incrementar el contenido de fibra dietética en arroz (175 %), trigo (112 %) y maíz (100 %) y reducir el contenido de grasa en maíz (89 %), trigo (87 %) y arroz (83 %). Un estudio reportó el aumento de azúcares reductores al fermentar granos de cebada descascarillada y avena con *Rhizopus oryzae* y *Lactobacillus plantarum*. Estudios previos han informado del importante papel que desempeña el hongo *Rhizopus oryzae* con su capacidad amilolítica en los procesos de sacarificación y licuefacción de polisacáridos.

Aumento del contenido fenólico en cereales por fermentación en estado sólido

Actualmente, la fermentación en estado sólido es una técnica aplicada para la producción de, antibióticos, enzimas, biopesticidas y sustancias bioactivas como los compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos en cereales se encuentran en forma libre o ligados. En forma libre se encuentran en las vacuolas de las células, mientras que los ligados se encuentran unidos por medio de enlaces covalentes con celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y proteínas. Los fenoles libres pueden ser extraídos fácilmente, por técnicas convencionales, pero los compuestos fenólicos ligados no, limitándose su accesibilidad y disponibilidad. Diversos estudios han demostrado que la FES es una técnica biotecnológica muy eficiente para liberar los compuestos fenólicos de la matriz alimentaria por medio de enzimas microbiológicas, resultando en la formación de compuestos fenólicos más simples con mayor accesibilidad y disponibilidad y por tanto,



máxima actividad biológica.

El incremento de compuestos fenólicos por FES está influenciado por el tipo de microorganismo usado. Por ejemplo, las bacterias lácticas, como *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus fermentum*, son muy utilizadas en la FES ya que hidrolizan polifenoles complejos a fenoles más simples. Estudios previos reportaron que *Lactobacillus plantarum* aumentó el contenido de fenoles libres en cebada negra, pero el contenido fenólico total en trigo y en salvado de arroz. *Lactobacillus fermentum* de igual manera, aumentó el contenido fenólico en trigo fermentado, así como *Lactobacillus acidophilus* incrementó el contenido de ácidos fenólicos en avena y cebada.

El uso de levaduras en la fermentación es comúnmente para la preparación de bebidas alcohólicas, pero debido a que las levaduras pueden también crecer en contenidos de baja humedad, son empleadas en la FES de cereales. La Fermentación de cereales con levaduras incrementa el contenido de proteína y compuestos bioactivos. Las especies más comunes en la FES son del género *Saccharomyces*. La *Saccharomyces cerevisiae* produce enzimas como la carboxilesterasas, β -glucosidasa y esterasas, las cuales incrementan el contenido de fenoles total y la actividad antioxidante. Un trabajo previo evaluó el potencial de la *Saccharomyces cerevisiae* en FES, para aumentar el contenido fenólico total y contenido de ácidos fenólicos en salvados de trigo y avena. Se observó que a los tres días de fermentación se obtuvo el valor más alto de contenido fenólico en salvado de trigo, mientras que en salvado de avena se obtuvo a los cuatro días. Además, se encontró que el contenido fenólico total mostró una alta correlación con la actividad antioxidante.

Los hongos filamentosos son comúnmente usados en la FES, dado que tienen gran capacidad para producir compuestos bioactivos y fabricar enzimas termoestables tales como glucósido hidrolasas, celulasas, xilanasas, esterasas, las cuales son capaces de suavizar la estructura del grano, romper las paredes celulares y liberar los compuestos ligados. Las enzimas de los hongos pueden hidrolizar los enlaces glucosídicos de compuestos fenólicos complejos pueden aumentar la cantidad de fenoles libres y mejorar la bioactividad de los alimentos. Los géneros más usados en la FES para incrementar los compuestos fenólicos son *Aspergillus* y *Rhizopus*. Un estudio con harina de avena fermentada con tres diferentes hongos filamentosos (*Aspergillus oryzae* var. *effuses*, *Aspergillus oryzae* y *Aspergillus niger*) evaluó el contenido fenólico total en extractos etanólicos (subfraccionados con diferentes solventes) de harinas crudas y fermentadas, y se encontró que el contenido fenólico total fue más alto en el extracto subfraccionado con acetato de etilo de la harina fermentada con *Aspergillus oryzae* var. *effuses*.

En otro estudio, se fermentó granos de trigo, arroz integral, avena y maíz por 3 días a 30°C, con cuatro hongos filamentosos: *Aspergillus oryzae* NCIM 1212, *Rhizopus*



oligosporus NCIM 1215, *Aspergillus awamori* MTCC N° 548 y *Rhizopus oryzae* RCK2012. En ese estudio se observó que el contenido fenólico fue mayor en los granos fermentados que en los no fermentados; además, el hongo que más incrementó el contenido fenólico en los cereales fue el *Aspergillus oryzae*. De los granos, el trigo fermentado con *Aspergillus oryzae* obtuvo el valor más alto de contenido fenólico. Por otro lado, una investigación analizó el efecto de la FES con *Rhizopus oryzae* sobre el contenido fenólico total y el contenido de ácidos fenólicos en salvado de arroz. Este estudio demostró que la fermentación incrementó el doble el contenido fenólico en el salvado de trigo; además, el ácido ferúlico incremento considerablemente a partir de las 48 h con valor máximo a las 120 h.

En otro trabajo, analizaron el efecto del solvente y la temperatura de extracción sobre el contenido fenólicos de granos de trigo fermentados con *Rhizopus oryzae* RCK2012. Este reporte concluyó que los granos de trigo fermentados obtuvieron mayor contenido fenólico cuando se extrajeron con agua a 40 °C. De la misma manera, un estudio comparativo examinó el efecto de la FES con *Aspergillus oryzae* sobre el contenido fenólico, flavonoides y actividad antioxidante de varios cereales. En general, al quinto día de fermentación se observó el mayor incremento de contenido fenólico, flavonoides y actividad antioxidante, los niveles más altos se observaron en el arroz. Otra investigación analizó la fermentación de granos de maíz con *Rhizopus oligosporus* a diferentes tiempos, se observó que a las 72 h hubo un incremento significativo del contenido fenólico, mientras que a las 108 h se obtuvo el valor más alto.

Conclusiones

Como se puede observar, la fermentación en estado sólido resulta una alternativa factible para la producción de metabolitos secundarios, principalmente de compuestos fenólicos. De esta manera, los beneficios a obtener dependerán del destino final del alimento; la mezcla del sustrato y el microorganismo encargado de la fermentación, pueden ofrecer un abanico ilimitado de alternativas sostenibles, tanto en el ámbito de consumo humano y en el animal.

Referencias

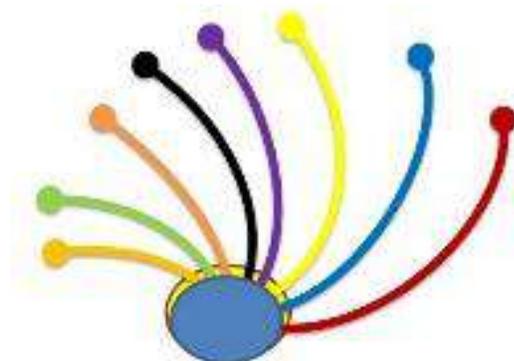
- Bhanja Dey, T. and Kuhad, R.C. (2014a). Upgrading the antioxidant potential of cereals by their fungal fermentation under solid-state cultivation conditions. *Letters in Applied Microbiology*. 59 (5): 493-499. <https://academic.oup.com/lambio/article-abstract/59/5/493/6699929>
- Bhanja Dey, T. and Kuhad, R C. (2014b). Enhanced production and extraction of phenolic compounds from wheat by solid-state fermentation with *Rhizopus oryzae* RCK2012. *Biotechnology Reports*. 4: 120-127. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X1400040X>



- Cabrera-Soto, M. L., Salinas-Moreno, Y., Velázquez-Cardelas, G. A. y Espinosa-Trujillo, E. (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano del maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia*. 43: 827-839. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000800006
- Chen, H. (2013). *Biotechnology Principles of Solid-State Fermentation. Modern Solid - State Fermentation: Theory and Practice (23–74)*. Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6043-1_2
- Quiñones, M., Miguel, M. y Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*. 27 (1): 76-89. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009
- Rocchetti, G., Perez, G. R., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., García, O. P., Prieto, M. A., Simal-Gandara, J., Mosele, J. I., Motilva, M., Thomas, M., Patrone, V., Capanoglu, E. and Lucini, L. (2022). Functional implications of bound phenolic compounds and phenolics-food interaction: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 21: 811-842. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12921>
- Saharan, P., Sadh, P. and Duhan J. S. (2017). Comparative assessment of effect of fermentation on phenolics, flavonoids and free radical scavenging activity of commonly used cereals. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 12: 236-240. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818116304261>
- Sandhu, K. S., Punia, S. and Kaur, M. (2017). Fermentation of cereals: A tool enhance bioactive compounds. In: Gahlawat, S., Salar, R., Siwach, P., Duhan, J., Kumar, S., Kaur, P. (Ed.), *Plant Biotechnology: Recent advancements and developments* (157-170). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9_8
- Viña, S. Z. (2013). Compuestos fenólicos en Ringuelet, J. y Viña, S. (Ed.) *Productos Naturales Vegetales* (1 ed., pp. 91-150) Editorial de la Universidad de La Plata. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27885>
- Zhang, J., Liu, M., Zhao, Y., Zhu, Y., Bai, J., Fan, S., Zhu, L., Song, C. and Xiao, X. (2022). Recent developments in fermented cereals on nutritional constituents and potential health benefits. *Foods*. 11(15):1-21. <https://doi.org/10.3390/foods11152243>.

Fertilización orgánica en la producción de forrajes

Oscar Fabián Aguirre-Córdova
Gerardo Antonio Pamanes
Roberto Valencia Vázquez
Elia Araiza Rosales
Ixchel Abby Ortiz Sánchez
Jorge Armando Chávez Simental





Introducción

La creciente necesidad de forraje, impulsada por la creciente población mundial, obliga al sector agrícola a acelerar sus esfuerzos para satisfacer estas demandas. Esta urgencia se ve agravada por la disminución de la productividad de los campos, el aumento del número de cabezas de ganado, los desafíos ambientales, como la sequía, y el agotamiento de los nutrientes como resultado de la explotación excesiva. El proceso de incorporación de nutrientes al suelo se produce de forma lenta y gradual, e implica varios mecanismos biológicos que facilitan la fijación del nitrógeno y la solubilización del fósforo. Para mejorar los niveles de producción, se emplean fertilizantes químicos para suministrar rápidamente los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo; sin embargo, su aplicación conduce a la degradación del suelo y disminuye el microbiota presente, lo que interrumpe los procesos del ciclo de los nutrientes.

La utilización de fertilizantes orgánicos presenta una alternativa viable para aumentar la producción de forraje, ya que también proporcionan nutrientes esenciales para un crecimiento sostenible. Además, se ha observado que, a diferencia de los fertilizantes químicos, las opciones orgánicas refuerzan el microbiota del suelo al mejorar la disponibilidad de nutrientes. Existen numerosas formas de fertilizantes orgánicos, incluida la aplicación directa de estiércol animal, el compostaje y la digestión anaeróbica de los desechos orgánicos. Los biofertilizantes ofrecen beneficios adicionales en comparación con los fertilizantes químicos, ya que no solo aportan nutrientes sino que también contienen, microorganismos, enzimas, bioestimulantes y micronutrientes esenciales.

Este capítulo explorará temas pertinentes a los sistemas ganaderos y agrícolas en México, examinando el impacto de la sequía en estas industrias, junto con los métodos naturales y químicos de incorporación de nutrientes a los suelos. También destacará las ventajas comparativas de los fertilizantes orgánicos.

Producción pecuaria en México

La ganadería, ya sea en un entorno familiar altamente productivo o en pequeña escala, sirve como una actividad económica con el objetivo de garantizar la seguridad alimentaria, apoyar la producción agrícola y generar ingresos para las poblaciones urbanas y rurales. El desarrollo ganadero ha demostrado ser una estrategia poderosa para aliviar la pobreza y fomentar el progreso económico. Esto no se debe únicamente al aumento de los ingresos de los productores y los trabajadores, sino también al aumento de la demanda de productos no comercializables en las regiones rurales. La distribución geográfica del sistema técnico de carne vacuna abarca regiones como Jalisco, Guanajuato, Sonora, Puebla, Querétaro, Yucatán, Estado de México y Durango. Las prácticas de producción intensiva se implementan en períodos cortos (90 a 120 días), en



las que el ganado permanece confinado en recintos y se utilizan tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia alimentaria mediante el empleo de probióticos y estimulantes del crecimiento, entre otros métodos. Un inconveniente notable de este sistema son los elevados gastos asociados con la alimentación, en particular los cereales, ensilados y pacas de forraje. Estos sistemas tienen efectos en el medio ambiente, debido a la elevada densidad de ganado en los sistemas intensivos, por lo que se les considera aportadores al cambio climático, ya que emiten grandes cantidades de excretas y gas metano a la atmósfera. Además, la reducción de la disponibilidad de agua como consecuencia del uso excesivo de los acuíferos en las zonas de hacinamiento ha provocado un aumento de los gastos de producción y una reducción de la rentabilidad del sistema, al tiempo que ha creado demandas sociales en materia de acceso al agua.

Por su lado, el esquema de producción extensivo se distribuye por todo el territorio nacional y opera bajo varios sistemas de tecnificación; los animales se tienen en semiestabulación, lo que lleva a una disminución de los niveles de productividad y rentabilidad. Este sistema es susceptible a las fluctuaciones económicas como la inflación, devaluación y crisis económicas, son muy vulnerables a los efectos de las sequías. En este sistema se emplea mano de obra, a menudo complementada por mano de obra familiar. Si bien algunas entidades de este sistema producen sus propios forrajes, otras los adquieren de proveedores comerciales. Se ha observado que algunos productores crean mezclas de alimentos que pueden no satisfacer de manera uniforme las necesidades nutricionales de los animales. La utilización de los servicios técnicos suele ser limitada, aunque en los últimos años las campañas de sanidad animal han mitigado las pérdidas derivadas de la enfermedad y la mortalidad. Las deficiencias en los programas alimentarios, la infraestructura, la maquinaria, la gestión de la salud y otras áreas han tenido un impacto negativo en los productores de este sistema, lo que ha provocado su salida del mercado o la transición para expandirse a los mercados regionales.

Agricultura en México

El entorno rural es una región caracterizada por una alta concentración de poblaciones empobrecidas que dependen de la industria agrícola para su sustento. No obstante, se puede argumentar que la solución fundamental para el alivio de la pobreza y la seguridad alimentaria radica en fomentar comunidades rurales dinámicas centradas en sistemas productivos agrícolas exitosos. La correlación entre los recursos naturales, el clima y la sociedad desempeña un papel crucial en la configuración del marco fundamental de los sistemas de producción agrícola. Durante las fases iniciales de la evolución de los sistemas de producción, el aumento de la población suele provocar la expansión de las tierras cultivadas, lo que a menudo provoca conflictos entre los distintos usuarios de los recursos hídricos y de la tierra. Posteriormente, una vez que la tierra de primera calidad



es sobreexplotada, el crecimiento continuo de la población impulsa la intensificación de los sistemas de producción haciendo más común el uso de fertilizantes químicos.

La agricultura tradicional en México se enfrenta a graves obstáculos económicos, sociales y ecológicos, y esta última se acerca rápidamente a un punto crítico, atribuido al impacto inminente del cambio climático. No obstante, la agricultura tradicional desempeña un papel crucial como importante proveedora de alimentos y cumple la función esencial de preservar la agrobiodiversidad del país. Opera en el ámbito de modestas entidades agrícolas expuestas a diversos desafíos, a menudo situadas en pendientes vulnerables a la erosión hídrica y las sequías. México destina 32 millones de hectáreas a fines agrícolas, de las que 6,3 millones de hectáreas reciben riego y 25,7 millones de hectáreas son de temporal. Además, los factores ambientales las limitan, dado que el agua, un elemento crucial esencial para la agricultura, es escasa en los suelos potencialmente fértiles. La gestión del 66% de estas tierras agrícolas se lleva a cabo a través de unidades de producción en pequeña escala, cada una de las cuales ocupa menos de 5 hectáreas. Estos sistemas productivos dependen en gran medida de los combustibles fósiles y sus subproductos, además de los fertilizantes y pesticidas; en consecuencia, los precios de su producción agrícola son susceptibles a las fluctuaciones de los precios de dichos combustibles. En los 80 y 90 México se caracterizó por una degradación progresiva de cultivos y de los rendimientos en estos. Esta disminución puede atribuirse al aumento de las heladas, sequías, vientos intensos o lluvias excesivas, que afectan hasta al 30% de la tierra cultivada. Estos fenómenos climáticos erráticos que afectan a los cultivos locales, combinados con el panorama desigual de la competencia en materia de precios de los cultivos en las agroindustrias, han posicionado a México como el segundo mayor importador de maíz del mundo. Si se continúa con esta trayectoria se estima un escenario insostenible, ya que indica que, para 2025, México podría necesitar importar la mitad de su consumo de maíz.

En México, actualmente se cultiva una amplia gama de cultivos, que abarcan 280 variedades cíclicas y 199 perennes, como cultivos básicos, forrajes, oleaginosas, frutas, verduras, productos agroindustriales, plantas ornamentales y especies no tradicionales. A pesar de la amplia cartera de cultivos, la Ley de Desarrollo Rural Sostenible considera fundamentales y estratégicos siete cultivos, el maíz, la caña de azúcar, el frijol, el trigo, el arroz, el sorgo y el café. Si se consideran las semillas oleaginosas clave, como el algodón, la soja y el cártamo, junto con los cultivos básicos y forrajeros para el ganado, como la avena, el maíz forrajero y los pastos cultivados como la alfalfa, se obtiene un total de 30 productos que ocupan el 87% de la tierra cultivable. Cabe destacar la exclusión de las verduras y frutas de la lista de cultivos estratégicos.



La sequía: un peligro latente y frecuente

La sequía es un fenómeno natural que causa grandes daños a la población en el mundo. Aunque es una parte intrínseca del clima, todo el planeta está expuesto a su eventual ocurrencia, aún en zonas lluviosas. La sequía puede ser originada por diversas causas de origen natural, tales como la variación en la actividad solar, cambios en los patrones de circulación atmosférica, fenómenos globales de interacción entre los océanos y la atmósfera, como La Niña y El Niño. Además, en la actualidad se ha reconocido que factores antropogénicos como la degradación ambiental, la deforestación y el cambio climático derivado de la actividad humana por la continua emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, ha ocasionado que se presenten en lugares donde normalmente no se daba, así como que donde se presentaban se den con más frecuencia, mayor duración y más severidad. Independientemente de las causas es un fenómeno muy complejo, que afecta grandes extensiones geográficas y sus daños pueden prevalecer por muchos años, con efectos negativos en la calidad de vida y desarrollo de poblaciones. Sus efectos van desde ambientales, como daños a la flora y fauna, incendios; físicos, tales como escasez de agua para actividades cotidianas hasta los económicos y sociales, al producir pérdidas en la producción agrícola, pecuaria y forestal, lo que genera desempleo, desabasto de suministros hasta conflictos por el agua.

Por su parte, México que es un país en vías de desarrollo y es propenso a experimentar sequías; la más severa de las últimas siete décadas fue la ocurrida durante los años 2011 y 2012, debido a sus múltiples efectos negativos en casi todos de los sectores socioeconómicos. Esta generó pérdidas superiores a los 16 mil millones de pesos solo en el sector agropecuario y afectó al 80 por ciento del territorio nacional, provocando desabasto de agua en las comunidades rurales de las regiones vulnerables del país. Las sequías en México se han dado durante toda su historia; se tienen registros de que en la época prehispánica perturbaban la agricultura provocando hambre, migración y muerte. De hecho, hay teorías que afirman que la sequía fue la causante de la desaparición de algunas civilizaciones antiguas como la mayo o teotihuacana.

A pesar de que las sequías son impredecibles, hay estrategias para prevenir o mitigar sus efectos negativos. Así, se puede llevar a cabo acciones y respuestas sociales, tecnológicas e institucionales, enfocándose en las tecnológicas, mediante el diseño y desarrollo de métodos, técnicas, obras y dispositivos para captar, almacenar y aprovechar mejor el agua en época de escasez y sequía. También, hay investigadores alrededor del mundo que se abocan a provocar lluvia o al desarrollo de semillas genéticamente modificadas para soportar la falta de agua.

Fertilización inorgánica

La agricultura convencional depende de la aplicación de fertilizantes minerales solubles para poder obtener mayor rendimiento en los cultivos, pero estos sólo son aprovechados



entre un 30% a un 50%, ya que el resto se pierde en el suelo. Los fertilizantes NPK (Nitrógeno, Fosforo y Potasio) se utilizan ampliamente en las prácticas agrícolas tradicionales, ya que proporcionan los tres macronutrientes esenciales cruciales para el crecimiento de las plantas. A pesar de las ventajas bien documentadas asociadas a su aplicación en el suelo, existen informes que detallan una relación positiva entre el uso de fertilizantes y las enfermedades específicas de las plantas. Sin embargo, hay pruebas que indican que la utilización de fertilizantes sintéticos puede inhibir la producción de enzimas al suelo que participan en el ciclo de los nutrientes. El uso excesivo de estos fertilizantes genera problemas ambientales; en el agua se produce principalmente por la lixiviación de estos compuestos en aguas superficiales y subterráneas. En el proceso de lixiviación, el nitrógeno, que es un nutriente primario, al incluirse en cuerpos de agua genera eutroficación; al existir concentraciones de este elemento no naturales o demasiado altas, se produce una sobreproducción de plantas y cambios en el ciclo del nitrógeno. Además, los fertilizantes en el suelo alteran el pH, deterioran la estructura del suelo y disminuyen la microbiota de éste. Así mismo, los fertilizantes pueden generar toxicidad en el aire por el desprendimiento de gases como el dióxido de nitrógeno y el amoníaco. En los fertilizantes químicos el principal nutriente que contienen es el nitrógeno, esto debido a que es un limitante en la producción agrícola, ya que es necesario para la producción de proteína, enzimas, ADN y clorofila. También, es el nutriente que es necesario en mayores concentraciones por los cultivos.

Por su parte, el fósforo es un elemento crucial en varias formas de vida debido a su incorporación a los ácidos nucleicos, las membranas celulares y el ATP, por lo que es necesaria su presencia suficiente en las células vivas antes de la división celular. Su importancia radica en promover el desarrollo de las raíces, facilitar la fotosíntesis, ayudar al metabolismo del azúcar y contribuir a los mecanismos de transducción de energía.

A su vez, el potasio desempeña un papel fundamental en la síntesis de aminoácidos y proteínas, el proceso de fotosíntesis y el desarrollo de los frutos; además, mejora la resiliencia de las plantas contra las bajas temperaturas y diversas enfermedades. Su importancia radica en facilitar el movimiento de los azúcares y otros compuestos esenciales dentro de la planta. De la misma manera, es indispensable para mantener la presión de turgencia dentro de las células vegetales, lo cual evita el marchitamiento de la planta.

Fijación natural del nitrógeno

La fijación del nitrógeno atmosférico se da por la acción de microorganismos los cuales transforman el nitrógeno atmosférico gaseoso en formas de nitrógeno más disponibles para el desarrollo de procesos metabólicos de las plantas. Estos microorganismos, que se encuentran principalmente en el suelo, son *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*



(microorganismos que establecen asociaciones rizocenóticas con plantas gramíneas), *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium* (bacterias que establecen simbiosis con leguminosas), *Nostoc* (algas cianofíceas que establecen simbiosis con diversas plantas) o con *Anabaena* (helechos). Para la fijación del nitrógeno se requiere de microorganismos especializados que posean la enzima nitrogenasa. Estas simbiosis o asociaciones son un proceso complejo. Por ejemplo, la *Rhizobium*, induce a la leguminosa a que cree nódulos en sus raíces, donde se establece generando una cooperación metabólica. Así, las bacterias reducen el nitrógeno (N_2) a amoníaco (NH_4), el cual es aprovechado por para la generación de proteínas y otros compuestos nitrogenados. De la misma manera, la leguminosa reduce el dióxido de carbono (CO_2) en azúcares vía fotosíntesis en las hojas, para después transportarlos a los nódulos de las raíces y de esta forma ser aprovechados por la *Rhizobium*.

Solubilización del fósforo

El fósforo, después del nitrógeno, es el segundo nutriente mineral que limita el crecimiento de las plantas terrestres y, por lo tanto, el rendimiento agrícola; paradójicamente, el suelo alberga reservas de este elemento, pero la porción disponible para las plantas sigue siendo mínima en relación con la cantidad total existente. La disponibilidad limitada se atribuye al predominio de las formas insolubles, ya que las plantas solo pueden absorber dos formas solubles del mineral: el ión monobásico ($H_2PO_4^-$) y el ión dibásico (HPO_4^{2-}). Su accesibilidad se ve obstaculizada por su afinidad a precipitar en presencia de metales divalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+}) y el ion férrico (Fe^{3+}) en condiciones de pH neutro o alcalino, lo que lleva a la conversión en formas de P insolubles. Los microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF) desempeñan un papel crucial en los suelos al convertir el fosfato inorgánico insoluble en ortofosfato, una forma de fósforo asimilable por las plantas, que sirven como entidades vitales en el ciclo del suelo. Estos MSF, prevalecen en los suelos y particularmente en la rizósfera, por lo que constituyen una categoría importante de promotores del crecimiento de las plantas. Participan en una asociación simbiótica con las plantas en la que el microorganismo moviliza el fosfato insoluble del suelo para que las raíces lo absorban, mientras que la planta suministra compuestos carbonosos que estimulan el crecimiento microbiano. Numerosas bacterias facilitan la solubilización de rocas y minerales esenciales para el desarrollo de las plantas al producir diversos ácidos orgánicos y enzimas fosfatasas, siendo la acidificación del entorno extracelular mediante la secreción de ácidos orgánicos como el ácido glucónico o cetoglucónico el mecanismo más investigado. Ciertos microorganismos quimiolitotróficos como *Nitrosomona sp.* y *Thiobacillus sp.* son reconocidos por movilizar fosfatos inorgánicos y generar ácido nitroso y sulfúrico, respectivamente.



Fertilización orgánica en la agricultura

El aumento en la necesidad de abastecimiento de productos agrícolas para la alimentación humana y pecuaria ha propiciado un incremento en las actividades agrícolas en las últimas décadas. Esto generó la necesidad de implementar estrategias que permitan mejorar la eficiencia de los cultivos, así como mitigar los efectos nocivos hacia el suelo, disminuir el uso de fertilizantes químicos, así como aumentar las ganancias por superficie cultivada. En este sentido, los fertilizantes biológicos brindan los nutrientes necesarios para obtener buenas cosechas, favorecen el crecimiento de frutos sanos, aumentan la resistencia a plagas, sus nutrientes contenidos poseen características fisicoquímicas y biológicas apropiadas para el suelo, mejoran la fijación de nutrientes, favorecen la simbiosis micorrizal, ayudan en la biorremediación de suelos y mejoran la estabilidad del suelo. Además, son sustitutos naturales para los fertilizantes químicos tradicionales. Estos están conformados por insumos naturales como estiércol, composta, aguas residuales domésticas, restos de materia orgánica y macroorganismos como hongos y bacterias.

Estiércol animal

Este ha sido utilizado por los agricultores desde hace mucho tiempo para la fertilización de los suelos, debido a su bajo costo, la fácil obtención de sus animales y transporte en ocasiones mínimo para su utilización. Aunque presenta varios beneficios, su aplicación debe realizarse en cantidades o concentraciones pequeñas que no sobrepasen las normatividades de cada país. La técnica más utilizada es la aplicación de una capa fina sobre el suelo, para permitir la aeración del suelo que facilite el desarrollo biológico y pueda crear un medio rico en nutrientes para las plantas. Si no es aplicado de una manera adecuada tiene varias desventajas, ya que puede comprometer la seguridad de los consumidores por su gran contenido de bacterias que afectan la salud humana. Además, la aplicación en exceso puede llegar a quemar el follaje y raíces por su alto contenido de amoníaco, lo que genera una disminución en el crecimiento de plantas, debido a la presencia de niveles excesivos de sales y amoníaco. Si es utilizado adecuadamente, presenta múltiples beneficios al tener grandes cantidades de nitrógeno y potasio, medianas de fósforo y calcio, y menores de magnesio y azufre. Esto último permite una estabilidad fisicoquímica del suelo, un desarrollo de poblaciones microbianas y crecimiento favorable de plantas, así como un aporte de materia orgánica a los suelos.

Compostaje

Esta es una de las técnicas de estabilización de desechos orgánicos para la fertilización orgánica del suelo. Su objetivo es obtener un producto estable química y biológicamente, con un alto contenido de macro y micronutrientes. Este proceso se lleva a cabo colocando



los residuos, generalmente en una pila que puede estar cubierta por un material aislante o al aire libre. En ella, se lleva el proceso de degradación en diferentes etapas: en primera instancia, los microorganismos descomponen la materia orgánica, lo que provoca un aumento en la temperatura y disminuye el pH por la formación de ácidos grasos. Al alcanzar alrededor de 40°C, comienzan a actuar las bacterias termofílicas, lo cual aumenta más la temperatura hasta alcanzar los 65°C; en esta etapa, la degradación se da por actinomicetos, hongos y bacterias que consumen rápidamente las proteínas, azúcares, almidón y grasas, alcalinizando el medio por la liberación de amonio. Al estar degradada la materia orgánica, las reacciones disminuyen al igual que la temperatura, para finalmente comenzar con la etapa de maduración que puede durar meses. Como producto final, se obtiene humus estable, ácidos húmicos y fúlvicos, los cuales son de gran poder nutritivo. De la misma manera, se aumenta el drenaje y absorción de humedad en suelos degradados, lo cual incrementa la productividad de los cultivos.

Biofertilizantes

La digestión anaerobia (DA) es una tecnología que transforma la materia orgánica en una fuente de energía (biogás). Además, una vez que se estabilicen los desechos, éstos pueden ser utilizados como biofertilizante, lo cual ayuda a disminuir la dependencia de los fertilizantes agroquímicos. Esta tecnología es usada desde una pequeña escala en digestores domésticos, hasta digestores centralizados o de gran escala. La DA es un proceso complejo, basado en un proceso reductivo que radica en una serie de reacciones bioquímicas llevadas a cabo por microorganismos en ausencia de oxígeno. Estos microorganismos difieren en gran medida en cuanto a su fisiología, cinética de crecimiento, necesidades nutrimentales y sensibilidad al medio ambiente; sin embargo, podemos dividirlos en dos grupos principales: los generadores de ácidos y los de metano. A la serie de reacciones bioquímicas en la DA se agrupan en 4 etapas diferentes: la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis; al final de estas reacciones queda un residuo que se le denomina biol. Este último, es abundante en nitrógeno, amoníaco, hormonas vegetales (como las auxinas y las giberelinas), vitaminas (como la tiamina y la riboflavina) y aminoácidos que desempeñan un papel en la regulación del metabolismo de las plantas. Estos componentes contribuyen a mejorar varios aspectos del crecimiento de las plantas, como el enraizamiento, el tamaño de las plantas, la floración, la germinación de las semillas y la defensa contra posibles plagas. Al destacar estas características, el biol se perfila como una opción viable para la fertilización. Los beneficios que ofrece este biofertilizante incluyen mejorar la fertilidad natural del suelo, promover el crecimiento y desarrollo acelerado de las plantas, mejorar la resistencia a posibles plagas y enfermedades, aumentar la tolerancia a las condiciones climáticas adversas (como las heladas y las granizadas) y prevenir la contaminación del aire, el agua, el suelo al disminuir el uso de los productos agrícolas químicos.



Uso de biofertilizantes en la producción de forrajes

El avance de la ganadería requiere la utilización y producción de recursos forrajeros. Sin lugar a duda, el suministro de forraje es crucial para el desarrollo integral de los animales, debido al contenido de fibra y proteínas que aporta a su dieta. Esto hace que estos alimentos sean indispensables para la producción de leche y carne, lo que repercute directamente en la nutrición humana. Sin embargo, al generar biomasa como el heno, el ensilado o el forraje verde para el consumo animal, se extrae una cantidad significativa de nutrientes del suelo, por lo que es necesario aplicar fertilizantes para reponer los que se han agotado. Sin embargo, la producción intensiva de forraje es cara debido al uso frecuente de fertilizantes minerales. Además, la utilización excesiva de estos fertilizantes puede provocar la contaminación del suelo y las aguas subterráneas. Por lo tanto, la producción de forraje exige el uso de fertilizantes minerales u orgánicos, junto con biofertilizantes que faciliten la restauración de los nutrientes extraídos del suelo. Un ejemplo de ello, son los hongos micorrízicos arbusculares, que forman relaciones simbióticas con las plantas para mejorar la absorción de nutrientes y las condiciones del suelo. Además, existen otros biofertilizantes que actúan como bioestimulantes o biorreguladores naturales, mitigan el estrés y sirven como alternativas parciales a la fertilización tradicional, al fomentar el crecimiento de microorganismos de la rizosfera que fijan el nitrógeno atmosférico y movilizan los nutrientes minerales.

Por su parte, la alfalfa se destaca como un cultivo forrajero importante en todo el mundo para la nutrición animal, con un rendimiento anual de 30 Mg ha⁻¹ de materia seca y un rango de digestibilidad del 75 al 80%. La utilización de fertilizantes inorgánicos en el cultivo de la alfalfa tiende a tener una eficacia a corto plazo, probablemente debido a su aplicación singular durante el establecimiento del cultivo. La productividad óptima de la alfalfa se logra mediante la aplicación de fósforo, en particular mediante superfosfato simple o triple, que oscila entre 100 y 200 kg ha⁻¹ de P al año. Si bien estos fertilizantes son fuentes de nutrientes fácilmente solubles y asimilables para las plantas, contribuyen a la degradación del suelo e impactan en varios procesos químicos, físicos y biológicos. Además, su uso indebido conduce a la contaminación ambiental e impone una carga financiera recurrente a los agricultores.

Por el contrario, la aplicación de abonos derivados de residuos orgánicos municipales, bagazo y cáscaras de cultivos en las parcelas de alfalfa puede producir rendimientos comparables a los de la fertilización inorgánica y, al mismo tiempo, reducir los costos y mejorar la salud del suelo y las plantas. De la misma manera, se prefiere utilizar abonos secos de rumiantes y cerdos, producidos convenientemente en corrales de bajo costo, para fertilizar pastos y praderas. Por su lado, la avena (*Avena sativa* L.) representa un importante cultivo de la gama de los cereales, que se utiliza no solo para la producción de granos sino también como forraje para el sustento de los animales de



pastoreo, así como para heno o ensilado. La composición nutricional del forraje desempeña un papel crucial en el apoyo al crecimiento y los procesos reproductivos de los animales. Los macronutrientes, que son elementos esenciales que se necesitan en grandes cantidades, constituyen componentes clave de los huesos y tejidos, actúan como constituyentes de los fluidos corporales y desempeñan funciones vitales en los procesos metabólicos. Por el contrario, los micronutrientes se encuentran en los tejidos corporales en concentraciones mínimas y con frecuencia funcionan como constituyentes de metaloenzimas y cofactores enzimáticos. Históricamente, el cultivo de avena ha implicado la aplicación de tecnologías agrícolas intensivas, lo que ha llevado al uso generalizado de fertilizantes inorgánicos, que se han convertido en un importante problema ambiental en varias regiones del mundo.

Estas prácticas, junto con los volúmenes sustanciales de residuos orgánicos generados a través de las operaciones agrícolas, tienen como resultado impactos perjudiciales en el ecosistema. En consecuencia, se considera esencial exigir procesos de descomposición controlados para los residuos orgánicos a fin de mitigar los riesgos y producir productos adecuados para fines agrícolas. Los fertilizantes orgánicos han demostrado tener efectos beneficiosos sobre las propiedades del suelo, la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de los cultivos y la mitigación de la contaminación derivada de los residuos orgánicos, lo que ha fomentado la adopción de sistemas de producción sostenibles y ecológicos, a pesar de sus características notablemente diversas.

De esta manera, es altamente recomendable emplear nuevas formas de fertilizar los cultivos para evitar problemas de salinización y erosión. La sequía ha afectado a las tierras de manera importante, y el uso de fertilizantes orgánicos o biofertilizantes emerge como una alternativa sostenible en la producción de cultivos y en la recuperación de nutrientes en el suelo.

Conclusiones

Es de suma importancia garantizar la producción sostenida y eficaz de cultivos forrajeros, ya que cumplen una función esencial y fundamental a la hora de proporcionar sustento a la industria ganadera, que es crucial para las economías agrícolas de todo el mundo. Sin embargo, es imperativo que esta producción se produzca de una manera más sostenible y ambientalmente responsable, dado que el uso de fertilizantes químicos, si bien puede cumplir adecuadamente con los requisitos nutricionales de estos cultivos, tiende a generar una multitud de consecuencias ecológicas adversas que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente. En consecuencia, es muy recomendable y beneficioso promover y facilitar la transición de la dependencia de los fertilizantes químicos convencionales a la adopción de fertilizantes orgánicos o biológicos, que son reconocidos por sus impactos positivos superiores en la salud ambiental y la sostenibilidad. Este cambio no solo



contribuye al equilibrio ecológico, sino que también mejora la productividad y la resiliencia generales de los sistemas agrícolas que sustentan la ganadería, garantizando así un futuro más sostenible para la producción de alimentos.

