



ABANICO VETERINARIO Vol. 16 ENERO-DICIEMBRE 2025 ISSN 2448-6132



Indizada en Index de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología – CONACYT, Journal Citation Reports, Emerging Sources Citation Index, Scielo Citation Index, Scielo, CAB Abstract, IMBIOMED, MEDIGRAPHIC, DIALNET, BIBLAT, REDIB, Index Copernicus, EBSCO- Fuente Académica Plus, CENGAGE-*Informe académico*, ContentEngine LLC, PERIODICA, LATININDEX, MIAR, SIIC DATA BASES, SCILIT, I2OR, Rootindexing, Scholar Google, Conricyt-CONACYT, Actualidad Iberoamericana, JournalTOCs, CROSSREF, Open Aire, BASE, PlumX Metrics, Paperity.

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/index>



ABANICO VETERINARIO (Abanico Vet.) es una revista internacional arbitrada e indexada que publica información científica y tecnológica de las ciencias de los animales. Su objetivo es publicar artículos de investigaciones, notas de investigación, desarrollos tecnológicos, casos clínicos, estudios de caso, políticas de educación y revisiones de literatura realizados en México y en cualquier parte del mundo. Todos relacionados con las ciencias de salud animal, salud pública veterinaria, ambiental, industrialización y de producción animal incluyendo animales acuáticos. Dirigida a profesores, estudiantes, profesionistas, investigadores y empresarios interesados en la pesca, acuicultura, medicina veterinaria y la producción animal. Publicación continua bajo el sistema de ciencia abierta en acceso, arbitraje y se invita a los autores a poner disponible los datos originales. Presente en index, repositorios y directorios para una mayor visibilidad e incremento de citas; cuenta ISSN para formato impreso 2007-428X, para formato internet web 2448-6132 y DOI 10.21929/abavet, con página web <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/index>. Tiempo de recibido y aceptado entre seis y doce meses. Por ser una revista de acceso abierto los autores pagarán la cuota vigente para gastos contables, arbitraje, edición, publicación, difusión, traducción al inglés, portugués o al español, DOI, marcación, XML-JATS, revisión de plagio y pagos fiscales.

La revista es editada y publicada por Abanico Académico, editorial registrada en el Indautor de México. En el RIZOMA aparece como institución Pública-Federal. La editorial pertenece a una Persona Física: Sergio Martínez González, con RFC MAGS690517979. Valle Bravo 16, Colonia Valle Dorado. CP. 63180. Tepic, Nayarit, México. CVU: 120948. Número de Registro de Personas Físicas con Actividad Empresarial en la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación de México: 1802044.

CINTILLO LEGAL

Abanico Veterinario, Año 15, Volumen 16, Enero-Diciembre 2025, Publicación continua, editada por Sergio Martínez González, Calle Tezontle 171, Colonia El Pedregal, Tepic, Nayarit, México, C.P. 63164, Tel 01 311 1221626, abanicoveterinario@gmail.com. Editor responsable: Sergio Martínez González. Cuenta para formato web ISSN 2448-6132 y reserva de derechos al uso exclusivo 04-2018-061914102900-203 respectivamente, gestionados en el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Sergio A Martínez Orozco, Mina 262, Col. Centro, Tepic, Nayarit, México, C.P. 63000, fecha de la última modificación, 08-12-2025.



Abanico Veterinario, Año 15, Volumen 16, Enero-Diciembre 2025

Contenido

Artículos de Investigación

- Efecto de cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados sobre las variables productivas y vellosidades intestinales en codorniz japonesa en postura e2024-A3
- Impacto de la densidad poblacional en el sistema inmune, crecimiento y supervivencia de *Litopenaeus vannamei* e2024-5
- Influenza aviar en aves acuáticas migratorias y sinantrópicas en la interfaz de un humedal-agroecosistema en el Noroeste de México e2025-105
- Actividad antiprotozoaria in vitro de cuatro plantas medicinales de México sobre *Tritrichomonas foetus* e2024-37
- Seroprevalencia de leptospirosis canina en zonas urbanas de Zacatecas, México e2024-18
- Zeolita en dietas ovinas como estrategia nutricional para mejorar la calidad de leche e2025-47

Revisiones de Literatura

- Lippia graveolens* y su actividad contra bacterias asociadas a mastitis bovina: Revisión bibliográfica e2024-34
- Actualización de la prueba de eritrocitos micronucleados: fundamentos, significado biológico y modelos e2023-44
- Análisis integral de la bioquímica médica: interacciones moleculares y vías en el metabolismo e2025-37
- Recientes avances en el estudio de la termorregulación en animales homeotermos: termogénesis, termólisis y homeostasis térmica e2025-34

Notas de investigación

- Identificación y cuantificación de *Eimeria spp.* en conejos del Valle del Mezquital, Hidalgo e2024-22
- Efecto de la fermentación con *Aspergillus oryzae* sobre el contenido fitoquímico y nutricional de cereales e2024-39
- Efecto del agua tratada con bajo voltaje en crecimiento y consumo en ratas Wistar e2024-42
- Evaluación de la calidad microbiológica de quesos comercializados en Tepic, Nayarit, México e2024-70



Estudios de Caso

Factores que afectan la densidad de <i>Vibrio parahaemolyticus</i> en el hepatopáncreas del camarón <i>Penaeus vannamei</i> en unidades de producción al Noroeste de México	e2024-40
Identificación de nematodos gastrointestinales en ganado bovino de las regiones Sierra de Amula y Costa Sur de Jalisco, México	e2023-35



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-14. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.6>

Artículo Original. Recibido: 15/08/2024. Aceptado: 27/04/2025. Publicado: 01/06/2025. Clave: 2024-A3.

<https://www.youtube.com/watch?v=1YjH0wlcT7w>

Efecto de cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados sobre las variables productivas y vellosidades intestinales en codorniz japonesa en postura



Effect of turmeric and sulfated marine polysaccharides on productive variables and intestinal villi in laying japanese quail

Jennifer Pérez-Martínez^{1ID}, Eutiquio Soní-Guillermo*^{2ID}

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, calle Dr. Gonzalo Báez Camargo s/n, San Juan Acozac, CP 75415, Los Reyes de Juárez, Puebla México. ²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Reforma 165 Colonia Centro, CP 73900, Tlatlauquitepec, Puebla México. *Autor de correspondencia: Eutiquio Soní-Guillermo E-mail: eutiquio.soni@correo.buap.mx

RESUMEN

Los antibióticos reducen la carga microbiana en el huésped y durante décadas se usaron como promotores del crecimiento, pero esto trajo como consecuencia resistencia bacteriana. El objetivo fue evaluar plantas que contienen compuestos bioactivos naturales (cúrcuma) y polisacáridos marinos sulfatados (PMS) sobre el comportamiento productivo, peso de órganos y grasa abdominal, calidad de huevo, pérdida de peso de huevo y altura de las vellosidades intestinales en codorniz. Se utilizaron 250 codornices, donde el T1= testigo, T2 y T3= 0.02 % y 0.03 % de cúrcuma y T4 y T5= 0.02 % y 0.03 % de PMS respectivamente. Con respecto al testigo la adición de cúrcuma y PMS disminuyeron el porcentaje de postura y masa de huevo, pero mejoran el peso de las aves, aunque no el de la molleja, proventrículo y grasa abdominal ($P>0.05$), respecto a los niveles el 0.03% de cúrcuma favoreció la pérdida de peso del huevo ($P<0.0002$); al aumentar los niveles de cúrcuma disminuyó la altura de las vellosidades intestinales en duodeno y yeyuno ($P<0.001$). El nivel de 0.03 % de PMS en codornices en postura aumentó el peso del huevo y consumo de alimento ($P<0.05$) lo que afectó la conversión alimenticia ($P<0.05$). Los PMS disminuyeron el grosor de cascarón ($P<0.001$), lo que provocó la pérdida de peso del huevo, además redujeron el tamaño de las vellosidades intestinales en el duodeno ($P<0.01$).

Palabras clave: algas, duodeno, yeyuno, huevo, aditivos.

ABSTRACT

Antibiotics reduce the microbial load in the host and for decades were used as growth promoters, but this resulted in bacterial resistance. The objective was to evaluate plants containing natural bioactive compounds (turmeric) and sulfated marine polysaccharides (SMP) on productive behavior, organ weight and abdominal fat, egg quality, egg weight loss and intestinal villi height in quail. A total of 250 quail were used, where T1= control, T2 and T3= 0.02 % and 0.03 % of turmeric and T4 and T5= 0.02 % and 0.03 % of PMS respectively. With respect to the control, the addition of turmeric and SMP decreased the percentage of egg mass and laying, but improved the weight of the birds, although not the weight of the gizzard, proventriculus and abdominal fat ($P>0.05$); with respect to the levels, 0.03% of turmeric favored the loss of egg weight ($P<0.0002$); increasing the levels of turmeric decreased the height of the intestinal villi in the duodenum and jejunum ($P<0.001$). The level of 0.03 % SMP in laying quails increased egg



weight and feed intake ($P<0.05$) which affected feed conversion ($P<0.05$). SMP decreased eggshell thickness ($P<0.001$), which caused egg weight loss, and also reduced the size of intestinal villi in the duodenum ($P<0.01$).

Keywords: algae, duodenum, jejunum, egg, additives.

INTRODUCCIÓN

En alimentación animal es importante estudiar aditivos de origen natural como alternativa a los antibióticos utilizados como promotores de crecimiento, este manejo ha traído como consecuencia el desarrollo de bacterias resistentes (Cota *et al.*, 2014). Por lo que se buscan alternativas de alimentos funcionales que puedan ayudar a mejorar la tasa de crecimiento en las aves. Actualmente se estudian plantas que contienen compuestos bioactivos (proteínas, péptidos, ácidos orgánicos, esteroides, polisacáridos, oligosacáridos, compuestos fenólicos y pigmentos fotosintéticos) centrándose en su potencial y sus beneficios para la salud, los cuales eviten el uso de antibióticos, prevengan infecciones entéricas, aumenten la longitud de las vellosidades o mejoren las variables productivas.

Una alternativa de estudio son las algas marinas, que son organismos vegetales de color verde, marrón y rojas, compuestas de proteínas, ácidos grasos poliinsaturados, polifenoles, flavonoides, pigmentos, minerales, vitaminas y PMS (Ngo *et al.*, 2011; Raposo *et al.*, 2013). Estos últimos son polímeros que poseen grupos sulfatos esterificados con los azúcares que los conforman, llamados ulvanoligosacáridos, quitosano y carragenano a los cuales se les atribuyen propiedades anticancerígenas (Anitha *et al.*, 2011), anticoagulantes (Osuna *et al.*, 2016), antioxidantes (Flores *et al.*, 2017) e inmunomoduladoras (Lordan *et al.*, 2011). Por otro lado, la cúrcuma (*Cúrcuma longa*) es una planta herbácea perenne, monocotiledónea, pertenece a la Familia *Zingiberaceae*, ésta tiene tubérculos oblongo-palmeados, arrugados en el exterior, café por fuera y color naranja en el interior (de Cos & Pérez, 2014). Ésta puede ser objeto de investigación ya que contiene proteínas, carbohidratos, ácidos grasos esenciales, polifenoles, pigmentos (1, 7-bis (4-hidroxi-3-metoxi-fenil) -1, 6-heptadieno-3, 5-diona) y curcumina, demetoxicurcumina (DMC) y bisdemetoxicurcumina (BDMC) conocidos como curcuminoides del cual dependen sus funciones farmacológicas (Kermanshahi & Riasi, 2006; Megalathan *et al.*, 2016); se ha encontrado que tiene efecto anticoccidial (Galli *et al.*, 2018), antiinflamatorio (Toden *et al.*, 2017), antioxidante (Wang *et al.*, 2015), antimicrobiano y antifúngico (Megalathan *et al.*, 2016) así como la estimulación de anticuerpos IgG (Elnaggar *et al.*, 2021). Las algas y la cúrcuma tienen capacidad antioxidante y antimicrobiana, por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar la cúrcuma y los polisacáridos marinos sulfatados sobre las variables productivas de la codorniz japonesa en postura, peso de órganos y grasa abdominal, la calidad del huevo, la pérdida de peso del huevo y el tamaño de vellosidades intestinales.



MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la granja experimental de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ubicada en el Municipio de Los Reyes de Juárez, Puebla, México. El experimento fue autorizado por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio (CICUAL-NSS530247-UALVIEP-24). Se usaron doscientas cincuenta codornices en postura con edad inicial de 24 semanas y final de 35 semanas, asignadas aleatoriamente a cinco tratamientos, con cinco repeticiones, con un total de diez codornices, se alojaron cinco aves por jaula de 30 x 45 cm, con comederos lineales y bebederos automáticos, la iluminación se ajustó a 16 h luz d⁻¹, con luz artificial.

Las dietas fueron a base de sorgo - pasta de soya (Tabla 1), se cubrieron los requerimientos para codornices ponedoras (Rostagno *et al.*, 2017); se suplementaron como aditivos cúrcuma en polvo y PMS extraídos de algas marinas de la marca Olmix®. El tratamiento (T) T1 fue testigo (0 % cúrcuma y PMS), tratamiento dos (0.02 % cúrcuma), tratamiento tres (0.03 % cúrcuma), tratamiento cuatro (0.02 %, PMS) y tratamiento cinco (0.03 % PMS); el agua y alimento a libre acceso.

Tabla 1. Dietas experimentales de codornices postura

Ingredientes	%
Sorgo (8% PC)	58.36
Pasta de soya (47% PC)	29.31
Aceite crudo de soya	1.74
DL-Metionina (99%) [¶]	0.48
Lisina (78%) [¶]	0.36
CaCO ₃ (38%) [§]	8.06
Fosfato (18/21) [¶]	0.90
Vitaminas y minerales [¶]	0.30
Sal	0.35
Arena	0.14
kg	100
Análisis calculado (%)	
EM (Kcal/kg)	2800
PC	19.07
Calcio	3.34
Fósforo disponible	0.34
Lisina	1.18
Metionina + cistina	0.96

[¶]Porcentaje de pureza; [§]38%= calcio; [¶]18%= fósforo y 21%= calcio. [¶]Aporte por kg⁻¹ de alimento: vit A, 7.33 MUI; vit D3; vit K3; vit B1, vit B2; vit B6; vit B12; ácido fólico; biotina; D-pantotenato de calcio; nicotinamida; cloruro de colina; calcio; hierro (EDDI, como fuente de yodo); zinc; manganeso 44.00 g/kg; cobre; selenio; antioxidante; EM, energía metabolizable; PC, proteína cruda.



Variables productivas

Por cada repetición el huevo se pesó cada día (PH, g/d) y se evaluó semanalmente el alimento consumido (AC, g/ave/d), conversión alimenticia (CA, kg de alimento/kg de huevos), porcentaje de postura (PP) y masa de huevo (MH, g de huevo ave/d). La calidad de huevo se midió en la semana cuatro, ocho y doce, se recogieron cinco huevos por repetición para medir pigmentación de la yema (CY) con el abanico de DSM YolkFan™, peso de huevo (PH, g), peso de yema (PY, g), peso de albúmina (PA, g), peso de cascarón (PC, g) y grosor de cascarón (GC, μm) con un tornillo micrométrico (micrómetro 293-240-30, Mitutoyo, Kawasaki, Japón).

En la semana doce del experimento se midió la pérdida de peso de los huevos, para lo cual se almacenaron cinco huevos por repetición en un ambiente ventilado a una temperatura de 22° C, se tomó el peso de estos al día de puesta y a los 7, 14, 21 y 28 d de almacenamiento y por diferencia con respecto a la semana anterior se obtuvo la pérdida de peso (g), así como el acumulado que fue la suma de la pérdida de peso durante los 28 d.

Estudio histológico

En la semana 35 de edad, se tomó al azar un ave por repetición, es decir cinco codornices por tratamiento, se pesaron individualmente (PV, g) y posteriormente se sacrificaron al cortar la sección de la vena yugular y arteria carótida, se siguieron las recomendaciones de la Norma Oficial Mexicana [NOM-033-SAG/ZOO-2014](#); se midió el peso del hígado (PHI, g), peso del proventrículo (PR, g), peso de molleja (PM, g) y peso de grasa abdominal (PG, g).

Las muestras intestinales se recolectaron después de que se confirmó la muerte del ave (2 min), se tomó una muestra por repetición de duodeno (parte descendente) y yeyuno (proximal). Cada muestra se seccionó a un tamaño de 2 cm de longitud, se lavó el lumen intestinal con agua destilada y formalina tamponada al 10 % para eliminar su contenido. Las muestras se fijaron en formalina al 10 % durante 48 h para su procesamiento y corte ([Gava et al., 2015](#)).

Posteriormente, las muestras se incluyeron en parafina, se cortaron en secciones de 5 μm de espesor en un Microtomo 820 (Americal Optical, Estados Unidos), se aclararon en xileno, se deshidrataron en concentraciones graduadas de alcohol y se tiñeron con hematoxilina-eosina. Para el análisis histomorfométrico, una vez obtenidas las laminillas se midió la altura de 15 vellosidades intestinales de cada muestra (AVLL, μm), se realizó a partir de la cripta hasta la punta de la vellosidad, para lo cual se utilizó un microscopio Leica Binocular, de luz con el objetivo de 4x, las medidas se realizaron en el software de Image J (National Institutes of Health, MD, E. U.).



Análisis estadístico

Los datos de las variables estudiadas se analizaron en un diseño completamente al azar, el análisis de varianza para todos los datos se determinó con el procedimiento GLM. Las medias se compararon a través de contrastes ortogonales, el nivel de significancia se estableció en $P < 0.05$. El primer contraste comparó al grupo testigo con la cúrcuma y los PMS (C1: testigo vs cúrcuma + PMS), el segundo contraste confrontó la cúrcuma con los PMS (C2: cúrcuma vs PMS), el tercer contraste cotejó los niveles de cúrcuma (C3: cúrcuma 0.02 % vs cúrcuma 0.03 %) y el cuarto contraste comparó los niveles de PMS (C4: PMS 0.02 % vs PMS 0.03%; [SAS, 2017](#)).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto al testigo las variables de AC, PH y CA no se modificaron por efecto de los tratamientos ($P > 0.05$), mientras que el PP y la MH fueron mayor en el testigo ($P < 0.05$), por lo tanto, el efecto no significativo en el AC entre los tratamientos indicó que agregar cúrcuma y PMS en polvo a las dietas de codornices ponedoras hasta 0.03 % no afectó el aroma del alimento y la palatabilidad de las aves. Respecto a los aditivos la suplementación de PMS aumentó el AC ($P < 0.006$) en relación con la cúrcuma, lo que afectó la CA ($P < 0.04$), mientras que la cúrcuma disminuyó el AC, PP y MH. En relación con los niveles de cúrcuma el nivel de 0.02 % es el óptimo para codornices en postura ya que el 0.03 % afecta el PP y la MH ($P < 0.001$), mientras que en los niveles de PMS el 0.03 % aumentó el AC ($P < 0.05$) (Tabla 2).

El porcentaje de postura está determinado por la tasa de ovulación y ésta por la deposición de componentes de la yema en los folículos en desarrollo ([Burley et al., 1993](#)), por lo que el nivel de cúrcuma de 0.03 % ya no facilita la liberación de vitelogenia de las células hepáticas, lo que no condujo a una mayor foliculogénesis y ovogénesis, respecto a este nivel la MH se vio afectada ya que ésta se obtiene con el PP. [Longjam et al. \(2024\)](#) y [Saraswati et al. \(2013\)](#) al incluir en codornices cúrcuma en polvo al 1 % y 54 mg/ave/d respectivamente encontraron que se mejoró la producción de huevo, mientras que el AC y PH no se afectaron. [Hassan \(2016\)](#) observó que al adicionar 2 % de cúrcuma en gallinas el PH disminuyó. En un estudio realizado por [Sánchez et al. \(2021\)](#) obtuvieron en pollo de engorda que los PMS no modificaron el AC, pero sí mejoraron la CA. [Abudabos et al. \(2013\)](#) al incluir 3 % de algas (*Ulva lactuca*) en pollos de engorda no se modificó el AC, CA y la ganancia de peso con respecto al testigo. Las diferencias en los resultados de estos estudios con la inclusión de cúrcuma y algas pueden atribuirse a factores como los niveles de concentración, periodos de suplementación, método de secado de las plantas, así como la edad del ave y la especie.



Tabla 2. Adición de cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados en las variables productivas de codorniz japonesa en postura

Variables (g)	Tratamientos						Contrastes*			
	T1	T2	T3	T4	T5	EM	C1	C2	C3	C4
AC	4.34	33.59	32.71	33.83	35.16	0.80	0.27	0.00	0.20	0.05
PH	14.27	14.24	13.96	13.87	14.35	0.23	0.45	0.96	0.31	0.08
PP (%)	87.43	85.02	75.55	84.60	84.11	3.19	0.00	0.00	0.00	0.81
MH	12.50	12.10	10.53	11.72	12.05	0.45	0.00	0.02	0.00	0.37
CA	2.41	2.40	2.34	2.43	2.44	0.05	0.91	0.04	0.21	0.85

T1, 0% cúrcuma y PMS; T2, 0.02% cúrcuma; T3, 0.03% cúrcuma; T4, 0.02% PMS; T5, 0.03% PMS; AC, alimento consumido; PH, peso de huevo; PP, porcentaje de postura, MH, masa de huevo, CA, conversión alimenticia; EEM, error estándar de la media. *C1, testigo vs cúrcuma + PMS; *C2, cúrcuma vs PMS; *C3, cúrcuma 0.02% vs cúrcuma 0.03%; *C4, PMS 0.02% vs PMS 0.03%.

El PV más bajo lo tuvo el testigo ($P < 0.05$) (Tabla 3), mientras que los tratamientos con cúrcuma y PMS tuvieron mejor peso, [Xie et al. \(2019\)](#) informaron que la suplementación con cúrcuma en la dieta aumentó la ganancia de peso corporal ya que mejora la absorción y utilización de nutrientes. El PHI más bajo lo tuvo el testigo ($P < 0.05$) mientras que el 0.02 % de PMS favoreció el peso de este órgano. [Anwar et al. \(2013\)](#) mencionan que al disminuir el PHI en las aves está relacionado con la movilización del glucógeno y lípidos del hígado los cuales se utilizan para la síntesis de componentes del huevo, lo que explica el bajo PHI y el alto PP en el testigo ($P < 0.002$). Con respecto a los aditivos, estos no influyeron en el peso de las codornices, órganos y grasa abdominal; respecto a los niveles de estos, la cúrcuma tampoco modificó estas variables, sin embargo, en los niveles de PMS el 0.02% aumentó el PM (Tabla 3).

Tabla 3. Adición de cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados en la dieta sobre el peso de órganos y grasa abdominal de codorniz japonesa en postura

Variables (g)	Tratamiento						Contrastes*			
	T1	T2	T3	T4	T5	EEM	C1	C2	C3	C4
PV	306.40	325.22	329.40	315.08	324.40	3.50	0.05	0.35	0.72	0.40
PHI	4.12	5.86	5.20	6.08	4.80	0.21	0.04	0.93	0.45	0.16
PR	0.98	1.14	0.90	1.110	1.10	0.04	0.59	0.69	0.11	0.56
PM	5.10	4.68	4.57	5.24	4.14	0.13	0.16	0.82	0.80	0.01
PG	1.62	1.68	2.85	0.28	1.70	0.30	0.59	0.69	0.11	0.56

T1, 0% cúrcuma y PMS; T2, 0.02% cúrcuma; T3, 0.03% cúrcuma; T4, 0.02% PMS; T5, 0.03% PMS; PV, peso vivo; PHI, peso hígado; PR, peso del proventrículo, PM, peso de la molleja, PG, peso de la grasa. EEM, error estándar de la media. *C1, testigo vs cúrcuma + PMS; *C2, cúrcuma vs PMS; *C3, cúrcuma 0.02% vs cúrcuma 0.03%; *C4, PMS 0.02% vs PMS 0.03%.

Las algas contienen fibra soluble y en aves ésta aumenta la viscosidad de la digesta, lo que aumenta el espesor de la capa intestinal e impide la absorción de nutrientes en el intestino delgado ([Lahaye & Jegou, 1993](#); [Furda, 1990](#)), lo que pudo haber influido en que a pesar de que la molleja aumentó de tamaño con los PMS al 0.02 %, no se



favoreció el PP y la MH. [Ahmed et al. \(2018\)](#) informaron que la inclusión de cúrcuma en dietas de pollos de engorda causó una disminución en el peso del hígado, pero no produjo diferencias en el peso de la molleja. Mientras que en codornices [Saraswati et al. \(2013\)](#) encontraron que la suplementación de cúrcuma no modificó la grasa abdominal. El PC y el GC fue más alto en el testigo que en los tratamientos con cúrcuma y PMS ($P < 0.03$) y ($P < 0.01$) respectivamente. Respecto a los aditivos los PMS mejoraron el PH con respecto a cúrcuma ($P < 0.02$), pero disminuyeron el GC ($P < 0.01$).

Los niveles de cúrcuma no influyeron sobre la calidad de huevo, mientras que el nivel de 0.03 % de PMS aumentó el PH (Tabla 4), esta mejora puede asociarse con una mayor síntesis de vitelogenina debido al aumento de los precursores proteicos de la yema de huevo presente en las células del hígado ([Kasiyati et al., 2016](#)).

Tabla 4. Inclusión de cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados en la dieta sobre la calidad de huevo de codorniz japonesa en postura

Variables (g)	Tratamientos					Contrastes*				
	T1	T2	T3	T4	T5	EEM	C1	C2	C3	C4
PH	14.16	13.77	13.74	13.89	14.39	0.18	0.25	0.02	0.90	0.03
PA	7.67	7.58	8.49	7.74	7.74	1.06	0.69	0.55	0.20	0.99
PY (%)	4.22	4.00	4.13	4.05	4.37	0.10	0.38	0.10	0.28	0.01
CY	3.33	3.34	3.37	3.41	3.38	0.04	0.51	0.50	0.64	0.68
PC	1.24	1.14	1.19	1.15	1.18	0.02	0.03	0.96	0.08	0.22
GC (µm)	290.70	265.64	267.63	167.42	168.74	5.55	0.01	0.01	0.89	0.94

T1, 0% cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados; T2, 0.02% cúrcuma; T3, 0.03% cúrcuma; T4, 0.02% polisacáridos marinos sulfatados; T5, 0.03% polisacáridos marinos sulfatados. PH, peso de huevo, PA, peso de albumina, PY, peso de yema, PC, peso de cascarón; GC, grosor de cascarón; EEM, error estándar de la media; *C1, testigo vs cúrcuma + PMS; *C2, cúrcuma vs PMS; *C3, cúrcuma 0.02% vs cúrcuma 0.03%; *C4, PMS 0.02% vs PMS 0.03%.

[Saraswati et al. \(2013\)](#) y [Saraswati & Tana \(2016\)](#), encontraron que la administración de cúrcuma en polvo no afectó el PH así como la calidad interna y externa del huevo. Hallazgos recientes respecto al GC y CY encontraron que estos se vieron favorecidos por la adición de cúrcuma al 2 %, el aumento del CY está relacionado con la cantidad de cúrcuma que utilizaron, ya que ésta tiene xantófilas que se depositaron en la yema ([Longjam et al., 2024](#)). Mientras que [Liu et al. \(2024\)](#) reportaron que el PC y CY no se afectaron, mientras que el GC sí mejoró con cúrcuma. Respecto a los PMS no hay información en aves donde se haya evaluado la calidad de huevo, ya que estos demostraron desde la década de los 60 actividad antiviral, anticancerígena, antioxidante y anticoagulante ([Song et al., 2013](#); [Song et al., 2015](#)).

En la pérdida de peso acumulada (27 d de almacenamiento) (Tabla 5) no hubo diferencias en ningún contraste ($P > 0.05$). Respecto a los aditivos los huevos que



perdieron mayor cantidad de peso en el día 27 fueron con los PMS ($P < 0.002$). En los niveles de cúrcuma el huevo que tuvo mayor pérdida de peso en el día 21 fue el nivel de 0.02 % ($P < 0.0005$) y en el día 27 el nivel de 0.03 % ($P < 0.0002$). El que los huevos con PMS hayan perdido peso después de la oviposición está relacionado con el cascarón delgado (Tabla 4) que se obtuvo al añadir este aditivo a la dieta de las aves. Con el paso de los días a temperatura ambiente hay pérdida de peso de los huevos por la deshidratación, por lo que huevos con cascarones delgados están sujetos a una mayor evaporación de agua de la albúmina (Sari *et al.*, 2012).