Bibliografía

- Adekunle, K. F. & Okolie, J. A. (2015). A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 06(03), 205–212.
<https://doi.org/10.4236/abb.2015.63020>
- Beltrán-Pineda, M. E. & Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mutis*, 12(1).
<https://doi.org/10.21789/22561498.1771>
- Carvajal-Muñoz, J. S. & Mera-Benavides, A. C. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción+ limpia*, 5(2), 77-96.
- Domínguez, J. (2016). Revisión histórica de las sequías en México: de la explicación divina a la incorporación de la ciencia. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 77-93.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500077&lng=es&tlng=es.
- Flores-Aguilar, J. J., Vázquez-Rosales, R., Solano-Vergara, J. J., Aguirre-Flores, V., Flores-Pérez, F. I., Bahena-Galindo, M. E., Oliver-Guadarrama, R., Granjeno-Colín, A. E. y Orihuela-Trujillo, A. (2012). Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 213-220.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000300213&lng=es&tlng=es.
- Gil-Ramírez, L. A., Leiva-Cabrera, F. A., Lezama-Escobedo, M. K., Bardales-Vásquez, C. B. y León Torres, C. A. (2023). Biofertilizante “biol”: caracterización física, química y microbiológica. *Revista Alfa*, 7(20), 336–345.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.219>
- González, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. *Asesoría Técnica Parlamentaria*, 1(1), 1-5.
- Jiménez-Jiménez, R. A., Rendón-Rendón, M. C., Chávez-Pérez, L. M. y Soler-Fonseca, D. M. (2019). La polarización de los sistemas de producción pecuaria en México: The polarization of livestock production systems in Mexico. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 4(1), 31–39. <https://doi.org/10.24054/cyta.v4i1.981>
- Montaño-Carrasco, M., Hernández-Rodríguez, A., Martínez-Rosales, A., Ojeda-Barrios, D., Núñez-Barrios, A. & Guerrero-Prieto, V. (2017). Producción y contenido



nutrimental en avena forrajera fertilizada con fuentes químicas y orgánicas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(3), 317–324. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.3.317-324>

Plana-Llerena, R. R., González-Cañizares, P. J. & Soto-Carreño, F. (2016). Uso combinado de Ecomic®, Fitomas-e® y fertilizantes minerales en la producción de forraje para la alimentación animal a base de triticale (x. Triticosecale Wittmack), cv INCA TT-7. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 76-83.
<https://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.34452.30087>

Parámetros de calidad del lixiviado en lombricomposta producida con estiércol de bovino

Oscar Guadalupe Barrón-Bravo
Juan Patishtan Pérez
Ricardo Avilés-Ruiz
César Andrés Ángel-Sahagún
Rubén Darío Garza-Cedillo
Itzel Mar-Baltazar





Introducción

La lombricomposta o vermicomposta es un proceso de transformación de desechos orgánicos mediante la acción digestiva de las lombrices. Esta tecnología puede ser aprovechada para reducir el uso excesivo de los fertilizantes químicos, aportando de esta forma a solucionar la problemática en el sector agropecuario a nivel mundial, reduciendo la contaminación, los costos y el daño ambiental que estos productos químicos causan. Este tipo de abono orgánico es fundamental para el crecimiento y la productividad de nuestros cultivos, además, mejora significativamente las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo. La eficacia de la lombricomposta se debe a las acciones sinérgicas entre la lombriz de tierra, *Eisenia foetida* Savigny, y la diversidad de población microbiana presente en el proceso. Entre estos microorganismos se encuentran nematodos entomopatógenos, bacterias y hongos, que juntos contribuyen a descomponer la materia orgánica y enriquecer el suelo con nutrientes esenciales. Además, la lombricomposta ayuda a mejorar la estructura del suelo, aumenta su capacidad de retención de agua y promueve un ambiente saludable para el desarrollo de las plantas, lo que resulta en cultivos más robustos y productivos. Las lombrices juegan un papel crucial en la mejora de la estructura microbiana de la composta. A medida que el material orgánico pasa por su tracto digestivo, no solo lo descomponen eficientemente, sino que también acumulan ciertos metales pesados, este proceso culmina en la producción de humus y lixiviado, ambos ricos en nutrientes esenciales como fósforo (P) y potasio (K). Además, éstos compuestos promueven la salud de las plantas al contribuir a la reducción de diversas enfermedades, mejorando así la calidad del suelo y la productividad agrícola. Actualmente se utilizan diversas tecnologías para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, tales como: adicionar materia orgánica como residuos de origen animal o vegetal, compostas y lodos orgánicos, que son económicos, y así poder crear un medio adecuado para el crecimiento del cultivo. Sin embargo, los residuos biológicos de la producción pecuaria si no se manejan adecuadamente, pueden causar problemas ambientales., estos pueden ser subproductos susceptibles de aprovechamiento. La lombricomposta contiene macro y micronutrientes que ayudan al restablecimiento de las cadenas tróficas por medio de la biota edáfica que se desarrolla en el suelo. Es considerada una biotecnología que, a través de la lombriz y microorganismos, los desechos orgánicos se transforman en abono o fertilizante para las plantas.

Antecedentes de la Lombricultura

El uso de estas tecnologías para la biorremediación ha demostrado un éxito significativo en la recuperación de la calidad biológica de suelos contaminados alrededor del mundo. Estas tecnologías utilizan organismos vivos, como bacterias, hongos y plantas, para



descomponer y eliminar contaminantes del suelo, restaurando así su salud y fertilidad. La biorremediación es una alternativa sostenible y ecológica a los métodos tradicionales de descontaminación, que a menudo implican el uso de productos químicos nocivos o la eliminación física del suelo contaminado. Además, estos métodos biológicos son menos costosos y pueden aplicarse en una variedad de entornos, desde zonas agrícolas hasta áreas industriales. La historia de la lombricultura se relaciona íntimamente con la agricultura por obvias razones y se registra desde hace aproximadamente 10,000 años antes de Cristo cuando las culturas de Egipto y Mesopotamia ya cuidaban a las lombrices para su uso en la agricultura. Los antiguos egipcios, por ejemplo, reconocían los beneficios de las lombrices para mejorar la fertilidad del suelo y generar cosechas abundantes. Se dice que la Reina Cleopatra, consciente de su importancia, declaró a las lombrices como animales sagrados, imponiendo la pena de muerte para quienes las extrajeran del suelo. Esto permitió a los egipcios convertirse en uno de los principales abastecedores de alimentos agrícolas para los romanos. El filósofo griego Aristóteles también reconoció la importancia de las lombrices, describiéndolas en su manuscrito "Historia Animal" como los intestinos de la tierra, debido a su papel crucial en la fertilidad del suelo. En el siglo XVIII, el científico Linneo denominó a la especie "*Lumbricus terrestris*" como la auténtica lombriz de tierra. La lombricultura también fue importante en las culturas chinas y africanas desde hace más de 200 años.. En tiempos más recientes, científicos americanos iniciaron en 1933 el trabajo de selección de lombrices *Lumbricus terrestris* L. y *E. foetida*. En 1954, lograron obtener el híbrido conocido como Lombriz Roja Californiana, una especie que ha sido ampliamente utilizada en la lombricomposta debido a su eficiencia en la transformación de desechos orgánicos en abono de alta calidad. Charles Darwin a pesar de ser conocido principalmente por sus estudios de evolución y biología, también se interesó por las lombrices a corta edad. En 1881, publicó el libro "La formación de la tierra vegetal por acción de las lombrices", en el cual se detalla la importancia de estos anélidos en la formación del suelo y su fertilidad. Gracias a estos estudios, Darwin es considerado el padre de la lombricultura. La explotación económica de la lombriz en Estados Unidos comenzó en 1974, cuando un familiar del presidente Carter utilizó un ataúd para iniciar una crianza que rápidamente se convirtió en una fuente lucrativa y desde entonces, la investigación ha avanzado considerablemente para desarrollar variedades de lombrices ideales para la cría en cautiverio. Un ejemplo destacado es el híbrido rojo californiano, desarrollado en la Universidad Agrícola de California, que se ha convertido en la especie más utilizada a nivel mundial para la producción de humus de lombriz. El uso de materiales orgánicos como fertilizantes sólidos y líquidos ha estado unido a la actividad agrícola desde sus orígenes y su empleo está relacionado directamente desde una perspectiva histórica con el mantenimiento de la productividad de los suelos de cultivo, además de los enormes beneficios que trae su aplicación en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; las cuales se



reflejan en un considerable aumento del rendimiento de los cultivos. La lombricultura, práctica que se lleva a cabo en México desde hace varios años, ha sido adoptada en distintas regiones del país, no obstante, a pesar de sus beneficios, no ha logrado una amplia aceptación entre los productores. Tradicionalmente, la lombricultura se ha enfocado en la producción de humus sólido y la cría de lombrices. Recientemente, algunas organizaciones de productores en varios estados mexicanos han innovado esta práctica mediante el precomposteo de estiércol junto con otros materiales, obteniendo resultados notables y prometedores.

Importancia de la lombricultura

Una alternativa para reducir de los costos y disminuir la dependencia de los fertilizantes químicos es el uso de líquidos orgánicos como el lixiviado de lombricomposta, este líquido puede aplicar en una variedad de sistemas y es adaptable a diversas maneras, además promueve el reciclaje de residuos orgánicos. Los entomopatógenos son parte de los lombricarios siendo beneficios para el ecosistema del suelo participando en la cadena trófica. Las poblaciones naturales de estos mantienen la cantidad de insectos a un cierto nivel y proporcionan alimento a otros grupos de organismos, además se utilizan como agentes de control biológico de plagas, la vida y la eficacia de los organismos entomopatógenos se ven afectadas por muchos factores bióticos y abióticos del entorno del suelo. El estiércol de bovino es una valiosa fuente importante de nutrientes; pero si no se maneja correctamente puede convertirse en una fuente de contaminación para los mantos freáticos y el suelo. El compostaje se presenta como una alternativa viable para el tratamiento de estos desechos, permitiendo una descomposición biológica en un ambiente aeróbico. El lixiviado de lombricomposta es considerado un abono líquido que contiene gran cantidad de nutrientes generados por la transformación de la materia orgánica. A diferencia de los fertilizantes químicos, esta opción de fertilización no solo preserva el rendimiento y la calidad de los cultivos, sino que también proporciona los nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Actualmente se reconoce que las lombricompostas constituyen una fuente de liberación de nutrientes y favorecen el mejoramiento significativamente las propiedades del suelo y de los sustratos naturales. La lombricomposta contiene sustancias biológicas que favorecen a la regulación del crecimiento vegetal, y aumentan la capacidad de intercambio catiónico y mejoran la retención de humedad, facilitando así el drenaje y la aireación del suelo.

Norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008

La norma NMX-FF-109-SCFI-2008 HUMUS DE LOMBRIZ (LOMBRICOMPOSTA)-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA, establece los lineamientos esenciales para la producción adecuada y los parámetros de calidad del humus de lombriz. Esta



norma regula su aplicación dentro del territorio nacional, definiendo las características que debe cumplir este producto, excluyendo explícitamente la variante líquida conocida como lixiviado. Según la norma, el humus de lombriz se define como el resultado del proceso digestivo y metabólico de la materia orgánica, llevado a cabo mediante lombricultura, es decir, la crianza sistemática de lombrices de tierra. Este producto se emplea principalmente para mejorar, recuperar o enmendar la estructura orgánica de los suelos, así como abono orgánico, inoculante microbiano, enraizador, germinador, y sustrato de crecimiento, entre otros usos. La clasificación del humus de lombriz se realiza según su calidad en tres categorías principales: Extra, Primera y Segunda, cada una con criterios específicos que determinan su composición y características.

Ciclo de vida de las lombrices (*E. foetida*)

La lombriz *Eisenia foetida* tiene una longevidad que puede llegar a los 4.5 años algunos autores reportan su vida media de 594 días, su ciclo de vida se desarrolla iniciando como huevo el cual tiene una coloración ámbar clara a oscura en algunos lugares lo nombran como “cocon”, “cocoon” o “capullo”, cada uno puede contener alrededor de 5 nuevas lombrices, el huevo se forma en el clitelo, y luego viaja desde el clitelo a la cabeza aquí se desliza fuera del cuerpo de la lombriz de tierra y se deposita en el suelo. Posteriormente de 18 a 26 días pasa a la eclosión para ser lombriz incolora y pequeña y luego pasar a ser lombriz juvenil de tamaño medio con coloración roja, y posteriormente adulto en 45 a 51 días en total, estos se diferencian por que desarrollan su “clitelo” en la parte anterior en el cuerpo de la lombriz, específicamente en el primer tercio, es un área glandular en forma de anillo completo, los adultos pueden llegar a medir hasta 8 cm y pesar aproximadamente 1 gramo, estos adultos son hermafroditas pero prefieren reproducirse con otra lombriz, la lombriz roja californiana es muy prolifera, son capaces de duplicar su población cada 3 meses teniendo las condiciones óptimas para su desarrollo. Las lombrices tienen períodos de inactividad y latencia en las estaciones del año que no les favorecen como la sequía a lo que se llama “estivación”, en la cual la lombriz se enrolla en forma de nudo y adquiere un color rosado.

La lombricomposta en las huastecas

Desde septiembre del 2022, a nivel nacional se inició un importante macroproyecto titulado “Capacitación en bioinsumos para la nutrición vegetal y conservación de la fertilidad del suelo”. Esta iniciativa incluye la participación activa de la región de Las Huastecas (Figura 2) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a través de su Centro de Investigación Regional Noreste (CIRNE), ubicado en el municipio de Altamira, Tamaulipas, y específicamente en el Campo Experimental Las Huastecas (CEHUAS).



Figura 1. Ciclo de vida de las lombrices *Eisenia foetida* utilizadas en la lombricultura (adaptado de Domínguez y Gómez-Brandon, 2010)

Altamira presenta condiciones climáticas características, con una temperatura media anual que oscila entre 24 y 25 °C, pudiendo superar los 40 °C en determinadas épocas, y una precipitación anual que varía entre 800 y 1000 mm. , no obstante, en los últimos años a consecuencia de la sequía y el cambio climático, a pesar de esto, según el INEGI, la zona aún conserva un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. Estas condiciones climáticas particulares implican cuidados especiales de los lombricultores, principalmente en verano, cuando es necesario protegerlos de las horas más calurosas y de la intensidad de los rayos solares, dado que los animales suelen buscar refugio en esos momentos.



Figura 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Noreste (CIRNE), Campo Experimental Las Huastecas (CEHUAS), ubicado en Altamira, Tamaulipas.

Proceso de elaboración de la lombricomposta y lixiviado

Para la elaboración de la lombricomposta a base de bovinasa, se recolectaron los insumos, tales como: estiércol seco y pulverizado por el pisoteo se colectó en costales de un corral de bovinos en sistema semiextensivo localizado a un costado del CEHUAS (Figura 1) y este material se trasladó al Laboratorio de Salud Animal del CEHUAS y almacenado a temperatura ambiente. Además, se recolectó tierra de la rizosfera (también conocida como tierra de monte) en el CEHUAS, la cual se almacenó a temperatura ambiente en un contenedor de plástico con capacidad de 100 litros. Así mismo, se recolectó zacate bermuda *Cynodon dactylon* (Linnaeus) Persoon de las praderas del CEHUAS, el cual fue almacenado en costales a temperatura ambiente. La lombriz roja californiana *E. foetida* se obtuvo de la cosecha del 2022 de lombricarios del CEHUAS.

La instalación de los lombricarios es muy importante en los sistemas de producción agropecuaria, se pueden adaptar de diversas formas dependiendo los materiales disponibles en cada región, a continuación se describe la forma que se ha desarrollado pensando en usar materiales fáciles de conseguir y pueden ser móviles para la adaptación del proceso, cada lombricario se coloca en una base de tarima de madera tipo montacarga, de 105 cm de longitud por 105 cm ancho y una base con una altura de 50 cm construida con tabiques tipo blocks. Para la estructura de los lombricarios se utilizaron tambos de 200 a 220 litros cortados longitudinalmente a la mitad, creando una forma similar a una canoa con un volumen aproximado de 110 litros.



Cada compostero se colocó sobre una base plana con una pendiente del 6 %, ajustado en la parte trasera un block o una tabla. Los tambos divididos a la mitad tienen medidas promedio de 97 cm de largo por 58 cm ancho y 28 cm de altura con una tapa en la parte basal-frontal para lixiviar el líquido. El lixiviado se colectó en botes de 20 litros de capacidad. Una ventaja destacada de esta instalación es su movilidad, lo que permite su reubicación según sea necesario para optimizar las condiciones ambientales. Cada tambor dispone de dos orificios diseñados para la salida del lixiviado. El proceso de corte se realizó trazando una línea recta en el centro del tambor con un marcador permanente y una regla de madera de 1.20 metros. Posteriormente, se procedió al corte utilizando una segueta manual, un cuchillo afilado y un martillo. Una vez obtenidas las dos mitades del tambor, se lavaron para eliminar cualquier residuo y luego se instalaron sobre la base de tarima y blocks preparada previamente.

Se procedió a realizar la mezcla (Cuadro 1) con pala de los insumos para la lombricomposta en las siguientes cantidades y proporciones:

Cuadro 1. Insumos para la lombricomposta

Componente	Peso (Kg)	Costales	%
Estiércol de bovino	15 kg	1	50 %
Zacate	6 Kg	1	20 %
Tierra de monte	6 Kg	1/2	20 %
Grava	3 Kg	1/4	10 %
Total	30 kg	2 3/4	100%

*Agua 3 botes de 20 aproximadamente

Una vez que se tuvo la mezcla realizada se dejó pasar su fase de precomposteo por 30 días. Posteriormente cuando la composta estuvo lista se le agregó la lombriz roja californiana para que hiciera su proceso en la lombricomposta, las cuales se regaban dos veces por semana para la obtención del lixiviado.

Después de pasar por sus etapas de compostaje hasta llegar a la de maduración la lombricomposta se procedió a la recolección del humus, el cual fue cribado para la obtención de este para ser encostalado, y el lixiviado maduro obtenido de las lombricompostas fue recolectado en tambos y garrafas para ser guardados (Figuras 3 y 4).

Determinación de calidad de lixiviado de lombricomposta

En cuanto a la calidad de los lixiviados se puede determinar en base a distintos parámetros, en el Campo Experimental Las Huastecas se seleccionaron cuatro contenedores de lombricomposta con diferentes periodos de maduración: 1) 150; 2)120;



3) 90 y 4) 30 días. Se tomaron muestras durante diez días los lixiviados, se realizaron diluciones con agua destilada (Figura 5) a los siguientes porcentajes: 1) Testigo (Agua), 2) 2.5, 3) 10, 4) 20, 5) 50 y 6) 100% de lixiviado y finalmente se determinaron los siguientes parámetros: la Conductividad Eléctrica (decisiemens por metro - dS/m), Los Solidos Totales (partes por millón), la salinidad en partes por millón y en porcentaje y el pH (escala 1 a 14).

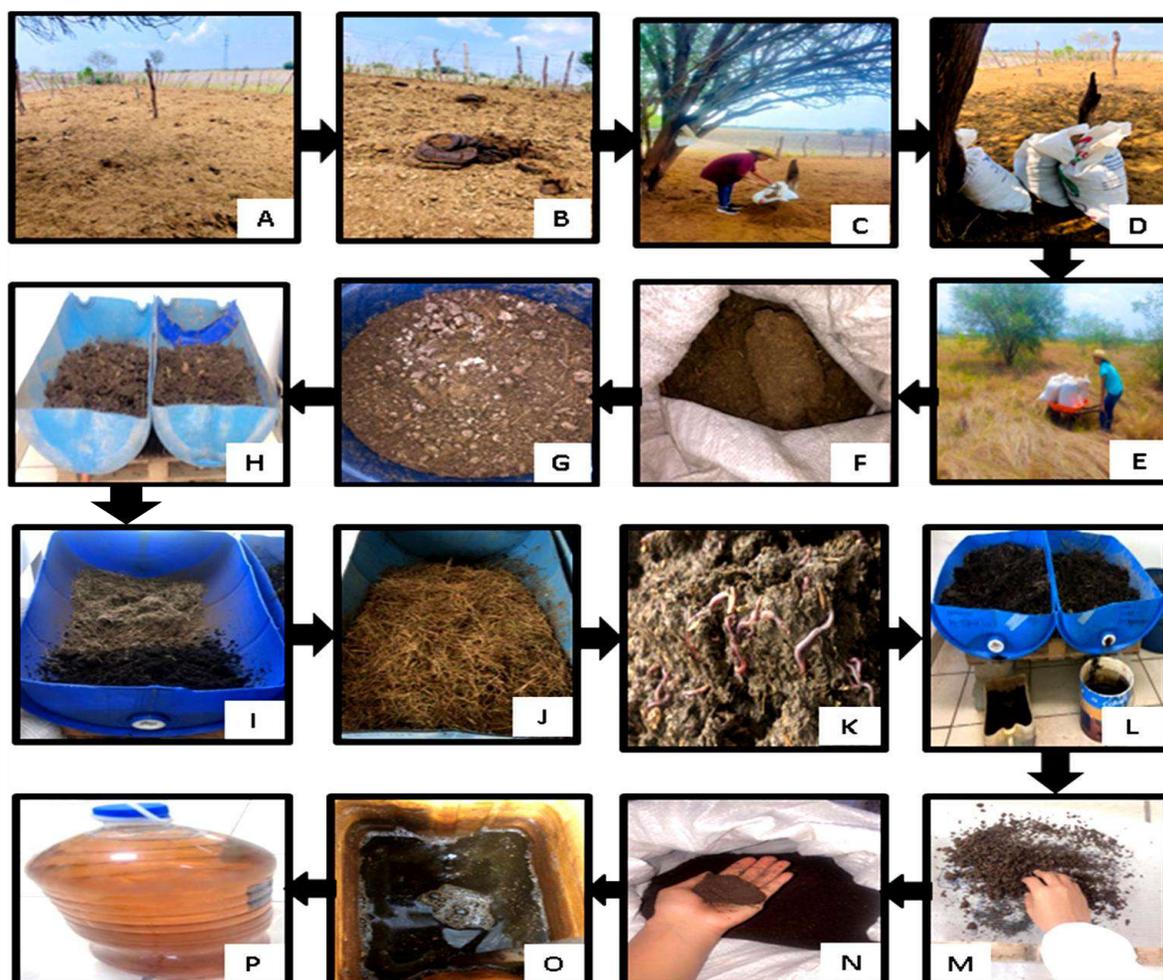


Figura 3. Proceso de elaboración de lombricomposta a base de bovinasa. A) Corral de bovinos, B) Estiércol, C) Recolección de estiércol, D) Estiércol recolectado, E) Transportando el estiércol, F) Estiércol encostalado, G) Tierra, H) Tierra y estiércol revuelto, I) Tierra, estiércol y zacate, J) Composta, K) Lombriz roja californiana, L) Lombricomposta, M) Cribado de tierra de lombricomposta, N) Humus, O) Lixiviado maduro, P) Lixiviado maduro envasado.



Para las mediciones se utilizó un medidor multiparamétrico (modelo 9909 SP) con las especificaciones que se muestran en el Cuadro 2. Es importante que el agua que se toma como testigo sea la utilizada en los lombricarios, o en su caso en el riego de los cultivos dependiendo de qué es lo que se esté comparando, asimismo checar que el medidor este bien calibrado, y tener a la mano más de un equipo para comparar sus posibles diferencias.



Figura 4. Materiales utilizados para el proceso de elaboración de las lombricompostas a pequeña escala. A) Blocks, B) Tarimas, C) Tanques de 200 Lts, D) Carretilla, E) Costales, F) Palas, G) Zacate, H) Criba, I) Garrafas de 20 Lts. J) Cultivadora manual, K) Machetes, L) Cubetas.

Parámetros de calidad del lixiviado

Para obtener un lixiviado de lombricomposta de alta calidad, es crucial considerar varios factores, primeramente los insumos y materiales que se utilizaron, así como manejar el proceso de compostaje. Es fundamental mantener temperaturas estables alrededor de los 20 °C, ya que estas condiciones son óptimas para las lombrices. Además, es necesario respetar los tiempos de maduración para permitir que los microorganismos desarrollen el proceso adecuadamente. Mantener la humedad por encima del 70% es esencial para el éxito del proceso. Por último, el lixiviado resultante no debe tener un olor desagradable; su característico color café claro ámbar puede parecer más oscuro en recipientes grandes como los tambores de 200 litros debido a la profundidad.



En todo el mundo existe el interés de alcanzar la sustentabilidad en los sistemas agropecuarios, por lo que esta biotecnología es una opción que ha sido estudiada en varios países, en un estudio realizado por Vázquez y Loli (2018) en Ecuador, se reporta el uso de lixiviados de composta y vermicomposta en la producción agrícola; los cuales fueron preparados con base de residuos de podas de jardín y estiércol vacuno, los autores mencionan que la composta tiene una CE de 12.7 ds/m y pH de 6.87 y la vermicomposta una CE de 7.16 ds/m y un pH de 6.51, lo que concuerda con los parámetros obtenidos en el presente estudio, esto puede ser debido al uso de bioinsumos similares y un tiempo adecuado del proceso de compostaje. En México también han sido estudiados los beneficios de la lombricultura como por ejemplo, Acosta-Durán *et al.* (2017) en Cuernavaca, Morelos, mencionan que la vermicomposta utilizada en su estudio fue elaborada a partir de residuos de jardinería y contó con una CE de 4.128 ds/m y un pH de 6.9, aunque el pH fue similar a los resultados del presente estudio, la CE fue menor, lo cual puede ser debido a que no se utilizó estiércol de bovino, ni ningún componente similar en su proceso de compostaje.

Cuadro 2. Especificaciones para las mediciones con el medidor multiparamétrico (modelo 9909 SP).

pH	Rango: 0.00-14.00 pH Resolución: 0.01 pH Precisión: ±0.05%
Sólidos Totales (TDS)	Rango: 0- 10,000 ppm Resolución: 1ppm Precisión: ±2%
Conductividad eléctrica CE ms/cm	Rango: 0-10,000µs/cm; 10.1-19.99 mS/cm Resolución: 1µs/cm ; 0.1ms/cm Precisión: ±2%
Salinidad %	Rango: .01%-25%;0-10,000ppm Resolución: 0.01%; 1ppm Precisión: ±2%
Temperatura °C	Rango: 0-80°C

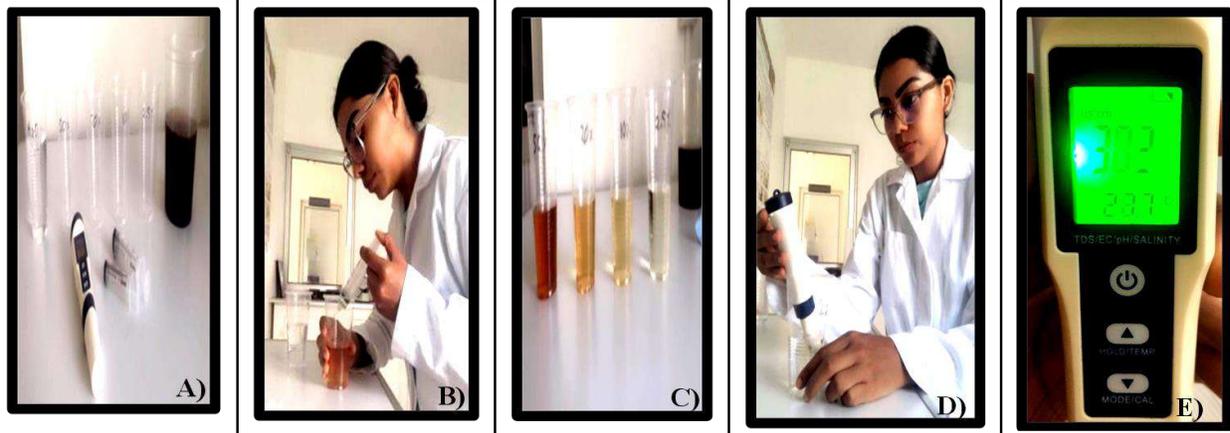


Figura 5. Proceso de toma de parámetros de calidad de lixiviado de lombricomposta. A) Materiales utilizados; B) Preparación de las disoluciones del lixiviado; C) Disoluciones listas para la medición; D) Medición de los parámetros; E) Pantalla del medidor multiparamétrico con medición tomada para registro.

Conclusiones

La sustentabilidad de los sistemas agropecuarios representa un pilar fundamental para el desarrollo sostenible de México, por lo que es esencial investigar, validar y promover biotecnologías que fortalezcan y diversifiquen las opciones disponibles para los productores. Haciendo énfasis en la reducción de Productos Químicos para la mejora de los sistemas de producción, así como en la reducción de costos. El lixiviado de lombriz no solo constituye una forma eficaz de reciclar nutrientes valiosos presentes en el estiércol bovino, sino que también puede mejorar significativamente la fertilidad del suelo, beneficiar la nutrición de las plantas y promover la biodiversidad, no obstante, para asegurar la efectividad y calidad de este producto, es crucial realizar una meticulosa medición de sus parámetros, garantizando así que cumpla con los estándares necesarios para promover un desarrollo agrícola y ambiental sostenible.

Referencias

- Acosta-Durán, A., Bahena Galindo, M. E., Chávez García, J. A., Acosta Peñaloza, D. y Solís Reynoso, M. G. (2017). Sustrato de lombricomposta para el cultivo de Belén (*Impatiens walleriana* Hook. f.). *Revista bio ciencias* 4 (5): 1-14.
<https://doi.org/10.15741/revbio.04.05.04>
- Beltrán Santoyo, M. Á., Álvarez Fuentes, G., Pinos Rodríguez, J. M., García López, J. C. y Castro Rivera, R. (2017). Abonos obtenidos del compostados de heces de ganado bovino de leche vs. Fertilizante en la producción de triticale (*X Triticum secale* Wittmack). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad*



- Nacional de Cuyo. 49 (1): 95-104.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652017000100008&lng=es&tl
- Darwin, Ch., 2011. La formación del mantillo vegetal por la acción de las lombrices, con observaciones sobre sus hábitos. Biblioteca Darwiniana. CSIC. Madrid.
https://books.google.com.mx/books?id=dyf_LEi-DUwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false
- Domínguez, J. y Gómez-Brandon, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana*. 26 (2): 309-320.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v26nspe2/v26nspe2a23.pdf>
- Lara-Capistrán, L., Zulueta-Rodríguez, R., Murillo-Amador, B., Romero-Bastidas, M., Rivas-García, T. y Hernández-Montiel, L. G. (2020). Respuesta agronómica del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de *Bacillus subtilis* y lombricomposta en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 38 (3): 693-704.
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.737>
- Matuska-Lyzwa, J., Duda, S., Nowak, D. y Kaca, W. (2024). Impact of Abiotic and Biotic Environmental Conditions on the Development and Infectivity of Entomopathogenic Nematodes in Agricultural Soils. *Insects*. 15 (6): 421.
<https://doi.org/10.3390/insects15060421>
- Morales-Barrón, B. M., Vázquez-González, F. J., González-Fernández, R., Mora-Covarrubias, A. D. L., Quiñonez-Martínez, M., Díaz-Sánchez, Á. G., Martínez-Martínez, A., Nevárez-Moorillón, V. y Valero-Galván, J. (2017). Evaluación de la capacidad antagónica de cepas del orden bacillales aisladas de lixiviados de lombricomposta sobre hongos fitopatógenos. *Acta universitaria*. 27 (5): 44-54.
<https://doi.org/10.15174/au.2017.1313>
- Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L. y Ojeda-Barrios, D. (2013). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y ciencia*, 28 (1): 27-37.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000100003&lng=es&tlng=es.
- Preciado Rangel, P., García Hernández, J. L., Segura Castruita, M. Á., Salas Pérez, L., Ayala Garay, A. V., Esparza Rivera, J. R. y Troyo Diéguez, E. (2014). Efecto del lixiviado de vermicompost en la producción hidropónica de maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*. 32 (4): 333-338.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000400333&lng=es&tlng=es.
- Ramos Oseguera, C. A., Castro Ramírez, A. E., León Martínez, N. S., Álvarez Solís, J. D., Huerta Lwanga, E. 2019. Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo



franco arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana*. 37 (1): 45-55.

<https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.331>

Vázquez, J., Loli, O. 2018. Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*. 9 (1): 43-52.

<https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.05>

Vázquez-Vázquez, C., Borroel-García, V. J., Espino-Paredes, B. Y., María-Hinojosa, S., Noemí, F., García-Hernández, J. L. y Ramírez-Aragón, M. G. (2020). Efecto de la adición de lixiviado y azufre en la capacidad antioxidante y contenido fenólico en brotes de germinados de maíz. *Terra Latinoamericana*. 38 (3): 481-487.

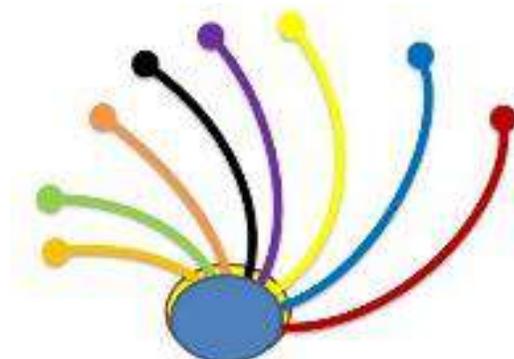
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.697>

Zanor, G. A., López-Pérez, M. E., Martínez-Yáñez, R., Ramírez-Santoyo, L. F., Gutiérrez-Vargas, S. y León-Galván, M. (2018). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Ingeniería, investigación y tecnología*. 19 (4): 1-10.

<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.036>

Impacto de los cultivos asociados en la mejora de la fertilidad del suelo y la producción de caña de azúcar

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





Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es un cultivo de gran relevancia económica en México, destacándose por su elevada producción de sacarosa, una fuente crucial de ingresos para los productores. A nivel global, México ocupa el sexto lugar en producción, con una superficie cultivada de 848,000 hectáreas y una producción anual aproximada de 56.3 millones de toneladas. Este cultivo juega un rol fundamental en los sistemas agroalimentarios de 15 estados del país.

No obstante, el sistema de producción de caña de azúcar enfrenta diversos desafíos. El monocultivo intensivo y la quema de residuos postcosecha, prácticas comunes en el manejo del cultivo, han generado un deterioro progresivo en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo (Figura 1). El monocultivo, definido como la siembra repetida de una única especie en extensas áreas durante ciclos consecutivos, provoca una disminución de la fertilidad del suelo y un incremento en la prevalencia de plagas y enfermedades específicas.



Figura 1. Cosecha de Caña de azúcar en la región Huasteca de México.

Problemática del monocultivo y alternativas sostenibles

El monocultivo de la caña de azúcar (Figura 2) ha resultado en la degradación del suelo y el aumento de problemas fitosanitarios. Para mitigar estos efectos negativos, se recomienda la implementación de cultivos de cobertura en suelos de descanso o asociados entre los surcos del cultivo principal. Estos cultivos contribuyen a mejorar la estructura del suelo, incrementan la biodiversidad de microorganismos e insectos benéficos, y disminuyen la incidencia de plagas y enfermedades.



Figura 2. Caña de azúcar como monocultivo en la región Huasteca.

Los cultivos asociados en la caña de azúcar

Los cultivos de cobertura, también denominados abonos verdes, cultivos intercalados o asociados, se refieren a la siembra de una o más especies junto al cultivo principal. En los sistemas agroecológicos, estas especies proporcionan beneficios agronómicos significativos, tales como la mejora de la fertilidad y estructura del suelo. Entre los cultivos recomendados para asociarse con la caña de azúcar que se pueden utilizar, destacan leguminosas como *Clitoria ternatea*, *Canavalia ensiformis*, y *Crotalaria juncea* capaces de fijar nitrógeno atmosférico en simbiosis con microorganismos como *Rhizobium spp.*, promoviendo la sostenibilidad del agroecosistema, proporcionando también opciones forrajeras como alimentación para los animales de producción pecuaria, que pueden verse beneficiados por el alto contenido de proteína.

Cultivos asociados potenciales

Clitoria ternatea

Es conocida comúnmente como campanilla-azul, es una leguminosa perenne originaria de Asia, ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales. Esta especie es valorada tanto por su uso como forraje como por su atractivo ornamental (Figura 3).



Agronómicamente, *C. ternatea* mejora la estructura del suelo e incrementa el contenido de materia orgánica. Adicionalmente, estudios han demostrado sus propiedades medicinales, antimicrobianas y antioxidantes. En sistemas de producción de caña de azúcar, destaca por su potencial para mejorar la productividad animal, debido a su elevado contenido de proteína cruda, que varía entre el 19.4% y el 22.6% en base seca.



Figura 3. Cultivo asociado de *Clitoria ternatea* con caña de azúcar.

Canavalia ensiformis

Es comúnmente llamado frijol espada, es una leguminosa tropical conocida por su alto contenido de proteínas y carbohidratos en materia seca (Figura 4 y 5). Su capacidad para



crecer en suelos pobres y resistir condiciones adversas la convierte en una opción viable como abono verde en sistemas de caña de azúcar. Además, su vigoroso crecimiento y elevada productividad de forraje hacen de esta especie una excelente para mejorar la fertilidad del suelo y mitigar los impactos del monocultivo.

Esta leguminosa puede ser considerada como ingrediente para elaborar alimentos para rumiantes, debido a su contenido en proteína cruda (18 a 29%) de proteína cruda y energía metabolizable en dietas que la incluyen en forma de harina de las semillas de canavalia, lo que ayuda a reducir costos al producirlo de manera autónoma en las regiones tropicales.



Figura 4. *Canavalia ensiformis* asociado con caña de azúcar en fase de amacollamiento.



Figura 5. *Canavalia ensiformis* asociado con caña de azúcar en fase de crecimiento rápido.