Tabla 5. Inclusión de cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados en la dieta sobre la pérdida de peso del huevo de codorniz japonesa

Día	Tratamientos					Contrastes*				
	T1	T2	T3	T4	T5	EM	C1	C2	C3	C4
7	1.22	1.22	1.47	1.66	1.45	0.07	0.21	0.20	0.27	0.37
14	1.13	1.14	1.01	0.80	0.85	0.05	0.28	0.08	0.54	0.80
21	0.65	1.34	0.59	0.72	0.83	0.07	0.26	0.30	0.00	0.63
27	1.29	0.77	1.48	1.49	1.40	0.63	0.98	0.02	0.00	0.63
Acumulado	4.12	4.31	4.54	4.67	4.53	0.14	0.28	0.58	0.60	0.75

T1, 0% cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados; T2, 0.02% cúrcuma; T3, 0.03% cúrcuma; T4, 0.02% polisacáridos marinos sulfatados; T5, 0.03% polisacáridos marinos sulfatados; EEM, error estándar de la media; *C1, testigo vs cúrcuma + PMS; *C2, cúrcuma vs PMS; *C3, cúrcuma 0.02% vs cúrcuma 0.03%; *C4, PMS 0.02% vs PMS 0.03%.

La longitud de las vellosidades intestinales en el duodeno fue mayor en el testigo que al agregar los aditivos ($P < 0.001$) (Tabla 6), mientras que en el yeyuno las vellosidades fueron mayores en las aves alimentadas con 0.02 % de PMS respecto al testigo. En relación con los aditivos al utilizar la cúrcuma se disminuyó el tamaño de las vellosidades en el duodeno; en relación con el nivel, el porcentaje más alto de cúrcuma y de PMS (0.03 %) afectaron el largo de las vellosidades en esta sección del intestino. Mientras que en el yeyuno la cúrcuma redujo el tamaño de las vellosidades intestinales ($P < 0.0001$) respecto a los PMS, así como el nivel de 0.03 % de cúrcuma afectó el tamaño de éstas. Esto explica la respuesta negativa del tratamiento con 0.03 % de cúrcuma en la MH y la disminución del PP, ya que conforme aumentó el nivel de cúrcuma el tamaño de las vellosidades disminuyó y la altura de éstas se correlaciona positivamente con una mayor superficie de absorción de nutrimentos, además de ser un indicador de aves con mejor salud intestinal (Swatson *et al.*, 2002). Rajput *et al.* (2013) reportaron que la adición de curcumina en el alimento de pollos de engorda aumentó la altura y el ancho de las vellosidades. Cañedo *et al.* (2019) al adicionar algas a la dieta de pollos, éstas favorecieron la longitud de las vellosidades; el que éstas mejoren su tamaño está relacionado con la renovación de células epiteliales y la mitosis celular activa en el intestino delgado (Samanya & Yamauchi, 2002). El que se encuentren o no



diferencias en los aditivos utilizados depende de la especie, edad del animal, los aditivos y los niveles utilizados.

Tabla 6. Inclusión de cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados en la dieta sobre las medias (μm) de la altura de las vellosidades intestinales de codorniz japonesa en postura

Variables	Tratamientos					Contrastes*				
	T1	T2	T3	T4	T5	EEM	C1	C2	C3	C4
Duodeno	107.11	94.06	70.59	105.70	98.88	1.09	<0.001	<0.001	<0.001	0.010
Yeyuno	66.36	64.08	40.75	66.46	66.27	1.47	0.040	<0.001	<0.001	0.960

T1, 0% cúrcuma y polisacáridos marinos sulfatados; T2, 0.02% cúrcuma; T3, 0.03% cúrcuma; T4, 0.02% polisacáridos marinos sulfatados; T5, 0.03% polisacáridos marinos sulfatados; EEM, error estándar de la media; *C1, testigo vs cúrcuma + PMS; *C2, cúrcuma vs PMS; *C3, cúrcuma 0.02% vs cúrcuma 0.03%; *C4, PMS 0.02% vs PMS 0.03%.

CONCLUSIONES

En comparación con el control, la cúrcuma y los polisacáridos marinos sulfatados en polvo a niveles de 0.02 % y 0.03 % en la dieta de codornices disminuyen el porcentaje de postura y la masa de huevo, pero mejoran el peso de las aves, así como aumentan el tamaño del hígado, aunque no el peso del proventrículo, molleja y grasa abdominal. Respecto a la calidad del huevo, los aditivos reducen el peso de cascarón y su grosor, pero no afecta la pérdida de peso del huevo. Aumentar los niveles de cúrcuma y polisacáridos disminuye la longitud de las vellosidades intestinales en duodeno y yeyuno.

Agradecimientos

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por la compra de reactivos para la determinación de las vellosidades intestinales.

LITERATURA CITADA

ABUDABOS A, Okab AB, Aljumaah RS, Samara EM, Abdoun KA, Al-Haidary AA. 2013. Valor nutricional de las algas verdes (*Ulva lactuca*) para pollos de engorde. *Italian Journal Animal Science*. 12(2). ISSN: 1828-051. <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e28>

AHMED I, El-Rayes T, Ahmed AI. 2018. Assessment of dietary supplementation of turmeric (*curcuma longa*) as a phytobiotic on broiler performance and bacterial count. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*. 21(2):519-528. ISSN: 1110-6360. <https://doi.org/10.21608/EJNF.2018.75612>



ANITHA A, Maya S, Deepa N, Chennazhi KP, Nair SV, Tamura H, Jayakumar R. 2011. Efficient water soluble O-carboxymethyl chitosan nanocarrier for the delivery of curcumin to cancer cells. *Carbohydrate Polymers*. 83(2):452-461. ISSN: 0144-8617. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.008>

ANWAR H, Rahman ZU, Javed I, Muhammad F. 2013. Efficacy of protein, symbiotic and probiotic supplementation on body performance and organs weight in molted layers. *Pakistan Veterinary Journal*. 33(11):117-119. ISSN: 0253-8318. https://www.researchgate.net/publication/277152472_Efficacy_of_Protein_Symbiotic_and_Probiotic_Supplementation_on_Body_Performance_and_Organs_Weight_in_Molted_Layers

BURLEY RW, Evans AJ, Pearson JA. 1993. Molecular aspects of the synthesis and deposition of hens' egg yolk with special reference to low density lipoprotein. *Poultry Science*. 72:850-855. ISSN: 2345-6566. <https://doi.org/10.3382/ps.0720850>

De COS PS, Pérez UE. 2014. Cúrcuma I (*Curcuma longa* L.). *Reduca (Biología)*. 7(2): 84-99. ISSN: 1989-3620. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/abdc6b15-a0a0-45f6-b53d-054735502289/content>

CAÑEDO CB, Piñón GA, Carrillo S, Ramos D, Casas VM. 2019. Prebiotic effect of *Ulva rigida* flour on intestinal integrity and serum cholesterol and triglyceride content in broiler chickens. *Journal of Applied Phycology*. 31:3256-3273. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01785-x>

COTA RE, Hurtado AL, Pérez ME, Alcántara LJ. 2014. Resistencia a antibióticos de cepas bacterianas aisladas de animales destinados al consumo humano. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 1(1):74-85. ISSN: 2334-2501. <http://www.reibci.org/publicados/2014/mayo/4569156.pdf>

ELNAGGAR AS, Ali RA, El-Said E. 2021. Complementary effect of black pepper and turmeric on productive performance and physiological responses of Japanese quail. *Egyptian Poultry Science Journal*. 41(1):77-91. ISSN: 1110-5623. <https://doi.org/10.21608/EPSJ.2021.160056>

FLORES L, Salazar J, Rodríguez V, Osuna I. 2017. Capacidad antioxidante de polisacáridos sulfatados de seis especies de macroalgas de Sinaloa. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 3(7):1-8. ISSN: 2444-4936. Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V3_N7_1.pdf



FURDA I. 1990. Interaction of dietary fiber with lipids: mechanistic theories and their limitations. In: Furda I. Brine C. J. (eds.) New developments in dietary fiber. Plenum Press, New York, NY, USA. Pp. 67-82. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4684-5784-1_7

GALLI GM, Silva DAS, Biazus AH, João H, Reis JH, Boiago MM, Topazio JP, Migliorini MJ, Guarda NS, Moresco RN, Ourique AF, Santos CG, Lopes LS, Baldissera MD, Stefani LM. 2018. Feed addition of curcumin to laying hens showed anticoccidial effect, and improved egg quality and animal health. *Research in Veterinary Science*. 118:101–106. ISSN: 0034-5288. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.01.022>

GAVA MS, Moraes LB, Carvalho D, Chitolina GZ, Fallavena LCB, Herpich LSM, Salle CTP. 2015. Determining the best sectioning method and intestinal segment for morphometric analysis in broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 17(2):145-150. ISSN: 1516-635X. <https://doi.org/10.1590/1516-635x1702145-150>

HASSAN SM. 2016. Effects of adding different dietary levels of turmeric (*Curcuma longa* Linn) powder on productive performance and egg quality of laying hens. *International Journal of Poultry Science*. 15(4):156-160. ISSN: 1682-8356. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20163155765>

KASIYATI, S, Ekastuti DR, Manalu W. 2016. Roles of curcumin and monochromatic light in optimizing liver function to promote egg yolk biosynthesis in magelang ducks. *International Journal Poultry Science*. 15(10):414-424. ISSN: 1682-8356. <https://scialert.net/abstract/?doi=ijps.2016.414.424>

KERMANSHAHI H, Riasi A. 2006. Effect of turmeric rhizome powder (*Curcuma longa*) and soluble NSP degrading enzyme on some blood parameters of laying hens. *International Journal Poultry Science*. 5:494-498. ISSN: 1682-8356. <https://scialert.net/fulltext/fulltextpdf.php?pdf=ansinet/ijps/2006/494-498.pdf>

LAHAYE M, Jegou D. 1993. Chemical and physicochemical characteristics of dietary fibres from *Ulva lactuca* (L.) Thuret and *Enteromorpha compressa* (L.) Grev. *Journal Applied Phycol*. 5:195-200. <https://doi.org/10.1007/BF00004017>

LIU Y, Song M, Bai H, Wang C, Wang F, Yuan Q. 2024. Curcumin improves the egg quality, antioxidant activity, and intestinal microbiota of quails during the late laying period. *Poultry Science*. 103(1): e103233. ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103233>



LONGJAM SD, Goswami R, Kalita G, Samanta AK, Ahmed FA. 2024. Effect of turmeric powder supplementation on egg production, hatchability and Internal egg quality Characteristics of Quail Eggs. *Archives of Current Research International*. 24(5):769-776. ISSN: 2454-7077. <https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i5752>

LORDAN S, Ross RP, Stanton C. 2011. Marine bioactives as functional food ingredients: potential to reduce the incidence of chronic diseases. *Marine Drugs*. 9(6): 1056-1100. ISSN: 1660-3397. <https://doi.org/10.3390/md9061056>

MEGALATHAN A, Kumarage S, Dilhari A, Weerasekera MM, Samarasinghe S, Kottegoda N. 2016. Natural curcuminoids encapsulated in layered double hydroxides: a novel antimicrobial nanohybrid. *Chemistry Central Journal*. 10:1-10. ISSN: 1752-153X. <https://doi.org/10.1186/s13065-016-0179-7>

NGO DH, Wijesekara I, Voa TS, Ta QV, Kim SK. 2011. Marine foodderived functional ingredients as potential antioxidants in the food industry: an overview. *Food Research International*. 44: 523–529. ISSN: 0963-9969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.030>

NOM-033-SAG/ZOO-2014. Norma Oficial Mexicana. Sacrificio humanitario de las aves. México. <https://tinyurl.com/5n8jd5zb>

OSUNA RI, López SCM, Burgos HC, Velázquez C, Soto NM, Hurtado OM. 2016. Antioxidant, antimutagenic and antiproliferative activities in selected seaweed species from Sinaloa, Mexico. *Pharmaceutical biology*. 54(10): 2196-210. ISSN: 1388-0209. <https://doi.org/10.3109/13880209.2016.1150305>

RAJPUT N, Muhammad N, Yan R, Zhong X, Wang T. 2013. Effect of dietary supplementation of curcumin on growth performance, intestinal morphology and nutrients utilization of broiler chicks. *The Journal of Poultry Science*. 50(1): 44-52. ISSN: 1346-7395. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0120065>

RAPOSO MFJ, Morais RMSC, Morais AMMB. 2013. Health applications of bioactive compounds from marine microalgae. *Life Science*. 93(15): 479–486. ISSN: 0024-3205. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2013.08.002>



ROSTAGNO HS, Teixeira LF, Hannas MI, López J, Kazue N, Guilherme F. 2017. Tablas brasileñas para aves y cerdos: composición de alimentos y requerimientos nutricionales. *Departamento de Zootecnia, Universidad Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil*. Pp. 347-362. ISBN: 978-85-8179-122-7.

<https://eliasnutri.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/09/tablas-brasilec3b1as-aves-y-cerdos-cuarta-edicion-2017-11.pdf>

SÁNCHEZ CD, García UM, Rendón GJ, Ramírez AM, Chi-ME, Chávez M. 2021. Efecto de los polisacáridos sulfurados marinos como inmunomoduladores de la respuesta ante la vacunación en pollo de engorda. *Abanico veterinario*. 11, e2021-15. ISSN: 2448-6132. <https://www.scielo.org.mx/pdf/av/v11/2448-6132-av-11-e406-en.pdf>

SARASWATI TR, Manalu W, Ekastuti DR, Kusumorini N. 2013. Increased egg production of Japanese quail (*Coturnix japonica*) by improving liver function through turmeric powder supplementation. *International Journal of Poultry Science*. 12(10): 601-614. ISSN: 1682-8356. <https://scialert.net/abstract/?doi=ijps.2013.601614>

SARASWATI TR, Tana S. 2016. Effect of turmeric powder supplementation to the age of sexual maturity, physical, and chemical quality of the first japanese quail's (*Coturnix japonica*) egg. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*. 8(1):18-24. ISSN: 2085-191X. <https://scialert.net/abstract/?doi=ijps.2013.601.614>

SARI M, Işık S, Önk K, Tilki M, Kirmızıbayrak T. 2012. Effects of layer age and diferent plumage colors on external and internal egg quality characteristics in Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *European Poultry Science (EPS) Archiv für Gefügelkunde*, 76(4): 254–258. ISSN 0003-9098. [Effects of layer age and different plumage colors on external and internal egg quality characteristics in Japanese quails \(Coturnix coturnix japonica\) - European Poultry Science](#)

SAS Institute. 2017. *Statistical Analysis Software SAS/STAT®*. version 9.33, Cary, N.C., USA: SAS Institute Inc., ISBN: 978-1-60764-599-3.
http://www.sas.com/en_us/software/analytics/stat.html

SAMANYA M, Yamauchi KE. 2002. Alteraciones histológicas de las vellosidades intestinales en pollos alimentados con *Bacillus subtilis* var. natto seco. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 133 (1): 95-104. ISSN: 1095-6433. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(02\)00121-6](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(02)00121-6)



SONG X, Yin Z, Zhao X, Zhao X, Cheng A, Renyong J, Yuan G, Xu J, Fan Q, Zhao L, Su G, Ye G, Shil F. 2013. Antiviral activity of sulfated Chuanmingshen violaceum polysaccharide against Newcastle disease virus. *Journal of General Virology*. 94: 2164-2174. ISSN: 0022-1317. <https://doi.org/10.1099/vir.0.054270-0>

SONG X, Zhang Y, Yin Z, Zhao X, Lian X, He C, Lizi Y, Cheng L, Ling Z, Gang Y, Fei S, Gang S, Jia R. 2015. Antiviral effect of sulfated Chuanmingshen violaceum polysaccharide in chickens infected with virulent Newcastle disease virus. *Elsevier, Virology*. 476: 316-322. ISSN: 1098-5514. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2014.12.030>

SWATSON HK, Gous R, Iji PA, Zarrinkalam R. 2002. Effect of dietary protein level, amino acid balance and feeding level on growth, gastrointestinal tract, and mucosal structure of the small intestine in broiler chickens. *Animal Research*. 51(6): 501-515. ISSN: 1627-3583. <https://doi.org/10.1051/animres:2002038>

TODEN EA, Theiss AL, Wang X, Goel A. 2017. Essential turmeric oils enhance anti-inflammatory efficacy of curcumin in dextran sulfate sodium-induced colitis. *Scientific reports*. 7(1): 814. ISSN: 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00812-6>

WANG D, Huang H, Zhou L, Li W, Zhou H, Hou G, Liu J, Hu L., 2015. Effects of dietary supplementation with turmeric rhizome extract on growth performance, carcass characteristics, antioxidant capability, and meat quality of wenchang broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*. 14: 3870. ISSN: 1594-4077. <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3870>

XIE Z, Shen G, Wang Y, Wu C. 2019. La suplementación con curcumina regula el metabolismo lipídico en pollos de engorde. *Poultry Science*. 98(1):422-429. ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.3382/ps/pey315>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-14. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.4>

Artículo Original. Recibido: 07/01/2024. Aceptado:27/03/2025. Publicado: 11/09/2025. Clave: e2024-5.

https://www.youtube.com/watch?v=DFUy_IBLS1g

Impacto de la densidad poblacional en el sistema inmune, crecimiento y supervivencia de *Litopenaeus vannamei*

Impact of stock density on the immune system, growth, and survival of *Litopenaeus vannamei*



Claro-De-los-Santos Raúl¹ ID, Arambul-Muñoz Eulalio² ID, Rodríguez-Olague Delia¹ ID, Peraza-Gomez Viridiana¹ ID, Escalera-Valente Francisco³ ID, Castillo-Vargasmachuca Sergio*¹ ID

¹Universidad Autónoma de Nayarit. Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias (Ciencias Pesqueras), Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Laboratorio de Bioingeniería Costera. San Blas, Nayarit, 63740, México. ²Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Km 107 Autopista Tijuana-Ensenada, C. P. 22860 Ensenada, Baja California, Mexico. ³Universidad Autónoma de Nayarit, Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias (Ciencias Zootécnicas y Veterinarias), Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Compostela-Chapalilla Km 3.5 S/N CP. 63700. Autor de correspondencia: Sergio Gustavo Castillo-Vargasmachuca, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Laboratorio de Bioingeniería Costera. San Blas, Nayarit, 63740, México. E-mail: clarosantosraul@gmail.com, eulalio.arambul@uabc.edu.mx, delia_dro@hotmail.com, viridiana.peraza@uan.edu.mx, fescalera@uan.edu.mx, sergioc@uan.edu.mx

RESUMEN

El estudio evaluó los efectos de la densidad de población en la producción de hemocitos de *Litopenaeus vannamei*, así como su impacto en el crecimiento, condición y supervivencia en un cultivo con mínima reposición de agua. Se analizaron tres densidades (TA = 300, TB = 500, TC = 700 org m⁻³) durante 83 días. La calidad del agua se mantuvo dentro de rangos adecuados, sin embargo, las concentraciones de NO₂-N y NO₃-N fueron más altas en TC. Se observó que la tasa de crecimiento y supervivencia disminuyeron con el aumento de la densidad, donde TC es el más afectado. El número de hemocitos, incluye hialinos, semigranulares, granulares y totales, fue mayor en TC. Se encontró una alta correlación negativa entre el conteo de hemocitos y las concentraciones de NO₂-N, así como entre el peso-longitud del camarón y el conteo de hemocitos. Los resultados sugieren que una mayor densidad de población afecta negativamente la respuesta inmune del camarón, ya que incrementa el uso de las reservas de energía en procesos de homeostasis, lo que reduce su rendimiento productivo y el crecimiento.

Palabras clave: hemocitos, nitrato, calidad del agua, cultivo superintensivo, densidad de siembra.

ABSTRACT

The study evaluated the effects of population density on hemocyte production in the white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its impact on growth, condition, and survival in a culture system with minimal water exchange. Three densities (TA = 300, TB = 500, TC = 700 org m⁻³) were analyzed over 83 days. Water quality remained within suitable ranges, but NO₂-N and NO₃-N levels were higher in TC. Growth rates and survival decreased with increased density, particularly in TC, which also showed a higher number of hemocytes, including hyaline, semigranular, granular, and total hemocytes. A strong negative correlation was found between hemocyte count and NO₂-N concentrations, as well as between shrimp weight-length



and hemocyte count. The results suggest that higher population density negatively affects the shrimp's immune response by increasing the use of energy reserves for homeostasis, thereby reducing growth and overall productivity.

Keywords: hemocytes, nitrite, water quality, super-intensive culture, stocking density.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la producción mundial de camarón ha aumentado significativamente (FAO, 2020), impulsada por diversas estrategias que han mejorado la producción en los diferentes esquemas de cultivo para satisfacer la creciente demanda global (Hamilton *et al.*, 2018). Aunque la intensificación de la acuicultura ha presentado importantes retos, también ha creado oportunidades para optimizar la sostenibilidad y eficiencia en la producción. Una de estas estrategias clave ha sido el aumento de la densidad de siembra, lo que permite maximizar la productividad en los sistemas de cultivo.

A partir de esto se han realizado diversas investigaciones para determinar el efecto de la densidad de siembra en el crecimiento y supervivencia en diferentes sistemas de cultivo, tal como RAS, Biofloc, Heterotróficos, entre otros, así como en diversos esquemas de manejo como: sustratos, adiciones de fuentes de carbón, recambios de agua, periodos de cultivo, maternidades, calidad del agua, composición microbiana en la columna de agua y sustratos, salinidades, entre otras (Tierney & Ray, 2018; Arambul *et al.*, 2019; Fleckenstein *et al.*, 2020; Tierney *et al.*, 2020; Zulkarnain *et al.*, 2020; Bardera *et al.*, 2021). Además, se han evaluado indicadores metabólicos e inmunológicos en camarones cultivados a distintas densidades de siembra (20, 50, 200 y 600 organismos/m⁻³) con resultados no concluyentes donde solo se observó una disminución en la actividad fenol oxidasa (Aguilar *et al.*, 2011). Por otro lado, Lin *et al.* (2015) describe que las densidades de 10 a 40 organismos/m⁻³ tienen un efecto negativo directamente en parámetros inmunes, tales como actividad fenol oxidasa, actividad respiratoria, estrés oxidativo, actividad lisozima, proteína en hemolinfa y el conteo de hemocitos.

Los crustáceos, al no poseer un sistema inmunológico adaptativo como el de otros organismos (Tassanakajon *et al.*, 2013; Flegel, 2019), son especialmente vulnerables a infecciones por patógenos. Además, se ha demostrado que el estrés y la pérdida de las condiciones óptimas necesarias para mantener la homeostasis agravan esta susceptibilidad, lo que afecta aún más su capacidad para resistir enfermedades y afectar negativamente la composición celular de los hemocitos (Hartinah *et al.*, 2017). Los hemocitos desempeñan un papel esencial en su sistema inmunológico, ya que llevan a cabo procesos de defensa celular y también son responsables de sintetizar y liberar diversos factores que apoyan la inmunidad humoral, proporcionan así una base material para las respuestas inmunes del organismo; sin embargo, su clasificación, maduración y diferenciación aún están en debate. Hasta la fecha, solo se ha reportado información discreta e inconsistente sobre la clasificación de los hemocitos del camarón (Koiwai *et al.*, 2021).

Los hemocitos, tradicionalmente son clasificados en tres tipos morfológicos según la tinción de sus gránulos intracelulares (Söderhäll & Smith, 1983; Johansson *et al.*, 2000)



y se dividen en hialinos, semigranulares y granulares. Más recientemente, estudios con secuenciación de ARN unicelular (scRNA-seq) con base en microfluidos han permitido analizar mejor sus funciones (Raddi *et al.*, 2020; Tattikota *et al.*, 2020). No obstante, la falta de genomas de referencia de alta calidad para los crustáceos, debido a la alta proporción de repeticiones de secuencias simples, dificultan esta investigación (Zhang *et al.*, 2019).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto de la densidad de siembra del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) en la producción total (NTH) y diferencial de hemocitos (DH), así como determinar la correlación entre la producción de estos hemocitos y la calidad del agua. El estudio busca entender cómo diferentes densidades afectan el sistema inmune del camarón, con énfasis en los hemocitos, que son clave en su defensa inmunológica, y cómo estos cambios influyen en las condiciones ambientales y en la salud del cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño experimental

Este estudio se realizó en el Laboratorio de Bioingeniería Costera, de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad de Nayarit, San Blas Nayarit, México (21°29'N, 105°12'W). Las postlarvas de camarón *L. vannamei* (PL 15) utilizadas fueron adquiridas del laboratorio comercial Acopio de Larvas y Asesoría en Proyectos S.A. de C.V. ubicado en Bahía Matanchén, San Blas, Nayarit. Las postlarvas de camarón tuvieron un peso inicial medio de 0.005 ± 0.002 g y fueron transferidas a los tanques experimentales de forma aleatoria para su aclimatación.

El diseño experimental consistió con tres densidades de siembra por sistema de cultivo experimental: 300 (TA); 500 (TB), 700 (TC) org m⁻³, con tres réplicas asignadas al azar. Los camarones se alimentaron cada dos horas mediante comederos con dieta comercial MaltaCleyton® (35 a 28 % de proteína bruta). La tasa de alimentación fue de 16 a 1.7 % de la biomasa, ajustada diariamente hasta el final del estudio, el cual tuvo una duración de 83 días.

Sistemas de cultivo experimental

Se utilizaron nueve estanques circulares de 1.5 m³ de capacidad máxima (microcosmos), revestidos de geomembrana. Cada estanque contó con aireación continua mediante cuatro difusores a una tasa de 29 mL s⁻¹. Los sistemas se llenaron con agua de mar filtrada (arena y carbón activado) a una salinidad de 35 mg L⁻¹. Durante el estudio, no hubo recambio de agua; solo se reponía la pérdida por evaporación con un 0.5 % semanal de agua de mar.

Calidad del agua

Durante el estudio, se registró la calidad del agua en los tanques experimentales. La concentración de oxígeno disuelto (OD; mg L⁻¹), la temperatura (°C), el pH y la salinidad (mg/L) se monitorearon cada dos horas con un equipo multiparámetro (modelo Pro-20,



YSI Inc., Yellow Springs, OH, USA). Las concentraciones de nitrógeno amoniacal total (TAN mg L⁻¹), nitrito-N (NO₂-N mg L⁻¹), nitrato-N (NO₃-N mg L⁻¹), ortofosfato-P (PT mg L⁻¹) y la alcalinidad-CaCO₃ (mg L⁻¹) se midieron semanalmente, según los métodos descritos por la UNESCO (1983).

Desempeño de crecimiento

El desempeño de crecimiento de los camarones fue evaluado conforme a lo detallado por (Arambul-Muñoz *et al.*, 2019), quienes incluyen el cálculo de la ganancia en peso (GP), peso diario ganado (G/D), tasa específica de crecimiento (TEC), factor de conversión alimentaria (FCA), índice leptosomático (IH), factor de condición (FC) y Supervivencia (%S) el cual se determinó al final del experimento como la relación entre el número final y el número inicial de los camarones en cultivo, todos los parámetros se calcularon tal y como se detalla a continuación:

$$GP(g) = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}$$
$$G/D = \frac{\text{Peso final (g)} * \text{Peso inicial (g)}}{\text{Días de cultivo}}$$
$$TEC = \frac{\text{Ln Peso final} - \text{Ln Peso inicial}}{t} * 100$$
$$FCA = \frac{\text{Alimento seco ofertado}}{\text{Peso húmedo ganado}}$$
$$IH(\%) = \frac{\text{Peso del hepatopáncreas (g)}}{\text{Peso del camarón (g)}} * 100$$
$$FC(\%) = \frac{\text{Peso final (g)}}{[\text{Longitud total (cm)}]^3} * 100$$
$$S(\%) = \frac{T_i}{T_f} * 100$$

Extracción de hemolinfa y conteo de hemocitos

A partir de la quinta semana del cultivo experimental se extrajo hemolinfa semanalmente a seis organismos por tratamiento, con jeringas estériles para insulina de 1 mL (0.3 mL 31Gx6mm) del seno hemolinfático ventral de los camarones, en la zona del segundo par de pleópodos. La jeringa se cargó con una solución isotónica (NaCl 450 mM, KCl 10 mM, Hepes 10 mM) para camarón y EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) como anticoagulante (EDTA-Na₂ 10 mM, pH 7.3, 850 mOsm/kg) previamente almacenado a 4°C (Vargas-Albores *et al.*, 1993), en una proporción 2:1 (2 volúmenes de SIC-EDTA por cada volumen extraído de hemolinfa). La muestra de hemolinfa se depositó en tubos estériles de 1.5 mL sobre hielo. Se tomaron 50 µL de la dilución 2:1 de SIC-EDTA-hemolinfa y se mezclaron con 150 µL (1:3 v/v) de una solución de formaldehído preenfriado al 4 %, para fijar los hemocitos. A partir de esta dilución se realizó el conteo total y diferencial por muestra utilizando una cámara Neubauer con una retícula de 0.01 mm bajo un microscopio óptico (VELAB®). La respuesta inmune del camarón se evaluó



mediante el conteo total de hemocitos de acuerdo a [Cabrera-Pérez et al. \(2019\)](#)

$$(CTH) \text{ (células/mL)} = (Hc * D * C) / 0.4$$

Donde:

Hc = Número total de hemocitos contados

D = Factor de dilución de la hemolinfa

C = Conversión del factor x 0.1 mm³ x mL (1000)

Análisis estadísticos

Se probó la normalidad y la homocedasticidad de los datos por la prueba de Kolmogorov-Smirnof y Levene, respectivamente, ahora bien, cuando $N < 50$, la normalidad se probó por Shapiro-Wilk. Tanto el conteo de hemocitos, calidad del agua y desempeño de crecimiento, se evaluaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANDEVA) y cuando se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos para cada una de las variables estudiadas, se realizó una prueba de Tukey. Cuando no cumplieron con los supuestos estadísticos de homocedasticidad y normalidad se realizó el análisis de varianza de una vía para datos no paramétricos de Kruskal-Wallis al 95 % de nivel de confianza. Además, se efectuó un análisis de correlación de Spearman entre el conteo de hemocitos, las variables de respuesta y la calidad del agua. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics V26[®] (Armonk, N.Y., EE. UU.).

Consideraciones éticas

La especie *L. vannamei*, no se encuentra en peligro de extinción o protegida y se cumplió con la Norma Oficial Mexicana: [NOM-062-ZOO-1999](#), la cual señala las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio.

RESULTADOS

Calidad del agua

La concentración de oxígeno disuelto (OD), la temperatura, el pH y la salinidad del agua, concentración de NAT, PT y CaCO₃, no mostraron ninguna diferencia significativa ($P > 0.05$) entre las diferentes densidades de siembra (Tabla 1). Sin embargo, las mayores concentraciones de NO₂-N se registraron en la densidad TC, y se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre TC y los otros tratamientos. Las mayores concentraciones de NO₃-N se presentaron en los tratamientos TB y TC, sin diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ellos, pero si difirieron con la menor concentración registrada en el tratamiento TA. No obstante, todas las variables anteriormente descritas se encontraron dentro de los intervalos óptimos para la especie ([Boyd, 2019](#)).



Tabla 1. Variables fisicoquímicas de calidad del agua (Media ± Desv. Est.) en estanques utilizados para el cultivo de *L. vannamei* en diferentes densidades de siembra durante un periodo de 83 días

Variables	TA	TB	TC
T (°C)	31.73 ± 1.04	31.79 ± 1.00	31.68 ± 0.96
OD (mg L ⁻¹)	4.91 ± 0.52	4.81 ± 0.50	4.81 ± 0.51
pH	7.95 ± 0.14	7.96 ± 0.14	7.94 ± 0.16
Salinidad (mg L ⁻¹)	35.24 ± 0.97	34.93 ± 0.97	35.16 ± 0.98
NAT (mg L ⁻¹)	1.91 ± 1.48	2.26 ± 1.70	2.67 ± 1.72
NO ₂ -N (mg L ⁻¹)	2.50 ± 0.30 ^c	4.55 ± 0.33 ^b	6.73 ± 0.41 ^a
NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	11.46 ± 0.31 ^a	10.93 ± 0.46 ^b	10.98 ± 0.59 ^b
PT (mg L ⁻¹)	6.14 ± 2.50	6.05 ± 2.85	7.13 ± 2.49
CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	116 ± 13.59	114.87 ± 18.95	112.72 ± 18.89

TA= 300 org m⁻³, TB=500 org m⁻³, TC=700 org m⁻³, Temperatura (T), Oxígeno disuelto (OD), Nitrógeno amoniacal total (NAT), Nitrito (NO₂-N), Nitrito (NO₃-N), Fósforo total (PT), Alcalinidad (CaCO₃).

Rendimiento del crecimiento de los camarones

Los camarones cultivados a menores densidades (TA) presentaron mejores rendimientos en peso final (10.06 ± 0.13), tasa específica de crecimiento (2.78 ± 0.01), ganancia diaria de peso (0.30 ± 0.03), índice hepatosomático (4.25 ± 0.39) y supervivencia (84.92 ± 1.98), encontrándose diferencias significativas (P<0.05) respecto a las otras dos mayores densidades de cultivo (TB y TC). El factor de conversión alimenticia y el factor de condición no presentaron diferencias significativas (P>0.05) entre las tres densidades de siembra. La mayor biomasa total se registró en la densidad intermedia (TB) (5.05 ± 0.29), lo que difiere significativamente (P<0.05) de las otras dos densidades de siembra (TA y TC) (Tabla 2).

Tabla 2. Desempeño de crecimiento del camarón blanco *L. vannamei* cultivado en diferentes densidades durante un periodo de 83 días (Media ± Desv. Est.)

Variables	Tratamiento		
	Media ± Desv. Est.		
	TA	TB	TC
PF (g)	10.06 ± 0.13 ^a	8.43 ± 0.47 ^b	5.44 ± 0.20 ^c
FCA	1.33 ± 0.10	1.15 ± 0.01	1.36 ± 0.02
TCE (% d ⁻¹)	2.78 ± 0.01 ^a	2.56 ± 0.06 ^b	1.99 ± 0.09 ^c
Biomasa total (Kg tanque ⁻¹)	3.91 ± 0.21 ^b	5.05 ± 0.29 ^a	4.23 ± 0.27 ^b
PG (g d ⁻¹)	0.30 ± 0.03 ^a	0.19 ± 0.02 ^{ab}	0.11 ± 0.01 ^b
IH (%)	4.25 ± 0.29 ^a	3.91 ± 0.11 ^a	2.62 ± 0.16 ^b
FC (%)	0.61 ± 0.02	0.67 ± 0.05	0.68 ± 0.09
Supervivencia (%)	84.92 ± 1.98 ^a	80.06 ± 0.44 ^b	74 ± 2.00 ^c

TA= 300 org m⁻³, TB= 500 org m⁻³, TC= 700 org m⁻³. Peso final (PF), Factor de conversión alimenticia (FCA), Tasa de crecimiento específica (TCE), Peso ganado por día (PG), índice leptosomático (IH), Factor de condición (FC).



Conteo de hemocitos

La concentración de hemocitos HH en los camarones cultivados fueron similares entre las diferentes densidades de siembra, con una concentración $< 20,000 \text{ cel mL}^{-1}$, en cambio, los camarones cultivados a la mayor densidad de siembra (TC) presentaron las mayores concentraciones de SGH ($77,401.44 \pm 4,041.63$), GH ($73,541.48 \pm 1,833.52$) y TH ($161,194.81 \pm 5,451.04$) lo que difiere significativamente ($P < 0.05$) de las concentraciones obtenidas en camarones cultivados en las otras dos densidades menores de siembra (TA y TB) (Figura 1).

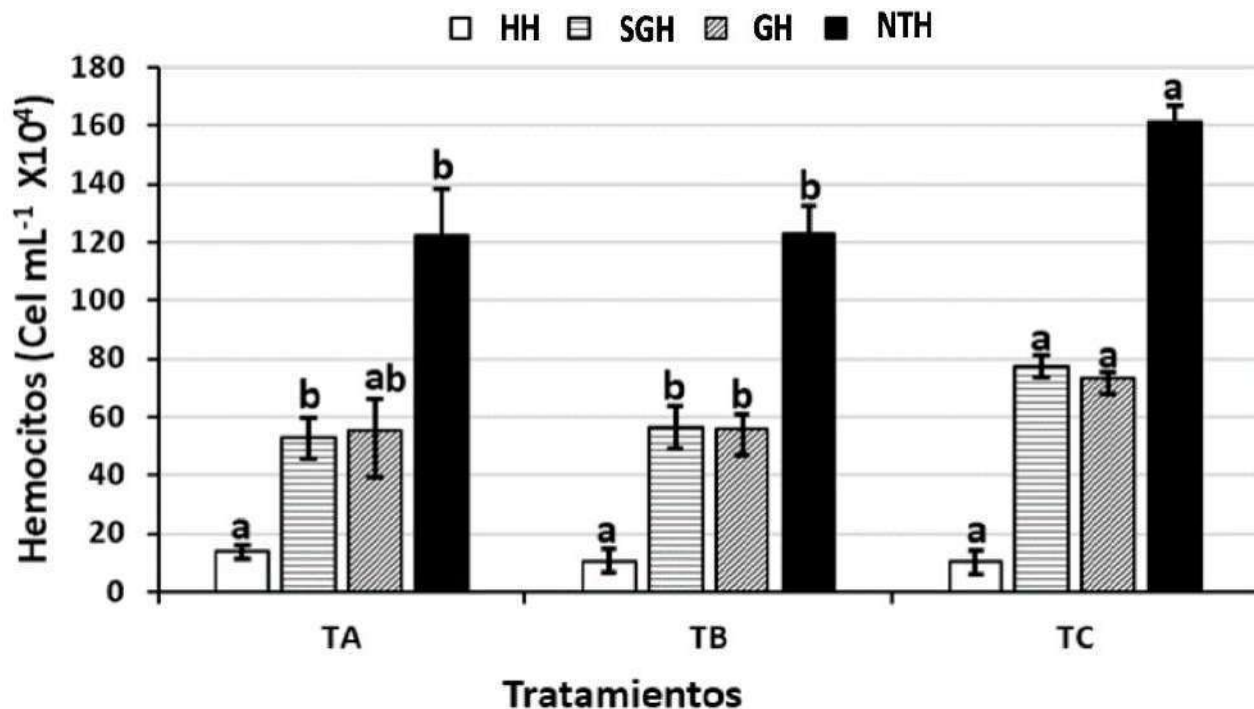


Figura 1. Relación del número de hemocitos (células mL^{-1}) de camarón blanco juvenil cultivado a diferentes densidades de siembra. TA= 300 org m^{-3} , TB= 500 org m^{-3} , TC= 700 org m^{-3} . HH= hemocitos hialinos, GH= hemocitos granulares, SGH= hemocitos semigranulares, NTH= Número total de hemocitos.

En los estanques con menores densidades de siembra (TA) se observó una correlación negativa entre la concentración de $\text{NO}_2\text{-N}$ en el agua y la concentración de hemocitos HH, SGH y NTH en los camarones cultivados NTH ($P < 0.05$). En cambio, en los estanques con mayores densidades de siembra (TC) solo se observó una correlación negativa con los hemocitos HH y NTH, mientras que en los estanques con densidades medias (TB) la correlación negativa solo se observó con los hemocitos HH.



Tabla 3. Correlación de Spearman ($P < 0.05$) entre el número de hemocitos (HH, SGH, GH, NTH) y concentración de $\text{NO}_2\text{-N}$ en diferentes densidades de siembra de camarón blanco *L. vannamei* durante 83 días de cultivo

Tratamiento	NO_2		
	TA	TB	TC
HH	-0.987**	-0.937**	-0.955**
SGH	-0.472	-0.078	0.063
GH	-0.822**	-0.018	-0.024
NTH	-0.895**	-0.475	-0.671*

TA= 300 org m^{-3} , TB= 500 org m^{-3} , TC= 700 org m^{-3} . $\text{NO}_2\text{-N}$ = nitrito. HH= hemocitos hialinos, GH= hemocitos granulares, SGH= hemocitos semigranulares, NTH= número total de hemocitos. *. La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral). **. La correlación es muy significativa en el nivel de 0.05 (bilateral).

Se observó correlación negativa ($P < 0.01$) entre la longitud y peso de los camarones cultivados y su concentración de hemocitos HH, SGH, GH y NTH.

Tabla 4. Correlación de Spearman ($P < 0.05$) entre el número de hemocitos (HH, SGH, GH, NTH) y el crecimiento del camarón blanco *L. vannamei* durante un periodo de 83 días

Crecimiento	HH	SGH	HG	NTH
Peso	-.646**	-.422*	-.478*	-.596**
Longitud	-.622**	-.440*	-.504**	-.620**

HH= hemocitos hialinos, GH= hemocitos granulares, SGH= hemocitos semigranulares, NTH= número total de hemocitos. *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral). **La correlación es muy significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

DISCUSIÓN

La calidad del agua del cultivo de camarón a diferentes densidades de siembra durante el periodo de 83 días, se mantuvo dentro del intervalo adecuado para el crecimiento y supervivencia del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boyd, 2019; Zahraie *et al.*, 2019; Martins *et al.*, 2020), no obstante las concentraciones de $\text{NO}_2\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$ tuvieron un incremento considerable más allá de los niveles óptimos de la especie (Boyd, 2019), debido a la acumulación de materia orgánica sedimentada y en suspensión en los sistemas de cultivo (Avnimelech, 2006; Avnimelech, 2009), aunado a esto, el mínimo recambio de agua, la exposición prolongada a las altas densidades de cultivo de los camarones y la alta dependencia de la comunidad bacteriana, permitieron que las concentraciones de estos compuestos nitrogenados se incrementaran (Arámbul *et al.*, 2019; Tierney *et al.*, 2020; Ray & Rode, 2021).

El rendimiento de los camarones fue significativamente mayor en el tratamiento de menor densidad (TA), por lo que se infiere que existe una fuerte influencia por la densidad de siembra en el desarrollo de los organismos cultivados. Al respecto, Sharawy *et al.*, 2020, mencionan que las altas densidades de siembra afectan directamente los indicadores productivos debido a: la limitación de espacio, la competencia por alimento, acumulación



de sedimentos y sustancias tóxicas (como NO₂-N) y proliferación de comunidades bacterianas.

Estos factores disminuyeron la supervivencia, así como la tasa de crecimiento al incrementar de la densidad de siembra, sin embargo, la biomasa máxima se registró en la densidad de siembra intermedia (TB), como resultado del balance entre supervivencia, peso final y densidad de siembra (TB). El sistema inmune de *L. vannamei*, principalmente los procesos de fagocitosis y la producción de melanina (Amparyup *et al.*, 2013), puede ser evaluado indirectamente por el conteo de hemocitos. Los resultados de la presente investigación muestran que la exposición crónica al estrés por la alta densidad de siembra aumento el número total de hemocitos respecto a camarones sin estrés, coincidiendo con lo reportado por Sharawy *et al.*, 2020. Los hemocitos (células circundantes de la hemolinfa) y el hepatopáncreas constituyen los componentes clave en la respuesta al estrés por compuestos nitrogenados en el camarón, cumpliendo funciones esenciales en metabolismo, desintoxicación y defensa inmunológica (Liang *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2020). A diferencia de lo reportado por Pinto *et al.* (2016) donde sus resultados presentaron una reducción en NTH durante estrés crónico por nitrógeno, nuestro estudio mostró un incremento significativo en el NTH correlacionado positivamente con la densidad de siembra.

Hartina *et al.* (2017) demostraron que juveniles de *Penaeus monodon*, experimentan un período crítico de 36 horas de estrés intenso cuando se cultivan a densidades mayores de 60 camarones/m². Los organismos que superan este período muestran una mayor actividad motora, alimenticia y aumento de hemocitos en la hemolinfa, indicando adaptación exitosa. Nuestros resultados son consistentes con este patrón, ya que después de 83 días de exposición a altas densidades de siembra, el NTH aumentó significativamente, este incremento en el NTH sugiere un buen estado inmunológico en los camarones adaptados como lo reportado por Hartina *et al.* (2017).

Se observó una correlación negativa significativa ($P < 0.05$) entre el conteo total de hemocitos y las concentraciones de NO₂-N en todos los tratamientos, derivado de la respuesta inmune a las altas densidades y como estrategia de aumentar la resistencia defensiva de los organismos contra gradientes ambientales externos (Perazzolo *et al.*, 2002; Hartina *et al.*, 2017). En la presente investigación los intervalos de NO₂-N sobrepasaron los máximos permisibles (0.4 a 0.8 mgL⁻¹) para la especie (Boyd, 1998; Avnimelech & Ritvo, 2003), además esas concentraciones se mantuvieron por largos periodos de tiempo, lo que posiblemente ocasionó las bajas supervivencias y que los pesos finales fueran afectados significativamente. Adicionalmente se correlacionó el peso y la longitud final de los organismos con el número total de hemocitos, los resultados evidencian una alta correlación negativa entre las variables evaluadas y el número de hemocitos, lo cual se ve reflejado en el índice hepatosomático, pero no en el factor de condición.



Se recomienda que, en futuras investigaciones se trabaje sobre el efecto de las densidades de siembra en la respuesta inmune del camarón, con énfasis al análisis molecular del hepatopáncreas, para definir expresión génica al estrés temprano.

CONCLUSIÓN

Se concluye que la densidad de siembra en cultivos superintensivos de camarón con mínimo recambio de agua influye significativamente en la fisiología del camarón. Si bien se observa un efecto negativo en la proliferación de hemocitos, estrés y una menor tasa de crecimiento individual, la alta densidad permite alcanzar una mayor biomasa total de cosecha. Esto sugiere que, aunque los camarones priorizan la homeostasis en detrimento del crecimiento individual, la producción total se maximiza. Estos resultados subrayan la necesidad de optimizar las densidades de siembra y las condiciones de cultivo, donde se considere tanto el crecimiento individual como la biomasa total, para garantizar la salud y la productividad del camarón en sistemas superintensivos.

LITERATURA CITADA

- AGUILAR V, Racotta IS, Goytortúa E, Wille M, Sorgeloos P, Civera R, Palacios E. 2011. The influence of dietary arachidonic acid on the immune response and performance of Pacific whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at high stocking density. *Aquaculture Nutrition*. 18(3):258-271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00892.x>
- AMPARYUP P, Charoensapsri W, Tassanakajon A. 2013. Prophenoloxidase system and its role in shrimp immune responses against major pathogens. *Fish & Shellfish Immunology*. 34(4):990-1001. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.08.019>
- ARAMBUL-MUÑOZ E, Ponce-Palafox JT, Claro De Los Santos R, Aragón-Noriega EA, Rodríguez-Domínguez G, Castillo-Vargasmachuca SG. 2019. Influence of stocking density on production and water quality of a photoheterotrophic intensive system of white shrimp (*Penaeus vannamei*) in circular lined grow-out ponds, with minimal water replacement. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 47(3):449-455. <http://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue3-fulltext-7>
- AVNIMELECH Y. 2006. Bio-filters: the need for an new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*. 34(3):172-178. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.001>
- AVNIMELECH Y. 2009. Biofloc technology: A practical guide book. *World Aquaculture Society*. <https://www.cabdirec.org/cabdirec/abstract/20113266301>
- BARDERA G, Owen MA, Façanha FN, Alcaraz-Calero JM, Alexander ME, Sloman KA. 2021. The influence of density and dominance on Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feeding behaviour. *Aquaculture*. 531:735949. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735949>



BOYD CE. 1998. Water quality in ponds for aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. <http://hdl.handle.net/11200/49690>

BOYD CE. 2019. Water quality: An introduction springer nature Switzerland AG. *Cham, Switzerland*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8>

CABRERA E, Marcelo Z, Reyes W, Azañero C. 2019. Efecto de dietas con alta concentración de *Saccharomyces cerevisiae* sobre la proliferación de hemocitos en camarones *Cryphiops caementarius* machos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 30 (3): 1057-1067. ISSN: 1609-9117. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i3.16733>

CAMPA-CÓRDOVA AI, Hernández-Saavedra NY, De Philippis R, Ascencio F. 2002. Generation of superoxide anion and SOD activity in haemocytes and muscle of American white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as a response to β -glucan and sulphated polysaccharide. *Fish & Shellfish Immunology*. 12(4):353-366. <https://doi.org/10.1006/fsim.2001.0377>

DIREKBUSARAKOM S, Danayadol Y. 1998. Effect of oxygen depletion on some parameters of the immune system in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*): 147-149 In: *Advances in shrimp biotechnology*. BIOTEC The National Center for Genetic Engineering and Biotechnology Thailand. <https://www.slideshare.net/lichlinhlam/advances-in-shrimp-biotechnology>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. La sostenibilidad en acción. Roma, Italia. *Organización de las Naciones Unidas*. ISBN 978-92-5-132756-2. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>

FLECKENSTEIN LJ, Kring NA, Tierney TW, Fisk JC, Lawson BC, Ray AJ. 2020. The effects of artificial substrate and stocking density on Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) performance and water quality dynamics in high tunnel-based biofloc systems. *Aquacultural Engineering*. 90:102093. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102093>

FLEGEL TW. 2019. A future vision for disease control in shrimp aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*. 50(2):249-266. <https://doi.org/10.1111/jwas.12589>

HAMILTON KA, Chen A, Johnson EDG, Gitter A, Kozak S, Niquice C, Gurian PL. 2018. Salmonella risks due to consumption of aquaculture-produced shrimp. *Microbial Risk Analysis*. 9:22-32. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2018.04.001>

HARTINAH T, La Paturusi LP, Ratsanari R, Rimal H, Dahlia D, Rustam R. 2017. Performance of total haemocyte count and survival rate the tiger prawn *Penaeus monodon* fabricius Juvenile Rearing at High Density. *Aquacultura Indonesia*. 18(1):9-14. <http://aquasiana.org/index.php/ai/article/view/77>



- HOSE JE, Cross JN, Smith SG, Diehl D. 1987. Elevated circulating erythrocyte micronuclei in fishes from contaminated sites off southern California. *Marine Environmental Research*. 22(3):167-176. [https://doi.org/10.1016/0141-1136\(87\)90034-1](https://doi.org/10.1016/0141-1136(87)90034-1)
- JOHANSSON MW, Keyser P, Sritunyalucksana K, Söderhäll K. 2000. Crustacean haemocytes and haematopoiesis. *Aquaculture*. 191:45–52. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00418-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00418-X)
- KOIWAI K, Koyama T, Tsuda S, Toyoda A, Kikuchi K, Suzuki H, Kawano R. 2021. Single-cell RNA-seq analysis reveals penaeid shrimp hemocyte subpopulations and cell differentiation process. *eLife*, 10, e66954. <https://doi.org/10.7554/eLife.66954>
- LIANG Z, Liu R, Zhao D, Wang L, Sun M, Wang M, Song L. 2016. Ammonia exposure induces oxidative stress, endoplasmic reticulum stress and apoptosis in hepatopancreas of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Fish & shellfish immunology*. 54:523-528. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.05.009>
- LIN YC, Chen JC, Chen YY, Yeh ST, Chen LL, Huang CL, Li CC. 2015. Crowding of white shrimp *Litopenaeus vannamei* depresses their immunity to and resistance against *Vibrio alginolyticus* and white spot syndrome virus. *Fish & Shellfish Immunology*. 45(1):104-111. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.02.012>
- MARTINS MA, Poli MA, Legarda EC, Pinheiro IC, Carneiro RFS, Pereira SA, do Nascimento Vieira F. 2020. Heterotrophic and mature biofloc systems in the integrated culture of Pacific white shrimp and Nile tilapia. *Aquaculture*. 514:734517. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734517>
- NOM (Norma Oficial Mexicana, NOM-062-ZOO-1999). 1999. de especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. México. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=764738&fecha=18/06/2001
- PERAZZOLO LM, Gargioni R, Ogliari P, Barracco MA. 2002. Evaluation of some hemato-immunological parameters in the shrimp *Farfantepenaeus paulensis* submitted to environmental and physiological stress. *Aquaculture*. 214(1-4):19-33. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00137-0)
- PINTO MR, Lucena MN, Faleiros RO, Almeida EA, McNamara JC, Leone FA. 2016. Effects of ammonia stress in the Amazon river shrimp *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda, Palaemonidae). *Aquatic Toxicology*. 170:13-23. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.10.021>
- RADDI G, Barletta ABF, Efremova M, Ramirez JL, Cantera R, Teichmann SA, Barillas-Mury C, Billker O. 2020. Mosquito cellular immunity at single-cell resolution. *Science*. 369:1128–1132. <https://doi.org/10.1126/science.abc0322>



RAY AJ, Rode R. 2021. Small-scale, year-round shrimp farming in temperate climates. North Central Regional Aquaculture Center. *Aquaculture Magazine*. 1-12.
<https://store.extension.iastate.edu/product/16228>

SHARAWY ZZ, Abbas EM, Abdelkhalek NK, Ashry OA, Abd El-Fattah LS, El-Sawy MA, El-Haroun E. 2022. Effect of organic carbon source and stocking densities on growth indices, water microflora, and immune-related genes expression of *Litopenaeus vannamei* Larvae in intensive culture. *Aquaculture*. 546:737397.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737397>

SHARAWY ZZ, Ashour M, Abbas E, Ashry O, Helal M, Nazmi H, Goda A. 2020. Effects of dietary marine microalgae, *Tetraselmis suecica*, on production, gene expression, protein markers and bacterial count of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*. 51(6):2216-2228. <https://doi.org/10.1111/are.14566>

SÖDERHÄLL K, Smith VJ. 1983. Separation of the haemocyte populations of *Carcinus maenas* and other marine decapods, and prophenoloxidase distribution. *Developmental & Comparative Immunology*. 7:229–239. [https://doi.org/10.1016/0145-305X\(83\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0145-305X(83)90004-6)

TASSANAKAJON A, Somboonwiwat K, Supungul P, Tang S. 2013. Discovery of immune molecules and their crucial functions in shrimp immunity. *Fish & shellfish immunology*. 34(4):954-967. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.09.021>

TATTIKOTA SG, Cho B, Liu Y, Hu Y, Barrera V, Steinbaugh MJ, Yoon S-H, Comjean A, Li F, Dervis F, Hung R-J, Nam J-W, Ho SS, Shim J, Perrimon N. 2020. A single-cell survey of *Drosophila* blood. *eLife*. 9:e54818. <https://doi.org/10.7554/eLife.54818>

TIERNEY TW, Ray AJ. 2018. Comparing biofloc, clear-water, and hybrid nursery systems (Part I): Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production, water quality, and stable isotope dynamics. *Aquacultural Engineering*. 82:73-79.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.06.002>

TIERNEY TW, Fleckenstein LJ, Ray AJ. 2020. The effects of density and artificial substrate on intensive shrimp *Litopenaeus vannamei* nursery production. *Aquacultural Engineering*. 89:102063. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102063>

UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization). 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual and Guides 12*. Paris, France. Pp. 53.
<https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/87>

VARGAS-ALBORES F, Guzmán MA, Ochoa JL. 1993. An anticoagulant solution for haemolymph collection and prophenoloxidase studies of penaeid shrimp (*Penaeus californiensis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. 106(2): 299-303. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(93\)90516-7](https://doi.org/10.1016/0300-9629(93)90516-7)



ZAHRAIE B, Szidarovszky F, Karamouz M. 2019. Water quality management. In: Samocha TM. (1st. Ed.), Sustainable Biofloc Systems for Marine Shrimp. *Elsevier B.V.* ISBN: 9780128180402. Pp. 133-151. <https://www.elsevier.com/books/sustainable-biofloc-systems-for-marine-shrimp/samocha/978-0-12-818040-2>

ZHANG X, Yuan J, Sun Y, Li S, Gao Y, Yu Y, Liu C, Wang Q, Lv X, Zhang X, Ma KY, Wang X, Lin W, Wang L, Zhu X, Zhang C, Zhang J, Jin S, Yu K, Kong J, Xu P, Chen J, Zhang H, Sorgeloos P, Sagi A, Alcivar-Warren A, Liu Z, Wang L, Ruan J, Chu KH, Liu B, Li F, Xiang J. 2019. Penaeid shrimp genome provides insights into benthic adaptation and frequent molting. *Nature Communications*. 10:356. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08197-4>

ZHAO M, Yao, D, Li S, Zhang Y, Aweya JJ. 2020. Effects of ammonia on shrimp physiology and immunity: a review. *Reviews in Aquaculture*. 12(4):2194-2211. <https://doi.org/10.1111/raq.12429>

ZULKARNAIN R, Adiyana K, Nugroho H, Nugraha B, Thesiana L, Supriyono E. 2020. Selection of intensive shrimp farming technology for small farmers with analytical hierarchy process: A case for whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 404(1):12-17. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/404/1/012017>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. January-December 2025; 16:1-15. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.1>
Original Article. Received: 03/04/2024. Accepted:30/09/2025. Published: 06/10/2025. Code: e2025-105.
<https://www.youtube.com/watch?v=2TFB9Rujlu4>

Avian influenza in migratory waterfowl and synanthropic birds in a wetland-agroecosystem interface in northwest Mexico

Influenza aviar en aves acuáticas migratorias y sinantrópicas en la interfaz
de un humedal-agroecosistema en el Noroeste de México

García-Reséndiz Karen¹ID, Leyva-García Germán²ID, Aguayo-Patrón Sandra¹ID,
Burgara-Estrella Alexel³ID, García-Hernández Jaqueline²ID, Montalvo-Corral
Maricela^{1*}ID

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad de Investigación en Salud. Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Col. La Victoria, CP. 83304, Hermosillo, Sonora, México. ²Laboratorio de Ciencias Ambientales. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera al Varadero Nacional km 6.6, Col. Las Playitas, C.P. 85480, Guaymas, Sonora, México. ³Universidad de Sonora. Departamento de Investigación en Física. Blvd. Luis Encinas J y Av. Rosales, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México. *Corresponding author: Maricela Montalvo Corral. E-mail: karengresendiz@gmail.com, gleyva@ciad.mx, sandra.aguayo@ciad.mx, alexel.burgara@unison.mx, jaqueline@ciad.mx, *maricela.montalvo@ciad.mx

ABSTRACT

Avian influenza is a highly contagious viral disease caused by the avian Influenza virus (AIV). Waterfowl are considered their natural reservoirs, but highly pathogenic strains can cause mass mortality in both wild birds and poultry. Agroecosystems and coastal wetlands near migratory routes of wild birds are also habitats for many synanthropic animals, which may serve as a "bridge host" between poultry and other species. We aimed to analyze the molecular prevalence of AIV in terrestrial synanthropic birds and aquatic migratory wild birds within the context of the wetland-agroecosystem interface in Sonora, Mexico. A one-year survey was conducted. RT-qPCR was carried out to detect the molecular genome of AIV in ARN from cloacal samples. Our results show that avian influenza virus type A has been identified in 13 birds, from two estuarine species (*Anas crecca* and *Mareca americana*) and one ubiquitous bird (*Aythya marila*) inhabiting coastal and agricultural habitats. No evidence of positive doves was found. AIV-positive birds were more frequently found in adult female wild aquatic birds in the Yaqui Valley and southern Sonora's coastal wetlands, demonstrating the importance of these birds in introducing AIV to these sites, contributing to the ecoepidemiology of synanthropic birds, and highlighting the relevance of active surveillance in preventing outbreaks in this important Pacific migratory flyway.