Crotalaria juncea

Crotalaria juncea, o sunn hemp, es una leguminosa valorada por su capacidad de producir fibra de alta calidad (8 % del peso seco del tallo) y su potencial como forraje (Figura 6 y 7). Esta especie puede fijar hasta 450 kg de nitrógeno ha⁻¹ en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium spp.*), lo que la convierte en un valioso componente de los sistemas de cultivo intercalado con caña de azúcar. Además, su capacidad para producir grandes cantidades de biomasa contribuye a mejorar la estructura del suelo. Contrario a otras especies dentro del género *Crotalaria* este cultivo, no representa peligro de toxicidad para los animales, así que se puede utilizar como forraje por su alta producción de biomasa, siendo una excelente fuente de proteína (16 a 22%) y de minerales como el fósforo y el calcio que enriquecen la alimentación de rumiantes.



Figura 6. *Crotalaria juncea* asociado con caña de azúcar en fase de amacollamiento.



Figura 7. *Crotalaria juncea* asociado con caña de azúcar en fase de crecimiento rápido.



Importancia del uso de abonos verdes en caña de azúcar

El uso de abonos verdes en caña de azúcar es esencial para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, factores clave para el desarrollo óptimo del cultivo. Los abonos verdes, al aumentar la materia orgánica y fijar nitrógeno en el suelo, (Figura 8) pueden reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Investigaciones recientes han demostrado que la integración de especies como *C. ternatea*, *C. juncea* y *C. ensiformis* en sistemas de caña de azúcar no solo incrementa la biodiversidad, sino que también promueve prácticas agrícolas más sostenibles, mejorando la porosidad del suelo y su capacidad de retención de agua.



Figura 8. Abonos verdes en fase de amacollamiento del cultivo de caña de azúcar.



Uso de abonos verdes en la región de Las Huastecas

En el Sitio Experimental Ébano y el Campo Experimental Las Huastecas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se han realizado investigaciones aplicadas en cultivos de interés regional, incluyendo la caña de azúcar y los abonos verdes (Figuras 9 y 10). La fertilización convencional en esta región generalmente incluye nitrógeno, fósforo y potasio, aplicados en diferentes fases del crecimiento del cultivo. No obstante, la integración de abonos verdes en los surcos de caña, como *Clitoria*, *Crotalaria* y *Canavalia*, a densidades específicas, ha mostrado ser una alternativa viable para mitigar la pérdida de nutrientes del suelo. Estos cultivos no solo aportan nitrógeno y mejoran la estructura del suelo, sino que también ofrecen beneficios adicionales como la reducción de la erosión y la mejora de la retención de humedad.



Figura 9. Cultivo de Caña de Azúcar asociado con *Canavalia ensiformis* en el Sitio Experimental Ébano del INIFAP.



Figura 10. Nódulos de raíces de *Clitoria ternatea* en el Sitio Experimental Ébano del INIFAP.



Evaluación de crecimiento

Para evaluar el impacto de los abonos verdes, se pueden medir variables como el número de tallos por hectárea, la altura, el diámetro y el peso de los tallos en rangos de 0, 25, 50, 75 y 100% de fertilización química. También se deben evaluar los niveles de azúcar mediante grados Brix en los meses finales del ciclo del cultivo (Figura 11).



Figura 11. Medición de crecimiento y azúcares totales Brix en caña de azúcar.



Asociaciones de *Crotalaria juncea* con caña según otros autores

Estudios como los de Pérez-Ovidio *et al.* (2008) y Rente-Martí *et al.* (2018) han mostrado resultados consistentes en la asociación de *Crotalaria* y caña de azúcar (Figuras 12 y 13). Estos autores han encontrado que las asociaciones simbióticas entre estos cultivos pueden mejorar significativamente el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar. La *Crotalaria juncea*, al mejorar la estructura del suelo y aportar nitrógeno, facilita un entorno de crecimiento más favorable para la caña de azúcar, resultando en tallos más altos y con mayor diámetro, lo cual es crucial para aumentar la productividad del cultivo.



Figura 12. Uso del cultivo de caña de azúcar asociado con abonos verdes.



Figura 13. Uso del cultivo de caña de azúcar asociado con *Clitoria ternatea* en Las Huastecas.



Conclusiones

La integración de abonos verdes en sistemas de cultivo de caña de azúcar se ha mostrado eficaz para mejorar la fertilidad del suelo y fomentar prácticas agrícolas sostenibles. Los cultivos asociados como *Clitoria ternatea*, *Canavalia juncea* y *Crotalaria ensiformis* no solo proporcionan nutrientes, sino que también mejoran la estructura del suelo, incrementan la biodiversidad, son fuentes de nutrientes para los rumiantes y contribuyen a la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas productivos de caña de azúcar.

Referencias

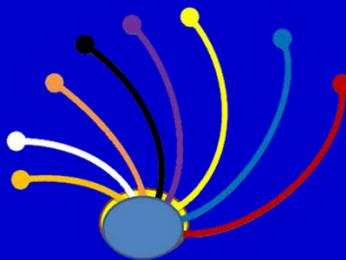
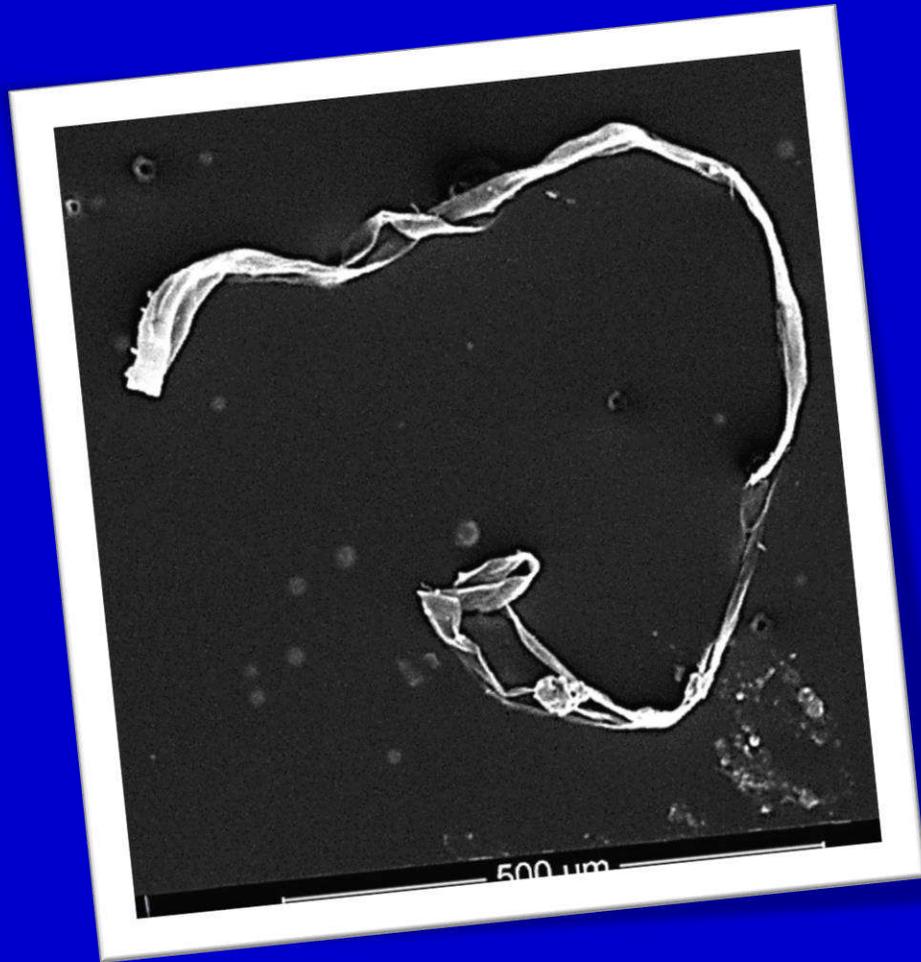
- Al-Snafi, A.E. (2016). Pharmacological importance of *Clitoria ternatea*—A review. *IOSR Journal of Pharmacy*. 6 (3): 68-83.
<https://keal-a.fr/wp-content/uploads/2023/05/G0636883-2.pdf>
- Bokhtiar, S., Gafur, M. & Rahman, A. (2003). Effects of *Crotalaria* and *Sesbania aculeata* green manures and N fertilizer on soil fertility and the productivity of sugarcane. *The Journal of Agricultural Science*. 140(3): 305-309.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20033142743>
- Casanova-Lugo, F., Escobedo-Cabrera, A., Dzib-Castillo, B., Cabañas-Gallardo, A., Ramírez-Barajas, P.J., Yam-Chalé, E.C. & Lara-Pérez, L.A. (2024). Decomposition and nitrogen release of sugar cane (*saccharum officinarum* L.) Residues combined with the foliage of local plants. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 27(2).
<http://doi.org/10.56369/tsaes.5228>
- Duarte Júnior, J. B. & Coelho, F. C. (2008). Sugarcane in a no-tillage system compared to the conventional system with, and without, manuring. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 12: 576-583. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000600003>
- Hutasoit, R., Sirait, J., Tarigan, A. & Ratih, D. (2018). Evaluation of four pasture legumes species as forages and cover crops in oil palm plantation. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*. 22 (3): 124-134.
<https://medpub.appertani.org/index.php/jitv/article/view/1801/1565>
- Hernández-Montiel, W., Ramos-Juárez, J. A., Aranda-Ibáñez, E. M., Hernández-Mendo, O., Munguía-Flores, V. M. y Oliva-Hernández, J. (2017). Uso potencial y limitantes de la leguminosa *Canavalia ensiformis* en la salud y productividad de los ovinos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 4 (10): 187-200.
<https://doi.org/10.19136/era.a4n10.672>
- OCDE/FAO (2020). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas, Estadísticas de la OCDE sobre agricultura (base de datos). <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>.
- 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. <https://doi.org/10.1111/pce.12975>
- Pérez, O., López, A., Hernández, F., 2008. Evaluación de la Intercalación de dos Especies de Leguminosas como Abonos Verdes en el Cultivo de Caña de Azúcar. En: Memoria. Presentación de Resultados de Investigación, zafra, 2009. 182-187. <https://cengicana.org/files/20150902101616393.pdf>
- Ramos, M.M., Hidalgo-Moreno, C.I., Fuentes, M., Martínez, J.D. y Barra, J.D.E. (2023). Potencial de especies de leguminosas mejoradoras de la fertilidad del suelo en regiones tropicales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 14 (4): 531-541. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3152>
- Renté-Martí, O., Nápoles-García, M. C., Pablos-Reyes, P. y Vargas-Batis, B. (2018). Efecto de *Canavalia ensiformis* (L). En propiedades físicas de un suelo fluvisol diferenciado en Santiago de Cuba. *Cultivos Tropicales*. 39(2): 59-64. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3152>
- Santos-Vargas, A.D. (2010). Potencial productivo de *Crotalaria Juncea* CV. Tropic Suns en agroecosistemas de Puerto Rico. *Tesis*. <https://scholar.uprm.edu/server/api/core/bitstreams/7978090c-e96e-4d7a-9d12-baf55d6f4aec/content>
- Udedibie A.B.I, Carlini C.R. (1998). Questions and answers to edibility problem of the *Canavalia ensiformis* seeds – A review. *Animal Feed Science and Technology*. 74 (2): 95-106. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00141-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00141-2).
- Villanueva-Avalos, J.F., Bonilla-Cárdenas, J.A., Rubio-Ceja, J.V. y Bustamante-Guerrero, J.J. (2004). Agrotecnia y utilización de *Clitoria ternatea* en sistemas de producción de carne y leche. *Técnica Pecuaria en México*. 42(1): 79-96. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61342107.pdf>

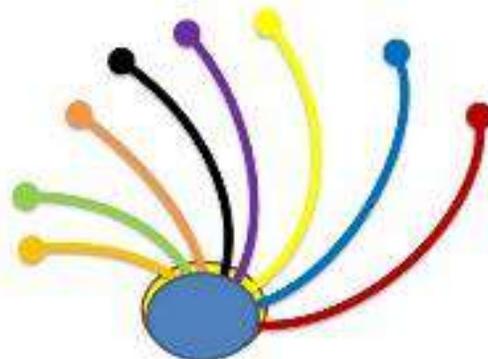
Sección 4

Acuícola y Pesquera



Microplásticos y su relación con la microbiota de organismos acuáticos

Emmanuel Ortiz-Espinoza
Viridiana Peraza-Gómez
José Vladimir Trejo-Flores





Introducción

El 95 % de los desechos marinos que se acumulan y se distribuyen en todas las matrices del medio marino son microplásticos (MPs), los cuales presentan un tamaño menor de 5 mm de diámetro constituidos por una mezcla heterogénea de partículas con diferentes formas: fragmentos, fibras, esferoides, gránulos, escamas, perlas y colores. Los MPs se han reportado en sedimentos y organismos acuáticos, afectando a todos los niveles de la cadena trófica, incluyendo zooplancton, fitoplancton, moluscos, peces, hasta mamíferos. Con base en una revisión bibliográfica realizada en el año 2020 que compila 222 estudios de distintos autores quienes comparten hallazgos sobre el impacto de MPs en organismos acuáticos, se pudo documentar que un 38 % de los trabajos sobre MPs se centra en el análisis de peces, 18 % de moluscos, 10 % en zooplancton y el 33 % restante incluyó a mamíferos, invertebrados, tortugas, equinodermos, aves y fitoplancton, mientras que solo el 1 % de los artículos analizados se relacionan a las bacterias.

Las comunidades bacterianas desempeñan un papel imprescindible en la salud y el bienestar de hospederos vertebrados e invertebrados, así como en el desarrollo de los ecosistemas. La presencia de MPs en el ecosistema acuático supone variaciones en los filos y taxones de bacterias debido a que favorecen la proliferación de ciertos grupos en el agua y sedimentos, incluso algunos autores reconocen a la microbiota localizada en residuos plásticos como un nuevo ecosistema, denominado “Platífera”, que a su vez podría ocasionar efectos adversos como el incremento en la patogenicidad, propagación de agentes causales de enfermedades, resistencia bacteriana a antibióticos, entre otros.

Por consiguiente, en este capítulo explicaremos investigaciones en relación con la existencia de MPs en organismos marinos de interés comercial mediante técnicas de microbiología tradicional, molecular y bioinformática, entre otras, aunado a otro tipo de análisis relacionados a la actividad enzimática, metabolitos, expresión de genes y estudios toxicológicos.

Efectos de la exposición de MPs y su relación en la salud de peces y crustáceos de importancia comercial para el consumo humano

El contacto inicial de estos contaminantes con organismos acuáticos varía en relación a la especie, tamaño, composición y tiempo de exposición con los MPs. En un estudio realizado en Singapur se comparó la presencia de MPs en diferentes especies de camarón de importancia comercial como el camarón rojo argentino (*Pleoticus muelleri*), el camarón blanco de la India (*Fenneropenaeus indicus*) y el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), en este último, las partículas predominantes fueron las del tipo película a diferencia de *P. muelleri* y *F. indicus*, en los cuales las partículas más abundantes fueron del tipo microesferas, derivadas de productos de cuidado para la piel. Los mismos autores reportan que las especies *P. muelleri* y *F. indicus* consumieron 200



veces más MPs en comparación con *L. vannamei*, encontrando diferencias significativas en el contenido de MPs, que podría atribuirse a sus diferentes nichos ecológicos, hábitos alimenticios y a la distribución geográfica de las especies.

Algunas investigaciones relacionan el tamaño de los MPs con la obstrucción intestinal de organismos acuáticos, como aves, tortugas y mamíferos, alteraciones en la absorción de nutrientes, así como el daño por compuestos adheridos a MPs. Tras examinar la mortalidad de adultos de *Palaemonetes pugio* expuestos durante 3 horas a 11 diferentes tamaños (30-165 μm) y formas de MPs (esferas, fibras y fragmentos), se observó una mortalidad de un 50 % en los organismos expuestos a esferas y fragmentos de más de 75 μm a causa de toxicidad aguda.

Además del tamaño, otras variables a considerar con respecto al impacto de estos polímeros en los organismos se relacionan al tiempo y la forma de exposición de un organismo acuático a los MPs; una exposición o interacción prolongada incrementa la probabilidad de que estas partículas sean asimiladas por diferentes especies. Al respecto, una investigación con langostino *Nephrops norvegicus* expuesto a fibras de polipropileno (PP) a través del alimento durante 8 meses presentó una disminución en la producción de biomasa, disponibilidad de nutrientes, además de una reducción en la producción de huevos y en su fecundidad. Mientras que, en otro trabajo de investigación con otra especie de invertebrados como el camarón del atlántico *Palaemonetes varians* alimentado con perlas y fibras de hasta 100 μm , los resultados mostraron que la especie no asimiló en su totalidad las partículas que ingiere de manera directa. Además de la alimentación, otra vía por la cual los MPs ingresan al organismo es a través de la ingesta indirecta de partículas suspendidas en la columna de agua, en detritos, zooplancton, microalgas y otras especies por el contacto de órganos y tejidos.

Microplásticos en Ecosistemas Acuáticos: Distribución, Colonización y Riesgos

Debido a la amplia distribución y versatilidad de los polímeros que conforman los MPs, estas partículas son capaces de trasladarse libremente a través de las corrientes de ríos, arroyos, oceánicas y costeras, llegando a colonizar todos los ecosistemas acuáticos existentes, entre ellos los esteros y reservorios destinados al uso acuícola, agrícola o de consumo humano.

Las evidencias basadas en análisis de la microbiota intestinal de organismos acuáticos, (como peces y crustáceos) asociada a los MPs indican que en ríos y lagos la cantidad de potenciales agentes patógenos vinculados a MPs es elevada a comparación de la microbiota que se encuentra en los océanos y/o sedimentos marinos. Esto se debe a la proximidad de estas áreas con los efluentes de aguas residuales, que transportan una carga sustancial de microorganismos que se originan de las actividades antropogénicas, como la agricultura, acuicultura y otras fuentes. En este contexto, los MPs interaccionan con una diversidad considerable de bacterias provenientes de



diferentes entornos. Esta interacción ocurre en la superficie de estos polímeros; favoreciendo la formación de biofilms, así como la transferencia horizontal de material genético entre diversas especies. Por lo anterior, los MPs son considerados como portadores de GRA, actuando como vectores para su movilidad y dispersión.

Efectos de MPs en el metabolismo de organismos acuáticos

Una vez que los MPs ingresan al cuerpo, pueden significar afecciones en el metabolismo y en la absorción de nutrientes. Al respecto, una investigación consistió en exponer de forma experimental por inmersión a individuos de *P. vannamei* a partículas de poliestireno (PS) de diferente diámetro (0.1, 1.0, 5.0, y 20.0 μm) durante 1 a 12 días a una concentración de 1 a 10 g/L observando cambios en la microbiota intestinal, alterando el metabolismo de aminoácidos. Asimismo, otros autores evaluaron el efecto de la presencia de MPs en la inmunidad y el metabolismo del camarón blanco, donde se observó una disminución de la población de bacterias ácido lácticas y productoras de ácidos grasos de cadena corta, así como afectaciones a nivel proteómico de la hemolinfa y variaciones en 28 metabolitos. Trabajos similares donde se realizaron análisis metabolómicos detectaron que la exposición a MPs causa cambios en los metabolitos, alterando rutas metabólicas, especialmente en aminoácidos y la magnitud de estos efectos tóxicos puede depender de factores como el tamaño de las partículas.

Un hallazgo adicional sobre los efectos de los MPs en el metabolismo de camarones (*P. vannamei*) en relación a cultivos acuícolas es un experimento *in vitro* donde se evaluó la influencia conjunta de MPs y nitritos en la expresión de genes y la fisiología del camarón después de una exposición de 14 días. Además de observar daños a nivel histológico, como anomalías en las branquias, la presencia de ambos contaminantes interfirió en las funciones metabólicas, además de inducir un incremento en la expresión de los genes de catalasa, superóxido dismutasa y las proteínas de choque térmico (HSP70 -HSP90).

Alteraciones en la microbiota de organismos marinos debido a la exposición de MPs

La microbiota es un importante factor para comprender los efectos de la interacción de MPs con organismos marinos. En los reportes mencionados anteriormente, otro parámetro considerado durante la investigación fue la medición de la diversidad y abundancia de la microbiota intestinal de los peces, considerado como un indicador de la salud de estos. Al exponer larvas de pez cebra con partículas de poliestireno (PS) con un diámetro de 0.5 a 50 μm , agregando aproximadamente 1.4×10^{10} partículas/L y 1.4×10^4 partículas/L, respectivamente, se observó que la exposición con MPs disminuyó significativamente la abundancia de los filos de Bacteroidetes y Proteobacteria, mientras



que la exposición a una concentración de 1000 $\mu\text{g/L}$ con partículas de 0.5 μm de diámetro, al igual que 100 y 1000 $\mu\text{g/L}$ con partículas de 50 μm aumentaron la diversidad del filo Firmicutes. Otro caso ilustrativo se presentó en una investigación llevada a cabo durante un lapso de 14 días con partículas de PP (100 y 1000 $\mu\text{g/L}$), donde los cambios en la microbiota intestinal presentaron resultados similares.

Según investigaciones en las cuales se emplearon larvas de pez cebra expuestas por siete días a partículas de PP (5-50 μm de diámetro) en dos concentraciones distintas (100 y 1000 $\mu\text{g/L}$) se observó un incremento en el estrés oxidativo, cambios en la diversidad de la microbiota, disminución del perfil metabolómico, los cuales derivaron en trastornos del metabolismo de la glucosa y los lípidos, afectaciones al metabolismo de ácidos nucleicos, además de ocasionar un incremento en la respuesta inflamatoria y daños neurotóxicos.

En un análisis con respecto a la abundancia y diversidad de la microbiota intestinal en el pez cebra después de 21 días de exposición con partículas de PS con concentraciones de 50 $\mu\text{g/L}$ y 500 $\mu\text{g/L}$. La secuenciación de ADN del microbioma intestinal identificó un total de 25 familias de bacterias. Al finalizar el experimento, la abundancia del filo Bacteroidetes disminuyó, mientras que la abundancia de Firmicutes aumentó significativamente. Lo anterior, podría significar que el incremento en la diversidad y abundancia de estos filos están relacionados con procesos inflamatorios en el intestino de los peces.

Mientras que, en un grupo de invertebrados como *P. vannamei* expuestos durante 14 días a productos comerciales que contenían diferentes concentraciones de polietileno (PE), PS, PP, cloruro de polivinilo (PVC), y politetrafluoroetileno (PTFE) se observaron cambios en la abundancia de la microbiota intestinal, encontrando que los filos dominantes fueron Proteobacterias y Bacteroidetes, a diferencia de Firmicutes, en el cual la abundancia disminuyó.

Las γ -proteobacterias y α -proteobacterias son los taxones de colonizadores de superficies más abundantes en ambientes acuáticos, por lo cual podrían relacionarse con la presencia de MPs en la microbiota intestinal de organismos acuáticos; este filo de bacterias cumple una importante función durante el metabolismo de carbono y nitrógeno en *P. vannamei*. Por su parte, especies de los filos Firmicutes y Bacteroidetes pueden ser causantes de enfermedades y trastornos intestinales, en casos de un proceso inflamatorio en el organismo. Por lo anterior, se sugiere realizar de manera continua el monitoreo de cambios en la microbiota de estas especies.

Lo anterior indica que la abundancia de especies en la microbiota intestinal está relacionada con la salud de organismos acuáticos, mientras que la presencia de MPs son un factor que disminuye su diversidad. Otros factores que se han vinculado a cambios en las comunidades microbianas hacen referencia a la temperatura, salinidad, pH, disponibilidad de nutrientes, entre otros. En un experimento con duración de dos meses



donde se analizó el efecto de diferentes niveles de salinidad (5, 20 y 30 ppt) en juveniles de *P. vannamei* se reportó que aquellos organismos que se desarrollaron en los tanques con 20 ppt presentaron mayor abundancia de especies benéficas, como *Pseudoruegeria*, *Rhodovulum*, *Ruegeria*, *Shimia* y *Lactobacillus*. Al contrario, en aquellos organismos que se mantuvieron en tanques con salinidades de 5 ppt y 30 ppt, la diversidad microbiana intestinal fue menor. Al infectar al organismo con un agente patógeno (*Vibrio haverly*) los resultados demostraron que en la concentración de 20 ppt la diversidad de la microbiota se mantuvo. En cambio, a salinidades de 5 ppt y 30 ppt la bacteria patógena incrementó su población, superando la de otros microorganismos de la microbiota intestinal. Este experimento demostró que una microbiota intestinal diversa confiere un efecto protector contra agentes patógenos de *P. vannamei*, la cual depende de condiciones como salinidad, pH, entre otros parámetros fisicoquímicos. En el caso de MPs, se ha observado que la presencia de estos contaminantes incrementa la diversidad de grupos de bacterias como Proteobacterias.

Incremento de bacterias patógenas en la microbiota de organismos marinos debido a la exposición de MPs

Una de las temáticas de mayor preocupación para la comunidad científica relacionadas con los MPs, es debido a que estos minúsculos fragmentos de plástico se vinculan a la proliferación de bacterias patógenas en los océanos. Investigaciones realizadas en instalaciones de maricultura especializadas en la cría de mejillones en China, han evidenciado que las áreas costeras, caracterizadas por altas temperaturas, un elevado contenido de materia orgánica y una concentración significativa de contaminantes plásticos provenientes de zonas litorales, promueven un incremento en la abundancia de bacterias del género *Vibrio* y *Pseudomonas*, las cuales pueden tener implicaciones potenciales en términos de patogenicidad, como el aumento en enfermedades a la par del aumento de contaminación con partículas plásticas, la transferencia horizontal de genes de patogenicidad entre especies, o bien que los contaminantes plásticos sean un vector para la transferencia de agentes patógenos hacia sitios distantes.

El surgimiento de enfermedades relacionadas a la presencia de MPs se vincula con la capacidad de los microorganismos de adherirse a la superficie de estos contaminantes. Por consiguiente, resulta crucial realizar pruebas exhaustivas para identificar los factores determinantes que influyen en la interacción entre la microbiota bacteriana y estas partículas.

Al comparar la microbiota asociada a un entorno acuático natural, como un río, con la de un entorno influenciado por actividades humanas, como una planta de tratamiento de aguas residuales, y al introducir MPs de PE y PS en ambos, se observó que la colonización de la superficie de las micropartículas de PE es favorecida por



factores como una baja cantidad de nutrientes y una alta salinidad en el medio, en comparación con el PS. En cambio, cuando los nutrientes y la salinidad están en niveles normales, no se observa una diferencia significativa entre el tipo de polímero y la microbiota asociada a ella. Es importante destacar que la asociación entre las bacterias y los MPs es un proceso altamente complejo, y aunque se ha realizado un avance significativo en nuestra comprensión de estos fenómenos, aún se necesitan estudios adicionales para elucidar sobre la relación entre estos elementos, la cual es multifacética y requiere una investigación continua.

Interacción de MPS con contaminantes en el medio ambiente y su efecto en organismos acuáticos

De acuerdo a las investigaciones actuales, ha surgido otra problemática relacionada a la capacidad de los MPs para correlacionarse a compuestos químicos contaminantes (antibióticos, metales pesados, pesticidas, detergentes, entre otros) debido a las propiedades físicas y químicas intrínsecas del polímero, así como cambios estructurales en su composición química, o alteraciones físicas en su superficie que facilitan su adhesión y/o unión. De esta manera, una vez que los compuestos tóxicos se adhieren a los MPs estos servirán como un vector que propiciará su movilidad y estabilidad en el medio, incrementando la posibilidad de introducirse en organismos a través de la ingestión o asimilación de las partículas.

Al ingresar al organismo, los compuestos químicos adheridos a las partículas plásticas son segregados en distintos órganos y tejidos, induciendo una respuesta inflamatoria, activando el sistema inmune, o bien, con efectos toxicológicos, tal es el caso de un análisis efectuado en tres especies de peces en el noreste del océano Atlántico, el cual reportó un aumento en actividad del neurotransmisor acetilcolinesterasa relacionado a la presencia de microfibrillas de PE. Otros estudios realizados en carpa, donde se evaluó el efecto combinado de fragmentos de polietileno (1.5 y 4.5 mg/L) y glifosato (5 y 15 mg/L) después de 60 días de exposición demostraron que la presencia de glifosato afectó significativamente el sistema nervioso de los peces, bloqueando la transferencia de nutrientes. Adicionalmente, concluyeron que la actividad locomotora de peces en su ambiente natural es afectada por la exposición a más de 1 mg/L de MPs. Se ha reportado que la presencia de estos contaminantes puede ocasionar falta de energía en los peces, cambios en el comportamiento, además de una reducción en la secreción de mucosa, en el contenido de glóbulos rojos y en el epitelio del estómago.

Se han diseñado diversos modelos a nivel laboratorio para simular la capacidad de adsorción de los MPs con elementos nocivos como son los antibióticos, metales pesados, entre otros, sin embargo, estas investigaciones difieren de las condiciones naturales donde deben considerarse factores como la influencia de las corrientes oceánicas, exposición a la luz, la materia orgánica disuelta, entre otros.



Formación de biofilms y su importancia en la interacción de microplásticos con la microbiota de organismos acuáticos

Se le denomina biofilm a un consorcio de microorganismos compuestos por células adheridas a una superficie, lo cual ocurre a través de la segregación de sustancias poliméricas extracelulares que forman una matriz extracelular viscosa compuesta principalmente de polisacáridos y algunos péptidos con funciones variables.

Los MPs representan una nueva superficie capaz de ser colonizada, brindar protección y permanencia a las bacterias en ambientes acuáticos, que en otras circunstancias no podrían sobrevivir, como en el caso de algunas bacterias oportunistas. Muchos reportes relacionan las comunidades bacterianas identificadas en residuos plásticos con su capacidad de adherencia y formación de biofilm. Un ejemplo podrían ser las bacterias oportunistas humanas *Pseudomonas monteilii*, *Pseudomonas mendocina* y el fitopatógeno *Pseudomonas syringae*, que han demostrado su capacidad de producir biofilms más densos y estables en la superficie de partículas de PVC, a comparación de aquellos en superficies naturales como hojas y rocas.

Un factor importante para la formación de comunidades microbianas asociados a los MPs es la colonización inicial. Investigaciones previas sugieren que bacterias del género *Vibrio*, pertenecientes al filo de las proteobacterias, colonizan la superficie de residuos plásticos de PE y PP en las primeras horas de exposición, sin embargo, a largo plazo las especies de este género disminuyen conforme el biofilm madura, siendo desplazadas por otras especies de microorganismos con mayor capacidad de adaptación. Lo anterior, se atribuye a que las bacterias *Vibrio* no forman una relación dependiente con otros microorganismos presentes en el biofilm, a pesar de que en etapas iniciales su abundancia fuera mayor que otros géneros.

Las evidencias encontradas en la literatura científica relacionada con la colonización inicial indican que la capacidad de los microorganismos para adherirse a la superficie hidrofóbica no polar del plástico depende de sus características (tamaño, color y forma) y propiedades fisicoquímicas (pH, cargas electrostáticas, composición); una vez que la colonización inicial ocurre, las propiedades de la superficie del plástico cambian, facilitando la adherencia de otros organismos microscópicos, tales como microalgas, diatomeas y flagelados, formando asociaciones con estas comunidades bacterianas. Este proceso, de acuerdo a algunos autores, ocurre en un tiempo aproximado entre 2 a 11 días, donde los primeros microorganismos en colonizar la superficie de los MPs son aquellos con capacidad de aprovechar los oligómeros y aditivos plásticos como fuente de carbono y energía, después se adhieren microorganismos fotosintéticos.

Durante la interacción inicial con los MPs, las primeras bacterias colonizadoras segregan enzimas capaces de causar alteraciones estructurales en la composición de los MPs, dando origen al proceso de biofragmentación de polímeros en oligómeros y



monómeros (mineralización) por parte de microorganismos degradadores, generando así compuestos menos complejos y asimilables por otros seres vivos. Destaca el estudio realizado con partículas residuales de neumáticos colectados en plantas de tratamiento de aguas residuales, donde las bacterias más abundantes fueron las γ -proteobacterias, en conjunto con *Aquabacterium*, del género de las β -proteobacterias, las cuales degradan a los hidrocarburos como única fuente de carbono para el crecimiento microbiano, proceso conocido como “bioasimilación”.

Lo anterior evidencia que las comunidades bacterianas en conjunto con los MPs son dinámicas en función del tiempo de incubación y de interacciones complejas con factores bióticos y abióticos. La arquitectura y la estabilidad de estas comunidades bacterianas dependen en mayor medida de la etapa en la que se encuentren, en la diversidad y las relaciones interespecíficas que la comunidad establece. En la etapa de maduración del biofilm, las células microbianas están estrechamente relacionadas unas con otras, compartiendo características como la expresión genética, la síntesis de proteínas, la tasa de crecimiento y las actividades metabólicas.

En la matriz extracelular de estas comunidades microbianas la comunicación de célula a célula se conduce a través de moléculas que actúan como señales químicas llamadas autoinductores. El mecanismo responsable de la detección de estas moléculas es conocido como “*Quorum sensing*”, el cual desempeña un papel fundamental en la regulación de la expresión de genes, la cual depende directamente de la densidad celular y el número de bacterias presentes, lo que habilita a las comunidades bacterianas para coordinar actividades biológicas en respuesta a su entorno inmediato. Además, les permite reaccionar a estímulos ambientales, así como ejecutar diversas funciones fisiológicas como la bioluminiscencia, producción de antibióticos, acción algicida, entre otras. Algunas bacterias dentro del biofilm sufren cambios fisiológicos, entre ellos una tasa de crecimiento más lenta, aunado a una mayor persistencia en ambientes hostiles y pueden resistir ante la presencia de antibióticos o agentes biocidas.

La diversidad y abundancia de las bacterias asociadas a MPs, entre las que destacan patógenos como *Vibrio vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio diabolicus*, *Pseudomonas* spp., *Acinetobacter* spp., se les confiere la capacidad de alterar la cadena alimentaria, causando daños en especies acuáticas, propiciando la transmisión de enfermedades, trastornos metabólicos, entre otros efectos nocivos. Considerando que la formación de biofilm es determinante para la adaptación de las bacterias patógenas en los ecosistemas acuáticos, formando comunidades bacterianas que además pueden conservarse y desplazarse a ecosistemas distantes, es importante monitorear su evolución y la coexistencia con los MPs, pues su interacción podría generar un ambiente propicio para la transferencia horizontal de genes de patogenicidad o de resistencia a antibióticos, aunque las bacterias no estén relacionadas filogenéticamente. Aunado a lo anterior, la presencia de contaminantes como los MPs podría ocasionar el surgimiento



de cepas con mayor patogenicidad, virulencia y multiresistentes a antibióticos, provocando enfermedades más severas, difíciles de prevenir y tratar.

Conclusiones

Dado que los microplásticos presentes en los océanos son diversos en cuanto a su origen, forma, tamaño, composición, naturaleza química, propiedades físicas, entre otras características, al llevar a cabo investigaciones para esclarecer la interacción con la microbiota que habita en los ecosistemas acuáticos, fueron imprescindibles los estudios de diversidad y abundancia de la misma, gracias a los avances en bioinformática, microscopía, genética, así como también las técnicas para caracterización de MPs, facilitando la comprensión de fenómenos clave, tales como la biodegradación de polímeros, al igual que los efectos de los microplásticos en su ecosistema circundante.

Asimismo, se sugiere realizar un mayor número de investigaciones en relación a la platisfera, la formación de biofilms asociada a los diferentes tipos de polímeros contaminantes y sus efectos en organismos acuáticos. En este estudio se destacó a la microbiota intestinal como un indicador de la contaminación con los MPs y sus efectos, lo cual confirma la necesidad de mantener una vigilancia constante sobre estas variaciones en diversas especies de organismos acuáticos, mientras se avanza en el desarrollo de métodos más avanzados para identificar y caracterizar a la microbiota adherida a estas micropartículas, al igual que explorar otros parámetros relevantes, como análisis genéticos, nutricionales y toxicológicos que contribuyen a la extensión del conocimiento de este tema, con la finalidad de estandarizar técnicas de muestreo, análisis e interpretación de los resultados que servirán para fundamentar nuevas normativas y protocolos de control y prevención de riesgos originados por la incidencia de comunidades bacterianas asociadas a MPs.

Referencias

- Alimba, C. G. & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental toxicology and pharmacology*, 68, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001>.
- Arias-Andres, M., Klümper, U., Rojas-Jimenez, K. & Grossart, H.P. (2018). Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environmental pollution*, 237, 253-261. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.058>.
- Barboza, L. G. A., López, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., Raimundo, J. Caetano, M., Vale C. & Guilhermino, L. (2020). Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid



- oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of the total environment*, 717, 134625.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625>.
- Chen, J., Rao, C., Yuan, R., Sun, D., Guo, S., Li, L., Yan S., Quan D. Lu R. & Cao, X. (2022). Long-term exposure to polyethylene microplastics and glyphosate interferes with the behavior, intestinal microbial homeostasis, and metabolites of the common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Science of the Total Environment*, 814, 152681. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152681>.
- Dang, H. & Lovell, C.R. (2016). Microbial surface colonization and biofilm development in marine environments. *Microbiology and molecular biology reviews*, 80(1), 91-138. <https://doi.org/10.1128/mnbr.00037-15>.
- Dong, H., Chen, Y., Wang, J., Zhang, Y., Zhang, P., Li, X., Zou, J., & Zhou, A. (2021). Interactions of microplastics and antibiotic resistance genes and their effects on the aquaculture environments. *Journal of hazardous materials*, 403, 123961. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123961>.
- Junaid, M., Siddiqui, J. A., Sadaf, M., Liu, S. & Wang, J. (2022). Enrichment and dissemination of bacterial pathogens by microplastics in the aquatic environment. *Science of the Total Environment*, 154720. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154720>.
- Oberbeckmann, S., Kreikemeyer, B. & Labrenz, M. (2018). Environmental factors support the formation of specific bacterial assemblages on microplastics. *Frontiers in microbiology*, 8, 2709. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02709>.
- Palmer, J. & Herat, S. (2021). Ecotoxicity of microplastic pollutants to marine organisms: A systematic review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 232(5), 195. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05155-7>.
- Parrish, K. & Fahrenfeld, N. L. (2019). Microplastic biofilm in fresh-and wastewater as a function of microparticle type and size class. *Environmental Science: Water Research y Technology*, 5(3), 495-505. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05155-7>.
- Qiao, R., Sheng, C., Lu, Y., Zhang, Y., Ren, H. & Lemos, B. (2019). Microplastics induce intestinal inflammation, oxidative stress, and disorders of metabolome and microbiome in zebrafish. *Science of the Total Environment*, 662, 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.245>.
- Rummel, C.D., Jahnke, A., Gorokhova, E., Kühnel, D. & Schmitt-Jansen, M. (2017). Impacts of biofilm formation on the fate and potential effects of microplastic in the aquatic environment. *Environmental science and technology letters*, 4(7), 258-267. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00164>.