Keywords: avian influenza, waterfowl, synanthropic birds, wetlands, agroecosystem, Sonora

RESUMEN

La influenza aviar es una enfermedad viral altamente contagiosa ocasionada por el virus de la influenza aviar (VIA). Las aves acuáticas son el reservorio natural de estos virus; sin embargo, las cepas de influenza aviar de alta patogenicidad pueden ocasionar mortalidades masivas tanto en aves silvestres como en pollos domésticos. Los agroecosistemas y los humedales costeros que forman parte de las rutas migratorias de las aves albergan otras especies sinantrópicas que pueden constituir hospederos puente entre las aves



domésticas, otras especies silvestres y mamíferos. El objetivo fue analizar la prevalencia del VIA en aves terrestres sinantrópicas y en aves acuáticas migratorias en la interfaz de un humedal-agroecosistema en Sonora, México. Se realizó un monitoreo de un año y la detección molecular del genoma viral de VIA en muestras de cloaca por RT-qPCR. Las aves positivas a VIA fueron 13 individuos de tres especies: dos acuáticas estuarinas (*Anas crecca* y *Mareca americana*) y una especie ubicua (*Aythya marila*) que puede usar tanto el hábitat del humedal como la zona agrícola del Valle del Yaqui, principalmente hembras adultas. No se encontraron palomas positivas. Esto demuestra la importancia de las aves acuáticas en estos sitios en la introducción de virus influenza aviar y aporta información sobre el papel de aves sinantrópicas en la ecoepidemiología de los VIA, así como la relevancia de la vigilancia activa para prevenir brotes en la ruta migratoria del Pacífico.

Palabras clave: influenza aviar, aves acuáticas, aves sinantrópicas, humedal, agroecosistema, Sonora

INTRODUCTION

Avian influenza is a highly contagious viral disease that poses a significant challenge to global veterinary and public health. It is caused by the Influenza A virus, a segmented, single-stranded, negative-sense (ssRNA-) virus belonging to the genus Alphainfluenzavirus and the family Orthomyxoviridae (Walker *et al.*, 2022). Waterfowl are considered its natural reservoirs, including members of the orders Anseriformes and Charadriiformes, such as gulls, swallows, shorebirds, ducks, geese, and swans (Blagodatski *et al.*, 2021). Still, other orders of domestic and wild birds, as well as mammal species, including humans, can be infected (WHO, 2023). Avian influenza virus Hemagglutinin (H1-H16) and neuraminidase (N1-N9) subtypes are distributed worldwide. They are found in more than 100 species of birds (Simancas-Racines *et al.*, 2023), whereas influenza-like viruses H17-H18 and N10-N11 are found in bats (CDC, 2024).

Most of the AIV strains cause middle to subclinical disease in infected birds. However, highly pathogenic avian influenza A viruses (HPAIV subtypes H5 and H7) can breach the intestinal and respiratory epithelial barriers, leading to systemic damage and death (Simancas-Racines *et al.*, 2023). For instance, exposure to clade 2.3.4.4a H5N8 in 2014 and clade 2.3.4.4b H5N8 in 2016, as well as H5N6 in 2017, caused 60% and 100% mortality in Pekin ducks (*Anas platyrhynchos*), respectively (Verhagen *et al.*, 2021).

Some AIV traits, such as genomic diversity, plasticity in hosts and environments, and bird behavior linked to feeding and roosting, might foster contacts between reservoirs and increase the risk of potential transmission or spillovers among susceptible species. Synanthropic animals found in anthropogenically modified landscapes (i.e., agricultural fields) may constitute "bridge host" species in the transmission of AIV between wild birds and domestic poultry farms or human settlements (Ringenberg *et al.*, 2024). These animals could coexist with migratory wild birds in agroecosystems near their migratory routes, where the bodies of water facilitate the fecal-oral transmission of AIV. Once infected, synanthropic species, such as pigeons and doves, or other invasive species, can



introduce the virus into poultry farms and domestic birds in rural areas ([Shriner & Root, 2020](#)).

This wildlife-agricultural interface scenario is common in the state of Sonora, located in northwest Mexico. Sonora has 1,209 km of coastline ([INEGI, 2016](#)) and 1,144,269 ha of agricultural land ([INEGI, 2023](#)). The coastal wetlands of northwest Mexico serve as the primary wintering grounds for waterfowl and shorebirds migrating through the Pacific Flyway ([Palacios, 2019](#)), one of the four main routes connecting the northern and southern hemispheres. Therefore, considering the notable fluxes of bird population migration through our wintering grounds, the continental and regional circulation of both low and highly pathogenic avian influenza strains, the possibility of zoonosis and/or bird infection transmission mediated by synanthropic species, we aimed to analyze the molecular prevalence of AIV in terrestrial synanthropic birds and aquatic migratory wild birds within the context of wetland-agroecosystem interface in Sonora, Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Study design and sample collection

This observational epidemiological study was conducted in two Units for Wildlife Conservation Management (UMA, SEMARNAT), located near the Etchohuaquila (N 3,021,903, E 622,660 UTM) community and the other within the Tobarí estuary (N 2,988,249, E 608,768 UTM). Etchohuaquila is a small town surrounded by agricultural fields located in the south of Sonora state, within the Yaqui Valley, where agriculture and livestock are the main economic activities ([INEGI, 2023](#)). The Tobarí estuary is part of the Gulf of California and includes 16,700 ha of waterfowl and shorebird habitat. It was declared a priority wetland for migratory shorebirds in Mexico by the Secretariat of Environment and Natural Resources (SEMARNAT) in 2008. In addition, the Tobarí estuary was included in the Western Hemisphere Shorebird Reserve Network in 2014 due to its international importance for shorebirds and waterfowl along the Pacific Flyway migration route (Figure 1) ([WHSRN, 2019](#)).

Opportunistic sampling was conducted from hunted aquatic and terrestrial game wild birds from the two Units for Wildlife Conservation Management previously described. This sampling method was selected because it is convenient for rapidly and efficiently sampling many samples in a short period. The study was conducted from October 2018 to February 2019. The sample size was calculated, considering the 95% confidence interval and an expected prevalence of 0.25% and 3.60% of positivity for AIV in terrestrial and aquatic birds, respectively ([Montalvo-Corral *et al.*, 2011](#)); this resulted in n=1,201 for terrestrial birds and n=103 for aquatic birds.

Cloacal samples were collected using Dacron sterile swabs. Bird species, age, and sex were recorded, along with the location and date of collection. Samples were placed in cryovials containing transport medium (Hank's solution with 10% glycerol, supplemented with 100 µg/mL of penicillin-streptomycin and 0.02 mg/mL of amphotericin B) and stored in a double-layer container. They were refrigerated, transported, and pooled before storage at -80°C until analysis. The UMA administrators of hunting clubs granted permission for sampling as part of their monitoring and hunting bird activities. No intervention or experimental procedures were conducted with organisms or samples. All personnel handling the birds and collecting samples employed standard biosafety and biosecurity procedures and equipment during fieldwork tasks.

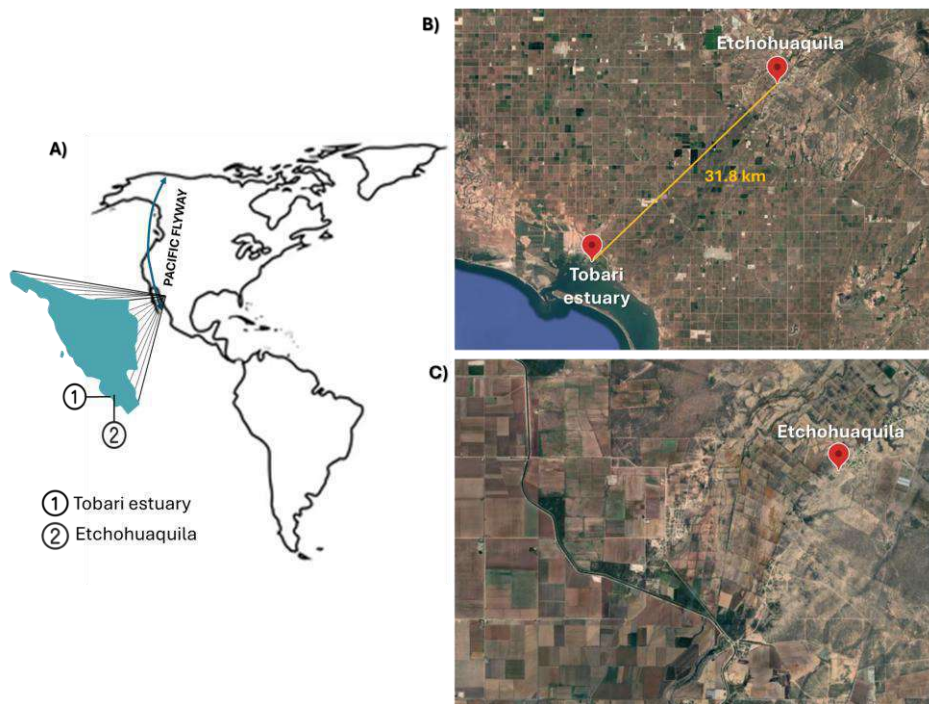


Figure 1. Sampling sites' geographical location. A) Location of the sampling sites respecting the Pacific flyway; B) Satellite image showing location and distance between the Tobari estuary and Etchohuaquila community; C) Satellite image showing the agroecosystem surrounding Etchohuaquila community.

Real-time RT-PCR (RT-qPCR)

RNA was extracted from pooled samples using the RNeasy Mini Kit (QIAGEN, Inc., California, USA) according to the manufacturer's instructions. Pools consisted of five samples collected from the same bird species on the same date. Once a pool was detected as positive, all the samples were reanalyzed individually to calculate prevalence. All these procedures were performed in a BSL-2 laboratory equipped with a Class II



biosafety cabinet (LABCONCO, Missouri, USA) while wearing personal protective equipment and utilizing barrier containment measures.

The AIV virus matrix M and hemagglutinin 5 genes (H5 subtype-specific for the North American and Eurasian lineage) were analyzed in the samples by RT-qPCR using the One Step Ahead RT-PCR Kit (QIAGEN, Inc., Hilden, Germany), and a set of oligonucleotides previously described and tested for specificity including both avian North American and Eurasian lineage viruses and isolates of human, equine, and swine origin to demonstrate specificity for type A influenza virus by (Spackman *et al.*, 2002). The molecular test had a specificity of 89%. The matrix, H5, and H7 RT-qPCR assay had a detection limit of 10^2 gene copies/ μ l (Montalvo-Corral *et al.*, 2009). The PCR reaction mix consisted of 5 μ l of RNA (50 ng), 10 μ l of One Step Ahead RT-PCR MM 2.5x, 1 μ l of One Step Ahead RT-Mix 25x, forward and reverse oligonucleotides (500 nM), TaqMan probes (300 nM), and RNase-free molecular-grade water to complete a volume of 25 μ l. Cycling conditions began with one cycle at 50°C for 10 min and one cycle at 95°C for 10 min, followed by 40 cycles at 95°C for 10 s and 60°C for 20 s, with a final extension at 72°C for 2 min (Montalvo-Corral & Hernandez, 2010). Non-template and positive controls were used. This amplification was performed in the thermocycler (StepOne™, Applied Biosystems, California, USA).

Statistical analysis

The prevalence of AIV was calculated in the software STATA version 12 (Corporation, Texas, USA). The dependence between the variables (bird's sex, age, date of sampling) and the presence of AIV was evaluated using Pearson's chi-squared test. Associations between sex and total viral load were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA) with a significance level of $p < 0.05$. The analysis was conducted with the RStudio (IDE) 219 program.

RESULTS

The sample distribution consisted of 1201 terrestrial bird species from the agricultural valley of Etchohuaquila and nearby fields, as well as 102 dabbling duck and one diving duck species from the Tobarí wetlands (Figure 2). Three species of synanthropic terrestrial birds were included in the study sample: 597 White-winged Doves, *Zenaida asiatica* (49.7%); 592 Mourning Doves, *Zenaida macroura* (49.3%); and 12 Eurasian Collared-Doves, *Streptopelia decaocto* (1.0%). Considering the three species, it was found that 50.8% were males, and 49.2% were females; 11.3% were juveniles, and 88.7% were adults. None of the terrestrial bird samples analyzed were positive for the matrix M and hemagglutinin 5 genes, indicating the absence of the AIV genome detection (Table 1). The Columbiformes, which are widely distributed in this agroecosystem, utilize a variety of habitats near poultry facilities, fields, and human settlements.

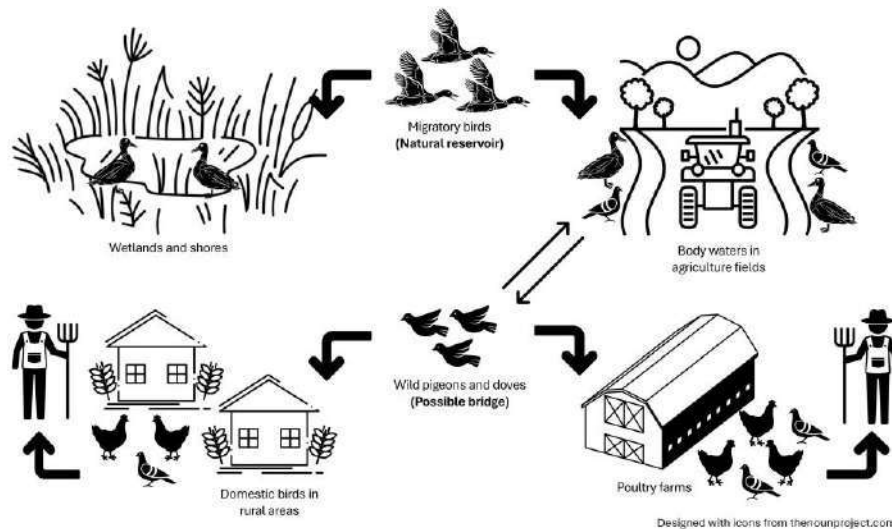


Figure 2. Schematization of the interaction of aquatic migratory and terrestrial synanthropic birds as possible “bridge hosts” for avian influenza virus

The eight waterfowl species sampled ($n = 103$) are described in Table 1. Thirteen positive cases for the matrix M gene were identified from three of the eight species of migratory aquatic birds sampled. Considering the total samples, the prevalence of AIV in aquatic birds during the 2018-2019 migration season in the Tobarí estuary was 12.6%. The analysis by species shows a differential contribution to this prevalence. The highest positive samples were obtained from the dabbling ducks, specifically the Green-winged Teal, *Anas crecca*, followed by the American Wigeon, *Mareca americana*, and the diving duck, the Great Scaup or bluebill, *Aythya marila* (Table 1).

After identifying the AIV matrix M gene, the positive samples were analyzed for molecular subtype determination with H5-specific primers for the Eurasian and North American lineages. Neither sample was positive for the Eurasian H5 subtype; however, two individuals were positive for the North American lineage H5 subtype, each found in *Anas crecca* and *Aythya marila*, respectively (Table 1).

According to the positive cases in waterfowl by sex, we found that 9 of 13 cases were in female specimens. This represents a ratio of 2.25 positive female samples to male samples. Regarding age, 9 of 13 cases were adult birds, one was classified as juvenile, and three remained unclassified by age. Additionally, nine cases were identified in autumn, while the remaining four were discovered in winter, at the end of January. There were no statistically significant differences in age, sex, or collection month, as determined by the Chi-squared test (Table 2).



Table 1. Avian influenza virus A was detected by Real-time RT-PCR in wild birds sampled during the 2018-2019 season at the Tobari agroecosystem interface in Sonora, Mexico (n = 1,304)

Common name	Specie	n	Positive M ¹ n (%)	Positive H5NA ² n (%)
Terrestrial birds				
White-winged Dove	<i>Zenaida asiatica</i>	597	0	0
Mourning Dove	<i>Zenaida macroura</i>	592	0	0
Eurasian Collared-Dove	<i>Streptopelia decaocto</i>	12	0	0
Total terrestrial birds		1,201	0	0
Aquatic birds				
<i>Dabbling ducks</i>				
Green-winged Teal	<i>Anas crecca</i>	54	10 (18.5)	1 (1.9)
Blue-winged Teal	<i>Spatula discors</i>	8	0	0
Cinnamon Teal	<i>Spatula cyanoptera</i>	1	0	0
Redhead	<i>Aythya americana</i>	2	0	0
Gadwall	<i>Mareca strepera</i>	20	0	0
American Wigeon	<i>Mareca americana</i>	14	2 (14.3)	0
Northern Pintail	<i>Anas acuta</i>	2	0	0
<i>Diving ducks</i>				
Great Scaup	<i>Aythya marila</i>	2	1 (50)	1 (50)
Total aquatic birds		103	13 (12.6)	2 (1.9)

¹M: avian influenza virus matrix gene (M) detection. ²H5NA: North American H5 lineage subtype.

Upon thorough examination, we analyzed the potential differences by sex in the ten positive samples found in Green-winged Teal (*Anas crecca*). However, the ANOVA analysis revealed no statistically significant differences ($p > 0.05$).

Table 2. The proportion of samples tested for avian influenza virus and dependency analysis by sex, age, and month

Variable	Classification	Positive M ¹ n (%)	Negative M ¹ n (%)	p-value
Sex³	Male	4 (3.9)	44 (42.7)	0.354
	Female	9 (8.7)	46 (44.7)	
Age³	Adult	9 (8.7)	73 (70.9)	0.300
	Juvenile	1 (1.0)	9 (8.7)	
	Unidentified ²	3 (2.9)	8 (7.8)	
Month^{2,3}	December	9 (8.7)	55 (53.4)	0.796
	January	4 (3.9)	35 (34.0)	

¹M: avian influenza virus matrix gene (M) detection. ²The months in question are January and December, including the sampling on December 14, 2018, and January 24, 2019, respectively. ³Chi-squared test in n= 103 samples



DISCUSSION

None of the terrestrial birds analyzed were positive for AIV; however, the overall prevalence found in the duck sample was 12.6%, higher than the results previously found in surveys carried out in the same wetland belonging to the Pacific Flyway migratory route region in Sonora, México, in aquatic birds with a prevalence of 3.6% ([Montalvo-Corral et al., 2011](#)). Similar results were found by [Mateus-Anzola et al. \(2021\)](#), with a prevalence of 3.6% of AIV-positive dabbling ducks in mid-winter in the Lerma river of Central Mexico. In addition, a study developed in the east of Mexico studied wild birds at a point of convergence of different migratory flyways (Pacific, Central and Atlantic), including samples of Anatidae and Columbidae families, and found an exceptionally high prevalence in terrestrial birds (49%) compared to aquatic birds (26%), without differences in the prevalence of resident (39%) and migratory (39%) birds ([Cerdeña-Armijo et al., 2020](#)). Although species that use the Pacific Flyway were included in the mentioned report, we agree with these authors that the differences in prevalence between the present and previous studies could be caused by the season of the year, species sampled, geographic variation, and also by the number of each represented species in the monitoring that increased the proportion of positive samples and the overall prevalence.

In the case of the three synanthropic dove species included in our research, they behave as either resident or long-distance migrants, capable of mobilizing up to 40 km from their perch to feeding sites within the agroecosystem. Their role as bridge species is controversial, as only a few studies included in AIV monitoring have found both positive and negative results. We did not detect any positive birds from doves included in our study. It has been argued that the very low AIV prevalence in the Columbine group is due to innate infection resistance mechanisms that they possess ([Shao et al., 2023](#)). Some epidemiological surveillance studies have evaluated the presence of LPAI AIV in *Streptopelia decaocto* and *Zenaidura macroura*, without finding any positive samples ([Kulak et al., 2010](#); [Lefrançois et al., 2010](#); [Cerdeña-Armijo et al., 2020](#)). A study limitation is that the AIV genome, as determined by molecular diagnosis, doesn't reflect serological status, since we did not test for anti-influenza antibodies to evaluate the synanthropic birds' AIV exposure. Additionally, opportunistic sampling for terrestrial hunted game birds restricts the species included to cinegetic birds.

Nevertheless, the interaction between migratory birds and synanthropic birds and the conditions of coastal wetlands, where the bodies of water facilitate contact with fecal material, would lead to the spread of avian influenza viruses indirectly to poultry through the contaminated body that deposits the virus in water or feed and not necessarily by direct secretions, as well occurs with fomites, feathers or by mechanical spread ([Abolnik, 2014](#); [Shriner & Root, 2020](#)). Previous research that simulated these natural conditions reported that starlings were susceptible to infection by exposure to AIV-contaminated



water (Ellis *et al.*, 2021), reinforcing the idea of the potential of some terrestrial birds to act as AIV bridge hosts and maintaining the importance of surveillance and the need for further analysis to test this possibility (Martelli *et al.*, 2023). The three dove species included in our study are among the most abundant species in the Yaqui Valley, along with other pigeon species, which utilize different landscapes within the agroecosystem (Leyva-García *et al.*, 2025).

It has been demonstrated that some terrestrial bird species play a role in the transmission of the influenza virus, as they can acquire the virus and exhibit symptoms (Liu *et al.*, 2020; Sultankulova *et al.*, 2022; Garcês & Pires, 2024). The possibility of exposure to the virus in other species of pigeons not included in the study is not ruled out because wild birds of the order Columbiformes have tested positive for antibodies and identification to AIV (Abolnik, 2014). Furthermore, birds of the *Streptopelia decaocto* are positive for HPAIV in territories affected by outbreaks in poultry (Verhagen *et al.*, 2021). A seasonal, spatial, and demographic variation in avian influenza prevalence has been documented, with a peak in late summer, autumn, and winter in different regions of the Northern Hemisphere (Verhagen *et al.*, 2021; Kent *et al.*, 2022). Additionally, some authors have reported differences based on sex, finding a higher prevalence in female waterfowl (Nallar *et al.*, 2015). Although we found a higher number of positive AIVs in females, this difference was not statistically significant due to the limited sample size.

Birds that migrate to Sonoran wetlands originate from regions in North America where the presence of the North American lineage H5 subtype has been documented, and, before 2006, was believed to be of low prevalence. Iša *et al.* (2022), in a genomic complementary study to Montalvo *et al.* (2011)'s waterfowl Sonora survey, found diverse subtypes of influenza virus, including the Low Pathogenic (LPAI) North American lineages H5N2 and H5N3 subtypes. Confirming the circulation and diversity of subtypes that waterfowl carry to the Pacific Mexican wetlands. After an introduction to new areas, AIV can circulate through the year and even persist until the following season. This phenomenon has been observed in the wetlands included in our study. Montalvo-Corral & Hernández (2010) identified two subtype H5 viruses in aquatic birds of Sonora and found a genetic identity of 94% between the two samples collected in different seasons. Furthermore, these viruses were highly related (99% and 98% identity) to viruses isolated in California from different consecutive years. However, more details of the genetic identity of the viruses found in the 2018-2019 season remain unknown.

Regarding the waterfowl species with positive samples, besides the Green-winged Teal (*Anas crecca*), which had the highest influenza prevalence, the virus found in a Great Scaup (*Aythya marila*) stands out. Previously, Spackman *et al.* (2017) reported its susceptibility to infection with H5 HPAIV, and Huang *et al.* (2024) found a high AIV



seroprevalence in this species. Conventionally, diving ducks are underrepresented in monitoring efforts. Diving ducks in the Yaqui Valley agroecosystem are found in canals and drains as part of the water irrigation system ([Leyva-García et al., 2025](#)). This interior area can blend with other terrestrial and aquatic species that can be bridge species in the transmission of viruses. This species is less represented in influenza monitoring studies and uses sites in the Valley, such as agricultural canals, which are not accessed by other species of ducks. As the Yaqui Valley region is one of the wintering sites for migratory species from North America, there is a possibility of introducing and mobilizing viruses. The circulation of newly arrived viruses can be maintained and spread among migratory populations of different species, potentially also to resident populations, promoting the transmission of VIA in wetlands and irrigation canals visited by birds. However, the latter could not be verified in the terrestrial birds studied.

Avian influenza viruses pose a persistent threat to animal and human health, as well as to wildlife biodiversity. Recently, significant mortalities have been caused by a highly pathogenic strain (HPAIV) H5N1 clade 2.3.3.4b in birds and mammals ([Webby et al., 2024](#); [Ospina-Jimenez et al., 2024](#)). Thus, monitoring AIV in non-typical birds or reservoirs significantly contributes to understanding the ecology of the disease. The present research was conducted before the discovery and introduction of the highly pathogenic strain (HPAIV) H5N1 clade 2.3.3.4b in birds and mammals in North America and Mexico, as well as before poultry outbreaks in our region during the winters of 2022 and 2023 in farms from the Yaqui Valley ([SENASICA, 2024](#)). The results reported here are relevant to understanding the circulation, potential spread, and dynamics of viruses. Including those reasons reported by [Ramey et al. \(2018\)](#) regarding the importance of permanent surveillance of AIV in birds, such as the dispersion of wild bird viruses, the introduction of HPAIV strains, viral transmission between wild birds and poultry, the low probability of encountering and detecting a specific virus, and birds' immunity as outbreak triggers.

CONCLUSION

Avian influenza virus was identified in wild aquatic birds from the Tobarí wetland habitats, demonstrating the importance of these sites in introducing this type of virus. However, the role of terrestrial species in transmission routes of the AIV to the domestic environment of this arid region has yet to be determined. A better understanding of the characteristics of individuals and their environment would help to explain the eco-epidemiology of avian influenza virus and other zoonotic diseases present in wild birds, which will allow the generation of base information for modeling the risk of introducing diseases to this region for possible prevention and control of outbreaks, and the importance of active surveillance.



ACKNOWLEDGMENTS

Thanks to hunting clubs that facilitate sampling collection. Additionally, we would like to acknowledge Mónica Reséndiz Sandoval, Nilza Córdova-Robles, Javier Ojeda, Osmara Burgara, and Andrea Paredes for their technical assistance. K.G. R. was awarded a CONAHCYT scholarship for graduate studies in master's science. A seed grant from CIAD partially funds the project.

REFERENCES

ABOLNIK C. 2014. A current review of avian influenza in pigeons and doves (Columbidae). *Veterinary Microbiology*. 170(3-4):181-196. ISSN: 1873-2542. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.02.042>

BLAGODATSKI A, Trutneva K, Glazova O, Mityaeva O, Shevkova L, Kegeles E, Onyanov N, Fede K, Maznina A, Khavina E, Yeo SJ, Park H, Volchkov P. 2021. Avian Influenza in wild birds and poultry: dissemination pathways, monitoring methods, and virus ecology. *Pathogens*. 10(5):630. ISSN: 2076-0817. <https://doi.org/10.3390/pathogens10050630>

CDC (U. S. Centers for Disease Control and Prevention). 2024. *Influenza in animals. About bat flu*. USA. <https://www.cdc.gov/flu-in-animals/about/bat-flu.html>

CERDA-ARMIJO C, De León MB, Ruvalcaba-Ortega I, Chablé-Santos J, Canales-Del-Castillo R, Peñuelas-Urquides K, Rivera-Morales LG, Menchaca-Rodríguez G, Camacho-Moll ME, Contreras-Cordero JF, Guzmán-Velasco A, González-Rojas JI. 2020. High prevalence of avian influenza virus among wild waterbirds and land birds of Mexico. *Avian Diseases*. 64:135–142. ISSN: 0005-2086. <https://doi.org/10.1637/0005-2086-64.2.135>

ELLIS JW, Root JJ, McCurdy LM, Bentler KT, Barrett NL, VanDalen KK, Dirsmith KL, Shriner SA. 2021. Avian influenza A virus susceptibility, infection, transmission, and antibody kinetics in European starlings. *PLoS Pathogens*. 17(8):e1009879. ISSN: 1553-7374. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009879>

GARCÊS A., Pires I. 2024. Avian influenza: A new threat to wild bird conservation? *Probe - Plant & Animal Sciences*. 6(2):2262. ISSN: 2661-4057. <https://probe.usp-pl.com/index.php/PPAS/article/view/2262>

HUANG H, Poulson RL, Sullivan JD, De La Cruz SEW, Walbridge H, Stallknecht DE, Prosser DJ. 2024. Antibodies to influenza A virus in lesser (*Aythya affinis*) and greater scaup (*Aythya marila*) in the USA. *Journal of Wildlife Diseases*. 60(4):940-949. ISSN: 1943-3700. <https://doi.org/10.7589/JWD-D-24-00021>



INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2016. *Conociendo Sonora*. México. Pp. 4. <https://tinyurl.com/inegi2016ConociendoSonora>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2023. *Censo Agropecuario 2022. Resultados oportunos del estado de Sonora*. México. Pp. 14. <https://tinyurl.com/inegiCensoAgropecuario2022>

IÑA P, Paulin LF, Hernandez J, Montalvo-Corral M, López S, Arias CF. 2022. Phylogenetic analysis of avian influenza viruses from migratory waterfowl at Pacific wetlands. *Veterinaria México OA*. 9: e702. ISSN: 2448-6760. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-67602022000100307

KENT CM, Ramey AM, Ackerman JT, Bahl J, Bevins SN, Bowman AS, Boyce WM, Cardona CJ, Casazza ML, Cline TD, De La Cruz SE, Hall JS, Hill NJ, Ip HS, Krauss S, Mullinax JM, Nolting JM, Plancarte M, Poulson RL, Runstadler JA, Slemons RD, Stallknecht DE, Sullivan JD, Takekawa JY, Webby RJ, Webster RG, Prosser DJ. 2022. Spatiotemporal changes in influenza A virus prevalence among wild waterfowl inhabiting the continental United States throughout the annual cycle. *Scientific Reports*. 12(1):13083. ISSN: 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17396-5>

KULAK MV, Ilinykh FA, Zaykovskaya AV, Epanchinzeva AV, Evstaphiev IL, Tovtunec NN, Sharshov KA, Durimanov AG, Penkovskaya NA, Shestopalov AM, Lerman AI, Drozdov IG, Swayne DE. 2010. Surveillance and identification of influenza A viruses in wild aquatic birds in the Crimea, Ukraine (2006-2008). *Avian Diseases*. 54:1086-1090. ISSN: 0005-2086. <https://doi.org/10.1637/9272-020510-ResNote.1>

LEFRANÇOIS T, Hendriks P, Ehrhardt N, Millien M, Gomez L, Gouyet L, Gaidet N, Gerbier G, Vachiéry N, Petitclerc F, Carasco-Lacombe C, Pinarello V, Ahoussou S, Levesque A, Gongora HV, Trotman M. 2010. Surveillance of avian influenza in the Caribbean through the Caribbean Animal Health Network: surveillance tools and epidemiologic studies. *Avian Diseases*. 54:369-373. ISSN: 0005-2086. <https://doi.org/10.1637/8787-040109-ResNote.1>

LEYVA-GARCÍA G, García-Reséndiz K, Córdova-Robles N, Montalvo-Corral M, García-Hernández J. 2025. Bird community characterization and landscape affinities at an intensive agriculture region in northwest Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 68(4):263-275. ISSN: 0038-4909. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-68.4.3>



LIU K, Gao R, Wang X, Han W, Ji Z, Zheng H, Gu M, Hu J, Liu X, Hu S, Chen S, Gao S, Peng D, Jiao XA, Liu X. 2020. Pathogenicity and transmissibility of clade 2.3.4.4 highly pathogenic avian influenza virus subtype H5N6 in pigeons. *Veterinary Microbiology*. 247:108776. ISSN: 1873-2542. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2020.108776>

MATEUS-ANZOLA J, Gaytan-Cruz L, Montoya-Carrillo C, Ivan Sánchez-Betancourt J, Zarza H, Segura-Velázquez R, Ojeda-Flores R. 2021. Molecular identification and phylogenetic characterization of influenza A virus at a wildlife-livestock interface in Mexico. *Transboundary and Emerging Diseases*. 68:3563-3573. ISSN:1865-1682. <https://doi.org/10.1111/tbed.13962>

MARTELLI L, Fornasiero D, Scarton F, Spada A, Scolamacchia F, Manca G, Mulatti P. 2023. Study of the interface between wild bird populations and poultry and their potential role in the spread of avian influenza. *Microorganisms*. 11(10):2601. ISSN: 2076-2607. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102601>

MONTALVO-CORRAL M, Reséndiz M, Santos-López G, Vallejo-Ruiz V, Reyes-Leyva J, Hernández J. 2009. Standardization of a molecular detection method of highly pathogenic avian influenza virus (H5N1). *Acta bioquímica clínica latinoamericana*. 43(1):49-52. ISSN: 0325-2957. <https://www.redalyc.org/pdf/535/53516745009.pdf>

MONTALVO-CORRAL M, Hernández J. 2010. Genetic analysis of avian influenza virus from migratory waterfowl in Mexico. *Archives of Virology*. 155;97-101. ISSN: 1432-8798. <https://doi.org/10.1007/s00705-009-0554-y>

MONTALVO-CORRAL M, López-Robles G, Hernández J. 2011. Avian influenza survey in migrating waterfowl in Sonora, Mexico. *Transboundary and Emerging Diseases*. 58:63-68. ISSN:1865-1682. <https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2010.01182.x>

NALLAR R, Papp Z, Epp T, Leighton FA, Swafford SR, DeLiberto TJ, Dusek RJ, Ip HS, Hall J, Berhane Y, Gibbs SE, Soos C. 2015. Demographic and spatiotemporal patterns of avian influenza infection at the continental scale, and in relation to annual life cycle of a migratory host. *PLoS One*.10(6):e0130662. ISSN: 1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130662>

OSPINA-JIMENEZ AF, Gomez AP, Osorio-Zambrano WF, Alvarez-Munoz S, Ramirez-Nieto GC. 2024. Sequence-based epitope mapping of high pathogenicity avian influenza H5 clade 2.3. 4.4 b in Latin America. *Frontiers in Veterinary Science*. 11:1347509. ISSN: 2297-1769. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1347509>



PALACIOS, E. 2019. Monitoring migratory waterbirds in Mexico's wetlands. Sonoran Joint Venture. Tucson, AZ. USA. <https://sonoranjv.org/coordinated-monitoring-waterbirds-mexico/>

RAMEY AM, DeLiberto TJ, Berhane Y, Swayne DE, Stallknecht DE. 2018. Lessons learned from research and surveillance directed at highly pathogenic influenza A viruses in wild birds inhabiting North America. *Virology*. 518:55-63. ISSN: 0042-6822. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2018.02.002>

RINGENBERG JM, Weir K, Humberg L, Voglewede C, Oswald M, Root JJ, Dilione K, Casey E, Milleson M, Linder T, Lenocho J. 2024. Prevalence of avian influenza virus in atypical wild birds host groups during an outbreak of highly pathogenic strain EA/AM H5N1. *Transboundary and Emerging Diseases*. 4009552. ISSN:1865-1682. <https://doi.org/10.1155/2024/4009552>

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2014. *Influenza aviar*. México. <https://tinyurl.com/senasicalInfluenzaAviar>

SHAO Q, Fu F, Zhu P, Yu X, Wang J, Wang Z, Ma J, Wang H, Yan Y, Cheng Y, Sun J. 2023. Pigeon MDA5 inhibits viral replication by triggering antiviral innate immunity. *Poultry Science*. 102(10):102954. ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102954>

SHRINER SA, Root JJ. 2020. A review of avian influenza a virus associations in synanthropic birds. *Viruses*. 12(11):1209. ISSN: 1999-4915. <https://doi.org/10.3390/v12111209>

SIMANCAS-RACINES A, Cadena-Ullauri S, Guevara-Ramírez P, Zambrano AK, Simancas-Racines D. 2023. Avian influenza: strategies to manage an outbreak. *Pathogens*. 12(4):610. ISSN: 2076-0817. <https://doi.org/10.3390/pathogens12040610>

SPACKMAN E, Prosser DJ, Pantin-Jackwood MJ, Berlin AM, Stephens CB. 2017. The pathogenesis of clade 2.3.4.4 H5 highly pathogenic avian influenza viruses in ruddy duck (*Oxyura jamaicensis*) and lesser scaup (*Aythya affinis*). *Journal of Wildlife Diseases*. 53(4):832-842. ISSN: 1943-3700. <https://doi.org/10.7589/2017-01-003>

SPACKMAN E, Senne DA, Myers TJ, Bulaga LL, Garber LP, Perdue ML, Lohman K, Daum LT, Suarez DL. 2002. Development of a real-time reverse transcriptase PCR assay for type A influenza virus and the avian H5 and H7 hemagglutinin subtypes. *Journal of Clinical Microbiology*. 40:3256-3260. ISSN: 0095-1137. <https://doi.org/10.1128/JCM.40.9.3256-3260.2002>



SULTANKULOVA KT, Dzhekebekov KK, Orynbayev MB, Burashev YD, Melisbek AM, Barmak SM, Kozhabergenov NS, Issabek AU, Chervyakova OV, Namet AM, Zakarya KD, Fereidouni S. 2022. Evidence for flock transmission of individual subtypes and strains of avian influenza viruses: a monitoring study of wild birds in Kazakhstan. *Virus Research*. 15(320):e198898. ISSN: 1872-7492. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2022.198898>

VERHAGEN JH, Fouchier RAM, Lewis N. 2021. Highly pathogenic avian influenza viruses at the wild-domestic bird interface in Europe: future directions for research and surveillance. *Viruses*. 13(2):212. ISSN: 1999-4915. <https://doi.org/10.3390/v13020212>

WALKER PJ, Siddell SG, Lefkowitz EJ, Mushegian AR, Adriaenssens EM, Alfenas-Zerbini P, Dempsey DM, Dutilh BE, García ML, Curtis-Hendrickson R, Junglen S, Krupovic M, Kuhn JH, Lambert AJ, Łobocka M, Oksanen HM, Orton RJ, Robertson DL, Rubino L, Sabanadzovic S, Simmonds P, Smith DB, Suzuki N, Van-Doorslaer K, Vandamme AM, Varsani A, Zerbini FM. 2022. Recent changes to virus taxonomy ratified by the International Committee on Taxonomy of Viruses. *Archives of Virology*. 167:2429-2440. ISSN: 0304-8608. <https://doi.org/10.1007/s00705-022-05516-5>

WEBBY RJ, Uyeki TM. 2024. An update on highly pathogenic avian influenza A (H5N1) virus, clade 2.3. 4.4 b. *The Journal of Infectious Diseases*. 230(3):533-542. ISSN: 0022-1899. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiae379>

WHO (World Health Organization). 2023. *Influenza (Avian and other zoonotic)*. Switzerland. <https://tinyurl.com/whoAvianInfluenza>

WHSRN (Western Hemisphere Shorebird Reserve Network). 2019. *Bahía de Tobari*. https://whsrn.org/whsrn_sites/bahia-de-tobari/

[Errata Erratum](#)







<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-15. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.8>
Artículo Original. Recibido: 08/07/2024. Aceptado:18/10/2025. Publicado: 27/10/2025. Clave: e2024-37.
<https://www.youtube.com/watch?v=M-EZJP2CXzo>

Actividad antiprotozoaria *in vitro* de cuatro plantas medicinales de México sobre *Tritrichomonas foetus*

In vitro Antiprotozoal activity of four medicinal plants from Mexico against *Tritrichomonas foetus*

Hernández-Torres Mario¹ , Hernández-García Magda² , Verde-Star Julia¹ , Galindo-Rodríguez Sergio¹ , Hernández-Piñero Jorge³ , Viveros-Valdez Ezequiel*¹ 



¹Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Química. México. ²Centro de Investigaciones Biomédicas del Noreste. Laboratorio de Parasitología y Farmacognosia. México. ³Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Botánica. México. *Autor de correspondencia: Viveros-Valdez Ezequiel, Av. Pedro de Alba S/N, San Nicolás de los Garza 66450, Nuevo León, México. E mail: mhernandezt@uanl.edu.mx, magdaehg@hotmail.com, maria.verdest@uanl.edu.mx, sergio.galindord@uanl.edu.mx, jorge.hernandezpe@uanl.edu.mx, jose.viverosvld@uanl.edu.mx

Resumen

Tritrichomonas foetus es un protozoo parásito del sistema reproductor bovino, agente causal de la tricomoniasis bovina que afecta principalmente a las vacas. A nivel mundial, la tricomoniasis bovina ha ido en aumento y se considera un serio problema de sanidad pecuaria en países con limitadas estrategias para su control. Por ello, el uso de productos naturales podría constituir una terapia complementaria para su tratamiento. En este trabajo se evaluó el efecto *in vitro* de los extractos hexánicos y metanólicos de *Cordia dodecandra*, *Gaultheria odorata*, *Tagetes nelsonii* y *Talisia oliviformis* sobre el crecimiento celular de *T. foetus*. Los extractos fueron obtenidos por maceración asistida con sonicación, la actividad antiprotozoaria fue evaluada a concentraciones $\leq 500 \mu\text{g/mL}$, mediante un hemocitómetro manual. Además, un perfil químico semicuantitativo fue realizado a cada extracto. La actividad anti-*T. foetus* fue variable para los extractos de una misma planta, el extracto hexánico de *T. nelsonii* mostró la mejor actividad con una concentración inhibitoria media (CI_{50}) de $275.75 \mu\text{g/mL}$. Alcaloides, fenoles y terpenos son presuntos responsables de esta actividad. Los resultados de este trabajo constituyen el primer reporte de plantas mexicanas etnomedicinales en la investigación de productos naturales para atender la tricomoniasis bovina.

Palabras clave: actividad anti-*T. foetus*, *Tritrichomonas foetus*, tricomoniasis bovina, plantas etnomedicinales, *Tagetes nelsonii*.

Abstract

Tritrichomonas foetus is a flagellated protist parasite of the bovine reproductive system; it is the agent responsible for bovine trichomoniasis. Worldwide, cases of bovine trichomoniasis have increased, and in developing countries like Mexico there are few alternatives for its control. Therefore, the use of natural products could serve as a complementary therapy for its treatment. This work analyzes the antiprotozoal effect of hexanic and methanolic extracts from *Cordia dodecandra*, *Gaultheria odorata*, *Tagetes nelsonii* and *Talisia oliviformis*, plants used in ethnomedicine in Mexico, against *T. foetus*. Extracts were obtained



through sonication-assisted maceration, and antiprotozoal activity was assessed at concentrations ≤ 500 $\mu\text{g/mL}$ using a manual hemocytometer. In addition, a semiquantitative phytochemical was conducted for each extract. The anti-trichomonas activity varied among the extracts from the same plant, with the hexane extract of *T. nelsonii* showing the most potent activity, with a mean inhibitory concentration (IC_{50}) value of 275.75 $\mu\text{g/mL}$. The results of this study represent the first report on the use of medicinal from Mexican ethnic cultures in the investigation of natural products for treating bovine trichomoniasis.

Keywords: activity anti-*T. foetus*, *Tritrichomonas foetus*, bovine trichomonosis, *Etnomedicinal plants*, *Tagetes nelsonii*.

INTRODUCCIÓN

Tritrichomonas foetus es un protozoario flagelado, parásito extracelular causante de la tricomoniasis bovina, una patología de transmisión sexual de vacas y toros. Además, se ha encontrado como huésped comensal en cerdos y gatos, y en algunos casos provoca infecciones ocasionales del tracto gastrointestinal, y como patógeno oportunista en humanos inmunocomprometidos (Okamoto *et al.*, 1998; Lim *et al.*, 2010; Dabrowska *et al.*, 2019; Yildiz & Sursal, 2019).

En las hembras, la tricomoniasis bovina es grave, el parásito se extiende por vagina, útero y feto, dando lugar a vaginitis, cervicitis, endometritis, placentitis y aborto. Habitualmente, la hembra supera la infección y queda gestante de nuevo. Sin embargo, en lesiones del tejido endometrial causadas por *T. foetus*, la aparición de piómetra es inminente, lo que conduce a infertilidad definitiva. Durante la gestación, la pérdida del embrión puede ocurrir de forma temprana, lo que ocasiona un fallo reproductivo que difícilmente se percibe como un aborto en ganadería extensiva sin diagnóstico de gestación. Además, suele presentarse celo irregular en vacas, con periodos estrales más allá de los 23 días. En los machos, la infección se limita a la cavidad prepucial con lesiones purulentas o en su mayoría sin sintomatología aparente (Campero & Cobo, 2006; Doumecq & Soto, 2012; Islam *et al.*, 2017).

T. foetus está presente a nivel mundial, en regiones con producción masiva de ganado, reportándose casos de tricomoniasis bovina en Victoria River (65.9 %), China (56.3 %), Sudáfrica (26.4 %), España (32 %), Rhajastan (28 %), Turquía (5.7 %), Brasil (3.7 %), y Argentina (3.5 %); es endémica en Estados Unidos de América y de prevalencia incierta en México (Yao, 2013; Dabrowska, 2019, Martin *et al.*, 2021).

Aunque la tricomoniasis bovina es considerada una enfermedad con mínimo riesgo para la salud humana, el impacto biológico y productivo de la infección bovina radica en su alta tasa de contagio, la propagación de individuos asintomáticos, la elevada incidencia de abortos y la disminución de la tasa de preñez, provocan severos perjuicios económicos en la producción ganadera de carne y leche (Islam *et al.*, 2017; Leyva, 2019). Tan solo en E.U.A, un bovino infectado genera gastos económicos que van desde los 600 hasta los 2,500 dólares (Fox *et al.*, 1995; Yao, 2015).

La tricomoniasis bovina no tiene cura aparente, no obstante, dentro de la familia de los 5-nitroimidazoles, el ronidazol y metronidazol tienen efecto tricomonocida *in vitro* e *in vivo*,



sin embargo, existen limitaciones de uso en animales destinados a consumo humano (Gookin *et al.*, 2006; Love *et al.*, 2017). TrichGuard® es la única vacuna aprobada por la FDA para disminuir y prevenir el impacto biológico-económico de *T. foetus* (Edmonson *et al.*, 2017). Sin embargo, la accesibilidad a la vacuna es limitada en países en vías de desarrollo, por lo que la aplicación de prácticas bioseguras de producción animal constituye la principal estrategia para el control de la enfermedad. Esto, a su vez destaca la ausencia de terapias para tratar la infección por *T. foetus* (Baltzell, 2013; Yao, 2013). Por otro lado, el aprovechamiento de las plantas medicinales es una práctica ancestral que ha adquirido interés en la investigación y el desarrollo de nuevos antiparasitarios, especialmente desde la obtención de la artemisinina (Abdin *et al.*, 2003). Diversos productos naturales derivados de plantas etnomedicinales han desempeñado un rol importante en el control de enfermedades causadas por parásitos que afectan la salud humana (Ramírez *et al.*, 2010; Castaño & Giraldo, 2018). Poco más de 160 plantas a nivel mundial se han investigado para tratar parasitosis en ganadería (Veerakumari, 2015). Sin embargo, el estudio de plantas medicinales, disponibles localmente, para atender enfermedades por protozoarios en el ganado bovino, es un campo de oportunidad en México. En relación con esto, *Cordia dodecandra*, *Gaultheria odorata*, *Tagetes nelsonii* y *Talisia oliviformis* son plantas empleadas por etnias del sureste mexicano para atender enfermedades gastrointestinales causadas por bacterias y parásitos que afectan la salud humana (De La Cruz-Jiménez *et al.*, 2014; Orantes-García *et al.*, 2018), sin embargo, no existen reportes suficientes que validen la actividad antiprotozoaria frente a parásitos causantes de infecciones digestivas y sexuales en animales de ganadería. Previamente, nuestro grupo de trabajo demostró que los extractos orgánicos de estas especies tienen efecto antimicrobiano sobre bacterias grampositivas y negativas e interesante actividad antioxidante, antihemolítica y tóxica (De La Cruz-Jiménez *et al.*, 2022). Por ello, con el fin de profundizar en el estudio de estos recursos, y establecer su posible uso integral para atender parasitosis del ganado, especialmente la necesidad de nuevas terapias tricomonocidas, el objetivo de esta investigación fue determinar su actividad antiprotozoaria frente a *T. foetus*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los procedimientos experimentales fueron aprobados por el comité de investigación del Departamento de Química de la FCB-UANL, oficio registrado con el No. ATL-06-2023.

Sustancias químicas

El dimetilsulfóxido (DMSO 99.5% para cultivo celular) y metronidazol (grado analítico) fueron adquiridos en Sigma-Aldrich Corp. (St. Louis, MO, USA). Todos los demás productos químicos empleados en la preparación del medio TYI-S-33, en el proceso de extracción y en la determinación del perfil fitoquímico fueron de grado analítico comercialmente disponibles en la localidad.



Obtención de plantas medicinales

Partes aéreas (tallo con corteza y hojas) de las plantas en estado de madurez, Figura 1, fueron colectadas durante el invierno del año 2021 en Tuxtla Gutiérrez y Zinacantán en el estado de Chiapas, México. Los especímenes fueron identificados a nivel especie por personal botánico del herbario de la FCB-UANL. Un espécimen de cada planta fue depositado en la colección del herbario con número de registro: *Cordia dodecandra* (025879), *Talisia oliviformis* (025881), *Tagetes nelsonii* (025883) y *Gaultheria odorata* (025884).

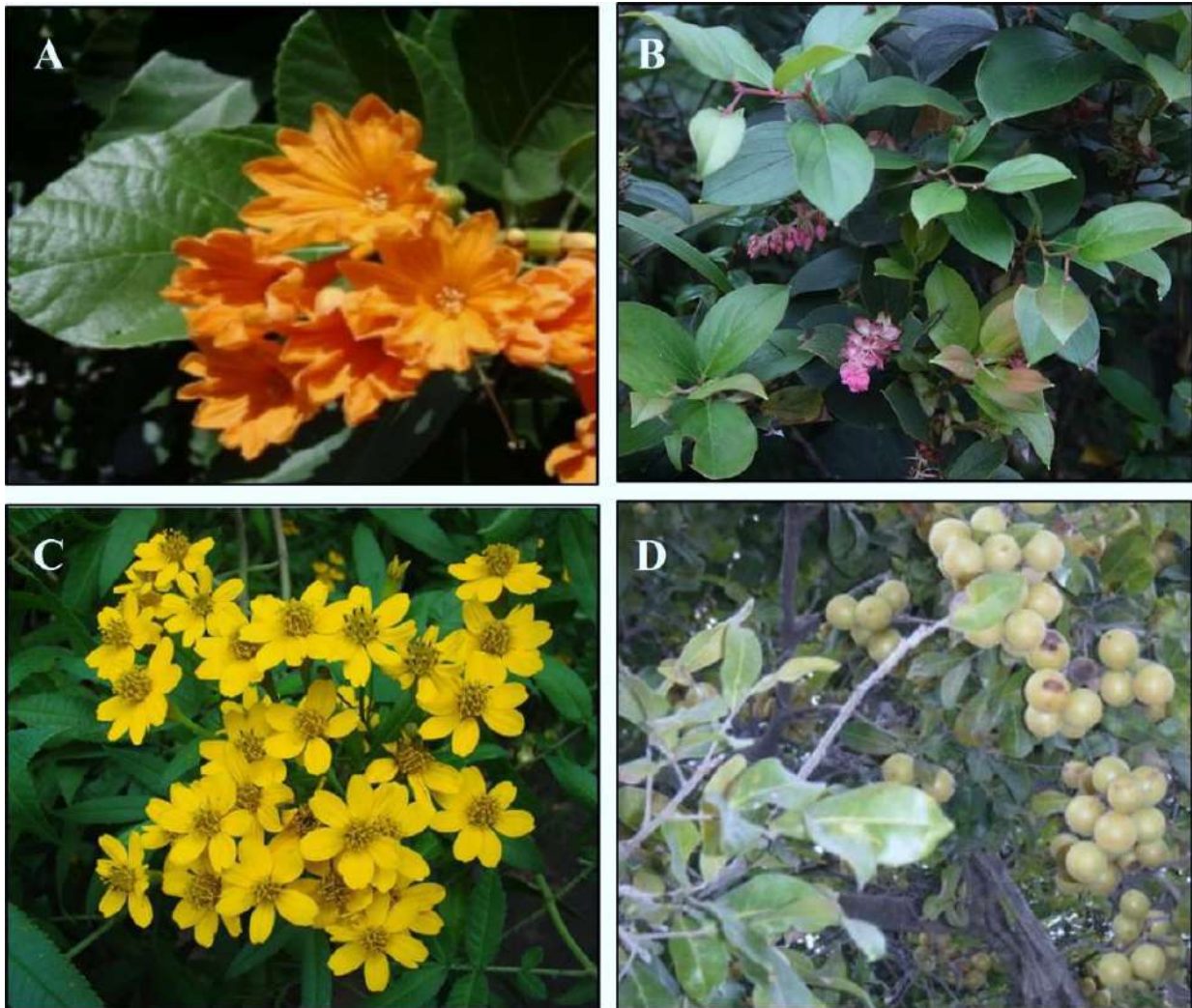


Figura 1. Plantas medicinales evaluadas en este trabajo. A: *Cordia dodecandra*, B: *Gaultheria odorata*, C: *Tagetes nelsonii* y D: *Talisia oliviformis*

Preparación de los extractos orgánicos

El material vegetal (tallo con corteza y hojas) se limpió, cortó, y secó a temperatura ambiente sin iluminación directa, posteriormente, se trituró en un molino de mano.



Extractos hexánicos y metanólicos se obtuvieron mediante maceración asistida con sonicación. Para ello, 50 g de materia seca fueron sometidos a maceración con hexano, con una proporción material-solvente de 1:10. Cambios de solvente y sonicación por 15 minutos fueron realizados cada seis días, en tres ocasiones. Al terminar la maceración con hexano, se continuó la extracción con metanol bajo las mismas condiciones. En cada ocasión, los extractos se filtraron, concentraron a presión reducida con rotavapor (Yamato model RE2000) y se secaron en una estufa a 40 °C, hasta peso constante, para calcular el porcentaje de rendimiento. Finalmente, los extractos obtenidos se almacenaron a 4 °C hasta su uso.

Cultivo de *Tritrichomonas foetus*

Trofozoítos de *T. foetus* cepa UT ATCC-30232 fueron cultivados en medio TYI-S-33 suplementado con suero bovino a 10 % v/v. El cultivo se mantuvo bajo condiciones axénicas. Para los bioensayos de actividad antiprotozoaria se emplearon trofozoítos en su fase exponencial.

Actividad antiprotozoaria

Una serie de bioensayos *in vitro* se realizó para determinar la actividad anti-*T. foetus* de los extractos hexánicos y metanólicos de las plantas colectadas (Mata-Cárdenas *et al.*, 2008). Brevemente, se incubó un inóculo de 1×10^5 trofozoítos/mL a 37 °C durante 24 h en medio TYI-S-33 suplementado con suero bovino, en presencia de diferentes concentraciones (31-500 µg/mL) de los extractos crudos y del control positivo (0.01-0.2 µg/mL). Para cada extracto se utilizaron 10 mg, mientras que para el control positivo se disolvieron primero 3 mg de metronidazol de forma independiente en 150 µL de DMSO, y se diluyeron con medio de cultivo hasta alcanzar la dilución deseada, la concentración final de DMSO no superó el 0.25 % v/v en las diluciones ensayadas. Se realizaron dos ensayos independientes por triplicado. En cada ensayo, se evaluaron los extractos, el metronidazol, el DMSO (a la concentración más alta utilizada en las soluciones de trabajo) y un blanco (medio inoculado). Tras la incubación, se preparó una dilución 1:10 de cada ensayo con formalina. Se contó el número de parásitos con un hemocitómetro y a continuación se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento con respecto al blanco no tratado.

Perfil químico semicuantitativo

A cada extracto crudo se le realizó un tamizaje fitoquímico a través de ensayos descritos por Harborne (1998). Las reacciones colorimétricas de las pruebas ofrece una determinación semicuantitativa de la presencia de metabolitos secundarios en los extractos. Un resultado positivo fue registrado como: (+), cuando se observó la formación de espuma, precipitados y/o la presencia de color específico para cada prueba, (++)



cuando las reacciones antes señaladas fueron abundantes. Un resultado negativo se registró como: (-), cuando no se observó ninguna reacción y/o cambio de color.