- Wan, Z., Wang, C., Zhou, J., Shen, M., Wang, X., Fu, Z. & Jin, Y. (2019). Effects of polystyrene microplastics on the composition of the microbiome and metabolism in larval zebrafish. *Chemosphere*, 217, 646-658.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.070>
- Wu, X., Pan, J., Li, M., Li, Y., Bartlam, M. & Wang, Y. (2019). Selective enrichment of bacterial pathogens by microplastic biofilm. *Water research*, 165, 114979.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114979>.
- Xu, X., Wang, S., Li, C., Li, J., Gao, F. & Zheng, L. (2023). Quorum sensing bacteria in microplastics epiphytic biofilms and their biological characteristics which potentially impact marine ecosystem. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 264, 115444.
- Yan, M., Li, W., Chen, X., He, Y., Zhang, X. & Gong, H. (2021). A preliminary study of the association between colonization of microorganism on microplastics and intestinal microbiota in shrimp under natural conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 408, 124882.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124882>.
- Zhao, Y., Bao, Z., Wan, Z., Fu, Z. & Jin, Y. (2020). Polystyrene microplastic exposure disturbs hepatic glycolipid metabolism at the physiological, biochemical, and transcriptomic levels in adult zebrafish. *Science of the Total Environment*, 710, 136279.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136279>.
- Zhao, Y., Gao, J., Wang, Z., Dai, H. & Wang, Y. (2021). Responses of bacterial communities and resistance genes on microplastics to antibiotics and heavy metals in sewage environment. *Journal of hazardous materials*, 402, 123550.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123550>.
- Zhao, Y., Qin, Z., Huang, Z., Bao, Z., Luo, T. & Jin, Y. (2021). Effects of polyethylene microplastics on the microbiome and metabolism in larval zebrafish. *Environmental Pollution*, 282, 117039.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136279>.
- Zhou, N., Wang, Z., Yang, L., Zhou, W., Qin, Z. & Zhang, H. (2023). Size-dependent toxicological effects of polystyrene microplastics in the shrimp *Litopenaeus vannamei* using a histomorphology, microbiome, and metabolic approach. *Environmental Pollution*, 316, 120635.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120635>.

Monogéneos en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Socorro M. Salgado-Moreno
Carlos A. Carmona-Gasca
Sergio Martínez-González
Selene A. Noris-Oliveros
Katia G. Bermúdez-García
Martín Pérez-Solís





Introducción

La acuicultura es esencial para la seguridad alimentaria y económica de las poblaciones en América Latina, siendo uno de los principales productos la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). La tilapia del Nilo es una especie de gran importancia social y el cultivo se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas en México, debido a su rápido crecimiento, adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales y alta demanda en el mercado nacional e internacional. No obstante, la industria acuícola enfrenta numerosos desafíos, incluyendo la presencia de parásitos que afectan la salud de los organismos y la productividad biológica y económica de las poblaciones de peces. Entre estos parásitos, destacan los monogéneos, los coccidios y los trematodos, por su prevalencia y su impacto negativo en la producción acuícola.

Los monogéneos (gusanos planos) son helmintos con características que le permiten ser altamente invasivos y persistentes en nuevos ambientes. De los 40 helmintos invasores en peces registrados en México 33 son monogéneos. Este alto porcentaje refleja la capacidad de los mismos para dispersarse y establecerse en diferentes ambientes.

Características Generales de los Monogéneos

Los Monogéneos son un grupo de gusanos generalmente ectoparásitos, perteneciente al filo Platyhelminthes. El término “Monogénea” fue propuesto por Van Beneden en 1858, derivado de “Monogéneses” (“mono”: único; “génesis”: generación) haciendo referencia a su ciclo de vida directo, en contraposición a la digénesis, que implica generaciones alternantes de reproducción sexual y asexual.

Morfología

Los monogéneos son generalmente pequeños, el tamaño varía desde 0.3 mm, hasta 20 mm. Su cuerpo dorsiventralmente es aplanado, lo que, le permite una mejor adherencia a la superficie corporal de sus hospedadores y resistir las condiciones del ambiente externo, especialmente en las branquias y la piel de los peces.

El cuerpo de los monogéneos se puede dividir en tres regiones principales:

1. La región cefálica, parte anterior llamada Prohaptor. Esta parte anterior del cuerpo a menudo contiene glándulas adhesivas y estructuras sensoriales. Puede presentar ventosas o ganchos pequeños que ayudan en la fijación inicial a hospedador. También se encuentran los órganos sensibles, estos pueden incluir papilas sensoriales y estructuras ciliares que detectan el ambiente y ayudan en la localización del hospedador.
2. Región media o tronco. Siendo el cuerpo principal, este contiene la mayoría de los órganos internos, incluyendo el sistema digestivo, reproductivo y excretor. El



tronco generalmente es alargado y aplanado. Con una cutícula, la cual, es una capa externa que puede ser lisa o presentar diversas estructuras como espinas o ganchos diminutos que contribuyen a la adherencia del parásito en su huésped.

3. Región posterior llamada opisthaptor. Esta es una estructura de fijación más prominente y está altamente especializada con ganchos ventosas y barras esclerotizadas que permiten una firme adhesión a las branquias o a la piel del pez hospedador. El gancho mayor y los ganchos menores son estructuras esclerotizadas que varían en el número de disposición entre las diferentes especies de monogéneos, los cuales, son utilizadas para la identificación taxonómica. Así también, pueden existir ventosas que pueden ser simples o complejas, contribuyendo a una sujeción más firme.

Los monogéneos son básicamente bilaterales, aunque pueden presentar asimetría parcial, especialmente en el opisthaptor. La superficie dorsal del cuerpo es convexa y la ventral cóncava. El cuerpo es generalmente incoloro y grisáceo, aunque los huevos, órganos internos y el alimento ingerido pueden dar apariencia rojiza, amarillenta o parduzca.

El aparato digestivo es relativamente simple y adaptado a su modo de alimentación parasitario. La boca suele estar situada en la región anterior y se abre a una faringe musculosa y glandular que actúa como órgano succionador. El esófago se extiende a lo largo del cuerpo y la digestión es principalmente extracelular.

El aparato reproductor de los monogéneos por ser hermafroditas posee órganos reproductores masculinos y femeninos. Los órganos reproductores masculinos consisten en testículos, los cuales, pueden ser únicos o múltiples, situados en diferentes partes del cuerpo dependiendo de la especie. Los conductos deferentes son los que transportan los espermatozoides hacia el órgano copulador. El órgano copulador es una estructura esclerosada que puede estar armada con espinas y se utiliza para la transferencia de esperma.

Los órganos reproductores femeninos constan de ovario, generalmente es único y produce óvulos, un Ootipo que es la cámara en donde se producen los huevos y las glándulas vitelógenas, las encargadas de producir vitelo, necesario para nutrir los huevos, por último, el útero es un conducto donde se almacenan los huevos antes de ser liberados.

Adaptaciones Morfológicas Especiales

Algunas especies de monogéneos pueden presentar escamas o espinas en la cutícula que ayudan a proteger al parásito y a mantener su posición en el hospedador. Así mismo, pueden presentar estructuras adhesivas tales como ganchos y ventosas, algunas especies desarrollan glándulas secretoras de sustancias adhesivas para garantizar la



fijación al hospedador. Por otro lado, cuentan con estructuras sensoriales o papilas sensoriales, que son órganos de percepción táctil y química que permiten al parásito localizar y adherirse efectivamente a su hospedador.

Impacto de los Monogéneos en los Hospedadores

Los monogéneos tienden a adherirse a la piel (escamas o aletas) y branquias de peces marino y de agua dulce utilizando su haptor. Este órgano que contiene ganchos y ventosas asegura su fijación para poder alimentarse de mucus, células epiteliales y sangre. La infestación de estos parásitos causa irritación, inflamación, hiperplasia y, en casos severos, necrosis de las lamelas de las branquias, reduciendo así la capacidad respiratoria del pez, lo cual, provoca un estrés fisiológico que conlleva a la pérdida del apetito y la disminución de la tasa de crecimiento.

Factores que favorecen el desarrollo y dispersión de los Monogéneos:

- En condiciones ideales, el período de vida del parásito puede ser aproximadamente 58 días, aunque esto depende de las condiciones de temperatura, salinidad y pH del agua.
- Los parásitos vivíparos, recién salidos de la madre pueden producir inmediatamente su propia descendencia, requiriendo de un solo día para que las larvas maduren antes del nacimiento y originen otras nuevas.
- Los ovíparos, son capaces de ovipositar durante la época crítica del invierno, de 5 a 20 huevos por día.
- Se encuentran dispersos por todo el mundo, lo que les permite parasitar a diferentes especies de peces en diferentes ambientes acuáticos.
- Los parásitos encuentran mayores oportunidades de desarrollo y dispersión en las regiones tropicales y semitropicales de México.
- El cultivo de peces en estanques con falta de higiene propicia el desarrollo y dispersión de los parásitos.
- El movimiento de peces de los centros de producción de crías hacia los centros de engorda sin tratamiento previo contribuye a la dispersión de los parásitos.
- La alimentación inadecuada y factores ambientales adversos a los peces.
- La elevada densidad de peces por unidad de superficie.

Dentro los monogéneos que afectan a la tilapia del Nilo, los géneros más relevantes incluyen *Cichlidogyrus* (*gusano monogéneo de branquias*) y *Gyrodactylus* (*gusano monogéneo de piel*). Siendo el género *Cichlidogyrus* que se destaca como uno de los principales agentes patógenos que afectan a las tilapias y otras especies de



cíclidos. Sin embargo, otra familia de importancia es la *Gyrodactylidae*, que incluye únicamente el género *Gyrodactylus*.

Biología de *Cichlidogyrus*

Cichlidogyrus es un género de monogéneos perteneciente a la familia *Dactylogyridae*. Estos parásitos son ectoparásitos, lo que significa que se adhieren externamente a las branquias de los peces huéspedes, donde se alimentan de moco, sangre y tejido epitelial.

La biología del género *Cichlidogyrus* se caracteriza por su diversidad morfológica, especialmente en las estructuras esclerotizadas. Estos parásitos monogéneos presentan una morfología especializada adaptada a su función como ectoparásitos en las branquias de peces.

Morfología de *Cichlidogyrus*:

- Haptor:** Es la estructura de fijación presente en la parte posterior del parásito, que se caracteriza por contener ganchos grandes y pequeños. Los ganchos grandes (ganchos mayores) y pequeños (ganchos menores) tienen forma de garfio y permiten que el parásito se adhiera firmemente a las branquias del hospedador.
- Barcos:** Estructuras adicionales que refuerzan la fijación del parásito, específicas para cada especie, lo que facilita su identificación mediante un examen detallado al microscopio.
- Órganos reproductores:** Incluyen morfologías distintivas del aparato copulador, que también son clave en la identificación de especies.

Este conjunto de características morfológicas es crucial para la identificación taxonómica de las especies de *Cichlidogyrus*, ya que las variaciones en estas estructuras permiten diferenciar entre las numerosas especies de este género.

Cichlidogyrus spp

El ciclo de vida de *Cichlidogyrus* es directo y monoxeno, lo que significa que solo involucra un único huésped a lo largo de su vida y no requiere un hospedador secundario o intermediario. Los huevos de *Cichlidogyrus* eclosionan en el medio acuático, liberando larvas que infectan directamente las branquias de los peces hospedadores, completando así su ciclo de vida sin necesidad de etapas adicionales en otros organismos.

Cichlidogyrus sclerosus

Los parásitos del género *Cichlidogyrus sclerosus* (Figura 1 y 2) pertenecen a la familia *Dactylogyridae* y son conocidos por ser ectoparásitos específicos de las branquias de los cíclidos, incluidos los peces de granja como la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Figura 1. Parásitos del género *Cichlidogyrus sclerosus*.

Este parásito branquial obtuvo el más alto porcentaje de invasividad de los monogéneos introducidos en México. A lo largo de 27 años, se ha reportado en nueve especies de peces, pertenecientes a seis géneros y dos familias, recolectados en 15 estados de la República Mexicana. En particular, se ha encontrado asociado a distintas especies de tilapias introducidas, como *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus*, y *Oreochromis aureus*. Además, se ha identificado en tres especies de cíclidos nativos de México: *Herichthys cyanoguttatus*, *Herichthys carpintis*, y *Thorichthys ellioti*, así como en una especie de goodeido (*Xenotoca eiseni*).

Patogenicidad y Efectos en los Hospedadores

La infestación por *Cichlidogyrus* puede causar daño significativo a las branquias de los peces, incluyendo irritación, inflamación, hiperplasia y necrosis. Estos efectos fisiológicos reducen la capacidad respiratoria de los peces, lo que puede resultar en hipoxia y estrés severo. La pérdida de apetito y la disminución en la tasa de crecimiento son consecuencias comunes de la infestación.

Efectos Económicos

El impacto económico de *Cichlidogyrus* en la acuicultura de tilapia del Nilo es considerable. Las infestaciones graves pueden causar altas tasas de mortalidad hasta por arriba del 50%, lo que reduce notablemente productividad y eleva los costos operativos de tratamientos y medidas preventivas. Asimismo, la infestación compromete la calidad del producto final, disminuyendo su valor comercial en el mercado.

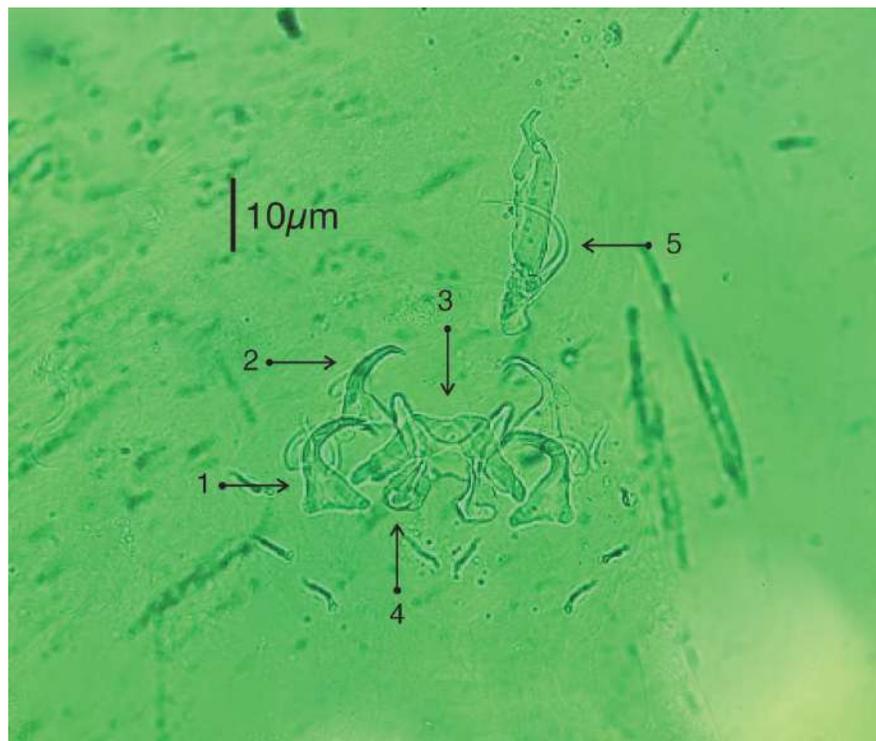


Figura 2. Fotografía de estructuras esclerotizadas de *Cichlidogyrus sclerosus* 1) gancho ventral, 2) gancho dorsal, 3) barra ventral, 4) barra dorsal, 5) órgano copulador masculino.

Biología de *Gyrodactylus spp.*

Gyrodactylus spp. es un helminto que pertenece a la clase de los monogéneos y a la familia *Gyrodactylidae*. Esta familia solo cuenta con el género *Gyrodactylus*, dentro del cual, se encuentran seis subgéneros registrados que comprenden alrededor de 409 especies.

Este grupo de parásitos se encuentra en ambientes marinos, salobres y de agua dulce. Se transmiten de un hospedero a otro y también lo hacen de forma indirecta con parásitos desprendidos que se pueden unir a un hospedero distinto. Se localizan en la piel y branquias del pez, y se alimentan de la descamación celular y del moco epidérmico.

Morfología de *Gyrodactylus spp*

Las especies de *Gyrodactylus* se pueden identificar a partir de la morfología de las estructuras esclerotizadas pertenecientes al haptor de adhesión, se consideran los monogéneos más pequeños. Los ganchos marginales son importantes para la discriminación entre especies, en la región posterior de su cuerpo se encuentra una estructura llamada opisthaptor, la cual, se encuentra armada con 16 ganchos marginales y 2 ganchos centrales llamados haptor. Cuenta con otras dos estructuras: hamuli y barras,



con las cuales se fija en la piel del pez (Figura 3). La forma del opisthaptor varía entre especies y es una herramienta para la diferenciación morfológica de estos parásitos.

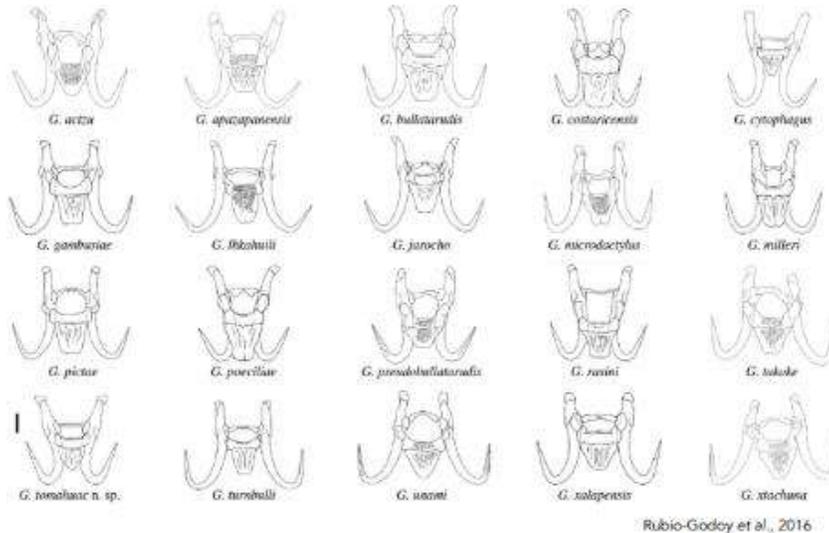


Figura 3. Morfología de *Gyrodactylus*.

Ciclo Biológico

Pueden reproducirse tanto sexual como asexualmente, la principal característica de estos parásitos es que son vivíparos; el primer embrión contiene en su útero otro embrión, el cual, contiene un tercer embrión, alcanzando algunas veces cuatro generaciones. La primera descendencia se desarrolla en el centro de un grupo embrionario inmaduro en el útero de la madre, lo que sugiere que la primera cría nace asexualmente. La segunda cría se desarrolla a partir de los ovocitos por medio de partenogénesis y las crías posteriores se desarrollan sexualmente o por partenogénesis. Estos parásitos se consideran hermafroditas protogínicas, es decir, nacen hembras y después del primer nacimiento desarrollan características externas visibles asociadas con el aparato reproductor masculino.

Las infestaciones masivas por la especie *Gyrodactylus* pueden causar daños a nivel histopatológico como hinchazón en las láminas branquiales, hiperplasia, hipertrofia, necrosis lamelar e irritación constante sobre la piel. Los *Gyrodactylus* dañan a los peces de dos maneras, por un lado, perforan la piel mediante su órgano de sujeción (haptor), que tiene dos ganchos centrales grandes y 16 ganchos marginales de menor talla.

Por otro, al alimentarse de moco y células epiteliales, disminuyen las defensas inmunitarias de los hospederos, haciéndolos susceptibles a infecciones oportunistas. Los daños directos son debidos a las úlceras provocadas en la piel del hospedero y a la erosión de la epidermis que generan un desbalance osmótico debido a la pérdida de la



permeabilidad y provocan como consecuencia nefropatías.

Los daños indirectos se deben a que la ulceración de la piel permite la acción de patógenos oportunistas como *Streptococcus iniae*, lo que provoca mortalidades de hasta el 42% especialmente en sistemas de acuicultura intensiva. Si el hospedero solo tiene una pequeña cantidad de parásitos, no representa un problema para el pez, sin embargo, la presencia de abundantes parásitos puede causar la muerte por daño en la función osmorreguladora.

Diagnóstico

Para realizar un diagnóstico preciso de la infestación por monogéneos en tilapia del Nilo, es fundamental seguir un enfoque sistemático que incluya varios puntos clave:

1. **Observación Clínica:** La observación directa de los peces puede proporcionar importantes pistas sobre la presencia de monogéneos. Se deben buscar signos externos de infestación, como cambios en el comportamiento (p. ej., raspado de las branquias contra objetos), aspecto anormal de las branquias (enrojecimiento, inflamación) y disminución de la actividad alimentaria.
2. **Examen de Branquias:** Se debe realizar un examen minucioso de las branquias de los peces sospechosos de estar infestados con monogéneos.
3. **Método para la Identificación de Monogéneos del Género *Cichlidogyrus* y *Gyrodactylus*** con ácido láctico:
 - A. Realizar un frotis o raspado de la piel y extraer branquias de los organismos (estas pueden fijarse en alcohol etílico al 70%).
 - B. Colocar la muestra en una caja Petri con alcohol y revisar bajo el estereomicroscopio con la ayuda de agujas de disección.
 - C. Aislar a los monogéneos con la ayuda de agujas de disección o una pipeta.
 - D. Colocar a los monogéneos en una gota de ácido láctico en un portaobjetos (dejar actuar el ácido láctico por 1 a 5 minutos).
 - E. Revisar constantemente la digestión bajo microscopio.
 - F. Una vez visibles las estructuras esclerotizadas, detener la digestión con solución “stop” hecha a partir de glicerina y formalina (50:50) (opcional).
 - G. Colocar cubreobjetos a la muestra y sellar con barniz transparente.
4. **Confirmación de Identificación:** Para una identificación precisa de monogéneos, es recomendable comparar los parásitos encontrados con descripciones taxonómicas conocidas (estructuras esclerotisante y del haptor y del órgano copulador), si es posible, realizar análisis moleculares adicionales para confirmar la identidad de la especie.
5. **Evaluación de la Carga Parasitaria:** Además de identificar la presencia de monogéneos, es importante evaluar la carga parasitaria, es decir, la cantidad de parásitos presentes en las branquias de los peces. Esto puede proporcionar



información adicional sobre la gravedad de la infestación y orientar las medidas de control necesarias.

6. **Análisis Histopatológico:** En casos graves de infestación por *Cichlidogyrus*, se puede realizar un análisis histopatológico de las branquias para evaluar el daño tisular y la respuesta inflamatoria asociada con la presencia de los parásitos.
7. **Registro y Documentación:** Es fundamental mantener registros detallados de todos los hallazgos del diagnóstico, *incluyendo* imágenes microscópicas, resultados de análisis y observaciones clínicas. Esto no solo ayuda en el seguimiento del progreso del tratamiento, sino también en la implementación de medidas preventivas para evitar futuras infestaciones.

Medidas de Control

Para el control adecuado de los monogéneos, es importante que el diagnóstico se realice oportunamente, debido al ciclo de vida tan rápido que tienen los parásitos.

1. **Manejo del Ambiente Acuático:** Mantener una buena calidad de agua, con parámetros adecuados de oxígeno disuelto, pH y temperatura, puede ayudar a reducir la incidencia de infestaciones por *Cichlidogyrus*.
2. **Manejo Sanitario:** Implementar prácticas de bioseguridad, como la desinfección adecuada de equipos y la cuarentena de nuevos peces, puede prevenir la introducción y propagación de *Cichlidogyrus* en las poblaciones de tilapia.
3. **Tratamientos:** El uso de tratamientos químicos, como formalina, peróxido de hidrógeno y productos a base de cobre, es común en el control de monogéneos. Sin embargo, es crucial seguir las recomendaciones de dosificación y tiempo de retiro para evitar impactos negativos en los peces y el medio ambiente, así como, la resistencia de los parásitos.
4. **Terapias Naturales:** investigaciones recientes han explorado el uso de tratamientos biológicos y naturales como alternativas a los tratamientos químicos tradicionales. Los extractos de plantas y probióticos han mostrado potencial en la reducción de infestaciones por monogéneos, ofreciendo soluciones más sostenibles y menos dañinas.
5. **Selección Genética:** Se están realizando investigaciones sobre la resistencia genética de la tilapia del Nilo a las infestaciones por monogéneos. Los programas de cría selectiva pueden ayudar a desarrollar poblaciones de peces menos susceptibles a infestaciones, reduciendo la dependencia de tratamientos químicos.
6. **Prevención de Transporte de Monogéneos:** Para prevenir el transporte de monogéneos de un estanque a otro, se deben aislar los estanques infectados, no usar el agua de estos para reabastecer otros, ni adicionar otros peces. Así mismo,



se debe evitar utilizar la misma red, transportador y otros enseres de pesca utilizados en estanques infectados, si no han sido previamente desinfectados con formalina, hipoclorito de calcio o algún otro desinfectante.

Perspectivas futuras, investigación y desarrollo

La investigación continua es esencial para comprender mejor la biología de los monogéneos y desarrollar nuevas estrategias de control. Estudios genómicos y transcriptómicos pueden revelar nuevos objetivos para el control de estos parásitos y mejorar nuestra comprensión de las interacciones huésped-parásito.

El futuro del control de los monogéneos probablemente residirá en un enfoque integrado que combine manejo ambiental, tratamientos químicos y biológicos, y avances en la selección genética. La implementación de prácticas de bioseguridad y monitoreo continuo es crucial para prevenir y controlar las infestaciones de manera efectiva.

Políticas y Regulaciones

El desarrollo en la implementación de políticas y regulaciones específicas para el control de parásitos en la acuicultura pueden ayudar a estandarizar las prácticas de manejo y asegurar la sostenibilidad de la industria. La colaboración entre investigadores, productores y autoridades reguladoras es esencial para abordar de manera efectiva el desafío de los monogéneos.

Referencias

- Akoll, P., Fioravanri, M.L., Konencny, R. y Schiemer, F. (2012). Infection dynamics of *Cichlidogyrus tilapiae* and *C. sclerosus* (Monogenea, Ancyrocephalidae) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) from Uganda. *Journal of Helminthology*, 86, 302-310. <https://doi.org/10.1017/s0022149x11000411>
- Arthur, R. J. y Lumanlan-Mayo, S. (1997) Checklist of the parasites of fishes of the Philippines. FAO Fisheries Reporte técnico, No. 369. 102 pp. Rome, Italy, FAO.
- Bakke, T.A., Harris, P.D. y Cable, J. (2002) Host specificity dynamics: observations on gyrodactylid monogeneans. *International Journal for Parasitology*, 32, 281–308. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(01\)00331-9](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(01)00331-9)
- Buchmann, K., Lindenstrøm, T. y Bresciani, J. C. (2001). Defense mechanisms against parasites in fish and prospect for vaccines. *Acta Parasitologica*, 46, 71-81. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(01\)00332-0](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(01)00332-0)
- Buchmann, K., Lindenstrøm, T. y Bresciani, J. C. (2006). Monogenea (Phylum Platyhelminthes). In Woo, P.T.K. (Ed.), *Fish Diseases and Disorders* (Col.1, pp.297-344) CABI Publishing. Monogenea (phylum Platyhelminthes). | Fish diseases and disorders. Volume 1: protozoan and metazoan infections (cabidigitallibrary.org)



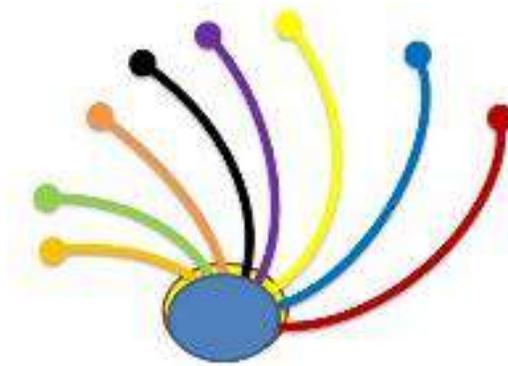
- Cribb, T.H., Chisholm, L.A. y Bray, R.A. (2002) Diversity in the Monogenea and Digenea: does lifestyle matter? *International Journal for Parasitology*, 32, 321–328. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(01\)00333-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(01)00333-2)
- Ellis, A. E. (1981). Non-specific defense mechanisms in fish and their role in disease processes. *Developments in Biological Standardization*, 49, 337-353. Nonspecific Defense Mechanisms and Specific Immune Protection of Trout Against Viral Agents | SpringerLink
- Ergens, R. (1981). Nine species of the genus *Cichlidogyrus* Paperna, 1960 (Monogenea: Ancyrocephalinae) from Egyptian fishes. *Folia Parasitologica*, 28, 205–214. Nine species of the genus *Cichlidogyrus* Paperna, 1960 (Monogenea: Ancyrocephalinae) from Egyptian fishes | Semantic Scholar
- Ernst, I., Whittington, I. D., Corneillie, S. y Talbot, C. (2002). Monogenean parasites in seacage aquaculture. *Austasia Aquaculture*, 2002, 47-48. <https://doi.org/10.1017/S0031182008004691>
- FAO, (2014). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2014. Roma. 250 págs. Disponible también en: <http://www.fao.org/3/a-i3807s.pdf>.
- Flores-Crespo, J. y Flores-Crespo, R. (2003). Monogéneos, parásitos en peces en México: estudio recapitulativo. *Técnica Pecuaria en México*, 41, 175-192. Redalyc.Monogéneos, parásitos de peces en México: estudio recapitulativo
- Halwart, M., Soto, D. y Arthur, J.R. (2007). *Cage Aquaculture: regional reviews and global overview*. Fisheries Technical Paper, No. 498. 241pp. Rome, Italy, FAO.
- Harris, P.H., Shinn, A.P., Cable, J. y Bakke, T.A. (2004). Nominal species of the genus *Gyrodactylus* von Nordmann 1832 (Monogenea: Gyrodactylidae), with a list of principal host species. *Systematic Parasitology*, 59, 1-27. <https://doi.org/10.1023/b:sypa.0000038447.52015.e4>
- Jiménez-García, M.I., Vidal-Martínez, V.M. y López-Jiménez, S. (2001). Monogeneans in introduced and native Cichlids in México: evidence for transfer. *Journal of Parasitology* 87, 907–909. [https://doi.org/10.1645/0022-3395\(2001\)087\[0907:miianc\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1645/0022-3395(2001)087[0907:miianc]2.0.co;2)
- Khan, R. A. y Thulin, J. (1991). Influence of pollution on parasites of aquatic animals. *Advances in Parasitology*, 30, 201-238. [https://doi.org/10.1016/s0065-308x\(08\)60309-7](https://doi.org/10.1016/s0065-308x(08)60309-7)
- Le Roux, L. & Avenant-Oldewage, A. (2010). Checklist of the fish parasitic genus *Cichlidogyrus* (Monogenea), including its cosmopolitan distribution and host species. *African Journal of Aquatic Scienc*, 35, 21-36. <http://dx.doi.org/10.2989/16085914.2010.466632>
- Martins-Laterca, M. y Garcia-Romero, N. (1996). Efectos del parasitismo sobre el tejido branquial en peces cultivados: Estudio parasitológico e histopatológico. *Revista*



-
- Brasileira de Zoología*, 13, 489- 500. <https://doi.org/10.1590/S0101-81751996000200017>
- Paperna, I. y Thurston, P. (1969). Monogenetic trematodes collected from cichlid fish in Uganda; including the description of new species of *Cichlidogyrus*. *Rvue de Zoologie et de Botanique Africaines*, 79, 15-33.
- Paperna, I. (1996) Parasites, infestations and diseases of fishes in Africa – an update. 220 pp. CIFA Technical Paper, No. 31. Roma, Italia.
- Rohde, K (1977) Aspects of ecology of monogenean ectoparasites of marine fishes. *Advances in Marine Biology*, 14, 1-47. [https://doi.org/10.1016/0020-7519\(95\)00015-T](https://doi.org/10.1016/0020-7519(95)00015-T)
- Smyth J.D., and Halton, D.W. (1983) *The Physiology of trematodes*. Cambridge University Press.
- Williams, H. y Jones, A. (1994). The variety of a fish worms. En: *Parasitic Worms of Fish*. Taylos y Francis Ltd, Londres, UK, 1-41pp.

Aspectos biológicos del chihuil prieto y anomalía en la pigmentación

J. Raúl Tapia-Varela
Carlos A. Romero-Bañuelos
Juan G. Casilla-Cueto
José T. Nieto-Navarro
Raquel Enedina Medina-Carrillo
Lisset del C. Ramos-Ramírez





Introducción

Los bagres Siluriformes son uno de los grupos con mayor diversidad en el ambiente acuático, sólo dos familias han logrado adaptarse favorablemente tanto al ambiente marino como estuarino: los Plotosidae del Indo-Pacífico Occidental y los Ariidae o bagres de mar, son el único grupo siluriforme con una distribución global. Suelen ser abundantes en aguas turbias, particularmente en estuarios y lagunas costeras de manglares. Este grupo comprende 40 familias, 490 géneros y más de 3,730 especies. Específicamente, la familia Ariidae comprende 58 géneros y 155 especies. En el Pacífico mexicano se reconoce la distribución de doce especies. Sin embargo, se han reportado siete especies en las costas de Nayarit: *Ariopsis gilberti*, *A. guatemalensis*, *Bagre panamensis*, *B. pinnimaculatus*, *Cathorops liropus*, *Notarius troschelii* y *Occidentarius platypogon*, todas de importancia ecológica y económica. Estas especies presentan una gran aceptación y demanda en el mercado por la calidad de su carne, valor nutricional y la accesibilidad de su precio, es muy atractiva para el consumidor. *A. guatemalensis* se le conoce con una amplia variedad de nombres, entre ellos bagre cuatete, machoiron cuatete, blue sea catfish, bagre liso, y cominata azulada; en Nayarit se le conoce como “chihuil prieto”.

Se distribuye desde la boca del Golfo de California hasta Perú. En el litoral del Pacífico mexicano y principalmente en el sureste del Golfo de California, las especies de bagres marinos se capturan incidentalmente con redes de arrastre por la pesquería industrial de camarón y de manera objetiva con redes enmalle y cimbra por la pesquería ribereña.

Once de las 25 especies de bagres marinos que habitan en el Pacífico oriental tropical se localizan en el Pacífico mexicano. La identificación de las especies de la familia Ariidae es muy problemática debido a la variación ontogenética y al dimorfismo sexual. En el caso de *A. guatemalensis* la coloración es entre gris azulado y marrón amarillento con un patrón dorsal oscuro y ventral más claro (Figura 1), la forma del neurocráneo (Figura 2) y los parches dentales son características que contribuyen a la diferenciación de chihuil prieto de sus congéneres. Un aspecto relevante en la biología de los bagres marinos es la aparición ocasional de albinismo y leucismo, condiciones genéticas que alteran la pigmentación; entre sus causas está la contaminación del ambiente en el que se desarrollan. Aunque no se han reportado en *A. guatemalensis* en el Pacífico mexicano, estas anomalías han sido observadas en otras especies de Siluriformes. Factores como la exposición a metales pesados, que se acumulan en sedimentos estuarinos, podrían contribuir a esta condición. Dado que los Ariidae son especies bentónicas, es crucial monitorear la presencia de contaminantes en sus hábitats para evaluar su impacto en la salud y morfología.



Figura 1. *Ariopsis guatemalensis* o chihuil prieto. Fotografía tomada a un organismo vivo en Boca del Asadero, San Blas, Nayarit, México (Tapia-Varela, 2024).

Biología de *A. guatemalensis*

A. guatemalensis es un pez carnívoro bentónico, de segundo y tercer orden. El cual se alimenta principalmente de peces más pequeños, aunque se ha adaptado a crustáceos, decápodos, insectos, moluscos, isópodos, anélidos, detritus y materia vegetal.

La reproducción tiene lugar en los meses con registros de precipitaciones. Los rasgos dimórficos sexuales suelen presentarse de forma permanente o solo durante la época reproductiva, por lo que dependiendo de la apariencia que presenten, será posible o no diferenciar a cada sexo, donde las hembras llegan a presentar una longitud total, talla en aletas pélvicas, parches de dientes y longitud postorbital superiores a los machos. La etología de su reproducción es un aspecto de gran interés. Los bagres macho de esta especie desarticulan su región hioidea para ampliar su cavidad bucal e incubar a los ovocitos fertilizados.

Respecto a su fisonomía, presenta cuerpo moderadamente alargado, con una cabeza ancha, larga y plana. El escudo cefálico presenta una textura rugosa, sin crestas que se extiendan hacia adelante. El surco cefálico central es carnoso y plano, apenas visible, y no llega al borde posterior del ojo. El hueso esfenoide carece de borde dentado (Figura 2). Los ojos son pequeños, representando aproximadamente el 25% de la distancia interocular. No hay surco carnoso entre las fosas nasales posteriores. La dimensión de la boca es grande, con labios moderadamente gruesos; el labio inferior arqueado. Los dientes del paladar están dispuestos en cuatro parches: los parches mediales están estrechamente separados a lo largo de la línea media y son continuos con los parches exteriores. Los cuatro parches tienen un tamaño similar, con dientes afilados. La abertura branquial es amplia, y las membranas no están adheridas al pecho. Se observan de 31 a 39 rastrillos branquiales en los dos primeros arcos (14-18 en el primer arco y 16-21 en el segundo), con rastrillos presentes en el borde posterior de todos los arcos; la aleta dorsal I, 7. La base de la aleta dorsal adiposa cerca de 3/4 ocupan la



base de la primera aleta dorsal. Los rayos anales son 17-20, mientras que los rayos pectorales son I, 10-11, con una espina pectoral muy robusta y prominentes serraciones en el margen interno.



Figura 2. Estructura ósea craneal de *A. guatemalensis*, Tapia-Varela, 2024

Importancia económica del chihuil en México

El consumo per cápita de pescado en México se ha incrementado un 15.16%, pasando de 12.79 kg/hab en 2011 a 14.73 kg/hab en México en 2021. *A. guatemalensis* es una especie de importancia comercial y de las más abundantes en el sureste del Golfo de California y su captura no tiene un periodo de veda, por lo que se extrae durante todo el año. Su producción es de origen pesquero. En 2021, Nayarit se destacó como el principal productor pesquero de chihuil con 3,177 toneladas, seguido por Tabasco con 2,611 toneladas y Campeche con 1,957 toneladas (Figura 3). La pesca en Nayarit se caracteriza principalmente por el camarón, seguido de la mojarra, tiburón, ostión y en quinta posición el chihuil. La producción de chihuil en Nayarit mostró un aumento del 201.58%, al pasar de 1,576 toneladas en 2012 a 3,177 toneladas en 2021, lo cual se aprecia en la figura 4.

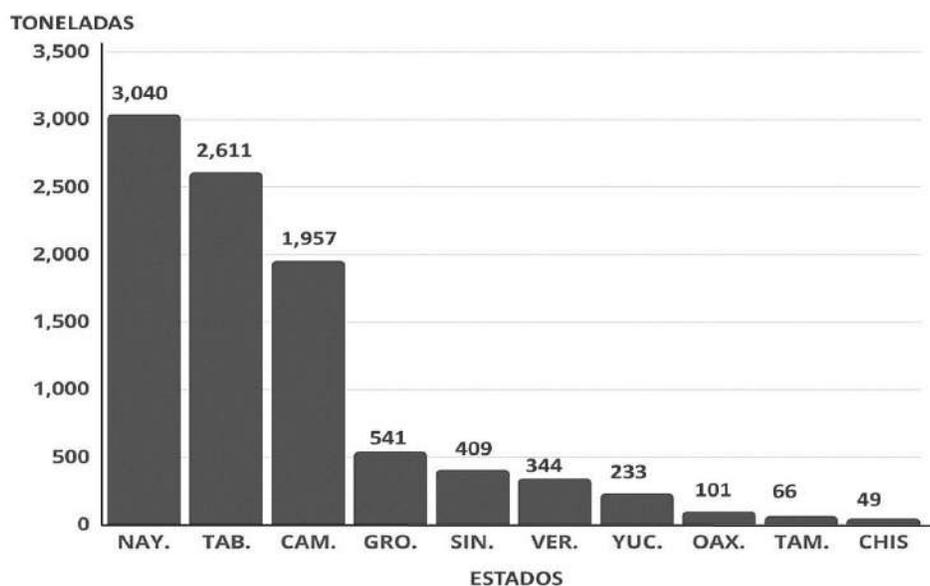


Figura 3. Producción nacional de bagre marino por estados en función del volumen de producción pesquera en 2021.

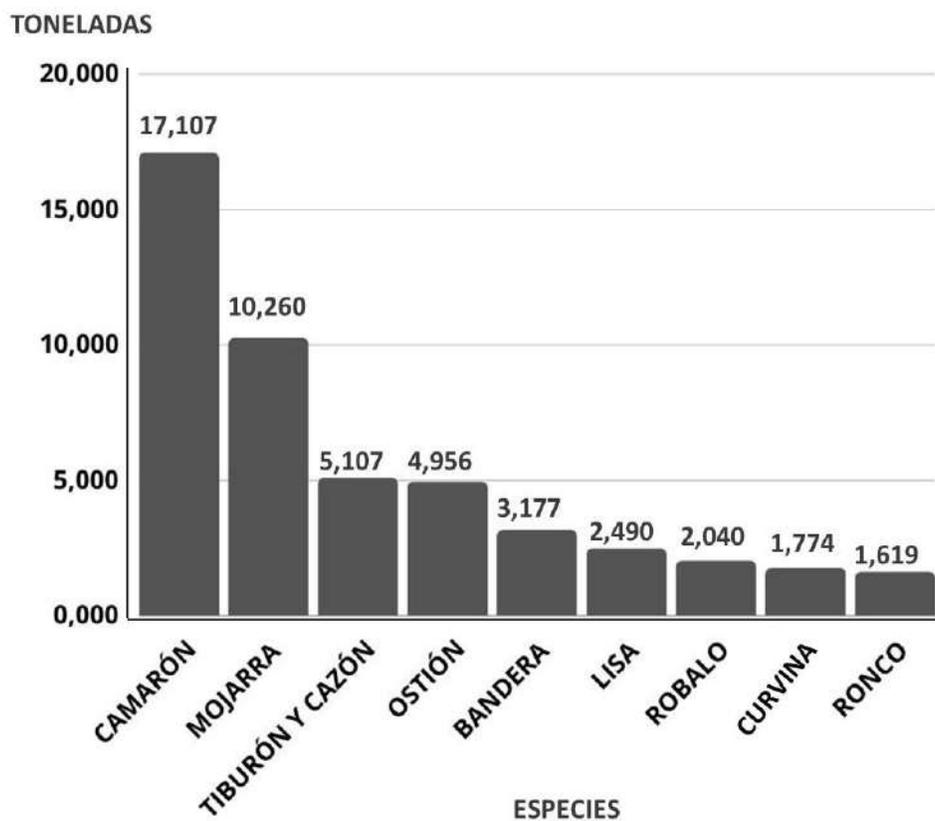


Figura 4. Producción pesquera en Nayarit 2021.



Modelo relación longitud-peso

Las evaluaciones de relación longitud-peso (RLP) en peces desempeñan un papel fundamental en la biología pesquera y en la gestión de recursos pesqueros al proporcionar información crucial sobre el crecimiento, la condición física y la salud de estos organismos. Esta relación es relevante por diversas razones, incluyendo la estimación del peso, la evaluación del crecimiento, la determinación de la condición corporal y la comparación entre especies y poblaciones.

La RLP se determina con la siguiente ecuación: $W = aL^b$, donde W es el peso total, L es la longitud total y a y b son la ordenada al origen y la pendiente, respectivamente, de la recta obtenida por regresión lineal del gráfico logarítmico W vs L . La constante a se conoce como factor de condición del pez mientras que b representa el tipo de crecimiento. Si $b = 3$, entonces el crecimiento se considera isométrico, y cuando $b \neq 3$, se considera alométrico. Si $b < 3$ los peces crecen más en longitud, en cambio si $b > 3$ los peces crecen más en peso.

En un estudio específico sobre la RLP de *A. guatemalensis*, llevado a cabo en Río Verde, Oaxaca, México, se reportó un crecimiento alométrico positivo con un valor de $b = 3.30$. Por otro lado, en San Blas, Nayarit, México se encontró un crecimiento muy similar, con un coeficiente $b = 3.21$, lo que significa en ambos casos un crecimiento mayor en peso que en longitud. Sin embargo, es importante destacar que existen pocos estudios sobre las RLP de peces costeros del sureste del Golfo de California, y ninguno de estos considera a los bagres de mar. Por lo que es relevante realizar estudios que consideren a estas especies.

Albinismo y leucismo

El albinismo se ha descrito como un fenómeno genético que provoca la reducción parcial o total de la pigmentación en el cuerpo de un organismo. Esta condición es causada por la alteración de un gen recesivo que afecta la producción de melanina, el pigmento responsable de la coloración de la piel y ojos. Se ha mencionado que el albinismo se manifiesta en dos variantes distintas. En la primera se produce una completa ausencia de pigmentación en la piel y en la retina ocular, lo que resulta en una apariencia notoriamente desprovista de color y en la segunda variante, se presenta una disminución parcial de la pigmentación, donde únicamente los ojos o ciertas áreas del cuerpo mantienen parte de la coloración original del organismo. A este último fenómeno también se le denomina albinismo parcial o leucismo.

Causas y efectos de albinismo y leucismo

El albinismo puede ser causado por factores genéticos o ambientales. Desde el punto de vista genético, esta condición se caracteriza por la ausencia parcial o total de



pigmentación en la piel y los ojos debido a defectos en la producción de melanina. Estos defectos suelen ser heredados de padres portadores de genes recesivos. Por otro lado, el albinismo también puede ser provocado por factores ambientales, como la exposición a sustancias químicas que interfieren con la producción de melanina en el cuerpo. Tales como la exposición a metales pesados como arsénico, cadmio, cobre, mercurio, selenio y zinc. Por ejemplo, estudios han sugerido que las aguas del Golfo Pérsico, afectadas por derrames petroleros y altos niveles de metales traza, podrían ser una causa potencial del albinismo en peces de esa región.

En un estudio llevado a cabo con *Ictalurus punctatus*, que fueron sometidos a una exposición crónica de metales disueltos en el agua del criadero se desencadenaron alteraciones genéticas acumulativas que favorecieron el desarrollo de albinismo en la descendencia. El experimento trató a diferentes concentraciones que variaban entre 0.5 y 250 mg/L de arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), mercurio (Hg), selenio (Se) y zinc (Zn). Se observó que los ovocitos expuestos a cualquiera de estas concentraciones mostraron una tendencia a desarrollar albinismo, lo que resultó en un 45% de alevines de bagres con esta condición. Por otro lado, los peces pueden absorber los metales pesados principalmente a través de las branquias y el tracto digestivo, y en menor proporción por la piel. La exposición crónica a metales pesados puede ocasionar daños a nivel celular debido a su capacidad para desnaturalizar proteínas. Aparte del albinismo y leucismo, existen estudios de malformaciones morfológicas en diferentes especies de peces de todo el mundo, aunque las causas han sido poco estudiadas.

Albinismo y leucismo en Siluriformes

En India, se identificaron cinco casos de albinismo en especies específicas, incluyendo *Arius jella*, *Tachysurus dussumieri*, *Tachysurus tenuispinis*, *Arius caelatus* y *Osteogeneiosus militaris*. Tres casos fueron registrados en los Estados Unidos, involucrando a las especies *Ictalurus punctatus*, *Noturus gyrinus* y *Nocturus flavus*. Brasil también reportó tres casos, asociados con las especies *Rhamdella minuta*, *Schizolecis guntheri* e *Imparfinis mirini*. *Zungaro zungaro* fue reportada como una especie con albinismo, aunque el país de registro no fue descrito. En otros países, se observaron casos únicos: en Francia, un caso de albinismo en la especie *Schizolecis guntheri*; en Gran Bretaña, un caso de *Ameiurus catis*; en Argentina, un caso de *Genidens barbatus*; y en Villa Hermosa, Tabasco, México, se reportó el primer caso de albinismo en *Bagre marinus*. Por otro lado, se han encontrado los siguientes registros de leucismo: dos en Brasil en *Genidens barbatus* y *Genidens planifrons*, y solo un caso en Francia, en la especie *Silurus glanis*; Ecuador lo reporta en la especie *Astroblepus ubidiai*, y el primer caso de leucismo en *Bagre marinus* fue reportado en Campeche, México. Hasta el momento no se ha encontrado registro alguno de albinismo o leucismo en el Pacífico mexicano.



Contaminación por metales en el occidente de México

En el lago de Chapala, Jalisco, se determinaron niveles de mercurio (Hg) que oscilaban entre 0.3 a 1.3 mg/kg en los sedimentos, mientras que en agua se determinaron valores de 0.3 a 0.8 mg/L de Hg y valores superiores a 1 mg/L de Zn. En Aguamilpa, Nayarit, se determinaron concentraciones de Zn de 52.9 mg/kg de sedimento. También se determinó que en sedimentos del río Lerma -Santiago, las concentraciones de arsénico (As) fueron de alrededor de 1,000 mg/kg, razón por la que en el 2014 se declaró al río Lerma-Santiago como el más tóxico de México, seguido por el río Atoyac en Puebla.

Metales pesados en chihuil prieto

Los metales pesados pueden afectar a los bagres y otras especies debido a que su alimentación está basada en detritus y se ven expuestos principalmente a los elementos que se van acumulando asociados a sedimentos.

La biodisponibilidad de los metales pesados por su parte, está relacionada con la mineralogía de los suelos que determinan la distribución geoquímica de los metales en los sedimentos y los complejos que formen con los diferentes componentes del mismo sedimento. El manganeso (Mn), el hierro (Fe) y la materia orgánica son los tres componentes más importantes que intervienen en las interacciones del metal y en la porción tóxica de los sedimentos.

Las asociaciones con los sedimentos se dan principalmente en la zona de mezcla de los estuarios donde entran en contacto los elementos arrastrados por los ríos con los compuestos del agua marina, por ello es común encontrar altas concentraciones de estos elementos en los sedimentos estuarinos. Tanto el bento de los sistemas acuáticos, como ciertas plantas y animales acuáticos, tienen la capacidad de bioacumular y biomagnificar metales pesados.

Los estudios que relacionan contaminación de metales pesado en sedimentos y organismos acuáticos ayudan a entender los factores que influyen la dinámica de los metales que determinan su biodisponibilidad y toxicidad en el sistema.

Una investigación que involucraba análisis toxicológico de branquias, músculo, piel, hígado y vísceras de *A. guatemalensis* proveniente de la laguna de Tres Palos, Guerrero, México, arrojó que las vísceras fueron las que presentaron mayor concentración de cadmio con 5.10 mg/kg, por lo que la vuelve una especie capaz de bioacumular metales pesados.

Conclusión

Ariopsis guatemalensis es una especie común en las aguas costeras del Pacífico mexicano, particularmente en cuerpos de agua como laguna, estuarios y zonas costeras de Nayarit, México. Las especies identificadas muestran un crecimiento alométrico



positivo, lo que indica que se desarrollan más rápido en peso que en longitud. Por otro lado, su adaptación a aguas turbias y su comportamiento bentónico, que implica el contacto directo con los sedimentos además de su alimentación de detritus donde se encuentran altas concentraciones de metales pesados como As, Hg y Zn, la posiciona como una especie vulnerable a la bioacumulación de estos contaminantes. Esta situación pudiera ser una causa ambiental del albinismo y leucismo en otras especies marinas.

La preocupación por la conservación de *A. guatemalensis* se intensifica en áreas como el Río Lerma -Santiago, donde se han registrado niveles elevados de metales pesados principalmente en sedimentos. Estos hallazgos resaltan la necesidad de monitorear y contribuir a la propuesta de medidas para mitigar los efectos adversos de la contaminación en la salud y el bienestar de las poblaciones acuáticas.

Referencias

- Andrade, M.C., Schmid, K., Souza, J.O. and Giarrizzo, T. (2017). First Report of Albinism in the Threatened Gillbacker Sea Catfish *Sciades parkeri* (Siluriformes, Ariidae). *Braz. arch. biol. technol.* 60 e17160326, Jan/Dec. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2017160326>.
- Barrera-Rojas, J.; Gurubel-Tun, K.J., Ríos-Castro, E., López-Méndez, M.C. & Sulbarán-Rangel, B. (2023). An Initial Proteomic Analysis of Biogas-Related Metabolism of Euryarchaeota Consortia in Sediments from the Santiago River, México. *Microorganisms*, 11, 1640. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071640>.
- Bejarano-Zambrano, D. & Torres, A. (2019). Contenido estomacal del bagre lisa (*Ariopsis guatemalensis* Günther, 1864) en el Estero Salado de Guayaquil, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales* 13(2), 84-91.
- Benítez-Mondragón, B. D., Aguilar-Betancourt, C. M., González-Sansón, G., Lucano-Ramírez, G., Flores-Ortega, J. R., Ruiz-Ramírez, S. & Kosonoy-Aceves, D. (2019). Diet composition and its relation to the characteristics of the digestive tract of the blue sea catfish, *Ariopsis guatemalensis* (Actinopterygii: Ariidae), in Barra de Navidad Lagoon, Jalisco, Mexico. *Ciencias marinas*, 45(4), 151-162.
- Betancur-R. R. (2009). Molecular phylogenetics and evolutionary history of ariid catfishes revisited: a comprehensive sampling. *BMC Evolutionary Biology* 9, 175.
- Cho, K., Ryu, C. S., Jeong, S. & Kim, Y. (2020). Potential adverse effect of tyrosinase inhibitors on teleosts: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 228, 108655.
- CONAPESCA, 2023. Períodos de veda para especies marinas y dulceacuícolas. Actualización: 10 de octubre de 2023. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859046/20231010_PPT_VEDA_S-Modifn.Veda_OSTIO_OP.pdf



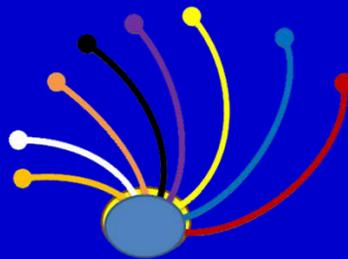
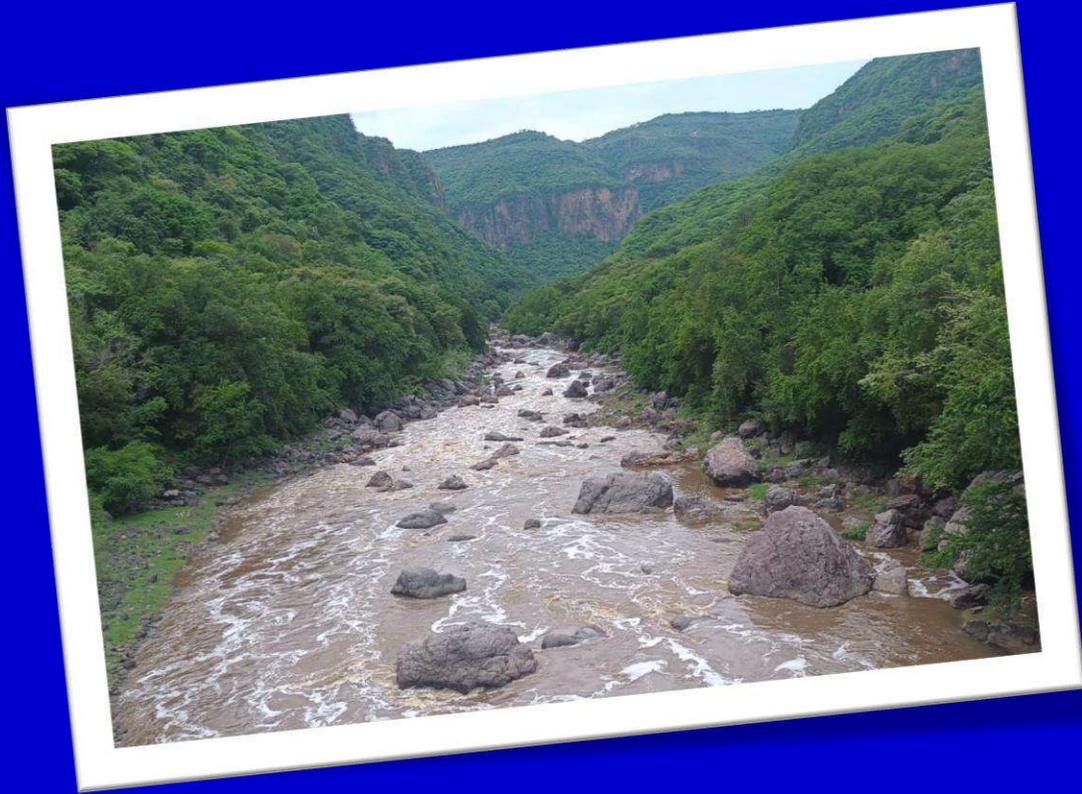
- CONAPESCA. (2021). Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2021. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuacultura-y-pesca>.
- Guerra-Jiménez, L. A. & Lara-Mendoza, R. E. (2018). Primer registro de albinismo en el bagre boca chica *Ariopsis felis* (Siluriformes: Ariidae) del sureste del Golfo de México. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 10(1): 39-46.
- Guevara, S., Arellano, O. y Fricke, J. (2014). Ríos tóxicos: Lerma y Atoyac. La historia de negligencia continúa. Greenpeace México A. C. México. <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/Docs/2014/toxicos/Riosporciento20porcientoC3porcientoB3xicosporciento20Lermaporciento20yporciento20Atoyac-web.pdf> (6 de julio de 2014).
- Jawad, L.A. and Ibrahim, M. (2017). On some cases of fish anomalies in fishes from the port of Jubail, Saudi Arabia, Arabian Gulf. *International Journal of Marine Science*, 7(20): 188-199. Doi: 10.5376/ijms.2017.07.0020
- Milessi, C. A., Cortés, F. & Jaureguizar, A. (2013). First report of albinism in the marine catfish *Genidens barbatus* (Lacepède 1803) in Argentine waters. *Pan-American J. Aquat. Sci.*, 8 (2), 139-141.
- Palacios-Salgado, D. S., Flores-Ortega, J. R., Zavala-Leal, O. I., Granados-Amores, J., Nieto-Navarro, J. T., Tapia-Varela, R. & Cadena-Roa, M. A. (2018). Length-weight relationship for sea catfishes (Siluriformes: Ariidae) from the southeastern Gulf of California with new records on maximum length. *Journal of Applied Ichthyology*, 34(3), 700-702.
- Rangel-Peraza, J. G., de Anda, J., González-Farías, F. A., Rode, M., Sanhouse-García, A. & Bustos-Terrones, Y. A. (2015). Assessment of heavy metals in sediment of Aguamilpa Dam Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 1–14.
- Robertson D. R, Allen Geral R, Peña C. E. & Estape A. (2024). Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de Información en línea. Versión 3.0 Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- Rodríguez-Amador, R., Monks, S., Pulido-Flores, G., Gaytan-Oyarzun, J. C., Romo-Gómez, C. (2014). Presencia de Plomo y Cadmio en *Ariopsis guatemalensis* (Günther, 1864), en la laguna de Tres Palos, Guerrero, México. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2 (3), 551–555.
- Trasande, L., Cortes, J. E., Landrigan, P. J., Abercrombie, M. I., Bopp, R. F. & Cifuentes, E. (2010). Methylmercury exposure in a subsistence fishing community in Lake Chapala, Mexico: an ecological approach. *Environmental Health*, 9, 1-10.
- Westerman, A. G. & Birge, W. J. (1978). Accelerated Rate of Albinism in Channel Catfish Exposed to Metals. *The Progressive Fish-Culturist*, 40(4), 143–146. Doi:10.1577/1548-8659(1978)40[143:aroaic]2.0.co;2.



Zavala-Leal, I., Palacios-Salgado, D., Ruiz-Velazco, M., Nieto-Navarro, J. T., Cadena-Roa, M. A., Domínguez-Ojeda, D. & Valdez-González, F. (2019). Reproductive period of the chihuil sea catfish *Bagre panamensis* (Siluriformes: Ariidae) inhabiting the southeast Gulf of California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54(1), 21-27.

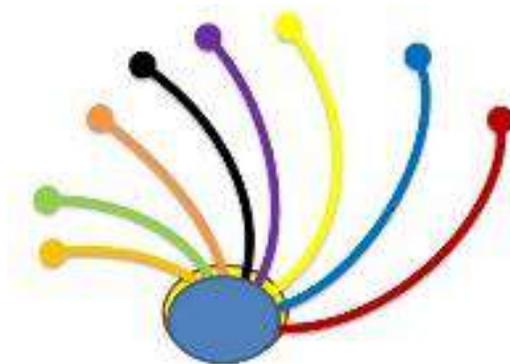
Sección 5

Ambiental



Investigación y educación nivel superior en desarrollo sustentable

Rubén Cornelio Montes-Pérez





Introducción

Existen numerosos estudios sobre el análisis de la sostenibilidad o sustentabilidad que han generado investigadores en América y Europa. Las investigaciones aplican varios métodos de análisis, algunos se enfocan prioritariamente al criterio ambiental, otros al económico o al social. Los resultados son importantes porque ponen de manifiesto problemas que necesitan atenderse y sus posibles soluciones; sin embargo, la aplicación de métodos multicriterio son los adecuados, porque el análisis de datos de criterios diferentes de manera holística genera resultados integrados en indicadores e índices agregados, que favorecen tomar decisiones para resolver problemas complejos de índole público y de gobierno.

En México, el análisis multicriterio de la sustentabilidad ha sido enunciado en las políticas públicas, especialmente en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual define al Desarrollo Sustentable en el artículo 3, ordinal XI de la siguiente manera: *“El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las persona, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones”*. Por tanto es necesario que la ciudadanía mexicana especialmente los profesionales y organizaciones civiles, empresariales o gubernamentales dedicados al estudio del uso y aprovechamiento de recursos naturales, conozcan y en su caso apliquen los métodos multicriterio. Lo que facilitará diseñar o rediseñar el uso sustentable del recurso natural, aplicación de ecotecnias, como elaboración y uso de biofertilizantes, composta, manejo integrado de plagas, biodigestores, además el reciclaje, reducción y reutilización de material desechado por la industria u otros sistemas de producción, con el objetivo de contribuir al Desarrollo Sustentable en la sociedad.

Con base en este contexto el objetivo de este documento es describir aspectos básicos y generales sobre las investigaciones en desarrollo sustentable, así como el impacto que tiene en la educación a nivel superior en México, en este capítulo se toma como caso de estudio la impartición de la asignatura Evaluación de la Sustentabilidad para el Manejo de Recursos Naturales en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, durante el periodo de 2011 a 2019.

Investigaciones en desarrollo sustentable

Las investigaciones en el tema de Desarrollo Sustentable han sido numerosos, especialistas en este tópico han reportado que la producción de artículos de investigación desde el año 1990 a 2017 superaron los 23000 documentos; sin embargo, Gómez-



Romero y Garduño-Román (2020) analizaron 678 que están indizados en bases de datos SciELO, Scopus y Microsoft Academic entre 1990 y 2017 (figura 1); en esta misma se observa que a partir de 2015 incrementó de manera geométrica, la cantidad de publicación en revistas indexadas.

La cantidad de producción científica en este tema por área de especialidad es diferente. Las disciplinas en Artes y Humanidades, Sociología, Ciencias Sociales, Economía y Finanzas que son mayores respecto a Educación y otras.

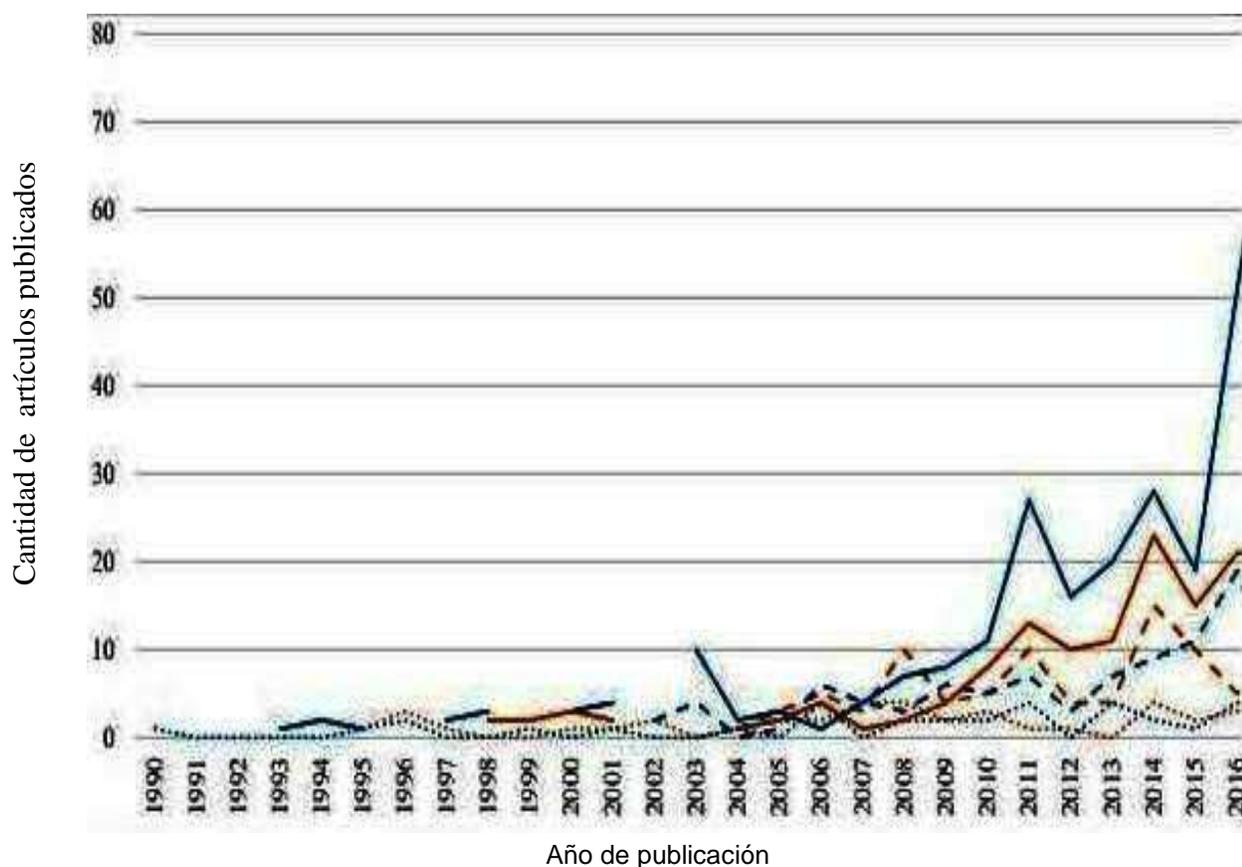


Figura 1. Producción de artículos sobre desarrollo sustentable o sostenible indizados en bases de datos. Línea azul sólida nomenclatura Desarrollo sostenible. Línea café sólida Desarrollo sustentable. Línea azul fragmentado Desarrollo sostenible. Línea café fragmentado Desarrollo sustentable. Fuente: Gómez-Romero y Garduño-Román (2020).

Las investigaciones sobre Desarrollo Sustentable se han efectuado en muchos países, con diferentes objetivos específicos. Algunas de estas investigaciones han aplicado métodos de modelación matemática para evaluar proyectos antes de ejecutarlos o seleccionar el modelo de evaluación de la sustentabilidad de programas o proyectos en ejecución, los cuales podrían denominarse evaluación *Ex Ante* o prospectiva. En este



sentido, una investigación evaluó la sostenibilidad hidroeléctrica mediante el método AHP (Procedimiento Analítico Jerárquico), para comparar 13 modelos de desarrollo sostenible (AA1000, GRI, IFC, Protocolo IHA, BS8900, DJSI, Pacto Mundial, FTSE4Good, IPC Sostenibilidad, WCD, RSAT, Política de Seguridad, Principios de Ecuador), el análisis se fundamentó en los criterios de Inclusividad, Integridad, Corresponsabilidad, Transparencia y Especialidad, se concluyó que el modelo de evaluación de sostenibilidad de la hidroeléctrica con el Protocolo IHA (Asociación Internacional de Hidroelectricidad) es prioritaria en nivel 1, y el modelo BS 8900 es la segunda prioritaria.

También se ha utilizado la metodología AHP en combinación con técnicas participativas que incluyen a los actores sociales de los sitios donde se aplicó el estudio, con el objetivo de seleccionar las prioridades de políticas, programas o proyectos (TIPs) directamente relacionados con los 17 objetivos del desarrollo sostenible (17ODS) propuestos por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. En Argentina se analizaron dos diferentes regiones con este método, la Norte que se caracteriza por existir necesidades básicas insatisfechas como ausencia de agua potable, acceso a alimentos, sanidad básica, y la zona Costa se caracteriza por su economía desarrollada, centros urbanos con necesidades básicas satisfechas, pero existen situaciones que solucionar de tipo ambiental, social y urbano. Los resultados mostraron que en ambas regiones las prioridades de TIPs relativos a las 17ODS son diferentes, en la región Norte los TIPs prioritarios deben estar dirigidas a la ODS3 (Salud y Bienestar) y ODS6 (Agua limpia y saneamiento), pero en la zona Costa los TIPs prioritarios deben estar dirigidos a la ODS11 (ciudades y comunidades sostenibles) y ODS14 (vida submarina).

Otra investigación utilizó dos métodos multicriterio: AHP y programación por metas (PM) extendido y fue complementado con la aplicación del Índice Kappa para evaluar los acuerdos entre especialistas con criterios diferentes, el objetivo fue determinar las ponderaciones de los criterios de sustentabilidad hidroeléctrica a partir de la participación de especialista, que poseen criterios heterogéneos, de tipo Económico, Técnico, Ambiental, Social y de Gobernanza. Los resultados indican que cada grupo de expertos prioriza los criterios de manera diferente, por ejemplo los expertos en economía y técnica priorizan el criterio económico y en menor magnitud la gobernanza; sin embargo, los expertos en medio ambiente priorizan el criterio de gobernanza y en menor magnitud el criterio técnico. La comparación de la solución útil a partir de los resultados de los cinco grupos de expertos, mostró que a pesar de que las opiniones son desiguales, los expertos en gobernanza generaron la opinión más cercana a la solución, a pesar de que la posición económica fue la mayor con valor de 29.4%, la técnica con 21.04% y la menor ponderación fue la ambiental con 14.36%. El resultado final indicó que la evaluación de la sustentabilidad hidroeléctrica mediante IHA en combinación con las técnicas multicriterio AHP y PM extendido permite ponderar los criterios de



sustentabilidad hidroeléctrica mediante encuestas a expertos heterogéneos, para abordar futuros proyectos hidroeléctricos en diferentes contextos.

Existen otros métodos de evaluación multicriterio de la Sustentabilidad, a partir de los resultados de proyectos ejecutados, que se pueden denominar *Ex post* o retrospectivos. Astier *et al* (2008) resumen varios marcos para evaluar la sustentabilidad. La figura 2 muestra las generalidades de cuatro marcos de evaluación, que fueron adaptados por el autor de este capítulo a partir de la fuente original.

En la actualidad existen más, lo que indica que los métodos de evaluación de la sustentabilidad han evolucionado en estos últimos años, en los cuales se han creado índices agregados o integrados, que generan un solo valor de Sustentabilidad a partir de Indicadores de criterios Ambiental, Económico, Social, Humano, Institucional, etc. Uno de estos métodos es el Biograma, que corresponde a la gráfica en telaraña de múltiples indicadores que están representados cada uno en diferentes ejes, cuyos valores se extienden de 0 a 1.0, en cada estado de situación del sistema analizado se le asignan colores, rojo es condición del sistema en colapso para valores entre 0 y 0.2, naranja en condición crítica con valores de 0.2 a 0.4, amarillo en condición inestable con valores de 0.4 a 0.6, azul en condición estable con valores de 0.6 a 0.8 y verde en condición óptimo de 0.8 a 1.0, el resultado de esta gráfica se complementa con el índice Integrado de desarrollo sostenible S3 de las cuatro dimensiones: Ambiental, Económico, social y político institucional, para obtener un solo valor que también se distribuye de 0.0 a 1.0, con la misma interpretación anterior. Otra metodología es el Índice Agregado de Sustentabilidad Agrícola (IASA), constituido por el índice de sustentabilidad ambiental (ISA), índice de sustentabilidad económica (ISE), índice de sustentabilidad social (ISS) y el índice de sustentabilidad humana (ISH), cada uno de los índices genera un valor entre 0 y menor de 1.0, un requisito indispensable es que $IASA = ISA + ISE + ISS + ISH$, donde $0 \leq IASA \leq 1.0$ este último valor es el deseable de sustentabilidad agrícola. Con estas metodologías el intervalo de valores de Índices de Evaluación de la Sustentabilidad se distribuye desde 0 que es un sistema en condición vulnerable hasta 1.0 que sería un sistema de manejo óptimo en el contexto de la sustentabilidad.

La literatura es abundante con este tipo de aplicación de evaluación de la sustentabilidad. Algunos de estos métodos son: Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) y Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo Mediante Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). En México se aplicó a nivel país el modelo PER, que aporta datos e información en los sectores ambientales, económicos, sociales e institucionales que la nación presentaba en el periodo de 1990 a 1998, en donde se pueden observar las tendencias de la presión de las actividades humanas sobre el Estado de situación de los ecosistemas y la sociedad, que conduce a diseñar respuesta en los diferentes sectores de la sociedad para aplicar soluciones. La información que presenta INEGI (2000) sobre la situación de México analizado con el modelo PER, no reporta algún



resultado numérico integral sobre la evaluación de sustentabilidad; sin embargo, Saldívar *et al* (2002) proponen combinar el modelo PER con el Índice de Desarrollo Sustentable a partir de la Teoría de Decisiones de Atributos Múltiples, en el cual a partir del árbol de decisiones que integra a los criterios generales de sustentabilidad (económico, social y natural), se deben generar indicadores en cada criterio, los cuales podrán ser subdivididos en criterios específicos (atributos) que se les asigna una función de utilidad para uniformar las unidades y valores de cada atributo, se deben ponderar cada criterio general en porcentaje, para que finalmente sumen 100% o 1.0 valor sin porcentaje.