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron con SPSS Statistics, versión 20.0 (IBM Corp. Released 2011): La concentración que inhibe el crecimiento del trofozoíto en un 50 % (CI_{50}) se determinó mediante la transformación Probit/log del modelo de curva dosis/respuesta y la pendiente de la fórmula de regresión $Y = m x + b$ (Figura 2); se utilizó ANOVA de una vía para comparar la CI_{50} de los distintos extractos crudos frente a la cepa de *T. foetus* utilizada en el estudio. El modelo estadístico ajustado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + i + e_{ij}$$

Donde: Y_{ij} es el valor registrado para la variable analizada (CI_{50} de cada extracto crudo); μ es la media global; i es el efecto del i -ésimo tratamiento (extracto vegetal) y e_{ij} es el error aleatorio de la ij -ésima observación. Se consideró una distribución normal y varianzas homogéneas de los datos. La comparación de medias entre los extractos con igual polaridad se realizó mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

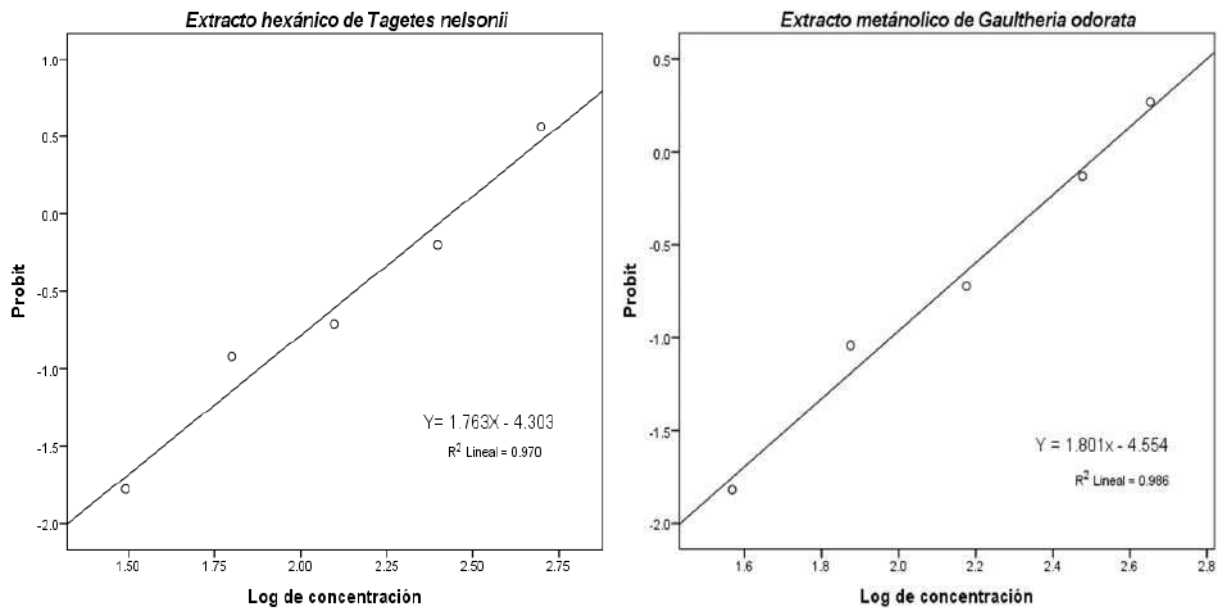


Figura 2. Análisis probit de los extractos con mayor actividad *Anti T. foetus*



RESULTADOS

Actividad antiprotozoaria *in vitro*

Los resultados revelan que los mayores rendimientos de extracción se obtuvieron con metanol, en un rango entre 5.0 % para *C. dodecandra* a 14 % para *G. odorata*; *G. odorata* y *T. oliviformis* son los únicos extractos polares con actividad anti-*T. foetus*, con una $CI_{50} = 337.35 \pm 18.75 \mu\text{g/mL}$ y $453.96 \pm 25.70 \mu\text{g/mL}$, respectivamente. En contraste, el rendimiento de los extractos hexánicos fluctuó en un rango comprendido entre 0.4 % para *C. dodecandra* y 2.4 % para *T. oliviformis*. De los extractos no polar, *T. nelsonii* exhibió actividad tricomonocida con una CI_{50} de $275.75 \pm 26.66 \mu\text{g/mL}$ seguido por *C. dodecandra* con $CI_{50} = 348.52 \pm 25.08 \mu\text{g/mL}$, la información condensada se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje de rendimiento y actividad anti-*T. foetus* de selectas plantas medicinales

Planta medicinal (familia)	Parte de planta empleada ¹	Extracto ²	rendimiento (%)	Actividad Anti- <i>T. foetus</i> ($CI_{50} \mu\text{g/mL}$) ³
<i>Cordia dodecandra</i>	TC	H	0.4	348.52 ± 25.08^a
(Boraginaceae)		M	5.0	> 500
<i>Gaultheria odorata</i>	Ho	H	1.6	> 500
(Ericaceae)		M	14.0	337.35 ± 18.75^b
<i>Tagetes nelsonii</i>	TC	H	0.7	275.75 ± 26.66^b
(Asteraceae)		M	6.9	> 500
<i>Talisia oliviformis</i>	Ho	H	2.4	> 500
(Sapindaceae)		M	8.0	453.96 ± 25.70^a
Metronidazol*				0.34 ± 0.04

¹TC: tallo con corteza, Ho: hojas. ²H: hexánico, M: metanólico. ³ Media \pm DS (n=3), ^{a,b}: medias de extractos con igual polaridad con letras superíndices diferentes, son significativamente diferentes (p<0.05). * Metronidazol fue empleado como control positivo.

Perfil químico semicuantitativo

Con respecto al perfil fitoquímico, en la Tabla 2 se puede observar que el metanol fue el solvente que extrajo una mayor cantidad y variedad de metabolitos secundarios, en particular, las especies *G. odorata* y *T. nelsonii*, mostraron una abundante cantidad de terpenos y flavonoides. Por otro lado, las especies que mostraron menor cantidad de metabolitos fueron los extractos hexánicos de *C. dodecandra* y de *T. oliviformis*.



DISCUSIÓN

En el presente trabajo se demostró la actividad anti *T. foetus* de los extractos de algunas plantas etnomedicinales del sur de México. La mayor actividad antiprotozoaria fue mostrada por el extracto hexánico de *T. nelsonii* ($CI_{50} = 275.75 \pm 26.66 \mu\text{g/mL}$) seguido por el extracto metanólico de *G. odorata* ($CI_{50} = 337.35 \mu\text{g/mL} \pm 18.75 \mu\text{g/mL}$). Ninguno de los extractos ensayados fue más activo que el metronidazol ($CI_{50} = 0.03 \pm 0.01 \mu\text{g/mL}$), sin embargo, este se trata de un compuesto puro, a diferencia de los extractos en donde se tiene una cantidad no determinada de compuestos. Es importante mencionar que el uso de plantas medicinales para tratar la tricomoniasis bovina es escaso, sin embargo, se ha reportado el potencial de *Allium sativum* y *Psidium guajava* para el tratamiento de la tricomoniasis aviar causada por *Trichomonas gallinae* (Seddiek *et al.*, 2014; Akbarian *et al.*, 2022).

Tabla 2. Tamizaje fitoquímico de los extractos orgánicos estudiados

Planta	Extracto	Alc	Coum	Flav	Fen	AR	Terp
<i>Cordia dodecandra</i>	H	-	+	-	-	-	++
	M	+	-	+	+	+	+
<i>Gaultheria odorata</i>	H	-	+	+	-	-	+
	M	+	+	++	+	+	++
<i>Tagetes nelsonii</i>	H	+	-	-	+	-	++
	M	+	-	+	++	+	+
<i>Talisia oliviformis</i>	H	-	-	-	+	-	+
	M	-	+	-	+	+	+

H: Hexánico, M: Metanólico; Alc: alcaloides, Coum: coumarinas, Flav: flavonoides, Fen: fenólicos, AR: Azucares Reductores, Terp: terpenoides; (++): abundante, (+): presente, (-): ausente.

Por otra parte, se ha demostrado el efecto antiprotozoario de algunos extractos y compuestos aislados de productos naturales contra el crecimiento de *T. foetus*. Se ha notificado la actividad antiprotozoaria del extracto metanólico de la cactácea *Caramulla precumbens* (Apocynaceae), con una CI_{50} de 2 mg/mL (Vemula *et al.*, 2022). También, extractos de la cáscara de tomate Cherry Kumato y de la variedad cerisiforme, a 200 $\mu\text{g/mL}$, han mostrado valores de CI_{50} de 79.4 ± 5.9 y 81.3 ± 9.4 %, respectivamente (Friedman *et al.*, 2021). Liu y colaboradores informaron sobre la actividad anti-*T. foetus* del glicoalcaloide α -tomatina, aislado del tomate *Solanum lycopersicum* (Solanaceae) con una CI_{50} de 2.79 $\mu\text{g/mL}$ (Liu *et al.*, 2016). Así mismo, se ha documentado la inhibición del



trofozoíto por los extractos acuosos de la cáscara de *Solanum tuberosum* (*Solanaceae*) de las variedades púrpura y russet, con actividad inhibitoria del 41.0 ± 6.3 % y 41.4 ± 5.6 %, respectivamente, a 100 mg/mL; efecto atribuido a la presencia de ácido cafeico y del glicoalcaloide α -solanina (Friedman *et al.*, 2018). Por su parte, Noritake y colaboradores demostraron la actividad anti-*T. foetus* de los extractos de *Camellia sinensis* (*Theaceae*); el extracto de té negro resultó el más activo a 200 μ g/mL, con un 41 ± 13 % de inhibición celular (Noritake *et al.*, 2017). La inhibición del crecimiento del protozoo patógeno parece estar relacionada con el contenido individual y total de los compuestos aislados en los extractos mencionados y su posible afinidad y disrupción de la membrana celular (Liu *et al.*, 2016; Noritake *et al.*, 2017; Friedman *et al.*, 2018; Friedman *et al.*, 2021).

Con lo anterior, queda de manifiesto la relevancia de los resultados obtenidos en esta investigación, ya que las cuatro especies analizadas mostraron actividad anti-*T. foetus*: *T. oliviformis* y *G. odorata* en los extractos polares, mientras que *C. dodecandra* y *T. nelsonii* en los no polares. Es importante destacar que el interesante efecto mostrado por los extractos podría servir como sustento para la búsqueda sistemática de compuestos anti-*T. foetus*, ya que un posterior fraccionamiento quimiobiodirigido podría incrementar el efecto mostrado por el extracto crudo (Bazaldúa-Rodríguez *et al.*, 2021). Con relación a esto, el tamizaje fitoquímico de los extractos *G. odorata* y *T. nelsonii* exhibió una abundante presencia de terpenos (Tabla 2). Diversas investigaciones han informado la presencia de los terpenos alilénol, β -cariofileno *trans*-anetol y tagetona en especies del género *Tagetes* con actividad bactericida, fungicida, nematocida e insecticida. (Ball-Coelho *et al.*, 2003; Eguaras *et al.*, 2005; Segovia *et al.*, 2010). Con respecto a *T. nelsonii*, en el año 2021 Cruz-López y colaboradores caracterizaron el aceite esencial e identificaron a los terpenos como los principales compuestos mayoritarios: *cis*-tagetona, β -tagetona y dihidrotagetona, además de otros en menor proporción, como α -terpineol, *trans*- β -ocimeno, limoneno, α -pineno, mirceno, mesitileno, α -terpineno, eucaliptol, linalol y β -copaeno en menor proporción (Cruz-López *et al.*, 2021). Es probable que el o los compuestos responsables de la actividad contra *T. foetus* en esta investigación pertenezcan a esta familia de metabolitos. Como soporte a la actividad antiparasitaria de terpenos, se han reportado al menos 258 esteroides y triterpenos de fuentes naturales y sintéticas con actividad antiprotozoaria y antihelmíntica (Kuzminac *et al.*, 2023). Por otra parte, la actividad anti-*T. foetus* de *C. dodecandra* puede ser atribuida a la presencia de metabolitos de tipo fenilpropanoide: ácido rosmarínico, siringina y ácido salvialónico B; flavonoides como quercetina o al alcaloide alantoína, reportados en el extracto de corteza (Aguilar & Quijano, 2016). Con respecto a *G. odorata* y *T. oliviformis*, no se ha informado la caracterización química de sus extractos.



CONCLUSIONES

Dado el gran impacto económico que la tricomoniasis ocasiona en la salud pecuaria y en el sector agropecuario, y las limitaciones de uso de los fármacos convencionales, es fundamental disponer de terapias alternativas y/o complementarias para atender esta y otras parasitosis, donde en los últimos años ha adquirido relevancia la bioprospección sistemática de productos naturales como estrategia de investigación. En el presente trabajo se reporta por primera vez el potencial de plantas medicinales mexicanas contra el crecimiento del agente causal de la tricomoniasis bovina: *Tritrichomonas foetus*, a pesar de que los extractos evaluados fueron menos activos que el agente terapéutico de referencia (metronidazol), dada las limitaciones legales sobre su uso en ganado, destacamos el efecto mostrado por el extracto hexánico de *T. nelsonii* (CI₅₀ de 275.75 µg/mL) y metanólico de *G. odorata* (CI₅₀: 337.35 µg/mL), ya que esto abre la posibilidad para el desarrollo de un tratamiento alternativo eficaz, y económicamente viable, para la cura de esta enfermedad, sobre todo en comunidades en donde es complicado el acceso a tratamientos convencionales.

Agradecimientos

El proyecto fue parcialmente financiado por el programa ProACTI: 74-CA-2023. El autor Hernández-Torres agradece al CONAHCyT por la beca No. 809104 (CVU 706423) así como, al CIBIN-IMSS por las atenciones e infraestructura brindadas para el buen desarrollo de esta investigación.

LITERATURA CITADA

ABDIN MZ, Israr M, Rehman RU, Jain SK. 2003. Artemisinin, a novel antimalarial drug: biochemical and molecular approaches for enhanced production. *Planta Medica*. 69(4):289-299. ISSN: 0032-0943. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2003-38871>

AGUILAR-VÁZQUEZ R, Quijano L. 2016. Compuestos químicos del extracto metanólico en tallos de *Cordia dodecandra*. *Revista Latinoamericana de Química*. 44:98. ISSN: 0370-5943. https://www.researchgate.net/profile/Nayem-Chequer/publication/303680056_Caracterizacion_fitoquimica_y_evaluacion_de_la_actividad_anticancerigena_de_Sargassum_lapazeaenum_Setchell_NL_Gardner_Ochrophyta_Fucales_Phaeophyceae/links/574cc50b08aec988526a241d/Caracterizacion_fitoquimica-y-evaluacion-de-la-actividad-anticancerigena-de-Sargassum-lapazeaenum-Setchell-NL-Gardner-Ochrophyta-Fucales-Phaeophyceae.pdf



AKBARIAN J, Youssefi MR, Tabari MA. 2024. In vitro evaluation of anti-trichomonal potential of *Psidium guajava* leaf essential oil and its main components against trophozoites of *Trichomonas gallinae*. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*. 27(1):68-78. ISSN: 1313-3543. <https://doi.org/10.15547/bjvm.2021-0127>

BALL-COELHO B, Bruin AJ, Roy RC, Riga E. 2003. Forage pearl millet and marigold as rotation crops for biological control of root-lesion nematodes in potato. *Agronomy Journal*. 95(2):282-292. ISSN: 1435-0645. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.2820>

BALTZELL P, Newton H, O'Connor AM. 2013. A critical review and meta-analysis of the efficacy of whole-cell killed *Tritrichomonas foetus* vaccines in beef cattle. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 27(4):760-770. ISSN: 1939-1676. <https://doi.org/10.1111/jvim.12112>

BAZALDÚA-RODRÍGUEZ AF, Quintanilla-Licea R, Verde-Star MJ, Hernández-García ME, Vargas-Villarreal J, Garza-González JN. 2021. Furanocumarins from *Ruta chalepensis* with amebicide activity. *Molecules*. 26(12):3684. ISSN: 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules26123684>

CAMPERO CM, Cobo ER. 2006. *Tritrichomonas foetus*: patogénesis de la mortalidad embrionaria/fetal, caracterización de antígenos vacunales y respuesta inmune inducida. *Revista de Medicina Veterinaria*. 87(2):47-56. ISSN: 03256391. https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/enfermedades_reproduccion/53-tricomonas.pdf

CASTAÑO JC, Giraldo AM. 2019. Antiparasitic phytotherapy perspectives, scope and current development. *Infectio*. 23(2):189-204. ISSN: 2422-3794. <https://doi.org/10.22354/in.v23i2.777>

CRUZ-LÓPEZ L, Cruz-Flores O, Espinoza-Ruiz M, Santiesteban-Hernández A. 2021. Caracterización química de los volátiles de *Tagetes nelsonii*. *Polibotánica*. 51(26): 203-211. ISSN: 1405-2768. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.13>

DABROWSKA J, Karamon J, Kochanowski M, Sroka J, Zdybel J, CeneceK T. 2019. *Tritrichomonas foetus* as a causative agent of tritrichomonosis in different animal hosts. *Journal of Veterinary Research*. 63(4):533-541. ISSN: 2450-8608. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2019-0072>



DE LA CRUZ JIMÉNEZ L, Hernández-Torres MA, Monroy-García IN, Rivas-Morales C, Verde-Star MJ, González-Villasana V, et al. 2022. Biological activities of seven medicinal plants used in Chiapas, Mexico. *Plants*.11(14):1790. ISSN: 2223-7747.

<https://doi.org/10.3390/plants11141790>

DE LA CRUZ-JIMÉNEZ L, Guzmán-Lucio M, Viveros-Valdez E. 2014. Traditional medicinal plants used for the treatment of gastrointestinal diseases in Chiapas, México. *World Applied Sciences Journal*. 31(4):508-515. ISSN: 1818-4952.

[https://www.idosi.org/wasj/wasj31\(4\)14/15.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj31(4)14/15.pdf)

DOUMECQ ML, Soto P. 2012. *Tritrichomonas foetus*: mecanismos de acción patógena. *Investigación Veterinaria*.14(2):151-161. ISSN: 1668-3498.

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-34982012000200003&lng=es&tlng=es

EDMONDSON MA, Joiner KS, Spencer JA, Riddell KP, Rodning SP, Gard JA, Givens MD. 2017. Impact of a killed *Tritrichomonas foetus* vaccine on clearance of the organism and subsequent fertility of heifers following experimental inoculation. *Theriogenology*. 90:245-251. ISSN: 0093-691X. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.09.056>

EGUARAS MJ, Fuselli S, Gende L, Fritz R, Ruffinengo SR, Clemente G, Gonzalez A, Bailac PN, Ponzi MI. 2005. An in vitro evaluation of *Tagetes minuta* essential oil for the control of the honeybee pathogens *Paenibacillus larvae* and *Ascosphaera apis*, and the parasitic mite *Varroa destructor*. *Journal of Essential Oil Research*. 17(3):336–340. ISSN: 2163-8152. <https://doi.org/10.1080/10412905.2005.9698924>

FOX EW, Hobbs D, Stinson J, Rogers GM. 1995. A preliminary survey of North Carolina slaughterhouse bulls for *Tritrichomonas foetus*. *The Bovine Practitioner*. 29:153-155. ISSN: 0524-1685. <https://doi.org/10.21423/bovine-vol1995no29p153-155>

FRIEDMAN M, Huang V, Quiambao Q, Noritake S, Liu J, Kwon O, Chintalapati S, Young J, Levin CE, Tam C, Cheng LW, Land KM. 2018. Potato peels and their bioactive glycoalkaloids and phenolic compounds inhibit the growth of pathogenic trichomonads. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 66(30):7942-7947. ISSN: 1520-5118. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01726>

FRIEDMAN M, Tam CC, Kim JH, Escobar S, Gong S, Liu M, Mao XY, Do C, Kuang I, Boateng K, Ja H, Tran M, Alluri S, Le T, Leong R, Cheng LW, Land KM. 2021. Anti-parasitic activity of cherry tomato peel powders. *Foods*. 10(2):230. ISSN: 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods10020230>



GOOKIN JL, Copple CN, Papich MG, Poore MF, Stauffer SH, Birkenheuer AJ, Twedt DC, Levy MG. 2006. Efficacy of ronidazole for treatment of feline *Tritrichomonas foetus* infection. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 20(3):536-543. ISSN: 1939-1676. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2006.tb02893.x>

HARBORNE J.B. 1984. *Phytochemical Methods*, London, Chapman and Hall. Pp. 49–188. ISBN: 0-412-57260-5. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-5570-7>

IBM Corp. Released 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp. <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-20>

ISLAM M, Talukder M, Hossain M, Karim M. 2017. Investigation of sexually transmitted protozoan parasite *Tritrichomonas foetus* in cattle in Bangladesh. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 15(1):47–54. ISSN: 2408-8684. <https://doi.org/10.3329/jbau.v15i1.33529>

KUZMINAC IZ, Savić MP, Ajduković JJ, Nikolić AR. 2023. Steroid and Triterpenoid Compounds with Antiparasitic Properties. *Currents Topics in Medicinal Chemistry*. 23(9):791-815. ISSN: 1873-4294. <https://doi.org/10.2174/1568026623666230126162419>

LEYVA I. 2017. El manejo de la tricomoniasis contribuye a aumentar la tasa de parición. *Entorno Ganadero*. 86. ISSN: 2395-9592. <https://bmeditores.mx/ganaderia/el-manejo-de-la-tricomoniasis-contribuye-a-aumentar-la-tasa-de-paricion-1916/>

LIM S, Park SI, Ahn KS, Oh DS, Ryu JS, Shin SS. 2010. First report of feline intestinal trichomoniasis caused by *Tritrichomonas foetus* in Korea. *Korean Journal of Parasitology*. 48(3):247-251. <https://doi.org/10.3347/kjp.2010.48.3.247>

LIU J, Kanetake S, Wu YH, Tam C, Cheng LW, Land KM, Friedman M. 2016. Antiprotozoal effects of the tomato tetrasaccharide glycoalkaloid tomatine and the aglycone tomatidine on mucosal trichomonads. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 64(46):8806-8810. ISSN: 1520-5118. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04030>

LOVE D, Fajt VR, Hairgrove T, Jones M, Thompson JA. 2017. Metronidazole for the treatment of *Tritrichomonas foetus* in bulls. *BMC Veterinary Research*. 13(107):e2024-37. ISSN: 1746-6148. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-0999-2>



MARTIN KA, Henderson J, Brewer MT. 2021. Bovine trichomonosis cases in the United States 2015–2019. *Frontiers in Veterinary Science*. 8:692199. ISSN: 2297-1769. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.692199>

MATA-CÁRDENAS BD, Vargas-Villarreal J, González-Salazar F, Palacios-Corona R, Said-Fernández S. 2008. A new vial microassay to screen antiprotozoal drugs. *Pharmacologyonline*. 1:529-537. ISSN: 18278620. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=44349172938&origin=inward>

NORITAKE SM, Liu J, Kanetake S, Levin CE, Tam C, Cheng LW, Land KM, Friedman M. 2017. Phytochemical-rich foods inhibit the growth of pathogenic trichomonads. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 17(461):e2024-37. ISSN: 2662-7671. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1967-x>

OKAMOTO S, Wakui M, Kobayashi H, Sato N, Ishida A, Tanabe M, Takeuchi T, Fukushima S, Yamada T, Ikeda Y. 1998. *Trichomonas foetus* meningoencephalitis after allogeneic peripheral blood stem cell transplantation. *Bone Marrow Transplant*. 21(1):89-91. ISSN: 1476-5365. <http://dx.doi.org/10.1038/sj.bmt.1701032>

ORANTES-GARCÍA C, Moreno-Moreno R, Caballero-Roque A, Farrara-Sarmiento O. 2018. Plantas utilizadas en la medicina tradicional de comunidades campesinas e indígenas de la Selva Zoque, Chiapas, México. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 17(5):503-521. ISSN: 0717-7917. <https://blacpma.ms-editions.cl/index.php/blacpma/article/view/134>

RAMÍREZ ME, Mendoza JA, Arreola RH, Ordaz C. 2010. Flavonoides con actividad antiprotozoaria. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 41(1):6-21. ISSN: 1870-0195. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57912960002>

SEDDIEK S, Elshorbagy M, Khater H, Asy A. 2014. The antitrichomonal efficacy of garlic and metronidazole against *Trichomonas gallinae* infecting domestic pigeons. *Parasitology Research*. 113:1319-1329. ISSN 1432-1955. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-3771-6>

SEGOVIA IK, Suárez-de la Cruz LL, Castro AJ, Suárez S, Ruiz JR. 2010. Composición química del aceite esencial de *Tagetes elliptica* Smith “chincho” y actividades antioxidante, antibacteriana y antifúngica. *Ciencia e investigación*. 13(2):81-86. ISSN: 1609-9044. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/farma/article/view/3231>



VEERAKUMARI L. 2015. Botanical anthelmintics. *Asian Journal of Science and Technology*. 6(10):1881-1894. ISSN: 0976-3376.

https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=Asian+J.+Sci.+Tech&title=Botanical+anthelmintics&author=L+Veerakumari&volume=6&publication_year=2015&pages=1881-1894&

VEMULA R, Pachipala G, Reddy PVB, Kota S, Raman M, Allam US, Manikanta KN, Chadipiralla K. 2022. In vitro anti-protozoan activity of methanolic extracts of *Caralluma procumbens* against *Tritrichomonas foetus*. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*. 16(2):144-154. ISSN: 0973-8916.

<https://www.abap.co.in/index.php/home/article/view/385>

YAO C. 2013. Diagnosis of *Tritrichomonas foetus*-infected bulls, an ultimate approach to eradicate bovine trichomoniasis in US cattle? *Journal of Medical Microbiology*. 62:1-9. ISSN: 1473-5644. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.047365-0>

YAO C. 2015. *Tritrichomonas foetus* infections in female beef cattle with abortion in Wyoming, USA. *JMM Case Reports*. 2(2):1-5. ISSN: 2053-3721.

<https://doi.org/10.1099/jmmcr.0.000028>

YILDIZ K, Sursal N. 2019. The first report of *Tritrichomonas foetus* in cats from Turkey. *Israel Journal of Veterinary Medicine*. 74(3):127-133. <https://www.ijvm.org.il/node/626>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-15. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.10>

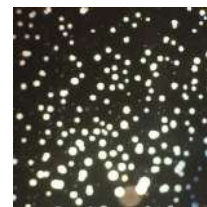
Artículo Original. Recibido: 20/02/2024. Aceptado: 20/10/2025. Publicado: 28/12/2025. Clave: 2024-18.

<https://www.youtube.com/watch?v=JgpaFco1P1E>

Seroprevalencia de leptospirosis canina en zonas urbanas de Zacatecas, México

Seroprevalence of canine leptospirosis in urban areas of Zacatecas, Mexico

Gabriela Espino-Moreno*¹  ID, Alejandro De-la-Peña-Moctezuma ²  ID,
Marco López-Carlos ¹  ID, Manuel Silva-Ramos ¹  ID, Carlos Cedillo-Peláez ³  ID, Victoria Castellón-Ahumada** ¹  ID



¹Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Panamericana Zacatecas-Fresnillo km 31.5. General Enrique Estrada, Zacatecas, 98500, México.

²Universidad Nacional Autónoma de México. Grupo de Investigación en *Leptospira* y Leptospirosis, Unidad de Servicios de Diagnóstico y Verificación del Centro de Docencia, Investigación y Extensión en la Producción Animal en el Altiplano, Tequisquiapan, Querétaro. km 8,5. Carretera Federal Tequisquiapan-Ezequiel Montes, Tequisquiapan, Querétaro, 76794, México. ³Instituto Nacional de Pediatría. Laboratorio de Inmunología Experimental, Insurgentes Sur 3700-C, Colonia Insurgentes Cuicuilco, Delegación Coyoacán, Ciudad de México, 04530, México. * Autor responsable: Espino-Moreno Gabriela. ** Autor de correspondencia: Castellón-Ahumada Victoria. Correos electrónicos: gabriela.espino@uaz.edu.mx, delapema@unam.mx, lopcarmarco@uaz.edu.mx, jmsilvar@uaz.edu.mx, mvzcarloscedillo@hotmail.com, mvz_veca@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la seroprevalencia y los factores asociados a la presencia de anticuerpos contra 12 serovariedades de *Leptospira* en perros (*Canis lupus familiaris*) de zonas urbanas de Zacatecas, México. Se analizaron muestras séricas de 279 animales mediante la Técnica de Aglutinación Microscópica (MAT), utilizando un panel de 12 serovariedades. Además, se aplicó un cuestionario para identificar los posibles factores asociados con el estado seropositivo. La seropositividad general fue del 80.6 % (IC 95% = 75.9 – 85.3 %). La serovariedad Grippotyphosa presentó la menor seroprevalencia (3.2%, IC 95% = 1.1 – 5.3 %), mientras que *Icterohaemorrhagiae* fue mayor (43.3%, IC 95% = 37.5 – 49.2%). El resto de las serovariedades obtuvieron una positividad entre 10.3 % (IC 95 % = 6.7 – 13.9%) y 36.2% (IC 95 % = 30.5 – 41.9%). El factor hábitat fue significativo (P = 0.0026), Se observó una mayor seropositividad en perros callejeros (86.3 %, IC 95 % = 81.1 – 91.5%) vs. perros con dueño (71.8 %, IC 95 % = 63.3 – 80.2). Este estudio reveló una alta seropositividad de *Leptospira* en perros en zonas urbanas de Zacatecas, México, lo que representa un potencial problema de salud animal y un problema de salud pública para la población humana.

Palabras clave: leptospirosis, prevalencia, técnica de aglutinación microscópica, caninos.



ABSTRACT

The objective of this study was to determine the seroprevalence and factors associated with the presence of antibodies against 12 *Leptospira* serovars in dogs (*Canis lupus familiaris*) from urban areas of Zacatecas, Mexico. Serum samples from 279 animals were analyzed using the Microscopic Agglutination Test (MAT), with a panel of 12 serovars. Additionally, a questionnaire was administered to identify potential factors associated with seropositive status. Overall seropositivity was 80.6% (95% CI = 75.9–85.3%). The Grippotyphosa serovar showed the lowest seroprevalence (3.2%, 95% CI = 1.1–5.3%), while Icterohaemorrhagiae had the highest (43.3%, 95% CI = 37.5–49.2%). The remaining serovars showed seropositivity ranging from 10.3% (95% CI = 6.7–13.9%) to 36.2% (95% CI = 30.5–41.9%). Habitat was a significant factor ($P = 0.0026$), with stray dogs showing higher seropositivity (86.3%, 95% CI = 81.1–91.5%) compared to owned dogs (71.8%, 95% CI = 63.3–80.2%). This study revealed a high seropositivity of *Leptospira* in dogs from urban areas of Zacatecas, Mexico, representing a potential animal health concern and a public health risk for the human population.