Del modelo PER se derivó el modelo Fuerza conductora-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR), que desglosa con mayor precisión las acciones de industrias, transporte, etc., que generan presión sobre el ambiente que produce aumento de la contaminación, lo que a su vez cambia el estado del medio ambiente, manifestado por impactos en la calidad de vida en la sociedad humana y los ecosistemas, por tanto se genera la respuesta en términos de políticas regulatorias para detener o revertir el deterioro producido.

Marco de evaluación	Enfoque	Énfasis en las áreas de evaluación	Tipo de evaluación	Experiencia en estudios de caso
Presión-Estado-Respuesta	Sistémico	Ambiental	Ex post	Alta, poca sistematización
MESMIS	Sistémico	Ambiental Económico Social	Ex post Ex ante	Muy alta, con sistematización
Evaluación de satisfactores	Sistémico	Ambiental Económico Social	Ex post	Media, con sistematización
Manejo de resiliencia	Sistémico	Ambiental Económico Social	Ex ante	Baja

Figura 2. Marcos de Evaluación de la Sustentabilidad, versión modificada del original. Fuente: Astier *et al.*, (2008).

En numerosas investigaciones en el sector agropecuario que evalúan la sustentabilidad, se ha aplicado MESMIS, en México, Europa y Suramérica, se muestra que este método es frecuentemente usado para efectuar investigación retrospectiva de este tipo de sistemas de producción. MESMIS se fundamenta en la teoría de sistemas y presenta atributos característicos sobre las cuales se sustenta su marco teórico, que son: 1) productividad, 2) equidad, 3) estabilidad resiliencia y confiabilidad, 4) adaptabilidad, 5) autogestión; a partir de éstos se generan los criterios de diagnóstico e identificación de



los puntos críticos negativos que generan vulnerabilidad en el sistema de manejo en estudio. Los indicadores son diseñados para cada sistema en función de los atributos, criterios de diagnóstico y puntos críticos, a partir de los datos de campo se obtienen los valores de los indicadores, tales valores se estandarizan en porcentajes de acuerdo a rangos establecidos como máximos y mínimos en función de la naturaleza del indicador. Los porcentajes de cada indicador se colocan en gráfica de amiba para identificar aquellos que tienen mayor o menor magnitud, a partir de estos resultados se concluye el análisis y se emiten recomendaciones para aumentar la sustentabilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales. Un ejemplo donde se aplicó MESMIS fue una investigación publicada en 2016, donde se evaluó la sustentabilidad de dos sistemas de producción de ovejas en Yucatán, una de ellas con bajo nivel de tecnificación y escasos recursos, denominado Rancho San Francisco y otro con mayor nivel de tecnificación y mayor cantidad de recursos materiales y económicos denominado Rancho Acapulco. La conclusión de la investigación fue que ninguno de estos sistemas fue totalmente sustentable, es decir no alcanzaron 100% en los valores de todos sus indicadores; sin embargo, rancho San Francisco presentó mayor cantidad de indicadores (5/9) cercanos al óptimo y Acapulco con menos indicadores (1/9).

Educación nivel superior en Desarrollo Sustentable

A partir de la información generada en los estudios de investigación, es pertinente abordar la siguiente pregunta ¿Cuál es uno de los impactos fundamentales que debe tener en la sociedad la investigación en sustentabilidad de los recursos naturales? Es precisamente en la EDUCACION, con base en este concepto la UNESCO (2017) emitió la siguiente declaración:

“La educación es, por tanto, fundamental para lograr el desarrollo sostenible, y la educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) es especialmente necesaria, pues capacita a los educandos para tomar decisiones fundamentadas y actuar de forma responsable en pro de la integridad ambiental, la viabilidad económica y las sociedades justas para las generaciones futuras”.

En México este argumento está contenido en las políticas públicas, especialmente en la Ley General de Educación Superior (2021) que menciona lo siguiente en el artículo 7, ordinal VII:

“El respeto y cuidado del medio ambiente, con la constante orientación hacia la sostenibilidad, con el fin de comprender y asimilar la interrelación de la naturaleza con los temas sociales y económicos, para garantizar su preservación y promover estilos de vida sustentables”.



En el ámbito mundial la educación para el Desarrollo Sostenible también fue declarado por la ONU en el Objetivo 4 Educación de Calidad, en la meta 4.7 sobre Educación para el Desarrollo Sostenible. Sobre ambos enunciados Santa Ana Escobar *et al* (2017) hacen un análisis crítico de la educación nivel superior sobre el tema de sustentabilidad en México, en su análisis mencionan numerosos argumentos, algunos de éstos son:

1. *“el modelo educativo que tiene cada universidad, en ocasiones es muy rígido e impide la interdisciplinariedad entre los actores educativos”.*
2. *“el trabajo de las universidades en materia de desarrollo sustentable se ha limitado a la oferta de programas académicos con una perspectiva ambiental, los cuales se enfocan en el área de ciencias naturales y exactas, dejando a un lado el resto de las disciplinas y olvidando el carácter interdisciplinario de la sustentabilidad”.*
3. *“se crean planes ambientales, se enfatiza la certificación ambiental con la norma ISO-14001, se enverdecen las áreas y se establecen convenios con el sector gubernamental”.*
4. *“las Universidades no se encuentran preparadas para asumir las funciones requeridas para cumplirlos, las problemáticas principales son el modelo educativo rígido, el trabajo que demanda la creación de planes transversales, la falta de vinculación entre las funciones esenciales: docencia, investigación y extensión, la especialización de cada disciplina; pero sobre todo la resistencia al cambio, resistencia a la transformación de sus estructuras y falta de formación de sus mismos directivos que repercute en la falta de congruencia al interior de la institución”.*

Análisis de la Impartición de la asignatura Evaluación de la Sustentabilidad para el Manejo de Recursos Naturales.

En el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA) de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), se diseñó en 2010 y se aplicó durante los siguientes años la asignatura optativa titulada *“Evaluación de la Sustentabilidad para el Manejo de Recursos Naturales”*, que fue impartida a estudiantes de las licenciaturas de Agroecología, Biología, Medicina Veterinaria y Zootecnia; pero es necesario antes que todo lo demás, abordar algunos Modelos Educativos que se aplican en el sistema educativo mexicano. En la Figura 3 se presentan las generalidades de tres modelos educativos, que fueron adaptados por el autor de este capítulo a partir de la fuente original.

La asignatura que se analiza en esta sección, se diseñó bajo el Modelo educativo Constructivista, por lo cual el alumno en gran medida es responsable de su aprendizaje.



La asignatura se estableció con base en el Marco Conceptual y Metodología analítica del Desarrollo Sustentable (Montes-Pérez, 2023), a partir de los fundamentos de tres disciplinas culturales y científicas: Economía, Políticas Públicas y Manejo de Recursos Bióticos, ésta última corresponde a la formación natural de los estudiantes en el CCBA.

El objetivo general de esta asignatura se apejó a la definición de la LGEEPA, por lo tanto, se redactó de la siguiente manera: *“El estudiante comprenderá los fundamentos de la sustentabilidad y aplicará la metodología Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo mediante Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) a uno o dos sistemas reales, para evaluar la sustentabilidad de éstos”.*

	CONDUCTISMO	COGNITIVISMO	CONSTRUCTIVISMO
Objetivos	Lograr la respuesta adecuada del estudiante ante el Estímulo.	Estimulación de estrategias de aprendizaje por parte del Alumno.	El aprendizaje es un proceso activo por parte del alumno.
Rol del estudiante	Obedece	Participación activa en el proceso de aprendizaje.	Construye su conocimiento
Rol del docente	Controla los estímulos	Adapta la enseñanza a los alumnos	Guía para los alumnos
Relación docente-alumno	Poco interactiva	Interacción positiva	Actitud colaborativa docente-alumno
Criterios e instrumentos de evaluación	Evaluación cuantitativa sobre la conducta deseada	Evaluación centrada en el proceso.	Evaluación continua basada en la formación de nuevos constructos.

Figura 3. Tres modelos educativos que se han utilizado en el sistema educativo mexicano, versión modificada del original. Fuente Valdez Alejandro F. (2012).

El contenido y ejecución de la asignatura incluyó tres unidades para abordar los conceptos generales sobre el Desarrollo histórico del concepto de sustentabilidad a partir de marcos teóricos del siglo XX, Fundamentos de la Economía Ambiental y la Economía Ecológica, Fundamentos de las Políticas Públicas, Métodos Multicriterio para la evaluación de la Sustentabilidad y aplicación del MESMIS a situaciones reales. Lo anterior conduce a que los estudiantes participen de manera activa en el proceso de aprendizaje, efectuaron la caracterización y evaluación de predios ganaderos y agrícolas de varios municipios de Yucatán bajo los criterios económico, social y ambiental.



El desempeño de los estudiantes en general fue satisfactorio, a pesar de que en sus planes de estudio no cursaron en sus asignaturas todos los temas mencionados en el párrafo anterior. Esto se manifiesta en los Trabajos de Investigación Formativa (TIF) que generaron los estudiantes de diversas carreras pero organizados en equipos de trabajo. Dos aspectos fundamentales es necesario mencionar, uno es la estrategia de aprendizaje, que está basada en el modelo constructivista, es decir de que el alumno es parte activa y además responsable de su aprendizaje, construye nuevas estructuras de conocimientos a partir de conocimientos previos, para aplicarlos en la elaboración del TIF. El otro aspecto fundamental es el acompañamiento por parte del profesor en sus avances, durante la elaboración de los trabajos finales, mediante asesorías directas a lo largo del curso.

Además de las pruebas de desempeño en la evaluación de proceso, entregaron fichas de investigación bibliográfica, elaboración de ejercicios y seminarios de exposición por los estudiantes, de temas correspondientes a las unidades de la asignatura. Se generaron más de 20 TIF en ocho años de ejecución de esta asignatura. La ponderación del TIF en la calificación final es la más alta (40%), porque este producto muestra el nivel de competencia que los estudiantes alcanzaron al final del curso. El TIF es un documento de texto que además de ser escrito, debe ser presentado y defendido por cada equipo de estudiantes al final del curso.

La figura 4 muestra los títulos de dos TIF producidos por los equipos de estudiantes en esta asignatura. Estos trabajos muestran la evidencia del nivel de dominio en el tema de desarrollo sustentable que se espera alcancen los estudiantes, si bien un trabajo escolar tiene un alcance limitado, por la leve profundidad, corta extensión del contenido, breve análisis y síntesis en el TIF, permite identificar los niveles de dominio que logran en el tema cada grupo de estudiantes, que de acuerdo a los criterios del modelo educativo de la UADY, se clasifican en: No acreditado, Suficiente, Satisfactorio, Sobresaliente.

Los TIF y sus exposiciones ante el pleno del grupo, momento en que reciben la retroalimentación grupal, permite que los estudiantes reconozcan los niveles de aprendizaje, su desempeño individual y en grupos de trabajo, dentro del contexto de las dimensiones: Cognitiva, Social, Emocional y Actitudinal.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE YUCATAN
CAMPUS DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

ASIGNATURA:
Evaluación de la sustentabilidad para el manejo de
recursos naturales.

**“Evaluación de la sustentabilidad de un
sistema de engorda intensivo comparado
con un sistema de pastoreo en monte
nativo usando el método MESMIS”**

Integrantes:

- Ceballos Mendoza Alejandra.
- Novelo Chi Lucelmi.
- Palma Ávila Israel.

•Mayo de 2012

Asesor: Dr. Rubén Montes



UADY
CAMPUS DE
CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS
"Luz, Ciencia y Verdad"

***EVALUACIÓN DE LAS SUSTENTABILIDAD PARA EL MANEJO DE LOS
RECURSOS NATURALES***

Licenciatura en Agroecología

Trabajo

***Evaluación de la sustentabilidad de la unidad de lechería del CCBA, método
MESMIS.***

Integrantes

***Baas Castañeda Kevin
Cox Pacheco Manuel
Hernández Harumi
Uicab Chuc Angel***

Figura 4. Portadas de dos Trabajos de Investigación Formativa, elaborados por dos equipos de estudiantes, que cursaron la asignatura Evaluación de la Sustentabilidad para el Manejo de Recursos Naturales.



La figura 5 muestra la distribución de las calificaciones de los estudiantes que cursaron esta asignatura mediante un gráfico de cuartiles (cajas y bigotes). Durante ocho años, esta asignatura fue cursada por estudiantes mexicanos y algunos extranjeros, la mayoría logró alcanzar el objetivo de la asignatura de manera exitosa e incluso un equipo de estudiantes generó un TIF con los requerimientos de competencia sobresaliente. Posteriormente este trabajo fue reestructurado y reelaborado a profundidad por el asesor con el consentimiento de los estudiantes, y fue enviada a una revista científica arbitrada que la publicó. Además es pertinente enfatizar en los valores de calificación de las cohortes de los años 2012 (mediana = 90.0) y 2013 (mediana = 91.0) que a pesar de que fueron pocos estudiantes que cursaron esta asignatura ($n=3$, cohorte 2012) ($n=4$, cohorte 2013), el desempeño de éstos fue sobresaliente. Esta es la evidencia de que el rol del estudiante es fundamental en el modelo educativo constructivista.

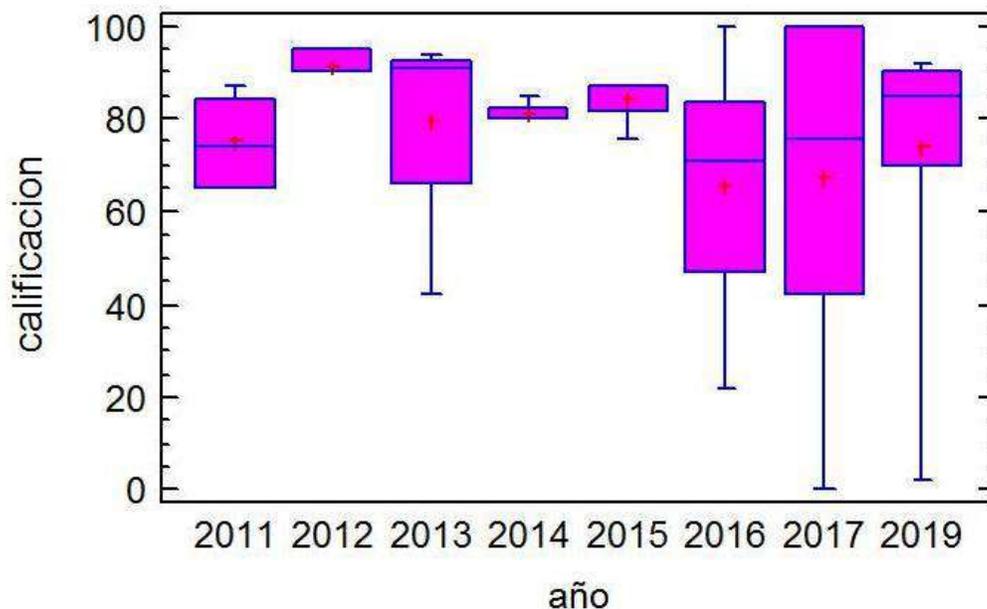


Figura 5. Distribución de calificaciones de estudiantes que cursaron la asignatura Evaluación de la Sustentabilidad para el Manejo de Recursos Naturales.

Conclusión

La investigación en Desarrollo Sustentable ha sido prolífica desde el siglo pasado, en la actualidad han evolucionado las metodologías para efectuar la evaluación de la sustentabilidad en diferentes sectores y contextos de la sociedad. La información generada brinda los fundamentos cognitivos y metodológicos para ser aplicado en la docencia, dado que esta actividad es fundamental para transitar hacia sociedades más sustentables, como ha sido declarado por instituciones de alcance mundial. La educación



en desarrollo sustentable a nivel superior, enfrenta varios retos que están por resolverse, tal como ha sido debatido por algunos expertos críticos en educación. Es importante avanzar más allá del marco conceptual de esta transdisciplina porque integra paradigmas de las ciencias ambientales, económicas, sociales, políticas y los conocimientos de los actores rurales locales que participaron. Las experiencias que se han generado en ocho años de la aplicación de la asignatura Evaluación de la Sustentabilidad para el Manejo de Recursos Naturales en el CCBA de la UADY, que operó con base en la definición mexicana de Desarrollo Sustentable determinada en la LGEEPA y el modelo educativo constructivista, pone de manifiesto el reconocimiento por parte de los mismos estudiantes el nivel de competencia que alcanzaron, en virtud que presentaron y defendieron los resultados de sus investigaciones en escenarios reales.

Referencias

- Astier, M., Maser, R. O. y Galván-Miyoshi, Y. (2008). Evaluación de la Sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. (1a ed.) SEAE / CIGA / ECOSUR / CIEco / UNAM / GIRA / Mundiprensa / Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable, España. SEAE/CIGA/ECOSUR/UNAM/GIRA/Mundiprensa/Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable, España.
https://www.researchgate.net/profile/Marta-Astier/publication/41516515_Sistematizacion_y_analisis_de_los_estudios_de_caso_MESMIS_lecciones_para_el_futuro/links/57068c3f08ae0f37fee1e16a/Sistematizacion-y-analisis-de-los-estudios-de-caso-MESMIS-lecciones-para-el-futuro.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión de los Estados Unidos Mexicanos. (1998, 28 de enero). Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación.
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/148.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General de Servicios Parlamentarios. (20-04-2021). Ley General de Educación Superior. Nueva Ley DOF 20-04-2021.
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGES_200421.pdf
- Candelaria-Martínez, B., Ruiz-Rosado, O., Pérez-Hernández, P., Gallardo-López, F., Vargas-Villamil, L., Martínez-Becerra, Á. y Flota-Bañuelos, C. (2014). Sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, Veracruz, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 11(73), 87-104.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-14502014000100005
- CDI Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (2016). Eco/tecnias Guía Práctica para Comunidades Indígenas.



<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/173389/ecotecnias-comunidades.indigenas-2016.pdf>

Fonseca-Carreño, N. E. y Narváez-Benavides, C. A. (2020). Aplicación de la metodología MESMIS para la evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción campesina en Sumapaz, Cundinamarca. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 6(2), 29-46.

https://revistas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Ciencias_agropecuarias/article/view/318

Gómez-Romero, J.A., Soto Flores, R. y Garduño Román, S. (2019). Determinación de las Ponderaciones de los Criterios de Sustentabilidad HidroEléctrica Mediante la Combinación de los Métodos AHP y GP Extendido. *Ingeniería*, 24 (2), 116-142. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2019000200116

Gómez-Romero, J.A., y Garduño-Román, S. (2020). Desarrollo sustentable o desarrollo sostenible, una aclaración al debate. *Tecnura*, 24(64), 117-133.

<https://doi.org/10.14483/22487638.15102>

Gómez-Romero, J. A., Soto-Flores, R. y Garduño-Román, S. (2020). Selección de un modelo para evaluar la sostenibilidad hidroeléctrica mediante el método AHP. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 30, 117-141. Selección de un modelo para evaluar la sostenibilidad hidroeléctrica mediante el método AHP | *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa* (upo.es)

INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y el Instituto Nacional de Ecología (2000). Indicadores de Desarrollo Sustentable en México.

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/Desarrollo%20sustentable.pdf>

Martínez-Castro, C. J., Ríos-Castillo, M., Castillo-Leal, M., Jiménez-Castañeda, J. C. y Cotera-Rivera, J. (2015). Sustentabilidad de Agroecosistemas en regiones tropicales de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(1), 113-120.

<https://www.redalyc.org/pdf/939/93938025003.pdf>

México Agenda 2030. Estrategia Nacional para la puesta en marcha de la Agenda 2030. (2023).

https://micrositios.inai.org.mx/gobiernoabierto/en/wp-content/uploads/2019/10/Estrategia_Nacional_Implementacion_Agenda_2030.pdf

Montes-Pérez, R., Ceballos-Mendoza, A., Novelo-Chi, L., Palma-Ávila, I., Magaña-Monforte, J. y Sierra-Vásquez, Á. (2016). Evaluación de la sustentabilidad de dos unidades de producción ovina en Yucatán, México. *Abanico Veterinario*, 6(2), 39-



53.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-61322016000200039
- Montes-Pérez, R.C. (2023). Marco conceptual de la sustentabilidad de los recursos naturales. En: Fidel Ávila Ramos y Sergio Martínez González (Ed), *Análisis de Investigaciones Agroforestales, Veterinarias y en Estadística*. (Primera edición, pp. 25- 43). Abanico Académico-Amate Editorial.
<https://abanicoacademico.com/productosacademicosdigitales/article/view/124/109>
- Morantes, M., Dios-Palomares, R., Rivas, J., Alcaide-López-de- Pablo, D. y García, A. (2019). Relación entre la Sostenibilidad y la Eficiencia en sistemas de producción ovina. *Revista Científica, FVC-LUZ XXIX(4)*, 274 - 285.
https://www.researchgate.net/publication/325379616_Sostenibilidad_y_Eficiencia_en_Sistemas_de_Produccion_Ovina
- Nantes, E. (2021). Iniciativas de desarrollo sostenible: Un método en base a AHP para evaluar alternativas según su adecuación a los ODS con visión regional.
https://www.researchgate.net/publication/353559757_Iniciativas_de_desarrollo_sostenible_Un_metodo_en_base_a_AHP_para_evaluar_alternativas_segun_su_a_decuacion_a_los_ODS_con_vision_regional
- Saldívar, V.A., Barrera, A., Rosales, P. y Villaseñor, E. (2002). Tres metodologías para evaluar la sustentabilidad: 10 años después de Río. *Investigación Económica*, 62(242), 159-18.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/ineco/v62n242/0185-1667-ineco-62-242-159.pdf>
- SantaAna-Escobar, M. B., López-Barbosa, R. R. y Moreno-Zacarías, H. M. (2017). El papel de las instituciones de educación superior en la formación de una cultura para la sustentabilidad. Reflexión y crítica. Memoria del XI Congreso de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad.
<https://www.bing.com/ck/a?!&p=13a8783f8dd45eb7JmItdHM9MTcxNjQyMjQwMCZpZ3VpZD0xZDFINWQ4OC0zZjA3LTY5M2MtMTIhMS00OWViM2UyMjY4NTAmW5zaWQ9NTlwOA&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=1d1e5d88-3f07-693c-19a1-49eb3e226850&psq=El+papel+de+las+instituciones+de+educaci%c3%b3n+superior+en+la+formaci%c3%b3n+de+una+cultura+para+la+sustentabilidad.+Reflexi%c3%b3n+y+cr%c3%adtica&u=a1aHR0cHM6Ly9yaWljby5uZXQvaW5kZXgucGhwL3JpaWNvL2FydGljbGUvZG93bmVxYWQvMTQ5Mi8xMTUy&ntb=1>
- Sepúlveda, S. (2008). Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios. *Biograma 2008*. San José, C.R. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7818/BVE19040125e.pdf?sequence=1>



- UNESCO. (2017). Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje. <https://www.unesco.org/es/articles/educacion-para-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-objetivos-de-aprendizaje>
- Valdez-Alejandro, F. J. (2012). Teorías educativas y su relación con las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC). XVII Congreso Internacional de Contaduría Administración e Informática. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. Áreas de investigación: Educación en contaduría, administración e informática.
<https://clea.edu.mx/biblioteca/files/original/88d9d6779a5aab4815e05f82a90a4c7d.pdf>
- Vázquez-Valencia, R A, García-Almada, R M. (2018). Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 27, 1-27.
<https://www.redalyc.org/journal/859/85955159001/85955159001.pdf>

El glifosato, retos y expectativas en el sector agrícola, ambiental, social, económico y tema de controversia en la salud humana

Jesús Tadeo Hernández-Moreno
Dolores Vargas-Álvarez
Miguel Ángel Reyes-González
Zuleyma Martínez-Campos





Introducción

En México, el glifosato (N-fosfometil-glicina) es el principal herbicida utilizado para controlar las malezas en la agricultura, desempeñando un papel crucial en la conservación de los productos agrícolas que son la base de la alimentación en nuestro país. Con el crecimiento poblacional, ha aumentado la necesidad de producir más alimentos en menos tiempo. Esto ha llevado a los productores a buscar métodos que incrementen el rendimiento de sus cultivos y reduzcan las pérdidas. Actualmente para satisfacer la demanda de producción, los agricultores requieren implementar métodos de prevención y emergencia contra plagas que pudiesen afectar su rendimiento, una de estas técnicas es el uso de plaguicidas. La falta de información lleva en ocasiones a los agricultores a un uso desmedido de dichas sustancias, generando efectos adversos. Es importante comprender que al aplicar cualquier plaguicida se inicia un proceso de interacción entre éste y el medio hasta que termina su efecto y desaparece, esta interacción comprende: la atmósfera, suelo, agua y plantas. Algunos plaguicidas según su estructura y características fisicoquímicas persisten en el ambiente, propiciando con ello la acumulación en agua y suelo principalmente subiendo después por la cadena trófica y llegando hasta los seres humanos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura menciona que entre el 26 y 40 por ciento del potencial de producción agrícola del mundo se pierde anualmente debido a las malezas, plagas y enfermedades. Además, estas pérdidas podrían duplicarse sin el uso de prácticas de protección de cultivos. Cuando se introdujeron los primeros agroquímicos en la década de los 40's, significó para los productores agrícolas nuevas herramientas que sirvieron para aumentar la eficiencia y proteger con mayor eficacia a los cultivos de los efectos dañinos de las malezas.

Empleo globalizado del glifosato en los campos agrícolas

El glifosato fue introducido por Monsanto Corporation bajo la marca "Roundup" en 1974, como ingrediente activo del producto, es un herbicida no selectivo, lo que significa que puede eliminar casi cualquier tipo de planta sobre la cual se aplica, incluso plantas deseables. Cobró importancia en la agricultura moderna como una importante herramienta en la gestión integral de malezas luego de la introducción de cultivos genéticamente modificados, lo que les permitió a los productores agrícolas utilizar el herbicida para eliminar las malezas sin dañar las plantas deseables. Hoy en día, el glifosato se usa como ingrediente activo en cientos de productos destinados a la protección de cultivos actualmente registrados y aprobados para su uso en la agricultura.

A medida que la población mundial sigue creciendo y la demanda de alimentos aumenta, los productores agrícolas seguirán confiando cada vez más en soluciones efectivas e innovadoras que los ayuden a garantizar cosechas productivas, preservando



al mismo tiempo la tierra y los recursos. En la década de 1980, el glifosato se utilizó también como agente desecante de cultivos anuales como maíz, trigo, cebada, avena, frijol, papa, lenteja y garbanzo, entre otros, con el objetivo de acelerar y sincronizar la muerte de las plantas.

El uso de glifosato ha generado una gran presión de selección sobre especies vegetales que desarrollaron resistencia natural a este herbicida, las cuales se han considerado como malezas. La resistencia a los herbicidas es la capacidad heredada de una planta de sobrevivir y reproducirse después de la exposición a una dosis de herbicida, que sería normalmente letal para un individuo silvestre. Algunas plantas consideradas como malezas pueden poseer naturalmente diversos grados de resistencia al glifosato (u otros herbicidas) debido a circunstancias temporales, espaciales o fisiológicas específicas (por ejemplo, translocación del herbicida hacia algún órgano u organelo celular, mecanismos de detoxificación o insensibilidad al herbicida en el sitio de acción de este, entre otros).

En términos generales, las especies vegetales que muestran diversos grados de resistencia natural al glifosato tienen en común la expresión diferenciada del gen 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa, o variaciones (mutaciones) en la secuencia aminoacídica de esta proteína, por ejemplo, Asp71Met, Ala112Ile y Val201Met, en comparación con más de 200 secuencias de aminoácidos descritas para otras especies vegetales.

Uso indiscriminado de herbicidas

Se ha reportado que los grupos de mayor uso a nivel mundial son los herbicidas: plaguicidas utilizados para el control de plantas, principalmente aquellas que crecen asociadas a los cultivos agrícolas o arvenses, que comúnmente se les llama “malezas”, aunque cumplen un papel fundamental dentro de los sistemas de producción agrícola. Normalmente los herbicidas se usan debido a la competencia por varios factores de producción (agua, espacio, luz, nutrientes) al que se exponen los cultivos con las plantas que espontáneamente crecen junto con ellos y que pueden reducir la productividad y calidad de los productos agropecuarios. También se han utilizado en zonas no agrícolas como una forma de mantener “limpios” bordes de carreteras, de vías férreas y otras áreas. Uno de los usos recientes de los herbicidas ha sido en sistemas de mínima labranza donde, especialmente el glifosato, se usa para eliminar la vegetación después de la cosecha o antes de la siembra de pastos o cultivos. Una planta que crece en un lugar o en un momento no deseado, se le considera maleza.

El herbicida glifosato tiene una acción total o no selectiva, lo que significa que tiene la capacidad de matar todo tipo de plantas, tanto de hoja angosta como de hoja ancha; es de acción foliar (no se absorbe por las raíces, sino por la hojas) por lo que su aplicación es de tipo emergente.



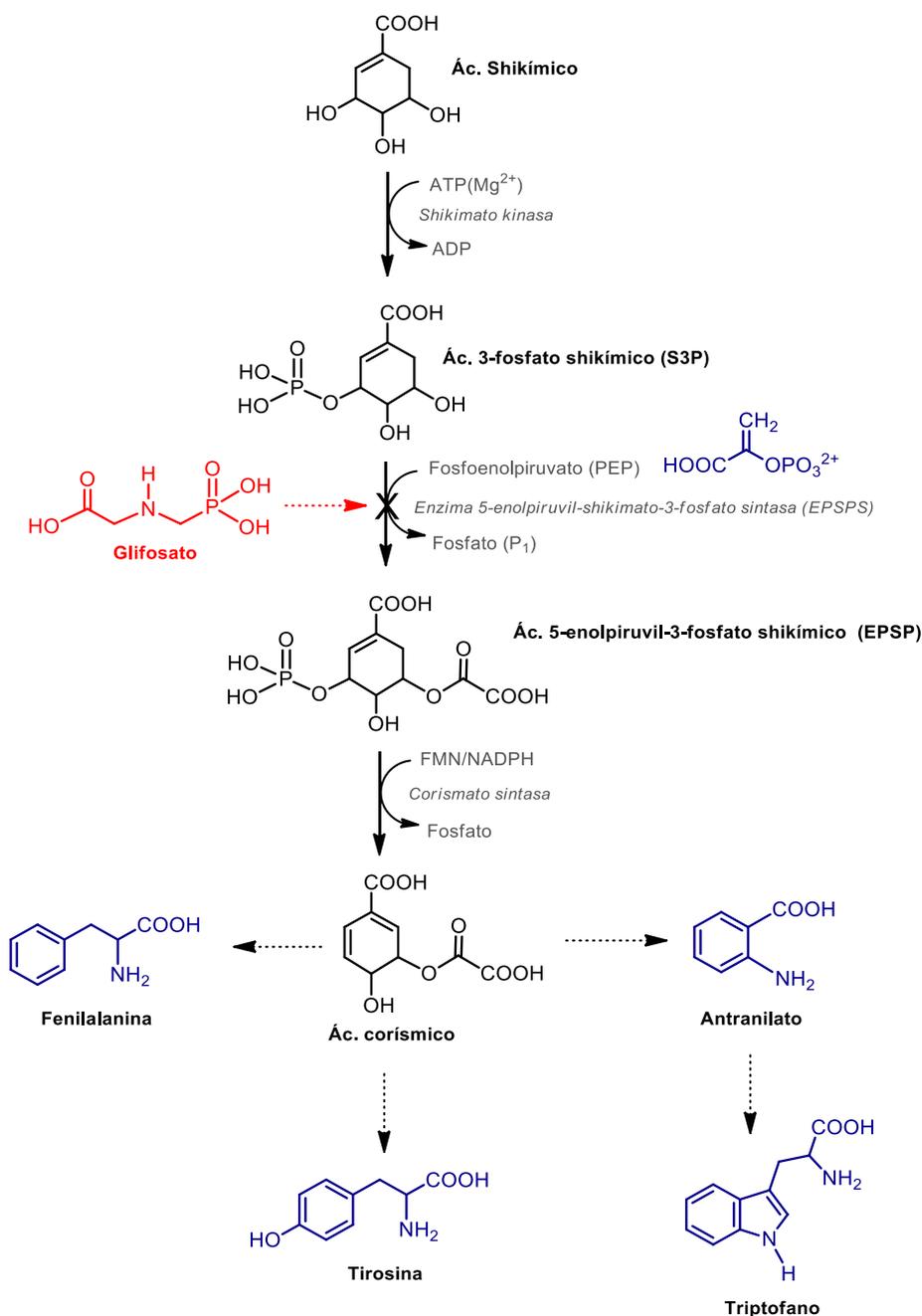
Problemática en torno al glifosato y subproductos

En la actualidad las actividades agrícolas dependen en gran medida del uso de herbicidas a base de glifosato, el consumo global de estos productos se ha multiplicado cien veces desde la década de los 90's, debido en parte, a la introducción de cultivos genéticamente modificados y, por otro lado, a la demanda de productos agrícolas en las cadenas de suministro. Sin embargo, sólo una parte del componente activo sirve para las necesidades reales, y la mayor parte termina en el ambiente, lo que pone en peligro la salud animal y humana. Por otra parte, diversos estudios se han enfocado en la toxicidad del ácido aminometilfosfónico (AMPA) principal metabolito de la degradación del glifosato. Este componente ha sido encontrado en diversas muestras por bioacumulación en agua, suelo, alimentos y en mamíferos, comprendiendo que su presencia en el ambiente es tan importante como la del glifosato. De acuerdo con las investigaciones recientes, aproximadamente el 30% de las tierras de cultivo del mundo están contaminadas en niveles bajos con glifosato, mientras que el 93% de las tierras de cultivo del mundo están contaminadas con AMPA. A pesar de que el glifosato es muy eficiente para eliminar el crecimiento no deseado de malezas (a través de la inhibición del sexto paso de la vía del shikimato, esquema 1), no obstante cada vez hay más evidencia que sugiere múltiples riesgos y consecuencias para el ambiente y salud humana, por ello se teme que esto podría extenderse mucho más allá, a pesar de una constante lucha de las diferentes organizaciones que están a favor y en contra del uso de este herbicida por su potencial daño a la salud.

Persistencia e impacto ambiental del glifosato

Otro efecto negativo del uso de herbicidas es la liberación en aguas superficiales, lo que puedes ocasionar problemas en los ecosistemas acuáticos, además al producirse agua potable a partir de aguas superficiales, se han detectado con frecuencia distintos plaguicidas, así como diversos metabolitos (glifosato, ampa, diurón e isoproturón).

La Unión Europea establece como estándar legal para todos los plaguicidas y sus metabolitos en el agua que se utilizará para la producción de agua potable el 0.1 µg/L y el Nivel Máximo de Riesgo Admisible (NMRA) en aguas superficiales para el glifosato menor a 77 µg/L. Estudios realizados en sistemas de alcantarillado sugieren que la contaminación de estas aguas por glifosato es esencialmente de origen urbano (aplicaciones viales y ferroviarias). El glifosato se introduce a las aguas superficiales predominantemente a través del alcantarillado pluvial durante un evento de lluvia. De esta forma, los usos suburbanos de herbicidas pueden poner en grave peligro la producción de agua potable a partir de agua de los ríos.



Esquema 1. Vía del shikimato que conduce a la biosíntesis de aminoácidos aromáticos y modo de acción del glifosato en la reacción catalizada por EPSPS.

Un estudio realizado en el 2008 en los Estados Unidos, indica que las concentraciones de plaguicidas en los ríos y lagos superan con frecuencia el objetivo de calidad de 0,1 $\mu g/L$ para las aguas superficiales. Así mismo, en Estados Unidos de Norteamérica las concentraciones de plaguicidas fueron generalmente más altas, y el



número de compuestos fue generalmente mayor en ríos y aguas subterráneas. Al analizar el metabolismo del glifosato en suelo y agua, se demuestra que la degradación completa y rápida del glifosato ocurre en el suelo y/o el agua microbiológicamente y no por acción química. La presencia del metabolito ácido aminometil fosfónico (AMPA) se relacionó con la carga de glifosato más que con la entrada de detergente a través de las aguas residuales municipales. La desaparición observada del glifosato fue más rápida que la desaparición del diurón, lo que indica una menor persistencia.

En otro estudio realizado en Francia en el 2006, se observó que al analizar la carga de plaguicidas no agrícolas se señala que las vías de entrada de plaguicidas a las aguas receptoras se relacionaron tanto con la escorrentía superficial como con el paso subterráneo y se ha confirmado la extensión de la contaminación agrícola de fuentes difusas, demostrando que los acuíferos drenados por algunos ríos en París están contaminados. Además, el dicho estudio concluye que las masas de agua dulce de todo el mundo que atraviesan zonas agrícolas o urbanas están expuestas a mezclas de xenobióticos. En particular, los plaguicidas suelen formar parte de estas mezclas y podrían entrar en contacto directo o indirecto con la biota y, por lo tanto, los organismos tienen que hacer frente a este escenario alterado y a los efectos perjudiciales de estas sustancias.

Citotoxicidad de herbicidas que contienen glifosato como ingrediente activo

En las últimas décadas, han surgido preocupaciones sobre el impacto del glifosato en la salud humana y el ambiente. Si bien el glifosato es aclamado por su eficacia para eliminar el crecimiento no deseado de plantas al actuar sobre la enzima enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa la cual está estrechamente relacionada con la producción de aminoácidos aromáticos como la alanina, tirosina y fenilalanina en la vía shikimato. No obstante, cada vez hay más evidencia que sugiere que sus consecuencias podrían extenderse mucho más allá, a pesar de una constante lucha de las diferentes organizaciones que están a favor y en contra del uso de este herbicida por su potencial daño a la salud.