Keywords: leptospirosis, prevalence, microscopic agglutination test, canines.

INTRODUCCIÓN

La leptospirosis es una zoonosis global (Levett, 2001; Bharti *et al.*, 2003; Esteves *et al.*, 2018; Sant'Anna *et al.*, 2019), causada por una espiroqueta patógena móvil perteneciente al género *Leptospira* (Goarant *et al.*, 2022; Sykes *et al.*, 2022). Esta enfermedad afecta a diversos huéspedes, incluidos animales tanto salvajes como domésticos, así como al ser humano (Adler & De la Peña Moctezuma, 2010; Goldstein, 2010; Boey *et al.*, 2019; Rajeev *et al.*, 2020). Se han identificado más de 250 serovariedades patógenas y su distribución varía según la región geográfica y la especie huésped afectada (Plank & Dean, 2000; Goldstein, 2010; Trott *et al.*, 2018).

Actualmente, se encuentran disponibles diversas técnicas serológicas para diagnosticar la enfermedad, como lo son el ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA), la inmunofluorescencia indirecta (IIF), la hemaglutinación indirecta y la MAT. La MAT es la prueba de referencia, la cual se realiza incubando diluciones del suero del paciente con diversas serovariedades de *Leptospira* para detectar reacciones de aglutinación bajo un microscopio de campo oscuro (Luna *et al.*, 2008; Rajapakse *et al.*, 2015; OIE, 2021).

En humanos, la leptospirosis se clasifica como una enfermedad ocupacional con riesgo continuo de infección. Las ocupaciones en riesgo incluyen carniceros, veterinarios, productores de ganado, personal militar, personal de limpieza de desagües y trabajadores de control de roedores (Leal-Castellanos *et al.*, 2003; Carneiro *et al.*, 2004). En los perros, se han identificado varios factores asociados con la aparición de la enfermedad. Entre ellos se encuentran la presencia de mamíferos portadores asintomáticos y reservorios naturales, como los roedores, así como condiciones ambientales que favorecen la supervivencia de la bacteria fuera del huésped, como la alta humedad y las temperaturas templadas (Bertelloni *et al.*, 2019; Sant'Anna *et al.*, 2019; Goarant *et al.*, 2022).



La transmisión bacteriana puede ocurrir a través del contacto directo con orina, fluidos corporales o tejidos de animales infectados. Además, puede ocurrir por transmisión sexual, vía transplacentaria o por consumo de calostro (Adler & De La Peña-Moctezuma, 2010). Indirectamente, los huéspedes pueden infectarse a través del contacto con fuentes inanimadas como agua, tierra, barro o alimentos contaminados con orina de animales infectados (Levett, 2001; De Brito *et al.*, 2018).

La dinámica de la enfermedad en un entorno urbano o rural puede verse influenciada por la estrecha coexistencia de portadores y huéspedes susceptibles que pueden infectarse y potencialmente servir como nuevos portadores de ciertas serovariedades. Esto es particularmente evidente en el caso de los perros, que, debido a su estrecha relación con los humanos, tienen un significado especial para la salud pública (Rojas-Hoyos *et al.*, 2017), lo que los hace de interés en este estudio. Las áreas urbanas de Zacatecas presentan diversos factores de riesgo como la proximidad entre los entornos urbano, rural y silvestre, una alta densidad de roedores, una población considerable de perros callejeros y bajas tasas de vacunación, entre otros. Sin embargo, se desconoce la seroprevalencia y la relevancia de factores asociados a la enfermedad. El objetivo de este estudio fue determinar la seropositividad y los factores asociados a la presencia de anticuerpos contra 12 serovariedades de *Leptospira* en perros (*Canis lupus familiaris*) de zonas urbanas de Zacatecas, México.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el área metropolitana de los municipios de Guadalupe y Zacatecas, ubicados en el estado de Zacatecas, en el centro norte de México. La altitud en esta región oscila entre los 2,279 y los 2,423 msnm. El clima se clasifica como semiárido, con precipitaciones promedio anuales de 485 mm y una temperatura promedio anual de 15.7 °C. El área metropolitana está habitada por aproximadamente 405,000 personas (INEGI, 2021). El manejo de animales y recolección de muestras se realizó en apego a los lineamientos de la Ley de Protección Animal del Estado de Zacatecas, capítulo IV referente al Uso de Animales para Experimentos, con la aprobación del Comité de Bioética y Bienestar Animal de la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia (U.A.M.V.Z.), con folio 2023/01.

Recolección de suero y datos epidemiológicos

Para la determinación del tamaño de muestra se utilizó la fórmula para una población infinita de Cochran $n = (Z^2 \cdot p \cdot q) / e^2$ (Adcock, 1997). Donde: n = tamaño de muestra, Z = valor de la distribución normal estándar a un nivel de confianza del 95% (1.96), p = es la proporción estimada del atributo presente en la población (0.8), $q = 1 - p$ (0.2), e = nivel de precisión deseado (0.05). Se obtuvo un tamaño de muestra mínimo de 246.



Se obtuvieron muestras de sangre de 278 perros, de los cuales 168 fueron perros callejeros alojados en los Centros de Control y Rescate Canino de los municipios de Guadalupe (40 perros) y Zacatecas (128 perros), mientras que los 110 restantes fueron perros con dueño. Se aplicó un cuestionario a los responsables de los Centros de Control y Rescate Canino para recopilar datos sobre perros callejeros. Este cuestionario incluía información como: sexo, raza y edad. Para los perros con dueño, se empleó un cuestionario similar, pero se amplió para incluir los siguientes datos: identificación, sexo, raza, edad, historial de vacunación, contacto con ganado, actividades al aire libre en áreas potencialmente contaminadas (presencia de basura y agua estancada). Se tomó una muestra de sangre (3 a 5 mL) de cada animal mediante venopunción (cefálica y/o yugular). La sangre recolectada se dejó coagular en tubos de recolección, el suero se extrajo y almacenó en refrigeración a 4°C. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 1,075 g × 5 min para la recuperación del suero. Luego, el suero se dividió en 3 a 5 alícuotas de 500 µl cada una y se almacenaron a -4 °C para su posterior análisis.

Análisis de laboratorio

Las pruebas serológicas se realizaron en el Laboratorio del Grupo de Investigación en *Leptospira* y Leptospirosis (GrILep), dependiente de la Unidad de Servicios de Diagnóstico y Confirmación (USEDICO), del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal del Altiplano (CEIEPAA) afiliado a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Este laboratorio se encuentra ubicado en Tequisquiapan, Querétaro, México. Para detectar anticuerpos específicos contra *Leptospira* se empleó MAT, tal como lo describe [Castillo-Sánchez \(2008\)](#). Esta prueba utilizó las siguientes especies, serogrupos y serovariedades: *Leptospira interrogans* serovariedades: Autumnalis, Ballum, Bratislava, Canicola, Copenhageni, Hardjo, Icterohaemorrhagiae, Pomona y Pyrogenes; *Leptospira kirscheneri* serovariedad: Grippytyphosa; *Leptospira santarosai* serovariedad: Mini; *Leptospira borgpetersenii* serovariedad: Tarassovi. Se consideraron positivas las muestras de suero de animales que presentaron al menos un 50 % de aglutinación de serovariedades de *Leptospira* a un título de dilución $\geq 1/100$ ([Castillo-Sánchez, 2008](#)).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron en el paquete estadístico SAS University Edition (SAS Institute, Cary, NC). Los porcentajes de seroprevalencia y los intervalos de confianza del 95% se calcularon mediante el procedimiento SURVEYFREQ. Se empleó la prueba de Chi-cuadrada para evaluar el efecto de los factores asociados (variables epidemiológicas) y la seropositividad. Se consideró estadísticamente significativo un valor de $P < 0.05$.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Seropositividad general y prevalencia de serovariedades

En la tabla 1 se muestran los porcentajes de seropositividad obtenida mediante MAT. Se detectó seropositividad en el 80.6% de las muestras con títulos $\geq 1:100$, la cual fue significativamente ($P < 0.0001$) mayor que el porcentaje de sueros negativos (19.4%).

Tabla 1. Seropositividad general de *Leptospira* en caninos de zonas urbanas de Zacatecas, México

Positivo ^a	Negativo	I.C. 95% ^b	Valor-P ^c
225 (80.6 %)	54 (19.3 %)	75.9 - 85.3	<0.0001

^a Reacción positiva con título $\geq 1:100$ en la prueba de Aglutinación Microscópica (MAT)

^b 95% IC = 95% intervalo de confianza de los positivos

^c Un valor de $P < 0.05$ fue considerado como significativo.

Algunos estudios realizados previamente en México reportaron porcentajes de muestras seropositivas a *Leptospira* menores que las obtenidas en el presente estudio. Rivera *et al.* (1999) observaron una seropositividad de 38.5% ($n = 52$) en muestras de suero de perros en la Ciudad de México (CDMX), mientras que Cárdenas-Marrufo *et al.* (2011) reportaron un porcentaje de 36.0% ($n = 61$) en zonas rurales del estado de Yucatán. Sin embargo, nuestros resultados se alinean con los observados previamente por Romero *et al.* (2018), quienes realizaron un estudio con perros ($n = 154$) en zonas rurales de Colombia, y por Rollán *et al.* (2018), quienes evaluaron muestras caninas ($n = 102$) de zonas urbanas de Argentina, estos estudios, informaron porcentajes de 79.9% y 82.3%, respectivamente. Además, estudios realizados en perros de zonas urbanas de Venezuela (Medina *et al.*, 2010) y México (Méndez *et al.*, 2013) reportaron una positividad sérica del 100% en la prueba MAT, superior al porcentaje de sueros positivos en nuestro estudio. Se detectaron anticuerpos contra doce serovariedades de *Leptospira* (Autumnalis, Ballum, Bratislava, Canicola, Copenhageni, Grippotyphosa, Hardjo, Icterohaemorrhagiae, Icterohaemorrhagiae Mini, Pomona, Pyrogenes, Tarassovi) en la población canina estudiada (Tabla 2). Para todas las serovariedades, el número de muestras negativas fue mayor ($P < 0.05$) que el número de muestras positivas.

Las serovariedades más prevalentes de esta investigación fueron similares a las reportadas en la ciudad de Culiacán en el estado de Sinaloa por Hernández *et al.* (2017), quienes observaron una seropositividad del 40% para los serovariedades Icterohaemorrhagiae y Bratislava. En cuanto a la serovariedad Tarassovi, Lugo-Chávez *et al.* (2015) documentaron un 47% en el estado de Veracruz, la cual superó la prevalencia encontrada en este estudio (36.2%). Además, en el sur de la India, Bojiraj *et al.* (2017) recolectaron muestras de suero de perros en diferentes áreas del estado de



Tamil Nadu y reportaron reacciones negativas a la serovariedad Tarassovi en la prueba MAT (n= 108).

Respecto a las serovariedades menos frecuentes, los resultados de este estudio coinciden con los de [Silva & Riedemann \(2007\)](#), quienes obtuvieron muestras de suero de perros de zonas urbanas y rurales de Valdivia, Chile. Los investigadores detectaron serovariedades Autumnalis y Pomona en sólo el 1.7% (n = 400) de las muestras. En contraste con los hallazgos del presente estudio, [Rollán et al. \(2018\)](#) registraron un porcentaje de seropositividad más alta del 21.4% (n = 102) para la serovariedad Grippotyphosa en áreas urbanas de la ciudad de Córdoba, Argentina.

Tabla 2. Seropositividad de doce serovariedades de *Leptospira* en perros (n = 279) de zonas urbanas de Zacatecas, México

Serovariedades	Positivo ^a	Negativo	IC 95% ^b	Valor-P ^c
Icterohaemorrhagiae ^d	121 (43.3%)	158 (56.6%)	37.5 – 49.2	0.0268
Tarassovi ^d	101 (36.2 %)	178 (63.8%)	30.5 – 41.9	0.0001
Bratislava ^d	100 (35.8%)	179 (64.1%)	30.1 – 41.5	0.0001
Copenhageni ^d	99 (35.4%)	180 (64.5%)	29.8 – 41.1	0.0001
Canicola ^e	78 (27.9%)	201 (72.0 %)	22.6 – 33.2	0.0001
Hardjo ^e	72 (25.8 %)	207 (74.1%)	20.6 – 30.9	0.0001
Ballum ^e	63 (22.5%)	216 (77.4%)	17.6 – 27.5	0.0001
Mini ^e	56 (20.0 %)	223 (79.9%)	15.3 – 24.8	0.0001
Pyrogenes ^f	36 (12.9 %)	243 (87.1%)	8.9 – 16.8	0.0001
Autumnalis ^f	29 (10.3%)	250 (89.6 %)	6.7 – 13.9	0.0001
Pomona ^f	29 (10.3%)	250 (89.6 %)	6.7 – 13.9	0.0001
Grippotyphosa ^f	9 (3.2 %)	270 (96.7%)	1.1 - 5.3	0.0001

^a Reacción positiva con títulos $\geq 1:100$ a la Prueba de Aglutinación Microscópica

^b IC 95 % = intervalo de confianza al 95 %

^c Se consideró significativo un valor de $P < 0.05$.

^d Serovariedades con mayor frecuencia de seropositividad

^e Serovariedades con frecuencia de seropositividad intermedia

^f Serovariedades con menor frecuencia de seropositividad

Numerosos estudios en México han demostrado consistentemente la seropositividad generalizada de la serovariedad Icterohaemorrhagiae entre la población de perros. Por ejemplo, en la Ciudad de México, [Rivera et al. \(1999\)](#) encontraron una seropositividad de 21.2% (n = 117), mientras que, en el estado de Yucatán, [Cárdenas-Marrufo et al. \(2011\)](#) informaron una seroprevalencia del 9.8% (n = 61). Además, [Blum-Domínguez et al. \(2013\)](#) reportaron un 16.12% (n = 181) en perros con dueño y 13.15% (n = 142) en perros callejeros en el estado de Campeche para esta serovariedad.

En correspondencia con nuestros hallazgos, [Martínez-Barbabosa et al. \(2016\)](#) observaron una seroprevalencia de 32.4% (n = 117) para la serovariedad Icterohaemorrhagiae en la Ciudad de México. Asimismo, [Hernández-Ramírez et al.](#)



(2020) registraron una prevalencia del 37.1% (n = 106) en el estado de Sinaloa para esta serovariedad. La importancia de estos hallazgos de alta prevalencia se ve subrayada por la relevancia clínica y epidemiológica de la serovariedad *Icterohaemorrhagiae* para los humanos, ya que conduce a infecciones graves con un pronóstico negativo y una tasa de mortalidad aproximada del 50% (Browne *et al.*, 2023).

En el presente estudio, todas las serovariedades evaluadas mostraron títulos serológicos a partir de 1:100. Canicola fue la más aglutinante con títulos de hasta 1:25600 (Tabla 3).

Tabla 3. Títulos serológicos de *Leptospira* detectada por MAT en perros (n = 279) de zonas urbanas de Zacatecas, México

Serovariedades	1:100	1:200	1:400	1:800	1:1600	1:3200	1:6400	1:12800	1:25600
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Canicola	16 (20.5)	11 (14.1)	22 (28.2)	11 (14.1)	13 (16.7)	3 (3.0)		1 (1.2)	1 (1.2)
Copenhageni	17 (17.2)	30 (30.3)	32 (32.3)	8 (8.1)	8 (8.1)	2 (2.0)	2 (2.0)		
Bratislava	42 (42.0)	25 (25.0)	26 (26.0)	2 (2.0)	4 (4.0)	1 (1.0)			
Tarassovi	22 (21.8)	27 (26.7)	44 (43.6)	4 (4.0)	2 (2.0)	2 (2.0)			
Pyrogenes	14 (38.9)	7 (19.4)	6 (16.7)	4 (11.1)	3 (8.3)	2 (5.6)			
Icterohaemorrhagiae	30 (24.8)	39 (32.2)	46 (38.0)	4 (3.3)	2 (1.7)				
Ballum	18 (28.6)	18 (28.6)	19 (30.2)	6 (9.5)	2 (3.2)				
Mini	15 (26.8)	15 (26.8)	20 (35.7)	2 (3.6)	4 (7.1)				
Hardjo	7 (9.7)	27 (37.5)	34 (47.2)	3 (4.2)	1 (1.4)				
Autumnalis	18 (62.1)	4 (13.8)	7 (24.1)						
Pomona	15 (51.7)	6 (20.7)	8 (27.6)						
Grippityphosa	5 (55.6)	3 (33.3)	1 (11.1)						

La serovariedad Canicola fue considerada de mayor importancia en el presente estudio, ya que en dos muestras de suero analizadas se obtuvieron títulos positivos de 1:12800 y 1:25600, correspondientes al 2.56 % de la población (IC 95% = 0.0 – 3.8%). Sin embargo, ninguno de los perros del presente estudio mostró signos clínicos de leptospirosis. De acuerdo con nuestros resultados, Martínez-Barbabosa *et al.* (2016) y Hernández Ramírez *et al.* (2017) en México, y Silva & Riedemann (2007) en Chile, reportaron a esta serovariedad como el principal reactor en la prueba MAT con títulos que oscilaron entre 1:1600 y 1:3200. Asimismo, Medina *et al.* (2010) informaron la serovariedad Canicola con 100% de seroprevalencia (n = 30) y títulos de hasta 1:400 en Aragua Venezuela en perros callejeros.



Factores asociados con la seropositividad

El grupo racial y el sexo no tuvieron un impacto estadísticamente significativo ($P < 0.05$) en la frecuencia de perros seropositivos (Tabla 4). Sin embargo, hubo una tendencia observable ($P = 0.0665$) en el grupo de edad, con una mayor seropositividad (84.5%) detectada en adultos (>1 – 6 años) en comparación con perros juveniles (73.6%) y mayores (71.8%).

Tabla 4. Factores asociados con la seropositividad a *Leptospira* en perros (n = 279) de zonas urbanas de Zacatecas, México

Factores	N	Positivo ^a	%	IC 95% ^b	Valor-P ^c
Grupo racial					
Terriers	32	24	75	59.9 – 90.1	0.2779
Compañía	29	20	69	52.0 – 85.9	
Molosoide	21	16	76.2	57.9 – 94.5	
Pastores	13	10	76.9	53.9 - 100	
Sin raza u otras razas	184	155	84.2	78.9 – 89.5	
Grupo de edad					
Juvenil (≤ 1 años)	53	39	73.6	61.6 – 85.5	0.0665
Adulto (>1 - 6 años)	187	158	84.5	79.3 – 89.7	
Mayor (≥ 7 años)	39	28	71.8	57.6 – 86.0	
Sexo					
Hembra	183	147	80.3	74.5 – 86.1	0.8531
Macho	96	78	81.3	73.4 – 89.1	

^a Reacción positiva con título $\geq 1:100$ en la Prueba de Aglutinación Microscópica

^b IC 95 % = intervalo de confianza al 95 %

^c Se consideró significativo un valor de $P < 0.05$. Un valor de $P > 0.05$ y < 0.10 como tendencia.

Nuestros hallazgos son consistentes con los reportados por [Martínez-Barbabosa et al. \(2016\)](#) en la Ciudad de México, donde documentaron un porcentaje de seropositividad del 75.8% (25/33) en perros de entre 1 y 6 años. Los autores atribuyeron esta tendencia al aumento ($P < 0.05$) de la actividad reproductiva observada en este grupo de edad, ya que los animales tienden a exhibir mayores hábitos de olfatear y lamer los genitales externos. Además, [Tuemmers et al. \(2013\)](#) encontraron que los animales dentro del rango de edad de 5 a 8 años exhibieron una seropositividad más alta ($P < 0.05$) del 24.1% (13/54) en comparación con otros grupos de edad.

En el presente estudio, hembras (80.3%) y machos (81.3%) obtuvieron una seropositividad similar ($P > 0.05$). Por el contrario, [Hernández-Ramírez et al. \(2020\)](#) en la ciudad de Culiacán, en el Estado de Sinaloa, observaron una mayor ($P = 0.049$) seropositividad en las hembras (11.5 %) en comparación con los machos (0.0%) de su estudio. Sin embargo, en el Estado de Veracruz [Ortega-González et al. \(2018\)](#) informaron



una seropositividad similar ($P > 0.05$) en perros machos (39.3%) en comparación con las hembras (31.9%).

Además, las diferencias en los calendarios de vacunación, como el tipo de vacuna utilizada, vacunación o no vacunación, y el tiempo después de la vacunación, no afectaron ($P > 0.05$) la seropositividad contra *Leptospira* en los perros de este estudio (Tabla 5).

Tabla 5. Factores relacionados con los calendarios de vacunación asociados a la seropositividad a *Leptospira* en perros con dueño (n = 110) en zonas urbanas de Zacatecas, México

Factor	N	Positivo ^a	%	IC 95% ^b	Valor-P ^c
Vacunación					
Sí	71	54	76	65.9 – 86.1	0.1825
No	39	25	64.1	48.8 – 79.3	
Vacunación múltiple					
Séxtuple ^d	60	45	75	63.8 – 86.1	0.2832
Quíntuple ^e	10	7	70	41.1 – 98.8	
Triple ^f	11	9	81.8	58.6 - 100	
Otro	25	14	56	36.2 – 75.7	
Tiempo transcurrido					
≤1 año	91	63	69.2	59.5 – 80.4	0.3956
≥1 año	15	12	80	59.4 - 100	

^a Reacción positiva con títulos $\geq 1:100$ en la Prueba de Aglutinación Microscópica

^b IC 95 % = intervalo de confianza al 95 %

^c Se consideró significativo un valor de $P < 0.05$. Un valor de $P > 0.05$ y < 0.10 como tendencia.

^d Distemper, Adenovirus tipo 2, Coronavirus, Parainfluenza, Parvovirus, Rabia, *Leptospira interrogans* Canicola e *Icterohaemorrhagiae*

^e Distemper, Adenovirus tipo 2, Coronavirus, Parainfluenza, Parvovirus, *Leptospira interrogans* Canicola e *Icterohaemorrhagiae*

^f Distemper, Adenovirus tipo 2, *Leptospira interrogans* Canicola e *Icterohaemorrhagiae*

Existe un número limitado de informes previos que han evaluado el calendario de vacunación como un potencial factor predisponente para el desarrollo de seropositividad a leptospirosis en perros. Actualmente, las bacterinas comúnmente utilizadas para prevenir la leptospirosis canina contienen serovariedades como Canicola, *Icterohaemorrhagiae*, Pomona y *Grippotyphosa* ya que son los que infectan frecuentemente a los perros. Sin embargo, la inmunización suele ser insuficiente, ya que los perros podrían estar expuestos a otras serovariedades de *Leptospira* no incluidos en la formulación de las vacunas (Ortega-González *et al.*, 2018).

Los factores ambientales asociados con la seropositividad de *Leptospira* en este estudio fue: hábitat (perros callejeros vs. perros con dueño), exposición a áreas potencialmente contaminadas (basura, agua estancada, contacto directo o indirecto con roedores) y contacto con otras especies (cerdos y rumiantes) se presentan en la Tabla 6. Sin embargo, entre los factores ambientales evaluados, sólo el hábitat mostró un efecto



significativo ($P = 0.0026$) en los resultados de seropositividad. Los perros callejeros exhibieron un porcentaje de seropositividad más alto ($P < 0.05$) (86.3%, IC 81.1 – 91.5%) en comparación con los perros con dueño (71.8%, IC 63.3-80.2%).

Tabla 6. Factores ambientales asociados con la seropositividad a *Leptospira* en perros de zonas urbanas de Zacatecas, México

Factor	N	Positivo ^a	%	IC 95% ^b	Valor-P ^c
Hábitat ^d					
Perros callejeros	169	146	86.3	81.1 – 91.5	0.0026
Perros dueños	110	79	71.8	63.3 – 80.2	
Paseo en áreas potencialmente contaminadas ^{e, f}					
Si	17	14	82.3	63.94 - 100	0.2937
No	93	65	69.8	60.42 – 79.36	
Contacto con otras especies ^f					
Aves/porcinos	28	22	78.5	63.1 – 94.0	0.4244
Rumiantes	12	7	58.3	29.9 – 86.6	
Sin contacto	70	50	71.4	60.6 – 82.1	

^a Reacción positiva con títulos $\geq 1:100$ en la Prueba de Aglutinación Microscópica.

^b IC 95% = intervalo de confianza al 95%.

^c Se consideró significativo un valor de $P < 0.05$. Un valor de $P > 0.05$ y $< 0,10$ como tendencia.

^d Se incluyeron tanto perros con dueño como perros callejeros ($n = 276$).

^e Zonas con basura, agua estancada y contacto con roedores.

^f Sólo se incluyeron perros con dueño ($n = 110$).

De acuerdo con nuestros resultados, [Blum-Domínguez et al. \(2013\)](#) informaron una seropositividad más alta ($P < 0.05$) en perros callejeros (26.7%, $n = 142$) en comparación con perros con dueño (17.2%, $n = 181$) que habitaban áreas urbanas de la ciudad de Campeche, en el sur de México. De manera similar, [Hernández-Ramírez et al. \(2020\)](#) mencionan que los perros callejeros tienen un riesgo elevado de infección debido al mayor contacto con otros animales y la exposición a agua, orina y basura contaminadas.

CONCLUSIÓN

El presente estudio muestra una alta seropositividad (80.6 %) contra *Leptospira* en perros que habitan en áreas urbanas de Zacatecas. Las serovariedades Icterohaemorrhagiae, Tarassovi, Bratislava, Copenhageni y Canicola fueron las más frecuentes (>25.0 %). La mayor seropositividad se observó en la población de perros callejeros adultos, mientras que factores como la vacunación, la raza, el sexo y el contacto con otras especies domésticas no influyeron en la seroprevalencia. La alta seroprevalencia observada en la población, así como los altos títulos de anticuerpos encontrados en perros de las zonas urbanas de Zacatecas, representan un potencial problema de salud para especies



animales domésticas y silvestres, así como un potencial riesgo para la salud pública de la población humana.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación se realizó con el apoyo de la beca de investigación PAPIIT IN202320 de la Universidad Nacional Autónoma de México.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal académico/docente, estudiantes (Brenda Estrella-Carpinteyro, Olga Marina Girón-Camacho, Víctor Leonardo Tovar-Sánchez) y administradores de la Unidad de Servicios de Diagnóstico y Confirmación (USEDICO) del Centro de Docencia, Investigación y Extensión en Producción Animal del Altiplano (CEIEPAA-UNAM), al Centro de Atención Canina y Felina y Centro de Bienestar Animal de los municipios de Zacatecas y Guadalupe por el apoyo brindado en el desarrollo de la investigación.

LITERATURA CITADA

ADLER B, De la Peña-Moctezuma A. 2010. *Leptospira* and leptospirosis. *Veterinary Microbiology*. 140 (3-4): 287-296. ISSN: 0378-1135.

<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.03.012>

ADCOCK CJ. 1997. Sample size determination: a review. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*. 46(2): 261–283. ISSN: 00390526.

<https://doi.org/10.1111/1467-9884.00082>

BERTELLONI F, Cilia G, Turchi B, Pinzauti P, Cerri D, Fratini F. 2019. Epidemiology of leptospirosis in North-Central Italy: Fifteen years of serological data (2002–2016).

Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases. 65: 14-22. ISSN: 0147-9571. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2019.04.001>

BHARTI A, Nally JE, Ricaldi J, Matias MA, Diaz M, Lovett M, Gilman RH, Willig MR, Gotuzzo E, Vinetz JM. 2003. Leptospirosis: a zoonotic disease of global importance. *The Lancet Infectious Diseases*. 3(12): 757-771. ISSN: 1473-3099.

[https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(03\)00830-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(03)00830-2)

BLUM-DOMÍNGUEZ S, Chi-Dzib MY, Maldonado-Velázquez MG, Nuñez-Oreza LA, Gómez-Solano MI, Caballero-Poot RI, Tamay-Segovia P. 2013. Detection of reactive canines to *Leptospira* in Campeche City, Mexico. *Revista Argentina de Microbiología*. 45(1): 34-38. ISSN: 0325-7541.