Una investigación utilizando un modelo de células sanguíneas humanas reveló que el glifosato por sí solo causa daño genotóxico. Además, se observó que el uso de adyuvantes aumenta este tipo de daño, uno de los argumentos usados para la defensa de este herbicida fue que quienes ocasionaban el daño eran los adyuvantes, a pesar de esto existen formulaciones a base de glifosato que son potencialmente más tóxicas debido a que aumentan el daño por medio del estrés oxidativo, formación de micronúcleos y rupturas cromosómicas, además el metabolismo de los xenobióticos tiende a la formación de intermediarios altamente reactivos que a menudo se encuentran en forma de radicales. En campo, el manejo de las concentraciones indicadas o medidas de seguridad, pueden no ser usadas lo cual aumenta potencialmente el riesgo en las



personas que lo emplean.

A nivel molecular el daño genotóxico engloba a todas las alteraciones o mutaciones dañinas que ocurren en el material genético de un organismo, principalmente en el ADN. Este daño puede provocar cambios en la secuencia de nucleótidos, lo que puede ocasionar mutaciones genéticas, anomalías cromosómicas u otros cambios estructurales en el genoma.

Daño renal ocasionado por el uso de glifosato

Diversas investigaciones han sugerido un posible vínculo entre la exposición al glifosato y el daño renal. Los riñones desempeñan un papel vital en la filtración de toxinas y productos de desecho del torrente sanguíneo, la regulación de los electrolitos y el mantenimiento del equilibrio general de líquidos en el cuerpo. Por medio de análisis integrales de herbicidas y de los metabolitos que se producen una vez que entran al cuerpo humano se tiene el conocimiento que estos están asociados a enfermedades como la enfermedad renal crónica de etiología desconocida (CKDu). Por otra parte, la exposición prolongada o excesiva al glifosato puede provocar daño renal, perjudicando la función del órgano y potencialmente causando complicaciones de salud graves como la enfermedad crónica renal. Se han realizado estudios en modelos de ratones, entre los principales hallazgos a nivel renal se encuentran glomérulos fragmentados, células epiteliales necróticas y dilatación tubular, inflamación, necrosis tubular proximal, infiltración de células mononucleares y necrosis tubular distal.

El glifosato y su relación como agente cancerígeno

Las mutaciones del ADN pueden provocar el desarrollo de cáncer y otras enfermedades. En el contexto del cáncer, las mutaciones en determinados genes, como los genes supresores de tumores o los oncogenes, pueden provocar un crecimiento celular descontrolado y la formación de tumores. Estudios recientes han detectado una afección denominada linfoma de Hodgkin en personas expuestas al glifosato en los Estados Unidos de Norte América, Canadá y Suecia, no obstante, a pesar de la evidencia aún se desconoce el mecanismo de acción exacto del glifosato para el desarrollo de esta enfermedad. Por otro lado, en modelos animales se han encontrado indicios de hemangiosarcoma, adenoma de células de los islotes pancreáticos, así como tumores en la piel de ratones. Los cuales solo representan una parte de los estudios realizados y que tuvieron mayor peso para la clasificación del glifosato en la categoría de “probablemente cancerígeno” por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.

En otro estudio empleando ratones y proteómica se identificaron una serie de proteínas asociadas a procesos como la apoptosis y la inhibición del crecimiento, respuestas antioxidantes, etc. algunas proteínas como la cal ciclina, la calgranulina-B, las cuales muestran indicios de funcionar como posibles biomarcadores de carcinogénesis



en piel de ratones, lo que posiciona al glifosato como un promotor de tumores. Por otro lado, un estudio realizado de forma crónica por 24 meses usando Roundup® y un modelo animal de ratas hembras y machos, se pudo encontrar un aumento en la formación de tumores de los grupos que fueron expuestos, recalando una mayor incidencia de tumores mamarios en las hembras. Se ha reportado en un modelo de células T47D que el glifosato puede ser un disruptor endocrino asociado a cáncer de mama y que por lo tanto cuenta con actividad estrogénica. En otra investigación robusta y empleado diversos estudios donde evaluaron el potencial del glifosato como cancerígeno utilizando modelos estadísticos, encontraron correlación en la formación de diversos tipos tumorales desde hemangiosarcomas, tumores renales, linfomas malignos, adenomas renales, adenomas hepáticos, queratoacantomas cutáneos y basales cutáneos, por mencionar algunos.

Efectos generales del glifosato en la salud humana

De acuerdo con algunas investigaciones, se han observado daños en sangre periférica humana de células mononucleares (PBMC). De acuerdo con el estudio el Roundup 360 PLUS®, glifosato y el ácido aminometilfosfónico (AMPA) indujeron daño oxidativo a purinas y pirimidinas, causando lesiones en las bases del ADN con concentración de 5 μM , 250 μM y 500 μM , respectivamente. Además, se informa que Roundup 360 PLUS® (incluso en una concentración 50 veces menor que la del glifosato) causó la mayor daño a purinas y pirimidinas, seguido por glifosato y AMPA. Así mismo, estas sustancias aumentaron el nivel de las especies reactivas de oxígeno (ROS, incluido $\bullet\text{OH}$) en las PBMC. Estudios realizados en el año 2021, ofrecen un respaldo limitado a la decisión del Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC por sus siglas en inglés) de clasificar al glifosato como carcinógeno humano del Grupo 2A.

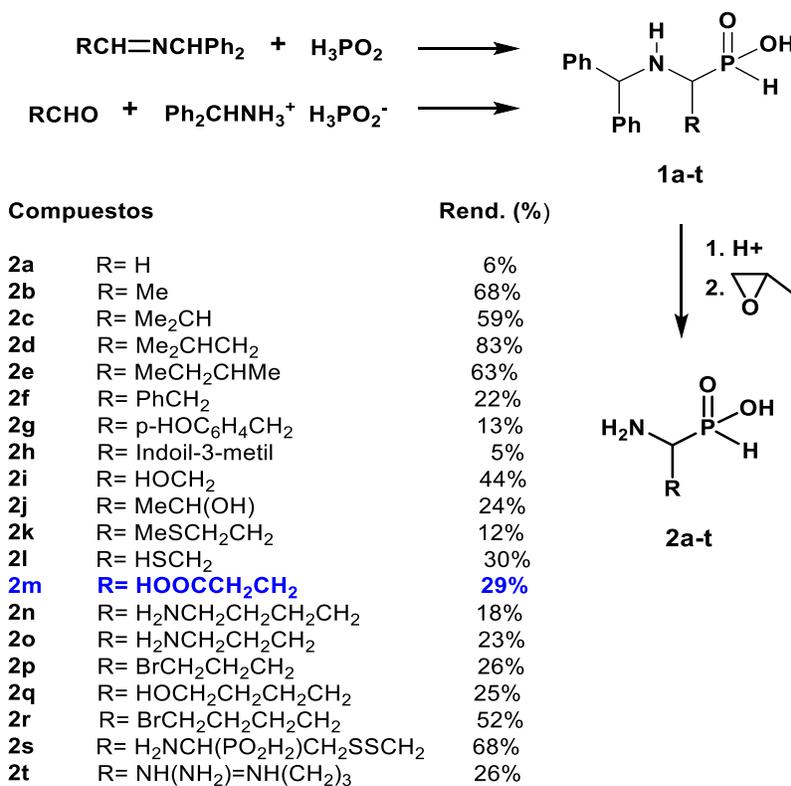
Distintos autores mencionan que no se observa ninguna asociación entre el glifosato y ningún tumor o neoplasia maligna linfoide en general, incluido el linfoma no Hodgkin (LNH) y sus subtipos. Hay cierta evidencia de un mayor riesgo de leucemia mieloide aguda entre los grupos más expuestos, sin embargo, se requiere de confirmación adicional que sustente dicha evidencia. Un estudio sobre cáncer de endometrio empleando células de Ishikawa las cuales fueron expuestas a glifosato (0,2 μM y 2 μM) o 17 β -estradiol (E2). Detecto que el glifosato aumentó la capacidad de migración e invasión celular en comparación con el vehículo, al igual que E2. Además, se determinó una regulación negativa de la expresión del ARNm de E-cadherina en respuesta al glifosato, similar a los efectos de E2. Estos resultados muestran que el glifosato promueve cambios relacionados con la transición mesenquimatosa epitelial (EMT) en las células de Ishikawa. Cuando se coadministró un antagonista del receptor de estrógenos (ER) (Fulvestrant: 10 -7 M) con glifosato, todos los cambios se revirtieron,



lo que sugiere que el glifosato podría promover cambios relacionados con la EMT a través de la vía dependiente de ER. Los resultados son evidencias interesantes de los efectos de glifosato en la progresión del cáncer de endometrio a través de la vía dependiente de ER.

Nuevos herbicidas a partir de ácidos aminofosfónicos

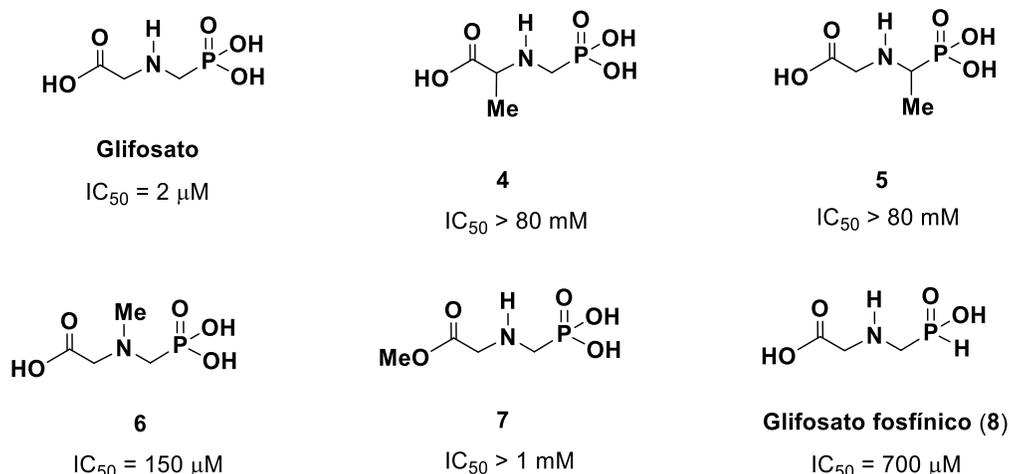
En años recientes se han desarrollado múltiples estudios en torno a la citotoxicidad del glifosato, sin embargo, son pocas las investigaciones que se han centrado en la obtención de nuevos derivados que puedan ser utilizados como herbicidas no sistémicos. En 1988 un grupo de investigadores desarrollaron la síntesis de ácidos aminoalquilfosfónicos a partir de la reacción entre aldehídos y bencilidrilamina para generar la imina correspondiente y posteriormente a través de la adición de ácido hipofosforoso generaron los compuestos organofosforados. Finalmente, mediante una hidrólisis seguida del tratamiento con óxido de propileno obtuvieron 20 ácidos α -aminofosfónicos con rendimientos globales del 5 al 83%. Desafortunadamente, solo obtuvieron un compuesto derivado *beta* del glifosato, con un rendimiento global 29%, lo que hace que esta ruta de síntesis sea poco eficiente (esquema 2).



Esquema 2. Derivados de ácidos α -aminofosfónicos (el compuesto 2m es un análogo beta del glifosato).



De igual forma, otro grupo de investigación sintetizó varios derivados del glifosato y probaron su actividad como inhibidores de EPSP sintasa en *E. coli* mediante la vía del shikimato, como resultado, observaron que la sustitución en las posiciones alfa del grupo carboxílico y fosfónico, disminuyeron significativamente la concentración inhibitoria media (IC_{50}), pasando de un $IC_{50} = 2 \mu M$ para el glifosato a un $IC_{50} > 80 \text{ mM}$ para sus compuestos. Además, Sikorski observó que el glifosato N-metilado demostró tener una actividad mayor ($IC_{50} = 150 \mu M$) que otros compuestos, sin embargo, esto podría deberse a una contaminación cruzada con el glifosato libre (no metilado). Para el éster metílico del glifosato, sucede un caso similar, ya que este compuesto podría tener un remanente de glifosato el cual podría justificar el $IC_{50} > 1 \text{ mM}$. Finalmente el análogo fosfínico del glifosato presentó un $IC_{50} = 700 \mu M$, lo que indica que este compuesto actúa moderadamente sobre la enzima EPSPS, sin tener el problema de contaminación cruzada con remanente de glifosato, debido a que este compuesto se obtiene por una ruta sintética libre de ácido fosfónico (esquema 3).



Esquema 3. Derivados de glifosato y el análogo fosfínico del glifosato.

Conclusión

A pesar de los múltiples estudios a favor y en contra del uso de herbicidas que contienen glifosato como principio activo en cualquiera de sus sales o de sus presentaciones, se tiene que reconocer la importancia del herbicida a nivel mundial para garantizar el abasto de materias primas en las líneas de consumo humano, ya sea en granos, verduras, frutos e insumos. Sin embargo, es imperante el conocimiento sobre los múltiples daños que ocasiona el uso del glifosato al ambiente y la salud humana. Por ello, es necesario buscar alternativas que mitiguen o en el mejor de los casos que eliminen al glifosato de las cadenas de suministro, para lograrlo, diversas investigaciones se han centrado en el



desarrollo de nuevas tecnologías y formulaciones que puedan presentarse como una alternativa agroecológica, natural y sostenible para el beneficio ambiental, social, económico y primordialmente al beneficio de la salud humana.

Referencias

- Alvarez-Moya, C. & Reynoso-Silva, M. (2023). Assessment of genetic damage induced via glyphosate and three commercial formulations with adjuvants in human Blood Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4560-4568. <https://doi.org/10.3390/ijms24054560>.
- Andreotti, G., Koutros, S., Hofmann, J. N., Sandler, D. P., Lubin, J. H., Lynch, C. F., Lerro, C. C., De Roos, A. J., Parks, C. G., Alavanja, M. C., Silverman, D. T. & Beane Freeman, L. E. (2018). Glyphosate Use and Cancer Incidence in the Agricultural Health Study. *Journal of the National Cancer Institute*, 110(5), 509–516. <https://doi.org/10.1093/jnci/djx233>.
- Anifandis, G., Katsanaki, K., Lagodonti, G., Messini, C., Simopoulou, M., Dafopoulos, K. & Daponte, A. (2018). The Effect of Glyphosate on Human Sperm Motility and Sperm DNA Fragmentation. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 1117-1124. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061117>.
- Baylis, E. K., Campbell, C. D. & Dingwall, J. G. (1984). 1-Aminoalkylphosphonous Acids. Part 1. Isosteres of the Protein Amino Acids, *Journal of the chemical society, Perkin Transactions 1*, 2845-2853. <https://doi.org/10.1039/P19840002845>.
- Benbrook, C. M. (2019). How did the US EPA and IARC reach diametrically opposed conclusions on the genotoxicity of glyphosate-based herbicides? *Environmental Sciences Europe*, 31(2), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0184-7>.
- Bolognesi, C., Bonatti, S., Degan, P., Gallerani, E., Peluso, M., Rabboni, R., Roggieri, P. & Abbondandolo, A. (1997). Genotoxic Activity of Glyphosate and Its Technical Formulation Roundup. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(5), 1957-1962. <https://doi.org/10.1021/jf9606518>.
- Davoren, M. J. & Schiestl, R. H. (2018). Glyphosate-based herbicides and cancer risk: a post-IARC decision review of potential mechanisms, policy and avenues of research. *Carcinogenesis*, 39(10), 1207–1215. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgy105>.
- De Roos, A. J., Zahm, S., Cantor, K., Weisenburger, D., Holmes, F., Burmeister, L. & Blair, A. (2003). Integrative assessment of multiple pesticides as risk factors for non-Hodgkin's lymphoma among men. *Occupational and Environmental Medicine*, 60(9), e11, 1-9. <https://doi.org/10.1136/oem.60.9.e11>.



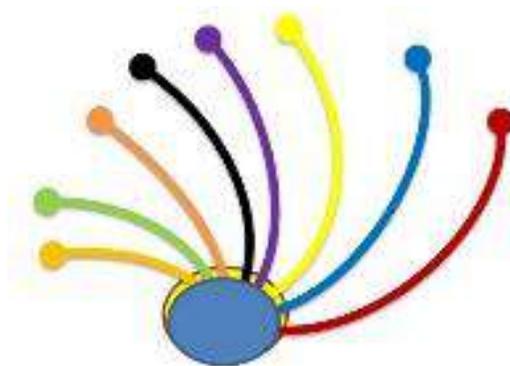
- Gastiazoro, M. P., Durando, M., Milesi, M. M., Lorenz, V., Vollmer, G., Varayoud, J. & Zierau, O. (2020). Glyphosate induces epithelial mesenchymal transition-related changes in human endometrial Ishikawa cells via estrogen receptor pathway. *Molecular and cellular endocrinology*, 510, 110841-110848.
<https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110841>.
- George, J., Prasad, S., Mahmood, Z. & Shukla, Y. (2010). Studies on glyphosate-induced carcinogenicity in mouse skin: A proteomic approach. *Journal of Proteomics*, 73(5), 951-964.
<https://doi.org/10.1016/j.jprot.2009.12.008>.
- Guyton, K. Z., Loomis, D., Grosse, Y., Ghissassi, F. E., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Scoccianti, C., Mattock, H. & Straif, K. (2015). Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology*, 16(5), 490-491.
[https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)70134-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70134-8).
- Knowles, W. S., Anderson, K. S., Andrew, S. S., Phillion, D. P., Ream, J. E., Johnson, K. A. & Sikorski, J. A. (1993). Synthesis & Characterization of N-Amino-Glyphosate as a Potent Analog Inhibitor of E. Coli. EPSP synthase. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 3(12), 2863-2868.
[https://doi.org/10.1016/S0960-894X\(01\)80780-0](https://doi.org/10.1016/S0960-894X(01)80780-0).
- Marino, M., Mele, E., Viggiano, A., Nori, S. L., Meccariello, R., & Santoro, A. (2021). Pleiotropic Outcomes of Glyphosate Exposure: From Organ Damage to Effects on Inflammation, Cancer, Reproduction and Development. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(22), 12606-12629.
<https://doi.org/10.3390/ijms222212606>.
- Martins-Gomes, C., Silva, T. L., Andreani, T. & Silva, A. M. (2022). Glyphosate vs. Glyphosate-Based Herbicides Exposure: A Review on Their Toxicity. *Journal of xenobiotics*, 12(1), 21–40.
<https://doi.org/10.3390/jox12010003>.
- Rajapaksha, H., Pandithavidana, D. R. & Dahanayake, J. N. (2021). Demystifying Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology (CKDu): Computational Interaction Analysis of Pesticides and Metabolites with Vital Renal Enzymes. *Biomolecules*, 11(2), 261-292.
<https://doi.org/10.3390/biom11020261>.
- Ramula, S., Kalske, A., Saikkonen, K. & Helander, M. (2022). Glyphosate residues in soil can modify plant resistance to herbivores through changes in leaf quality. *Plant biology (Stuttgart, Germany)*, 24(6), 979–986.
<https://doi.org/10.1111/plb.13453>.
- Thongprakaisang, S., Thiantanawat, A., Rangkadilok, N., Suriyo, T. & Satayavivad, J.



- (2013). Glyphosate induces human breast cancer cells growth via estrogen receptors. *Food and Chemical Toxicology: An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 59, 129-136.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.057>.
- Vandi-Tizhe, E., Dogon-Giginya-Najume, I., Yakasai-Fatih, M., Igbokwe-Ikechukwu, O., Butcher-Danladi, J. G., Suleiman-Folorunsho, A. & Shallangwa-Mallum J. (2014). Influence of zinc supplementation on histopathological changes in the stomach, liver, kidney, brain, pancreas and spleen during subchronic exposure of Wistar rats to glyphosate. *Comparative Clinical Pathology*, 23(5), 1535-1543.
<https://doi.org/10.1007/s00580-013-1818-1>.
- World Health Organization (WHO) & Food and Agriculture Organization (FAO) (2009). Pesticide Residues in Food 2009, Report of the Joint FAO/WHO Meeting of Expert. Geneva, Switzerland, 16-25 September 2009. FAO Plant Production and Protection Paper, No.196.
<https://www.fao.org/4/i1277e/i1277e00.htm>
- Zulet-González, A., Fernández-Escalada, M., Zabalza, A. & Royuela, M. (2019). Enhancement of glyphosate efficacy on *Amaranthus palmeri* by exogenous quinate application. *Pesticide biochemistry and physiology*, 158, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.04.004>.

Parásitos gastrointestinales en heces de perros en parques públicos: riesgo en salud pública

Francisco Méndez-Ortiz
Javier Ventura-Cordero
Juan Vargas-Magaña
Ángel Pérez-Roque





Introducción

En México, se estima que existe una población de alrededor de 23 millones de perros, 70% de ellos considerados como no domiciliados o comúnmente denominados como callejeros. Situación que pone a México, en el primer lugar en Latinoamérica con la mayor población de perros callejeros. Esta problemática se observa en el país, ya que no existen normas o programas oficiales que consideren la tenencia responsable de las mascotas (perros y gatos). Por otra parte, los métodos de control sobre la población de perros, debería de ser considerada una actividad que no sólo considere las campañas de control en perros, si no que incluya la cultura responsable y consiente sobre la tenencia de perros en los hogares mexicanos y se señala el riesgo que conlleva para la salud pública.

Los perros desempeñan actividades relacionadas con el ser, además de ser animales de compañía, son integrantes de la familia, puesto que brindan bienestar emocional. Por esta razón, en los últimos años se propone la estrategia de “Una sola salud” o “One health”, que trate de unificar la salud de forma integral. Los perros pueden ser portadores y transmisores de varias enfermedades, capaces de afectar al ser humano. Los profesionales de la salud, en medicina veterinaria y humana, resaltan la importancia de considerar las posibles enfermedades parasitarias comunes entre perros y humanos. La convivencia diaria y muy cercana con los humanos (Figura 1), propicia la posibilidad de que estas se presenten. Los parásitos gastrointestinales del perro pueden representar un posible riesgo para la salud de los humanos, puesto que son eliminados por las heces y pueden contaminar suelos de parques o sitios públicos donde se podrían ver afectados los humanos (niños, adultos, etc.).

Diversos estudios han demostrado el impacto que tienen los nematodos gastrointestinales en la salud pública, debido a las enfermedades que pueden ocasionarle al humano, tales como, larva migrans visceral (*Toxocara canis*) y larva migrans cutánea (*Ancylostoma spp.*), *Trichuris spp.*, entre otras. Este estudio tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre el diagnóstico, prevalencia y riesgo en la salud pública debido a la contaminación de sitios públicos con heces de perros infectados con parásitos gastrointestinales de importancia zoonótica.

Importancia veterinaria de las parasitosis en animales de compañía

La importancia de los nematodos gastrointestinales radica en la frecuencia con que se presentan y la morbilidad que ocasionan en los hospederos, a los que suelen afectar y causar daños. Como resultado de sus múltiples y altamente adaptadas formas de transmisión, los llamados nematodos redondos, dentro de estos *Ancylostoma spp.* y *Toxocara spp.*, son los helmintos más ampliamente distribuidos en las mascotas, con infecciones en humanos. Estos nematodos pueden infectar por diferentes rutas, por ejemplo: la ingestión de huevos larvados, hospederos paraténicos, por vías



transplacentaria, y lactógena. Si las mascotas, tienen libre acceso a la calle, o sitios de esparcimiento, como parques públicos o las plazas denominadas “pet-friendly”, pudieran representar un riesgo para la salud pública.



Figura 1. Ejemplificación de las interacciones y las interrelaciones entre los perros-humanos-parques (animales-hombre-medio ambiente). Fuente: Autoría propia.

La infección por nematodos gastrointestinales en perros puede no mostrar la signología clínica. Las parasitosis por la expulsión de las heces contaminadas con huevos de parásitos podrían ser la fuente de contaminación ambiental al diseminarse en los sitios públicos representando riesgo para las poblaciones de animales y humanos. Por lo que, es importante implementar calendarios de desparasitación que permitan el control de parasitosis de riesgo en salud pública.

Existe un gran número de especies parásitas que pueden afectar y encontrarse en los perros (*Canis lupus familiaris*). Estos pueden ser portadores y transmitir alrededor de 40 enfermedades infecciosas capaces de afectar a los humanos. A nivel mundial se han descrito 19 géneros de parásitos entéricos de perros, de los cuales el 73% tiene potencial zoonótico. Se pueden encontrar con mayor frecuencia nematodos como el *Ancylostoma caninum*, *Strongyloides stercoralis*, *Toxocara canis*, *Trichinella spiralis* y *Trichuris vulpis*.



Principales helmintos gastrointestinales en perros de riesgo en la salud pública

Con relación a *Toxocara* spp., es un parásito de distribución mundial y con potencial zoonótico, se indica que *Toxocara canis*, es uno de los agentes más altamente infeccioso asociado a síndromes (larva migrans ocular, larva migrans visceral y toxocariosis). El parásito adulto se localiza en el intestino delgado del perro, desde donde libera, huevos que contienen un cigoto, que pasan por medio de las heces al medio ambiente, son muy resistentes a condiciones medioambientales y que en condiciones apropiadas de humedad y temperatura sobreviven por mucho tiempo. Algunos reportes indican que más del 90% de los cachorros se podrían encontrar infectados.

Otro de los parásitos de riesgo para la salud pública, es *Ancylostoma caninum*, que suele alojarse en el intestino delgado de los hospederos y puede producir hasta 16,000 huevos por día, los cuales son expulsados por medio de las heces al exterior y podrían representar una fuente de contaminación para los hogares y sitios públicos. Las larvas de este parásito pueden sobrevivir en el medio ambiente hasta por tres semanas. Este parásito es muy común en perros alrededor del mundo y se han encontrado prevalencias del 20-60%. Un estudio en Uruguay reportó una prevalencia de hasta el 99%.

Trichuris spp. es considerado otro parásito de riesgo para la salud pública. Este se localiza en el ciego de los perros. Es común en las zonas en climas cálidos y húmedos. En perros que son llevados al servicio veterinario la prevalencia puede alcanzar el 20% mientras que en perros callejeros puede alcanzar el 40%. La infección en humanos con este parásito al igual que con *Ancylostoma* podría no manifestar síntoma alguno.

Métodos diagnósticos de helmintos en perros

Los métodos diagnósticos se basan principalmente en la signología clínica de los pacientes y la observación directa de los huevos de estos parásitos en las heces por medio de microscopía, diluyendo las heces fecales en solución salina fisiológica, y por métodos de flotación con soluciones saturadas (sal o azúcar). Los huevos de estos parásitos poseen estructuras características que permiten su identificación.

***Toxocara* spp.** Camadas de perros recién nacidos con signos pulmonares hace sospechar de la infección por estos nematodos, lo anterior acompañado de pruebas de laboratorio como el conteo de glóbulos blancos principalmente eosinofilia, así mismo como el aumento en la actividad enzimática de glutamato deshidrogenasa y alanina aminotransferasa que se encuentran principalmente durante la fase de migración larvaria. También se diagnostica con pruebas de ELISA de las cuales se reportan resultados alentadores, debido a que los niveles de anticuerpos se mantienen por varias semanas y la puesta en marcha de esta técnica podría mejorar el diagnóstico de este tipo de parasitosis.

***Ancylostoma* spp.** En el diagnóstico de este parásito se toman en cuenta signos clínicos



como la anemia ligera, algunos signos respiratorios, alteraciones de la piel y pérdida de apetito; siendo esta la más frecuente, aunque en fases agudas la anemia llega a ser severa y se acompaña de diarrea de color negro y signos respiratorios que coinciden con la migración larvaria. Sumado a lo anterior se realizan métodos coprológicos de flotación con solución saturada para la observación directa de los huevos. Debido a la confusión que puede existir entre los huevos de este nematodo y otras especies que afectan a los caninos se puede recurrir a cultivo de heces para la obtención de larvas que se pueden diferenciar mediante microscopía.

***Trichuris* spp.** La signología clínica no presenta valor diagnóstico en este parásito debido a que en la mayoría de los casos la infección se presenta como moderada y solo en infecciones agudas se llega a presentar diarrea mucosa con estrías de sangre acompañadas de anemia. Para complementar el diagnóstico se recurre a los análisis coprológicos directos que permiten observar a los huevos de este parásito con su forma característica de limón.

Riesgo para la salud pública

La convivencia y la ocupación del perro dentro del entorno familiar, ha propiciado que los perros sean la especie más utilizada como mascotas de acompañamiento. Sin embargo, el riesgo en salud pública existe debido a la estrecha convivencia entre el animal y el humano. Las enfermedades de origen zoonótico se comparten entre las mascotas y los propietarios o tutores. Los niños representan la población de mayor riesgo, dado que realizan varias actividades en los parques y jardines públicos. Por lo que los sitios públicos contaminados se convierten en lugares de riesgo para la salud del humano.

Los parásitos gastrointestinales pueden causar en los humanos diversas patologías a nivel de piel, tracto gastrointestinal, ojos y cerebro, y la fuente de infección se asocia normalmente al suelo de los sitios públicos donde los perros depositan sus heces. Entre las principales patologías que se transmiten de animales a humanos podemos citar a larva migrans en sus versiones cutánea, visceral y ocular, causado por larvas de *Ancylostoma* spp. y *Toxocara* spp. respectivamente.

En humanos la infección se adquiere, en la mayoría de los casos, por el contacto directo con larvas y la ingestión accidental de huevos embrionados de areneros, parques y lugares de recreación de animales de compañía, por otro lado estos huevos se pueden encontrar incluso en el pelaje de los perros especialmente los cachorros, además de la contaminación de vegetales y carnes poco cocidas.

Diversos estudios se han realizado a escala mundial, siguiendo la metodología de recolección y análisis de muestras de heces caninas en lugares públicos, como parques y jardines en busca de la presencia de huevos de parásitos nemátodos con potencial zoonótico y su prevalencia.



Europa. En las sociedades que han cuidado los aspectos de bienestar animal y que tienen los más altos estándares en cuidado de las mascotas como las ciudades europeas se ha encontrado contaminación de parques con heces de perros, lo que pone de manifiesto el riesgo en salud pública para las personas que visitan estos sitios y sobre todo la población infantil; en esta región las infecciones ocasionadas por *Toxocara* spp. van de 3.5% al 34% y estas variaciones se deben al medioambiente en el cual se desarrolla la infección, ya sea mascotas, perros ovejeros, callejeros y perros rurales. En estudios realizados en Lisboa, Portugal se reporta que los ancylostomidos es el grupo de parásitos con mayor prevalencia encontrándose con mayor frecuencia en los pastos, se reporta en menor cantidad el género *Toxocara* spp. Mientras que en la Isla de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife y Breslavia, el parásito con mayor prevalencia es *Toxocara* spp con un 37%. En Polonia, se recolectaron y analizaron muestras de heces de perros y el parásito con mayor prevalencia en ambos fue *Toxocara* spp con un 3.2% y *Ancylostoma caninum* 4.9%. Estudios realizados en Eslovaquia, reportaron prevalencias elevadas, teniendo la familia *Ancylostomatidae* con un 20.94% mientras que *Toxocara* spp en un 14.31%. Por su parte, reportan para la ciudad de Belgrado una prevalencia total de 21.7%, con prevalencia para los diferentes géneros de 12.26% para los ancylostomidos y 0.94% para *Toxocara* spp. y la principal fuente de contaminación fue el suelo de los parques.

Asia. En la ciudad de Sapporo, Japón, analizaron 107 muestras, que fueron recolectadas de areneros en parques públicos y como resultado, se obtuvo que el parásito nemátodo zoonótico más prevalente fue *Toxocara* spp.

Estados Unidos, Canadá y América Latina. En los países desarrollados se cuenta con un mayor número de estudios que demuestran el potencial zoonótico de las heces de perros en los parques y espacios de recreación de animales y humanos. En países como Estados Unidos se ha reportado que esta contaminación existe en diferentes ciudades. En un estudio donde se revisaron 288 parques de diferentes ciudades; se encontró que a pesar del uso de tratamientos y con servicios veterinarios el 20.7% de los perros fueron positivos a parásitos, de estos 7.1% fueron positivos a ancylostómidos, 0.6% a ascáridos; mientras que la contaminación de parques con cualquier tipo de parásito fue del 85%, donde los ancylostómidos representaron un 43.4% y ascáridos un 5.6%. Lo anterior refuerza el hecho de la contaminación cruzada en estos lugares de esparcimiento entre los perros que los visitan y la posibilidad de infección hacia los tutores de mascotas y personas que van a realizar actividades deportivas y recreativas, con especial atención a los niños que son la población con mayor riesgo por los hábitos de juego.

Por otro lado, en Canadá en un estudio realizado en Saskatoon se reportaron prevalencias del 4% total, de las cuales *Toxocara* spp. representó un 0.2% y los ancylostómidos un 0.4%. Mientras que el Cálgary en un estudio realizado en 9 parques



se reportó una prevalencia general de 50.2%, de la cual un 4.5% fue para los helmintos encontrándose prevalencias para ancylostómidos de 0.30% y 0.9% para *Toxocara*. En la ciudad de Edmonton en un estudio se muestrearon 50 parques públicos y se encontró que el 64% de las muestras eran positivas a parásitos gastrointestinales, los que presentaron mayor prevalencia fueron *Toxocara* con 58%; resaltando el hecho que las zonas con menor ingreso económico presentan los índices de contaminación más altos y que las razas involucradas en esta contaminación son los Golden y Labrador retriever. Existen revisiones que reportan prevalencias para las diferentes regiones de Canadá, en estas se pueden observar prevalencias para *Toxocara* en perros que van de 10% al 27%; mientras que para la zona central se reportan del 4% hasta el 34%, para la región oeste se reportan 4% hasta el 48%. Por otra parte al agrupar estos datos por el tipo de mascota se reporta un 12% de prevalencia para las zonas rurales, 8% para los perros que se encuentran en refugios y 0.3% para los perros domiciliados.

En Latinoamérica, también se ha registrado la presencia de parásitos gastrointestinales en perros. En una revisión y metaanálisis donde se analizaron 49 artículos que incluyen 2,508 parques y un total de 12,833 muestras fecales, donde se incluyeron estudios realizados en Perú, México, Brasil, Argentina, Chile, Bolivia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Paraguay y Uruguay, se reporta que existe una prevalencia general del 50% para huevos de *Toxocara* en parques, el país con la mayor prevalencia es Colombia con un 92%, seguido de Brasil con un 66%, Venezuela con 63%. Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de establecer políticas en materia de salud pública, debido a que existen condicionantes en estos países que agravan esta problemática como el índice mayor de pobreza. Otros estudios presentan prevalencias de huevos de nematodos colectados en parques y plazas públicas; como el realizado en la ciudad de La Molina, Lima donde se colectaron 131 muestras de parques públicos y se reportó a *Toxocara spp* en un 0.76%: Mientras que, en Chile, de 87 muestras colectadas se encontró en 12.4%. En otro trabajo de 452 muestras colectadas se reportó que *Toxocara spp* se hallaba en un 9.2%. Mientras que en otro trabajo realizado en Suba, Bogotá en Colombia se analizaron 1560 muestras de parques públicos, y la prevalencia de *Ancylostoma spp.* fue de 10.7% y *Toxocara spp.* 5.4%.

México. Se ha reportado la presencia de huevos de parásitos en parques públicos en las diferentes regiones del país. En el noroeste de una muestra de 236 parques públicos se reporta una prevalencia de 7.6% de parques positivos y se relaciona con la falta de cultura en la recolección de las heces de perros, y a la resistencia de este parásito a las condiciones ambientales.

En la parte centro del país en la ciudad de México se realizó un estudio en 5 parques públicos donde se tomó un total de 1,726 muestras de suelo donde se encontraron prevalencias que van desde el 14.5% hasta el 26.1% de contaminación. Las prevalencias



por género de parásito fueron las siguientes: *Ancylostoma* fue el parásito más prevalente con 23.7%, seguido de *Dipylidium* con 21.7% y se enfatiza el potencial de contaminación de los perros callejeros. En otro estudio se recolectaron y analizaron 2,374 muestras de heces en parques públicos en Toluca, registrando una prevalencia del 24.7% de *Toxocara spp.* Por su parte, en Metepec y Toluca, se obtuvo como resultado la presencia de *Ancylostoma spp.* en un 18.6% y *Toxocara spp.* en 13.9%.

En la zona sur de México, en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, se recolectaron muestras de materia fecal canina de 13 barrios, se detectó la presencia de huevos de *Toxocara canis* con un 19% de prevalencia, así mismo *A. caninum* con 18.5%; mientras que en el estado vecino, Oaxaca, en Puerto Escondido, en 180 muestras recolectadas de hábitats naturales, de zonas urbanas y suburbanas, se obtuvo como resultado que la presencia parasitaria fue de 47.78% de *Toxocara canis*, 17.88% de *Ancylostoma caninum* y 1.11% de *Trichuris vulpis*.

En la Península de Yucatán se han realizado diversos estudios. En Escárcega, Campeche se tomaron 270 muestras fecales en colonias de la ciudad donde el nematodo con mayor presencia fue *Ancylostoma spp.* con un 52.22%, seguido de *Toxocara canis* con 14.44% y por último *Trichuris vulpis* con un 9.25%. En muestras tomadas en parques y jardines de San Francisco de Campeche, se reportó la presencia *Ancylostoma caninum* en un 19% y *Toxocara canis* en un 6.25%.

En Yucatán, analizaron un total de 10,689 muestras de animales domésticos, de las cuales, 10,206 provinieron de animales que habitan en el estado de Yucatán y 483 procedieron de otros estados de la República Mexicana. Del total de muestras, 993 fueron de caninos analizadas con la finalidad de proporcionar información sobre la frecuencia de los parásitos gastrointestinales diagnosticados mediante exámenes de coproparasitoscópicos. El resultado obtenido destacó que el género *Ancylostoma* fue el más frecuente con un 37.36% en las muestras remitidas de caninos, siendo el género reportado como el parásito más frecuente en perros.

Conclusiones

La presencia de heces de perros en lugares públicos puede ocasionar un problema de la salud pública, debido a que se ha comprobado que estos presentan huevos de parásitos gastrointestinales, principalmente *Ancylostoma spp.*, *Toxocara spp.* y *Trichuris spp.*, los cuales pueden afectar tanto a otros cánidos, como a los humanos, principalmente a niños. Se ha observado que la prevalencia de estos parásitos es muy variable y depende de las condiciones medioambientales de cada lugar. Un factor que aumenta el riesgo es la falta de cultura de la gente para recoger las heces y depositarla en los contenedores adecuados para evitar contaminación ambiental. Es importante la concientización de los propietarios o tutores de cánidos sobre la tenencia responsable de mascotas.



Referencias

- Aguillón-Gutiérrez, D., Meraz-Rodríguez, Y., García-De-La-Peña, C., Ávila-Rodríguez, V., Rodríguez-Vivas, R.I. y Moreno-Chávez, M. (2021). Prevalencia de parásitos en heces fecales de perros de Gómez Palacio, Durango, México. *Abanico Veterinario*, 11:1–16. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2021.39>
- Alvarado-Borja, V., Valladares-Carranza, B., Ortega-Santana, C., Rivero-Pérez, N., Bañuelos-Valenzuela, R., Zaragoza-Bastida, A.,... Velázquez-Ordoñez, V. (2023). Infección por *Toxocara canis* y su importancia en la salud animal y en la salud pública: una revisión. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 11(2), 51–66. <https://doi.org/10.20453/stv.v11i2.5134>
- Bogunović, D., Dominiković, N., Jovanović, N., Nenadović, K., Kulišić, Z., Ilić, T., & Stević, N. 2022. Environmental contamination by parasites in public parks in Belgrade in the context of one health approach. *Acta Veterinaria*, 72(1), 30-44. <https://sciendo.com/pdf/10.2478/acve-2022-0003>
- Cadena, G.J. (2013). Estudio para la estimación de la población de perros callejeros en mercados municipales del Distrito Metropolitano de Quito. Tesis de Licenciatura, Universidad San Francisco de Quito. DMQ. Quito, Ecuador. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2692>
- Cortez, G., Jiménez, M., Gutiérrez, E. y Ortega, A. (2018). Stray dog population in a city of southern México and its impact on the contamination of public areas. *Veterinary Medicine International*, 2381583. <https://doi.org/10.1155/2018/2381583>
- Devera, R., Ytalia, B., Amaya, I., Nastasi, M.J., Rojas, G. y Vargas, B. (2014). Parásitos intestinales en habitantes de la comunidad rural “La Canoa”, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Rev Venez Salud Pública*. 2(1):15–21. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4769616.pdf>
- Encalada-Mena, L. A., Duarte-Ubaldo, E. L., Vargas-Magaña, J. J., García-Ramírez, M. J. y Medina-Hernández, R. E. (2011). Prevalencia de parásitos gastroentéricos de cánidos en la ciudad de Escárcega, Campeche, México. *Universidad y ciencia*, 27(2), 209-217. <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v27n2/v27n2a10.pdf>
- Hernández-Calva, M. L., Villalobos-Peñalosa, P., Cortés-Roldán, P., Montalvo-Aguilar, G. y Galaviz-Rodríguez, R. (2023). Determinación de los principales parásitos intestinales en perros de Unidades Habitacionales y Parques en Apizaco, Tlaxcala, México. *Revista Científica de la Facultad de Veterinaria*, 33(1). <https://scholar.archive.org/work/oeaxna7zejdw5ai5m636lkfokm/access/wayback/> <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/download/39624/44725/>
- Llanos, M., Condori, M., Ibáñez, T. y Loza-Murguía, M. (2010). Parasitosis entérica en caninos (*Canis familiaris*) en el área urbana de Coroico, Nor Yungas Departamento de La Paz, Bolivia. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 1(1), 38-49.



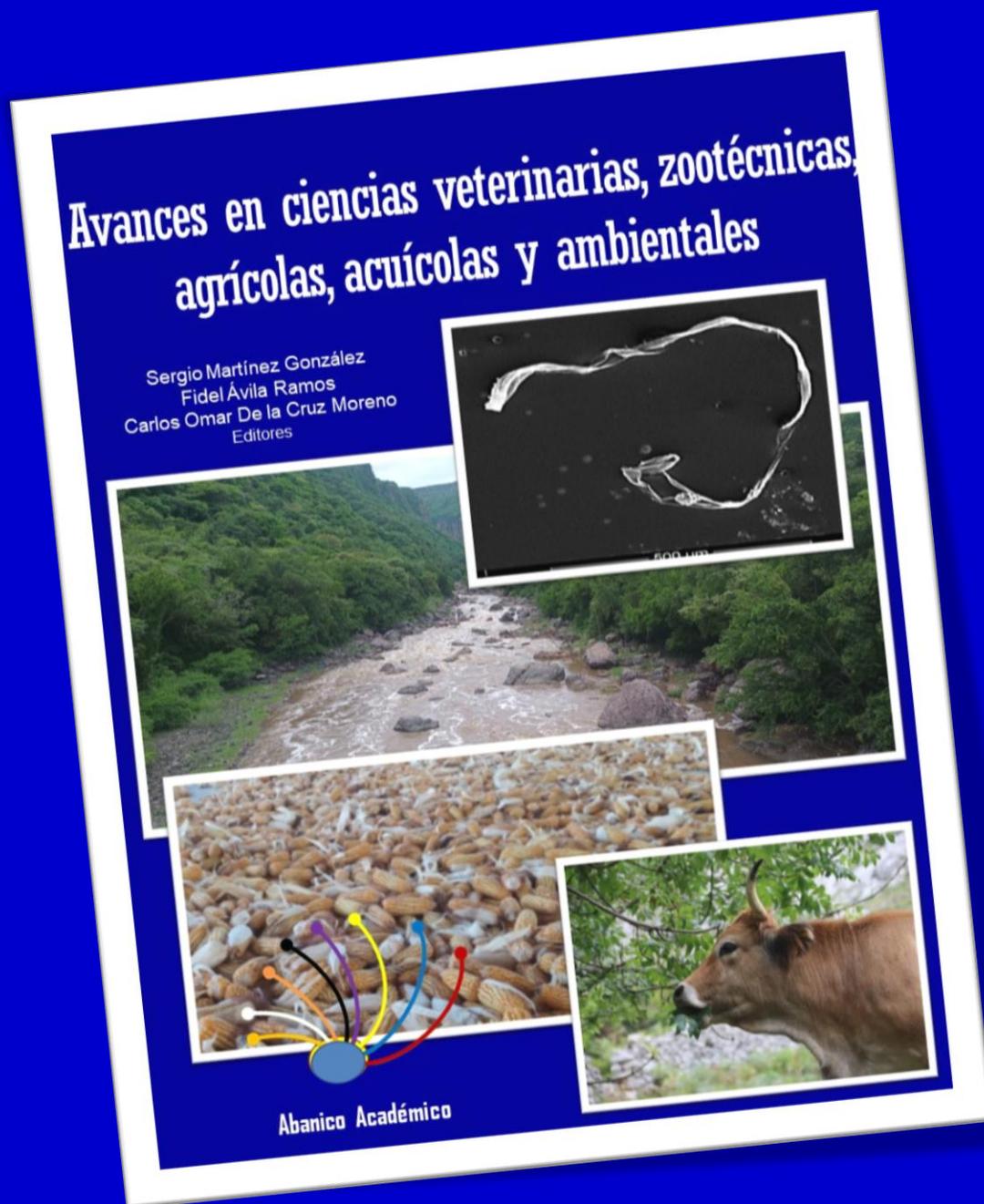
- http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942010000100005&lng=es&tlng=es.
- Luzio, A., Belmar, P., Troncoso, I., Luzio, P., Jara, A. & Fernández, I. (2015). Parasites of zoonotic importance in dog feces collected in parks and public squares of the city of Los Angeles, Bío-Bío, Chile. *Revista Chilena de Infectología*, 32(4), 403-407. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182015000500006>
- Maguiña, C., Soto, L., Egoavil, M. y Breña, P. (2004). Enfermedades de mascotas en humanos. Revisión actualizada. *Rev. Soc. Per. Med. Inter.* 17(1). <http://www.scielo.org.pe/pdf/rspm/v17n1/a04v17n1.pdf>
- Malca, C., Chávez, A., Pinedo, R. y Abad-Ameri, D. (2019). Contaminación con huevos de *Toxocara spp* en parques públicos del distrito de La Molina, Lima, y su relación con el programa de vigilancia sanitaria de parques y jardines. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), 848-855. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v30n2/a34v30n2.pdf>
- Matsuo, J. & Nakashio, S. (2005). Prevalence of fecal contamination in sandpits in public parks in Sapporo City, Japan. *Veterinary Parasitology*, 128(1-2), 115-119. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.11.008>
- Medina-Pinto, R.A., Rodríguez-Vivas, R.I. y Bolio-González, M.E. (2018). Nematodos Intestinales de perros en parques públicos de Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 38: 105-110. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3595>
- Morales, M., Soto, S., Villada, Z., Buitrago, J. y Uribe N. (2016). Helmintos gastrointestinales zoonóticos de perros en parques públicos y su peligro para la salud pública. *Rev CES Salud Pública*. 7 (2), 6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5757841>
- Morelli, S., Diakou, A., Di Cesare, A., Colombo, M. & Traversa, D. (2021). Canine and feline parasitology: analogies, differences, and relevance for human health. *Clin Microbiol Rev* 34:e00266-20. <https://doi.org/10.1128/CMR.00266-20>
- Naquira, C. (2010). Las zoonosis parasitarias: problema de salud pública en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 27, 494-497. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v27n4/a01v27n4.pdf>
- Overgaauw, P., Van Knapen, F., Overgaauw, P.A. & van Knapen F. (2013). Veterinary and public health aspects of *Toxocara spp* Europa. *Veterinary parasitology*, 193(4):398–403. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.12.035>
- Papajová, I. & Šoltys, J. (2019). Nematode infections spread in Slovakia, an European temperate region. In *Helminthiasis*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/67268>
- Peña, I., Vidal, F., Arnaldo del Toro, R., Hernández, A. y Zapata, M. M. (2017). Zoonosis parasitarias causadas por perros y gatos, aspecto a considerar en Salud Pública



- de Cuba. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(10), 1-11.
<https://www.redalyc.org/pdf/636/63653470002.pdf>
- Romero-Núñez, C., Yáñez-Arteaga, S., Mendoza-Martínez, G. D., Bustamante-Montes, L. P. & Ramírez-Duran, N. (2013). Contamination and viability of eggs of *Toxocara* spp. in soil and feces collected from public parks, streets and dogs in Toluca, Mexico.
http://www.fcv.luz.edu.ve/images/stories/revista_cientifica/2013/06/articulo2.pdf
- Rodríguez-Vivas, R. I., Cob-Galera, L. A. y Domínguez-Alpizar, J. L. (2001). Frecuencia de parásitos gastrointestinales en animales domésticos diagnosticados en Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 12(1), 19-25.
<https://www.revistabiomedica.mx/index.php/revbiomed/article/viewFile/253/265>
- Rubel, D. y Wisnivesky, C. (2010). Contaminación fecal canina en plazas y veredas de Buenos Aires, 1991-2006. *Medicina (Buenos Aires)*; 70(4):355–63.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802010000400010
- Salcedo-Garduño, M. G., Reyes-Velázquez, C., Galaviz-Villa, I., Castañeda-Chávez, M., Lango-Reynoso, F. y Dávila-Camacho, C. A. (2023). Presencia de formas parasitarias de importancia zoonótica en arena de playas que inciden en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Hidrobiológica*, 33(2), 223-230.
<https://doi.org/10.24275/hioo7870>
- Solarte-Paredes, L, Castañeda-Salazar, R. y Pulido-Villamarín, A. (2013). Parásitos gastrointestinales en perros callejeros del centro de zoonosis de Bogotá D.C., Colombia. *Neotropical Helminthol.* 7(1):25–31.
<https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/neohel/v7n1/pdf/a09v7n1.pdf>
- Toledo, C. I., de Armas Hernández, F., del Castillo Remiro, A., Morales, P. A., Barroso, J. E. P. & Hernández, B. V. (1994). La contaminación parasitaria de parques y jardines como problema de salud pública. Datos de la Isla de Tenerife. *Revista Española de Salud Pública*, 68(5), 617-622.
<https://recyt.fecyt.es/index.php/RESP/article/view/1414/1023>
- Villalobos, J. C. R. (2018). Animales y humanos, propuesta para Una Sola Salud. *Revista Ciencia*. abril-junio 2016.
https://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/67_2/PDF/Animales.pdf

Anexo

Información de los autores





Información de los autores

Sección 1: Medicina veterinaria.

Capítulo 1. **Proteínas recombinantes PLD y CP40, candidatos para vacunas y diagnóstico contra linfadenitis caseosa.**

Roberto Montes de Oca Jiménez^{1,2*}, María Carla Rodríguez Domínguez¹, Adriana del Carmen Gutiérrez Castillo³, Martha Elba Ruiz Riva Palacio², Mabel Gethsemani Jaimes González¹, José Antonio Ibancovich Camarillo³

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. km 15.5 Carretera Panamericana Toluca-Atlacomulco, Toluca, Estado de México, México, C.P. 50200.

²Plantel Sor Juana Inés de la Cruz. UAEM AMECAMECA. Universidad Autónoma del Estado de México. México. CP. 56900. ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. México. C.P. 50200.

romojimenez@yahoo.com*

mariacalarodriguezdominquez@gmail.com

acgutierrezc@uaemex.mx

prometeoruiz@hotmail.com

magejago28@gmail.com

jaibancovichic@uaemex.mx

Capítulo 2. **Anestésicos en aves.**

María Alejandra Valtierra Méndez¹, Fidel Ávila Ramos¹, Osmar Antonio Jaramillo Morales^{*2}, Carlos Omar De la Cruz Moreno³.

Departamento de Veterinaria y Zootecnia¹, Departamento de Enfermería², División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Irapuato-Silao km 9, Irapuato, Guanajuato, México. CP 36500. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit³.

ma.valtierramendez@ugto.mx

ledifar@ugto.mx

oa.jaramillo@ugto.mx*

carlosdelacruz@uan.edu.mx

Capítulo 3. **Compuestos farmacológicos de la miel y su efecto en las heridas.**

Ramona Guadalupe Hernández-Medina¹, Osmar Antonio Jaramillo-Morales², Ma. Eugenia Barreto-Arias², y Fidel Ávila-Ramos^{3*}

¹División Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Maestría en Biociencias, Campus Irapuato-Salamanca, 36500. Irapuato, Guanajuato, México. ²División Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Departamento de enfermería y Obstetricia Campus Irapuato-Salamanca, 36500. Irapuato, Guanajuato, México. ³División Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Campus Irapuato-Salamanca, 36500. Irapuato, Guanajuato, México.

¹rg.hernandezmedina@ugto.mx

²o.a.jaramillo@ugto.mx

mbarreto@ugto.mx

³ledifar@ugto.mx.



Capítulo 4. Islas de patogenicidad de *Corynebacterium pseudotuberculosis*.

Mabel Gethsemani Jaimes González¹, Roberto Montes de Oca Jiménez^{1, 2*}, Siomar de Castro Soares³, Martha Elba Ruiz Riva Palacio², Pedro Sánchez Aparicio¹, María Carla Rodríguez Domínguez¹.

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México. Km 15.5 Autopista de cuota Toluca - Atlacomulco. Toluca, Estado de México. México. C.P. 50200. ²Plantel Sor Juana Inés de la Cruz. UAEM AMECAMECA. Universidad Autónoma del Estado de México. ³Departamento de Microbiología, Inmunología y Parasitología, Universidad Federal del Triángulo Mineiro. Av. Frei Paulino, 30-Nossa Sra. Da Abadia, Uberaba. Minas Gerais, Brasil. CP.38052-180. romojimenez@yahoo.com*

Capítulo 5. Ecoepidemiología de *Protoparvovirus* carnívoro tipo 1, su relación con la parvovirus canina y felina en animales domésticos, y su impacto en poblaciones de carnívoros silvestres.

Jael Gómez-Ríos¹, Lizbeth Mendoza-González¹, Brenda Sandoval-Martínez¹; César Pedroza-Roldán¹; Rogelio Alonso-Morales³. Mauricio Realpe-Quintero^{1*}

¹Laboratorio de Investigación en Ciencias Animales, Departamento de Medicina Veterinaria, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México. C.P. 44600. ²Laboratorio de Inmunología Veterinaria, Departamento de Medicina Veterinaria, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México. C.P. 44600. ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. C.P. 04510. mrealpe@academicos.udg.mx*

Capítulo 6. Metabolitos en *Larrea tridentata* como potencial inhibidor bacteriano.

Renata Morales Márquez^{1*}, Lucía Delgadillo Ruiz¹, Alfredo Esparza Orozco¹, Carlos Meza López², Benjamín Valladares Carranza³, Rodrigo Flores Garivay⁴, Rómulo Bañuelos Valenzuela^{2**}

¹Unidad Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Zacatecas. moralesrenata3a@gmail.com

luciadelgadillo@uaz.edu.mx

alfredoesparzao@gmail.com

²Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas

carmezlop@yahoo.com.mx

romulob@uaz.edu.mx

³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México

benvac2014@gmail.com

⁴Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Baja California

rodrigo.flores.garivay@uabc.edu.mx

*Primer Autor: moralesrenata3a@gmail.com

**Autor de correspondencia: romulob@uaz.edu.mx



Capítulo 7. **La Hepatitis Entérica viral (HEV): ¿Riesgo zoonótico, ambiental, o factor debilitante?**

Gabriela Ramirez-Díaz^{1*}, Juan M. Macías-González^{1*}, Lizbeth G. Mendoza-González², Brenda Sandoval-Martínez², Tzintli Meraz-Medina³; Flor Rodríguez-Gómez⁴; Mauricio A. Realpe-Quintero^{2**}

¹ 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. ² Laboratorio de Investigación en Ciencias Animales, Departamento de Medicina Veterinaria, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México. ³ Departamento de Ciencias Básicas para la Salud, Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara, Ciudad Guzmán, Jalisco, México. ⁴ Departamento de Ciencias Computacionales, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.

gabriela.rdz@academicos.udg.mx

juanm.maciasg@academicos.udg.mx

lizbeth.mgonzalez@alumnos.udg.mx

brenda.smartinez@alumnos.udg.mx

tzintli.meraz@cusur.udg.mx

flor.rodriguez@academicos.udg.mx

**mrealpe@academicos.udg.mx

Sección 2: Zootecnia.

Capítulo 8. **Factores para considerar en la selección y manejo de la cerda de reemplazo hiperprolífica.**

Juan Romo-Valdez*, Laura Espinoza-Aguirre, Ignacio Peralta-Gómez, Jesús Portillo-Loera, Ana Romo-Valdez, Javier Romo-Rubio**

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Boulevard San Ángel S/N, Fracc. San Benito, 80246 Culiacán, Sinaloa. México. *Autor responsable: Romo-Valdez Juan; **autor de correspondencia: Romo-Rubio Javier; Boulevard San Ángel S/N, Fracc. San Benito, CP 80246, Culiacán, Sinaloa. México. Número de fax 6671181650.

*romo_14@hotmail.com

lauraezpinoza448@hotmail.com

nachovalenzuela08@hotmail.com

portillo6422@uas.edu.mx

e.ana.romo@uas.edu.mx

**romo60@uas.edu.mx

Capítulo 9. **Potencial biotecnológico de hongos aislados del bagazo de *Agave durangensis* en la industria pecuaria.**

Rocío Aidé Carrasco-Rubio¹, Elia Esther Araiza-Rosales², Gerardo Antonio Pámanes-Carrasco³, Daniel Sierra-Franco⁴, Rosa Bertha Rubio-Graciano⁵, Esperanza Herrera-Torres^{5*}

¹Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, ²CONAHCYT-UJED. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, ³CONAHCYT-UJED. Instituto Silvicultura y la Madera, ⁴Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de El Salto, ⁵Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana.



Capítulo 10. Aspectos relevantes en el uso de probióticos como promotores del crecimiento en producción animal

Tarsicio Medina-Saavedra*, Lilia Mexicano-Santoyo, Gabriela Arroyo-Figueroa, Emmanuel Pérez-Hernández, Juan Picazo-Ramírez

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, Guanajuato, México.

*tarsicioms@ugto.mx

l.mexicano@ugto.mx

g.arroyo@ugto.mx

emmanuelphdz33@gmail.com

picazoj136@gmail.com

Capítulo 11. Forrajes nativos como alternativa para la suplementación de conejos chinchilla

Saraí Ramírez-Morales¹, Litzzy Itzel Soto-Romano¹, Carlos Alberto García-Munguía², Miguel Alejandro Martínez-Jiménez³.

¹Instituto de Estudios Superiores de la Sierra, Plantel Zacapoaxtla, 73680, Zacapoaxtla, Puebla. ²Universidad de Guanajuato, División Ciencias de la Vida, 36500, Irapuato, Guanajuato. ³Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 44600, Zapopan, Jalisco.

mc.sarairamirez@gmail.com

litzysoto36039@gmail.com

cagamu@hotmail.com

Capítulo 12. Las fases de la Luna y su relación con eventos reproductivos.

Luís A. Saavedra-Jiménez¹, María B. Bottini-Luzardo^{1*}, Rosa I. Cortes Rojas¹, Krisma Julio Gatica¹, Heladio Moreno-Melo¹

¹Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2. Km. 197 Carretera Acapulco – Pinotepa Nacional. C. P. 41940. Cuajinicuilapa, Guerrero, México.

19188@uagro.mx

17906@uagro.mx*

hadita_rouse@hotmail.com

krisale_6991@hotmail.com

17340@uagro.mx

Capítulo 13. Caracterización de las principales regiones de producción de carne de bovino en México

Ricardo Avilés-Ruiz^{1*}, Oscar Guadalupe Barrón-Bravo¹, Rubén Darío Garza-Cedillo², Miguel Ruiz-Albarrán³, Filiberto Anzures-Olvera⁴

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CIRNE), Campo Experimental Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas; ² INIFAP-CIRNE, Campo Experimental Río Bravo, Río Bravo, Tamaulipas. ³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Cd. Victoria, Tamaulipas. ⁴INIFAP-CIRPAS, Campo Experimental Iguala, Iguala, Guerrero.

*Autor de correspondencia: aviles.ricardo@inifap.gob.mx

barron.oscar@inifap.gob.mx

garza.ruben@inifap.gob.mx

miguel.ruiz@docentes.uat.edu.mx

anzures.filiberto@inifap.gob.mx



Capítulo 14. Estrés calórico en ovejas de pelo lactando durante el verano en el trópico.

José Luis Ponce-Covarrubias^{1,3}, Maricela Ruiz-Ortega², Aurora Matilde Guevara-Arroyo¹, Julio César Gómez-Vargas³, Abdelfattah Zeidan Mohamed Salem⁴, Ethel Caterina García y González^{1*}

¹Escuela Superior de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 3, Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), Carretera Nacional Acapulco-Zihuatanejo, km. 106+900, Col. Las Tunas C.P. 40900, Técpan de Galeana, Guerrero, México. ²Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Avenida Universidad, km. 1 s/n Exhacienda Aquetzalpa, C.P. 43600, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 1, Maestría en Ciencias de la Producción Animal, Universidad Autónoma de Guerrero, Carretera Altamirano-Iguala, km. 3.5, Las Querendas, C.P. 40662, Ciudad Altamirano, Guerrero, México. ⁴Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerrillo Piedras Blancas, C.P. 50295 Toluca, Estado de México, México.

jlponce@uagro.mx

maricela_ruiz@uaeh.edu.mx

09972@uagro.mx

jpgovar@uagro.mx

salem@uaemex.mx

*17905@uagro.mx

Capítulo 15. Morera (*Morus nigra*) como complemento alimenticio de rumiantes.

Rómulo Bañuelos Valenzuela^{1*}, Lucía Delgadillo Ruiz^{2**}, Carlos Meza López¹, Norma Gaytán Saldaña², Benjamín Valladares Carranza³, María Isabel Chávez Rubalcaba²,

¹Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Zacatecas. Carretera Panamericana Fresnillo-Zacatecas s/n, Centro, CP. 98500 Víctor Rosales, Zacatecas, México.

romulob@uaz.edu.mx

carmezlop@yahoo.com.mx

²Unidad Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Zacatecas. Avenida preparatoria s/n colonia Hidráulica, CP. 98068, Zacatecas, Zacatecas, México.

luciadeldgadillo@uaz.edu.mx

gaytanangelica1@gmail.com

iasruv9si@uaz.edu.mx

³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

benvac2014@gmail.com

*Primer Autor: romulob@uaz.edu.mx

**Autor de correspondencia: luciadeldgadillo@uaz.edu.mx

Sección 3: Agricultura.

Capítulo 16. La importancia del beneficio en la calidad de las semillas para la agricultura.

Edgardo Bautista Ramírez^{1*}

¹Campo Experimental Centro Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno km 8, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. CP. 47600.

bautista.edgardo@inifap.gob.mx*



Capítulo 17. Micropropagación de portainjertos de aguacate como herramienta biotecnológica para el mejoramiento del cultivo.

Magali Ruiz-Rivas^{1*}, Flor de Fátima Rosas-Cárdenas², Luis Mario Tapia-Vargas¹, Anselmo Hernández-Pérez¹, Víctor Manuel Coria-Ávalos¹.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Uruapan, Av. Latinoamericana Número 1101, C.P 60150, Uruapan, Michoacán. ²Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac – Tepetitla, Km 1.5, C.P. 90700, Tlaxcala, Tlaxcala.

*ruiz.magali@inifap.gob.mx

Capítulo 18. Datos actuales en el cultivo de zarzamora y resultados de un proyecto estratégico en Michoacán.

Magali Ruiz Rivas^{1*}, Rosalba Lira Ortiz¹, Anselmo Hernández Pérez¹, H. Jesús Muñoz Flores¹, J. Trinidad Sáenz Reyes¹, Lorena Jacqueline Gómez Godínez².

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Uruapan, Av. Latinoamericana Número 1101, C.P 60150, Uruapan, Michoacán. ² Centro Nacional de Recursos Genéticos Blvd. de la Biodiversidad #400 Rancho las Cruces. Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

*ruiz.magali@inifap.gob.mx

Capítulo 19. *Dactylopius coccus* Costa: aplicación de su pigmento y cera en cosméticos.

Gabriela Arroyo-Figueroa*, Tarsicio Medina-Saavedra, Lilia Mexicano-Santoyo, María Isabel García-Vieyra, Jorge Gustavo Dzul-Cauich, Carlos Hernán Herrera-Méndez.

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, Guanajuato, México.

g.arroyo@ugto.mx*

Capítulo 20. Evaluación socioeconómica del impacto negativo de *Neopetalotiopsis rosae* en cultivos de fresa del estado de Michoacán.

Rosalba Lira-Ortiz^{1*}, Magaly Ruiz-Rivas¹, Anselmo Hernández-Pérez¹

¹Instituto Nacional de investigaciones, forestales, agrícolas y pecuarios (INIFAP) Campo Experimental Uruapan, Av. Latinoamericana Número 1101, C.P 60150, Uruapan, Michoacán.

*lira.rosalba@inifap.gob.mx

ruiz.magali@inifap.gob.mx

hernandez.anselmo@inifap.gob.mx

Capítulo 21. Maleza y su control en el cultivo de Nopal en México.

Susana Elizabeth. Ramírez-Sánchez^{1*}, José Luis. Arispe-Vázquez², Lesly Carnero-Avilés³, Miguel Ángel Valdez-Hernández⁴, José Francisco Rodríguez- Rodríguez⁵, Néstor Alberto Aguilera-Molina⁶

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C.E. Centro Altos de Jalisco, Av. Biodiversidad 2470, col. Rancho las Cruces, Tepatitlán de Morelos, Jalisco,

²INIFAP C.E Iguala Km 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan, Colonia Centro Tuxpan C.P. 40000, Iguala de la Independencia Guerrero, México. Centro Altos Jalisco ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km 2 Carretera Delicias-Rosales,

Poniente C.P. 33000, Ciudad Delicias Chihuahua, México. ⁴INIFAP-CIRNE-Campo Experimental Río Bravo, carretera Matamoros-Reynosa, km 61. C.P. 88900. Río Bravo,

Tamaulipas, México. ⁵INIFAP-CIRCE Campo Bajío. Carretera Celaya-San Miguel Allende km. 6.5. Celaya, Gto. ⁶Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Norman E. Borlaug, Ciudad Obregón, Sonora,

México.

*ramirez.susana@inifap.gob.mx | elyrasjoalney@gmail.com



Capítulo 22. Latencia en semilla de teocintle y sus implicaciones en la agricultura.

Martín Quintana-Camargo¹, Adriana Natividad Avendaño-López², Gilberto Rodríguez Pérez³, Juan Manuel Pichardo-González¹, Eulalia Edith Villavicencio Gutiérrez⁴, María Alejandra Torres-Tapia⁵

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP. ²Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. ³Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui, Av. Tecnológico, Block 611, Valle del Yaqui Bácum, Ciudad Obregón Sonora, México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C. E. Saltillo. ⁵Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Autor responsable: *Avendaño-López Adriana Natividad, **Autor de correspondencia: Quintana Camargo Martín, Centro Nacional de Recursos Genéticos del INIFAP. Blvd de la Biodiversidad No. 400. Rancho Las Cruces, CP 47600. Tel. 5538718700 Ext. 84839.

quintana.martin@inifap.gob.mx*
 adriana.avedano@academicos.udg.mx
 gilberto.rp@vyaqui.tecnm.mx
 pichardo.juan@inifap.gob.mx
 villavicencio.edith@inifap.gob.mx
 atorres_tapia@hotmail.com

Capítulo 23. Fermentación en estado sólido como medio para aumentar compuestos fenólicos en cereales.

Faviola Ortiz-Robledo^{1, 2}, Gerardo Antonio Pámanes-Carrasco¹, Elia Esther Araiza-Rosales^{3*}, Rafael Jiménez-Ocampo⁴.

¹Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Universidad Juárez del Estado de Durango. Boulevard del Guadiana, 501, Ciudad Universitaria, 34160, Durango, Durango, México. ²Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana/Tecnológico Nacional de México. Km. 22.5 Carretera Durango-México, Villa Montemorelos, 34371, Durango, Durango, México. ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Durango- Mezquital Km 11.5, 34307, Durango, Durango, México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. Km. 4.5 Carretera Durango- Mezquital. C.P.34170, Durango, Durango, México.

favior7@yahoo.com.mx
 gerardo.pamanes@gmail.com
 e_araiza2002@hotmail.com*
 rafax77@hotmail.com

Capítulo 24. Fertilización orgánica en la producción de forrajes.

Oscar Fabián Aguirre-Córdova¹, Gerardo Antonio Pamanes², Roberto Valencia Vázquez^{3*}, Elia Araiza Rosales⁴, Ixchel Abby Ortiz Sánchez⁵, Jorge Armando Chávez Simental⁶

¹Universidad Juárez del Estado de Durango - Doctorado Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales. ²CONACYT-UJED-Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Blvd. Guadiana #501-Ciudad Universitaria, C.P. 34120. ³ CONACYT-Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Durango, Blvd. Felipe Pescador #1830 Ote., C.P. 34080. ⁴ CONACYT-UJED-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Durango-El Mezquital km 11.5, C.P. 34170. ⁵Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, Carretera Durango-México Km. 22.5, Villa Montemorelos, C.P. 34160, ⁶ UJED-Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Blvd. Guadiana #501-Ciudad Universitaria, C.P. 34120. Durango. México.

fabian.cordova@ujed.mx | gerardopamanes@gmail.com
 roberto.valenciav@gmail.com*
 e_araiza2002@hotmail.com
 ixchel.os@vguadiana.tecnm.mx
 jorge.chavez@ujed.mx



Capítulo 25. **Parámetros de calidad del lixiviado en lombricomposta producida con estiércol de bovino.**

Faviola Ortiz-Robledo^{1, 2}, Gerardo Antonio Pámanes-Carrasco¹, Elia Esther Araiza-Rosales^{3*}, Rafael Jiménez-Ocampo⁴.

¹Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Universidad Juárez del Estado de Durango. Boulevard del Guadiana, 501, Ciudad Universitaria, 34160, Durango, Durango, México. ²Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana/Tecnológico Nacional de México. Km. 22.5 Carretera Durango-México, Villa Montemorelos, 34371, Durango, Durango, México. ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Durango- Mezquital Km 11.5, 34307, Durango, Durango, México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. Km. 4.5 Carretera Durango- Mezquital. C.P.34170, Durango, Durango, México.

favior7@yahoo.com.mx

gerardo.pamanes@gmail.com

e_araiza2002@hotmail.com*

rafax77@hotmail.com

Capítulo 26. **Impacto de los cultivos asociados en la mejora de la fertilidad del suelo y la producción de caña de azúcar.**

Juan Patishtan Pérez¹, Oscar Guadalupe Barrón-Bravo^{1*}, Zeferino Vicente-Hernández², Moisés Felipe-Victoriano¹.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CIRNE-INIFAP), Campo Experimental las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas; ²Prestador 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

Sección 4: Acuícola y Pesquera.

Capítulo 27. **Microplásticos y su relación con la microbiota de organismos acuáticos.**

Emmanuel Ortiz-Espinoza^{1,2}, Viridiana Peraza-Gómez^{2*}, José Vladimir Trejo-Flores³

¹Estancias Postdoctorales por México, ² Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Los Cocos- San Blas Km 12. CP.63740. Bahía Matanchén, Nayarit, México. ³Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad académica de Agricultura Carretera Tepic-Compostela Km 9, CP 63780. Xalisco, Nayarit, México.

emmanuel_ortiz@uan.edu.mx

viridiana.peraza@uan.edu.mx*

21000431@uan.edu.mx

Capítulo 28. **Monogéneos en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).**

Socorro M. Salgado-Moreno^{*1}, Carlos A. Carmona-Gasca¹, Sergio Martínez-González¹, Selene A. Noris-Oliveros¹, Katia G. Bermúdez-García¹. Martín Pérez-Solis¹

¹Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Medicina Veterinaria, Carretera Chapalilla-Compostela Km 3.1.

Autor de correspondencia: Socorro Marisa Salgado Moreno.

socorro.salgado@uan.edu.mx



Capítulo 29. Aspectos biológicos del chihuil prieto y anormalidad en la pigmentación.

J. Raúl Tapia-Varela¹, Carlos A. Romero-Bañuelos¹, Juan G. Casilla-Cueto², José T. Nieto-Navarro³, Raquel Enedina Medina-Carrillo⁴, Lesset del C. Ramos-Ramírez⁴

¹Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México. ²Unidad Académica de Medicina, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México. ³Unidad Académica Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México. ⁴Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas y Farmacéuticas, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México.

r.tapia@uan.edu.mx

romerobanuelos@uan.edu.mx

juan@uan.edu.mx

nieto@uan.edu.mx

raquel.medina@uan.edu.mx

lesset.ramos@uan.edu.mx

Sección 5: Ambiental.

Capítulo 30. Investigación y educación nivel superior en desarrollo sustentable.

Rubén Cornelio Montes-Pérez.

Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5 Mérida-Xmatkuil. CP. 97315. Mérida, Yucatán, México.

ruben.montes.perez.16@gmail.com

mperez@correo.uady.mx

Capítulo 31. El glifosato, retos y expectativas en el sector agrícola, ambiental, social, económico y tema de controversia en la salud humana.

Jesús Tadeo Hernández-Moreno^{1, 2*}, Dolores Vargas-Álvarez², Miguel Ángel Reyes-Gonzalez³, Zuleyma Martínez-Campos⁴.

¹Estancias Posdoctorales por México. ²Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas S/N, Col. La Haciendita, CP. 39087, Chilpancingo, Gro. ³Centro de Investigación e Innovación Tecnológica-TecNM/ITNL Av. De la Alianza No. 507, PIIT, Carretera Monterrey-Aeropuerto Km. 10, C.P. 66628, Apodaca N.L. ⁴Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Av. Universidad S/N, CU, San Nicolás de los Garza, CP. 66455, N.L.

i.q.tadeo.hernandez@gmail.com*

dvargas@uagro.mx

miguel.rg@nuevoleon.tecnm.mx

zuleyma.martinezc@uanl.edu.mx

Capítulo 32. Parásitos gastrointestinales en heces de perros en parques públicos: riesgo en salud pública.

Francisco Méndez-Ortiz¹, Javier Ventura-Cordero¹, Juan Vargas-Magaña¹, Ángel Pérez-Roque¹

¹Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Agropecuarias Calle 53 S/N Col. Unidad, Esfuerzo y Trabajo # 2, C.P. 24350, Escárcega, Campeche, México.

famendez@uacam.mx

jventura@uacam.mx

jjvargas@uacam.mx

angperez@uacam.mx

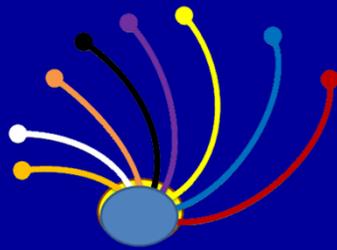


Versión Digital
**Avances en Ciencias Veterinarias, Zootécnicas, Agrícolas, Acuícolas y
Ambientales**

se terminó de editar
en diciembre de 2024
en las instalaciones
de Abanico Académico

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

abanicoacademico@gmail.com
www.abanicoacademico.mx



Abanico Académico