<http://www.scielo.org.ar/img/revistas/ram/v45n1/html/v45n1a06.htm>



BOEY K, Shiokawa K, Rajeev S. 2019. Leptospira infection in rats: A literature review of global prevalence and distribution. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 13(8): e0007499. ISSN: 1935-2735. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007499>

BOJIRAJ M, Porteen K, Gunaseelan L, Kannan S. 2017. Seroprevalence of Leptospirosis in Animals and Its Public Health Significance. *Int. J. Livest. Res.* 7(11): 220-226. ISSN: 2277-1964. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20170812041853>

BROWNE ES, Pereira M, Barreto A, Zeppelini CG, Oliveira DD, Costa F. 2023. Prevalence of human leptospirosis in the Americas: a systematic review and meta-analysis. *Revista Panamericana de Salud Pública*. 47, e126. ISSN: 1680 5348. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2023.126>

CÁRDENAS-MARRUFO MF, Vado-Solís I, Pérez-Osorio CE, Correa JS. 2011. Seropositivity to leptospirosis in domestic reservoirs and detection of *Leptospira* spp. from water sources, in farms of Yucatan, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14 (2011): 185-189. ISSN: 1870-0462. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/698/507>

CARNEIRO M, Giacomini ML, Costa JM. 2004. Leptospirosis outbreak related to occupational exposure: Clinical and epidemiological study. *Revista Chilena de Infectología*. 21(4):339-344. ISSN print: 0716-1018. <https://doi.org/10.4067/S0716>

CASTILLO-SÁNCHEZ LO. 2008. Detection of dogs carrying pathogenic leptospirae: bacteriological, serological, histopathological and molecular studies. Bachelor Thesis. National Autonomous University of Mexico. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/T1K1F7P813C6C6113VGBAJHQACTI2GXXRHSS68CRVG4G5QQXAX-05890?func=find-acc&acc_sequence=001632237

DE BRITO T, da Silva A, Abreu P. 2018. Patología y patogénesis de la leptospirosis humana: una revisión comentada. *Revista del Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*. 60:e23. ISSN:1678-9946. <https://doi.org/10.1590/S1678-9946201860023>

ESTEVEZ LM, Bulhões SM, Branco CC, Carreira T, Vieira ML, Gomes-Solecki M. 2018. Diagnóstico de la leptospirosis humana en un entorno clínico: análisis de fusión de alta resolución mediante PCR en tiempo real para la detección de *Leptospira* al inicio de la enfermedad. *Scientific Reports*. 8(1):9213. ISSN 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27555-2>

GOARANT C, Adler B, De la Peña-Moctezuma A. *Leptospira*. In: Prescott JF, Rycroft AN, Boyce JD, Macinnes JI, Van Immerseel F, Vázquez-Boland JA. Eds. Pathogenesis of Bacterial Infections in Animals. 5th. Ed. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. USA. 2022; Chapter 23:502-527. ISBN-13:978-1119754794. <https://doi.org/10.1002/9781119754862.ch23>



GOLDSTEIN RE. 2010. Canine leptospirosis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 40 (6): 1091-1101. ISSN: 0195-5616.
<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2010.07.008>

HERNÁNDEZ-RAMÍREZ CV, Gaxiola-Camacho SM, Osuna Ramírez I, Enríquez Verdugo I, Castro del Campo N, López Moreno HS. 2017. Prevalence and risk factors associated with serovars of *Leptospira* in dogs from Culiacan, Sinaloa. *Veterinaria México*. 4(2): 1-12. ISSN: 2448-6760. <https://doi.org/10.21753/vmoa.4.2.369>

HERNÁNDEZ-RAMÍREZ C, Gaxiola-Camacho SM, Enríquez-Verdugo I, Rivas-Llamas R, Osuna-Ramírez I. 2020. *Leptospira* serovars and of contagion risks in humans and dogs from Culiacan City, in Sinaloa, México. *Abanico Veterinario*. 10: 1-16. ISSN: 2448-6132.
<https://doi.org/10.21929/abavet2020.40>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática). 2021. Aspectos Geográficos Zacatecas. México.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_32

LEAL-CASTELLANOS C, García-Suárez R, González-Figueroa E, Fuentes-Allen J, Escobedo-De La Peña J. 2003. Risk factors and the prevalence of leptospirosis infection in a rural community of Chiapas, Mexico. *Epidemiology & Infection*. 131(3): 1149-1156. ISSN print: 0950-2688 o ISSN online: 1469-4409.
<https://doi.org/10.1017/s0950268803001201>

LEVET PN. 2001. Leptospirosis. *Clinical Microbiology Reviews*. 14(2): 296-326. ISSN: 1098- 6618. <https://doi.org/10.1128/cmr.14.2.296-326.2001>

LUGO-CHÁVEZ BL, Velasco-Rodríguez LC, Canales-Velásquez G, Velázquez-Hernández JF, Herrera-Huerta EV. 2015. Detección de anticuerpos antileptospira en una población vulnerable del municipio de Ixhuatlancillo, Veracruz. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*. 53(2): 158-163. ISSN: 0443-5117.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2015/im152j.pdf>

LUNA AMA, Moles CLP, Gavaldón RD, Nava VC, Salazar GF. 2008. Canine Leptospirosis in México. *Revista Salud Animal*. 30(1): 1-11. ISSN print: 0253-570X o ISSN online: 2224-4700.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253570X2008000100001&lng=es&tlng=en

MARTÍNEZ-BARBABOSA I, Alpizar-Sosa E, Gavaldón-Rosas D, Moles-Cervantes L, Cárdenas M, García-González R, Shea M, Fernández-Presas A. 2016. Canine Leptospirosis Serology in Southern Mexico City. *Open Journal Medical Microbiology*. 6: 171-180. ISSN online: 2165-3380 o ISSN print: 2165-3372.
<https://doi.org/10.4236/ojmm.2016.64022>



MEDINA Z, Guerra M, Veliz N. 2010. Serological Study of Leptospirosis in Canines from a Shelter in the State of Aragua. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. 51(2): 093-097. ISSN print: 0258-6576. <https://ve.scielo.org/pdf/rfcv/v51n2/art04.pdf>

MÉNDEZ C, Benavides L, Esquivel A, Aldama A, Torres J, Gavaldón D, Meléndez P, Moles L. 2013. Serological screening of *Leptospira* in wild rodents, bovines, equines and canines in the northeast of Mexico. *Revista Salud Animal*. 35(1): 25-32. ISSN print: 0253-570X o ISSN online: 2224-4700.

<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20133202601>

OIE. 2021. Capítulo 3.1.12. Leptospirosis. En Manual de las Pruebas de Diagnóstico y de las Vacunas para los Animales Terrestres 2021 (Vol. 1). OIE.

https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahm/E_summry.htm.

ORTEGA-GONZÁLEZ CN, Martínez-Herrera DI, Ortiz-Ceballos GC, Pardío-Sedas VT, Villagómez-Cortés JA, Flores-Primo A, Meléndez-Valadez P. 2018. Association between leptospirosis in domiciled dogs and in their owners in Veracruz-Boca del Río, México. *Agrociencia*. 52(Special issue): 67-79. ISSN: 2521-9766.

<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20193384596>

PLANK R, Dean D. 2000. Overview of the epidemiology, microbiology, and pathogenesis of *Leptospira* spp. in humans. *Microbes and Infection*. 2(10): 1265-1276. ISSN: 1286-4579. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(00\)01280-6](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(00)01280-6)

RAJAPAKSE S, Rodrigo C, Handunnetti SM, Fernando SD. 2015. Herramientas inmunológicas y moleculares actuales para la leptospirosis: diagnóstico, diseño de vacunas y biomarcadores para predecir la gravedad. *Anales de Microbiología Clínica y Antimicrobianos*. 14:2. ISSN: 1476-0711. <https://doi.org/10.1186/s12941-014-0060-2>

RAJEEV S, Shiokawa K, Llanes A, Rajeev M, Restrepo C, Chin R, Cedeño E, Ellis E. 2020. Detection and Characterization of *Leptospira* Infection and Exposure in Rats on the Caribbean Island of Saint Kitts. *Animals*. 10(2), 350. ISSN: 2076-2615.

<https://doi.org/10.3390/ani10020350>

RIVERA FA, Peña MA, Roa RMA, Ordoñez BML. 1999. Seroprevalencia de leptospirosis en perros callejeros del norte de la ciudad de México. *Vet. Mex*. 30(1): 105-107. ISSN: 2448-6760. <https://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-1999/vm991n.pdf>

ROJAS-HOYOS NA, Márquez-Álvarez M, Pino-Rodríguez D, González-Chávez MT, Cuba-Romero Y, Gainza-Santos N. 2017. Prevalence of antibodies against different serovars of *Leptospira interrogans* in canines in Boyeros municipality, Havana, Cuba. *Rev. Salud Anim*. 39(1): 35-42. ISSN: 2224-4697.

<http://scielo.sld.cu/pdf/rsa/v39n1/rsa05117.pdf>



ROLLÁN MR, Irrazabal MG, Irrazabal MG, Scialfa E, Scialfa E, Zurbriggen G, Zurbriggen G, Graiff D, Giraudó FJ, Giraudó FJ, Ruiz SE, Ruiz SE. 2018. Seroprevalence of *Leptospira* spp. in dogs, in the city of Córdoba, Argentina. *Revista de Salud Pública*. 22(3):68-76. ISSN print: 1853-1180 o ISSN online: 1852-9429.

<https://doi.org/10.31052/1853.1180.v22.n3.21003>

ROMERO MH, Astudillo M, Aguillón DM, Lucio ID. 2018. Serological evidence of canine leptospirosis in the kamentá indigenous community, Putumayo, Colombia. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 29(2): 625-634. ISSN: 1609-9117.

<https://doi.org/10.15381/rivep.v29i2.14495>

SANT'ANNA R, Vieira AS, Oliveira JLW. 2019. Asymptomatic leptospiral infection is associated with canine chronic kidney disease. *Comparative Immunology, Microbiology & Infectious Diseases*. 62: 64-67. ISSN online: 1878-1667 o ISSN print: 0147-9571.

<https://doi.org/10.1016/j.cimid.2018.11.009>

SILVA RF, Riedemann S. 2007. Frequency of canine leptospirosis in dogs attending veterinary practices determined through microscopic agglutination test and comparison with isolation and immunofluorescence techniques. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 39 (3):269-274. ISSN print: 0301-732X. <https://doi.org/10.4067/S0301>

SYKES J, Haake D, Gamag C, Mills W, Nally J. 2022. A global one health perspective on leptospirosis in humans and animals. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 260(13): 1589-1596. ISSN: 0003-1488.

<https://doi.org/10.2460/javma.22.06.0258>

TROTT DJ, Abraham S, Adler B. 2018. Resistencia a los antimicrobianos en *Leptospira*, *Brucella* y otros patógenos veterinarios y zoonóticos poco investigados. *Microbiology Spectrum*. 6(4):1–13. ISSN: 2165-0497.

<https://doi.org/10.1128/microbiolspec.arba-0029-2017>

TUEMMERS C, Lüders C, Rojas C, Serri M, Espinoza R, Castillo C. 2013. Prevalence of leptospirosis in vague dogs captured in Temuco city, 2011. *Revista Chilena de Infectología*. 30(3): 252-257. ISSN print: 0716-1018. <https://doi.org/10.4067/S0716>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-15. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.11>

Artículo Original. Recibido: 07/07/2025. Aceptado: 27/10/2025. Publicado: 28/12/2025. Clave: 2025-47.

<https://www.youtube.com/watch?v=dn61eNkUhyg>

Zeolita en dietas ovinas como estrategia nutricional para mejorar la calidad de leche

Zeolite in sheep diets as a nutritional strategy to improve milk quality

Vicuña-Guerrero Alma*¹ ID, Becerril-Pérez Carlos² ID, Vargas-Romero Juan**³ ID, Gallegos-Sánchez Jaime¹ ID, Luna-Rodríguez Lorena³ ID, Pro-Martínez Arturo¹ ID



¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, C.P. 56230, Estado de México. México. ²Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Carretera Xalapa-Veracruz Km. 88.5, Manlio Fabio Altamirano, C.P. 91700, Veracruz. México. ³Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Avenida San Rafael Atlixco 186, Leyes de Reforma 1ra Sección Iztapalapa, C.P. 09340 Ciudad de México, CDMX. México. Autor responsable: *Vicuña-Guerrero Alma. **Autor de correspondencia: Vargas-Romero Juan M. Correo electrónico: vicuna.alma@colpos.mx, color@colpos.mx, jmvvr@xanum.uam.mx, gallegos@colpos.mx, llunaro@xanum.uam.mx, aproma@colpos.mx

RESUMEN

La especie, raza y tipo de alimentación, entre otros factores, determinan la producción y la composición química de la leche. La inclusión de un buffer con zeolita en dietas para rumiantes puede mejorar variables productivas y composicionales, aunque su aplicación en ovinos lecheros ha sido poco estudiada. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de un buffer comercial a base de zeolita sobre la producción y composición de la leche en ovejas East Friesian. El experimento duró 98 días, divididos en dos etapas de 49 días. Se emplearon 12 ovejas EF bajo un diseño experimental cruzado, recibiendo dos dietas: CO (sin zeolita) y BU (con 1.5 % de buffer con zeolita kg⁻¹). Se registró el consumo de materia seca y la producción de leche diariamente; se analizaron muestras individuales por oveja. Se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de grasa y sólidos totales (g d⁻¹), mientras que, no se observaron cambios en consumo voluntario, volumen de leche, proteína, lactosa y minerales ($p > 0.05$). La inclusión del buffer con zeolita mejoró la calidad composicional de la leche sin afectar el rendimiento lácteo general. **Palabras clave:** nutrición ovina, leche de oveja, minerales no metálicos, composición láctea.

ABSTRACT

Species, breed, and feeding regimen, among other factors, determine milk yield and chemical composition. The inclusion of a zeolite-based buffer in ruminant diets has been shown to enhance productive and compositional variables; however, its use in dairy sheep remains scarcely investigated. This study aimed to assess the effect of a commercial zeolite buffer on milk production and composition in East Friesian ewes. The trial lasted 98 days, divided into two 49-day periods. Twelve EF ewes were assigned to a cross-over design and fed two dietary treatments: CO (control, without zeolite) and BU (1.5% zeolite buffer on a DM basis). Dry matter intake and milk yield were recorded daily, and individual milk samples were analyzed per ewe. Significant effects ($p \leq 0.05$) were observed on milk fat and total solids content (g d⁻¹), whereas, no



differences were found in voluntary intake, milk volume, protein, lactose, or mineral content ($p > 0.05$). The inclusion of the zeolite buffer improved milk compositional quality without compromising overall milk yield.

Keywords: sheep nutrition, ewe milk, non-metallic minerals, milk composition.

INTRODUCCIÓN

La raza ovina East Friesian, originaria del norte de Alemania y de los Países Bajos, se caracteriza por su alta prolificidad, buena aptitud materna, ubres bien desarrolladas y una destacada capacidad de producción lechera. Estudios genómicos recientes han confirmado su especialización para este fin, al identificarse genes asociados con la producción de leche en esta raza (You *et al.*, 2024). A nivel mundial, la mayor producción de leche ovina se concentra en el sur de Europa, el norte de África y el noroeste de Asia, regiones donde predominan las razas Awassi, Lacaune y East Friesian (FAO, 2020). En México, esta actividad aún es incipiente y presenta una distribución geográfica restringida; en 2017 se reportó una producción de 57,754 toneladas de leche de oveja (Cardona-Tobar *et al.*, 2020).

La composición química promedio de la leche de ovejas East Friesian, ajustada a los 100 días de lactancia, es de 5.73 % de grasa, 5.49 % de proteína, 5.11 % de lactosa y 31.9 % de sólidos totales (Kremer & Rosés, 2016).

Esta composición está influenciada por diversos factores como la genética, el tipo de alimentación, la etapa de lactancia, las condiciones ambientales y las prácticas tecnológicas aplicadas. La leche ovina se destina principalmente a la elaboración de quesos y otros productos lácteos, cuya calidad está directamente relacionada con su composición (Jiménez-Sobrino *et al.*, 2018). Estos productos son ampliamente consumidos a nivel mundial (Flores-Armas *et al.*, 2020) y tienen una significativa relevancia cultural y gastronómica en México, donde representan una alternativa alimentaria con implicaciones sociales, económicas y ambientales.

En la alimentación animal, algunos minerales no metálicos se emplean como aditivos tecnológicos debido a sus propiedades aglutinantes y antiaglomerantes; además, de contribuir al valor nutricional de las dietas. En rumiantes, estos aditivos también actúan como tampones y osmorreguladores, ayudando a prevenir trastornos digestivos asociados al consumo de dietas con alto contenido de concentrado (Sulzberger *et al.*, 2016).

Particularmente, la zeolita ha mostrado efectos benéficos sobre el funcionamiento del tracto gastrointestinal en rumiantes, al modular la fermentación ruminal y favorecer el desarrollo de poblaciones microbianas benéficas; lo cual, puede traducirse en una mejora en la producción lechera (Tánori-Lozano *et al.*, 2023). No obstante, el conocimiento sobre el uso de tampones que contienen zeolita en ovinos lecheros sigue siendo limitado.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de un buffer comercial a base de zeolita sobre la producción y composición de la leche en ovejas East Friesian.



MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el Rancho “Flor y Canto”, localizado en el municipio de Tlalmanalco, Estado de México (19° 10' 59.0" N, 98° 48' 49.0" O), a una altitud de 2 395 m.s.n.m., presenta una temperatura promedio anual de 15 °C y un clima templado subhúmedo ([SECAMPO, 2023](#)).

Ovejas y dietas experimentales

Este estudio siguió los lineamientos del Reglamento para el Uso y Cuidado de Animales Destinados a la Investigación ([COLPOS, 2022](#)).

Para el experimento se seleccionaron 12 ovejas EF, con peso promedio de 44 ± 9 kg, edad de 48 ± 24 meses y con 3 a 4 partos de un solo cordero, en su segundo tercio de lactancia, que producían más de 300 g de leche por día. El ordeño se realizó manualmente a partir de las 09:00 h.

Se emplearon dos dietas experimentales (Tabla 1): la dieta control (CO), una dieta integral basada en forraje de avena y un concentrado de granos; y la dieta con buffer (BU), similar a la CO, pero suplementada con 1.5 % de un buffer comercial a base de zeolita. Este buffer estabiliza el pH del tracto gastrointestinal durante más de 24 horas y contiene aditivos e iones alcalinotérreos que actúan como neutralizantes y captadores, mejorando la digestibilidad de la fibra.

Tabla 1. Composición de las dietas experimentales (%) para ovejas East Friesian durante el segundo tercio de lactancia

Ingrediente (%)	CO	BU
Forraje de avena	59.0	59.0
Maíz quebrado	15.0	13.0
Soya (pasta)	11.5	12.0
Salvado de trigo	12.0	12.0
Urea	1.0	1.0
Sales minerales	1.5	1.5
Buffer	0.0	1.5

CO: dieta integral, BU: dieta integral más buffer con zeolita.

Análisis químico de las dietas

Los análisis químicos se realizaron en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se prepararon muestras de 500 g de cada dieta, concentrado e ingrediente por separado, conservadas en bolsas herméticas. Las muestras fueron molidas en un molino Thomas Willey Mill (modelo 4, EE.UU.) con tamiz de 1 mm.

Se determinaron humedad y materia seca (método 930.15), cenizas (método 942.05) y proteína total mediante método Micro-Kjeldahl (984.13), según [AOAC \(2005\)](#). La fibra



detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se determinaron con digestor Ankom Technology (2023), usando bolsas filtrantes de 25 μm (F57, Ankom Technology), conforme al método de [Van Soest \(1963\)](#). Los resultados indicaron dietas isoproteicas e isoenergéticas.

Fase de adaptación inicial

Se utilizaron 12 corrales individuales de 1.75 m de largo por 2.10 m de ancho, en estos antes de iniciar las etapas experimentales, todas las ovejas tuvieron un periodo de adaptación de 14 días. Además, en este periodo se realizaron prácticas sanitarias preventivas que incluyeron trasquila, desparasitación con Parmisole 12 % (PARFARM, S.A., Ciudad de México) y aplicación del antibiótico Linco Flor (BioQuiVet, Estado de México).

Etapas y periodos experimentales

El experimento tuvo una duración total de 98 días, divididos en dos etapas de 49 días cada una, compuestas por un periodo de adaptación-transición de 21 días a la dieta experimental, seguido por 28 días recibiendo exclusivamente el tratamiento asignado.

Durante los periodos de adaptación-transición, se implementó un cambio gradual de dieta para permitir la adaptación ruminal y reducir posibles efectos residuales del tratamiento anterior. Este cambio se realizó mediante una sustitución progresiva: la dieta experimental correspondiente (CO o BU, según el grupo) se incorporó en incrementos del 25 % cada cinco días, hasta alcanzar el 100 % de la nueva dieta al inicio del día 21. Esto permitió que las ovejas pasaran de forma segura de la dieta previa a la dieta experimental asignada, garantizando una transición fisiológicamente adecuada.

En la primera etapa, la mitad de las ovejas recibió la dieta CO (control) y la otra mitad la dieta BU (con zeolita). En la segunda etapa, se realizó un intercambio de dietas entre los grupos (cross-over), de modo que cada oveja actuó como su propio control.

Alimentación de las ovejas

Se registró el consumo diario de materia seca (kg d^{-1}) desde el inicio del experimento. La alimentación se distribuyó en cinco suministros diarios, con intervalos de dos horas entre las 09:00 h y 17:00 h. El alimento rechazado (forraje y concentrado) se pesó diariamente para calcular el consumo neto por oveja ([Forbes, 2007](#)).

Recolección y análisis de datos de la leche

Producción de leche

La producción diaria de leche (g d^{-1}) se registró y se calculó la media semanal. Se consideraron tres semanas de adaptación y cuatro semanas de medición. Semanalmente se recolectaron 100 g de leche por oveja para análisis.



Calidad de Leche

Los análisis se realizaron en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Ciudad de México. Se tomaron cuatro muestras de leche por etapa, totalizando ocho muestras por oveja. Las muestras se conservaron a 4 °C y se analizaron el mismo día. Por duplicado se determinaron los porcentajes de grasa, proteína, lactosa, minerales y sólidos totales, mediante el equipo Lactostar 3510 (Funke Gerber, Alemania). La producción diaria de los componentes de proteína y grasa (g d^{-1}) se calculó a partir del porcentaje (%).

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental cruzado (cross-over), en el que cada una de las 12 ovejas East Friesian (EF) recibió ambas dietas (tratamientos) en dos etapas distintas; permitiendo que cada animal fungiera como su propio control. Esta estrategia incrementa la potencia estadística del experimento al reducir la variabilidad intraindividual y controlar el efecto de factores de confusión individuales. Las mediciones se realizaron de forma semanal, y para ajustar posibles efectos de confusión, se incluyeron como covariables la edad de las ovejas y los días en lactancia al inicio del experimento.

Dado que el diseño cruzado permite comparar los tratamientos dentro del mismo individuo, se optimiza el uso de un tamaño muestral reducido sin comprometer la validez estadística. La comparación de medias se realizó mediante un análisis de varianza para medidas repetidas, seguido de la prueba de Tukey, considerando un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. El análisis estadístico se llevó a cabo con el software R (2022.07.1+554).

RESULTADOS

Consumo voluntario de materia seca

Ni las dietas ni las etapas experimentales tuvieron efecto significativo sobre el consumo voluntario de materia seca ($p > 0.05$; Tabla 2). Sin embargo, en la primera etapa se observó un efecto significativo de la semana ($p \leq 0.05$), con una tendencia decreciente en el consumo.

Producción de leche

No se detectaron diferencias significativas en la producción de leche entre dietas ($p > 0.05$; Tabla 3). No obstante, sí se observaron diferencias significativas entre etapas, con mayores volúmenes registrados durante la segunda etapa ($p \leq 0.05$).



Tabla 2. Consumo voluntario de materia seca (kg d⁻¹) por ovejas East Friesian alimentadas con dietas con (BU) y sin zeolita (CO)

Dieta	Etapa 1				Total	Etapa 2				Total	Global
	Consumo voluntario de MS, kg d ⁻¹					Consumo voluntario de MS, kg d ⁻¹					
	Semana					Semana					
1	2	3	4	5	6	7	8				
CO	2.11±0.11	2.01±0.10	1.95±0.09	1.91±0.09	2.00±0.09	1.88±0.09	1.85±0.10	1.87±0.10	1.91±0.11	1.88±0.09	1.94±0.06
BU	2.27±0.12	2.03±0.11	1.89±0.10	1.78±0.10	1.99±0.10	1.91±0.08	1.89±0.09	1.96±0.09	1.96±0.10	1.93±0.08	1.96±0.06
Global	2.19±0.10 ^a	2.02±0.09 ^b	1.92±0.08 ^{bc}	1.84±0.07 ^c	1.99±0.08	1.90±0.06	1.87±0.07	1.91±0.08	1.94±0.09	1.90±0.07	-

CO: dieta integral, BU: dieta integral más buffer con zeolita, MS: Materia seca.

a, b, c: medias con superíndice distinto en la misma fila indican diferencia significativa (p ≤ 0.05).

Calidad de la leche de oveja East Friesian

Grasa

Durante la primera etapa se identificaron diferencias significativas entre semanas en la producción de grasa (g d⁻¹), mostrando una tendencia ascendente (p ≤ 0.05; Tabla 4). Asimismo, el análisis global por etapa reveló un incremento significativo en la producción de grasa durante la segunda etapa.

Tabla 3. Producción de leche (kg d⁻¹) de ovejas East Friesian alimentadas con dietas con (BU) y sin zeolita (CO)

Dieta	Etapa 1				Total	Etapa 2				Total	Global
	Producción de leche, kg d ⁻¹					Producción de leche, kg d ⁻¹					
	Semana					Semana					
1	2	3	4	5	6	7	8				
CO	0.23±0.01	0.28±0.09	0.31±0.08	0.34±0.07	0.29±0.08	0.37±0.08	0.40±0.08	0.43±0.09	0.45±0.10	0.41±0.09	0.35±0.05
BU	0.19±0.11	0.22±0.10	0.27±0.09	0.30±0.09	0.25±0.10	0.41±0.07	0.44±0.07	0.45±0.08	0.50±0.09	0.45±0.07	0.35±0.05
Global	0.21±0.09	0.26±0.08	0.29±0.07	0.32±0.06	0.27±0.07 ^b	0.39±0.05	0.42±0.06	0.44±0.07	0.47±0.08	0.43±0.06 ^a	-

CO: dieta integral, BU: dieta integral más buffer con zeolita.

a, b: medias con superíndice distinto en la misma fila indican diferencia significativa (p ≤ 0.05).



Tabla 4. Contenido de grasa (g d⁻¹) en la leche de ovejas East Friesian alimentadas con dietas con (BU) y sin zeolita (CO)

Dieta	Etapa 1				Total	Etapa 2				Total	Global
	Producción de grasa, g d ⁻¹					Producción de grasa, g d ⁻¹					
	Semana					Semana					
1	2	3	4	5	6	7	8				
CO	11.8±6.2	14.2±5.5	16.6±5.0	19.7±4.5	15.6±5.1	21.3±5.1	22.6±5.8	26.5±5.6	26.0±6.1	24.1±5.3	19.8±3.2 ^Y
BU	9.2±6.9	18.1±6.3	16.5±5.8	19.6±5.4	15.8±5.9	25.8±4.3	26.0±4.5	25.9±5.0	29.6±5.5	26.8±4.6	21.3±3.2 ^X
Global	10.5±5.7 ^b	16.1±4.9 ^a	16.6±4.3 ^a	19.6±3.7 ^a	15.7±4.5 ^B	23.6±3.4	24.3±3.7	26.2±4.2	27.8±4.8	25.5±3.8 ^A	-

CO: dieta integral, BU: dieta integral más buffer con zeolita.

X, Y: medias con superíndice distinto en la misma columna indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

a, b; A, B: medias con superíndice distinto en la misma fila indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Proteína

El contenido de proteína (g d⁻¹) fue significativamente mayor durante la segunda etapa ($p \leq 0.05$; Tabla 5). Durante la primera etapa, se observaron diferencias significativas entre semanas, destacando un valor superior en la semana 2 ($p \leq 0.05$) respecto a la semana 1 y semana 3, aunque comparable con la semana 4.

Tabla 5. Contenido de proteína (g d⁻¹) en la leche de ovejas East Friesian alimentadas con dietas con (BU) y sin zeolita (CO)

Dieta	Etapa 1				Total	Etapa 2				Total	Global
	Contenido de proteína, g d ⁻¹					Contenido de proteína, g d ⁻¹					
	Semana					Semana					
1	2	3	4	5	6	7	8				
CO	9.57±4.6	12.82±4.1	13.07±3.7	14.48±3.3	12.5±3.8	15.92±3.7	17.39±3.9	19.70±4.2	20.17±4.5	18.3±4.0	15.4±2.4
BU	8.20±5.1	13.45±4.7	11.37±4.3	12.78±4.0	11.4±4.4	17.89±3.1	18.86±3.3	20.17±3.7	22.14±4.1	19.8±3.4	15.6±2.4
Global	8.89±4.2 ^b	13.14±3.7 ^a	12.22±3.2 ^{ab}	13.63±2.8 ^a	12.0±3.4 ^B	16.91±2.5	18.13±2.7	19.93±3.1	21.15±3.6	19.0±2.9 ^A	-

CO: dieta integral, BU: dieta integral más buffer con zeolita.

a, b: medias con superíndice distinto en la misma fila indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

A, B: medias con superíndice distinto en la misma fila indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



Lactosa

Se observó mayor producción de lactosa (g d^{-1}) durante la segunda etapa ($p \leq 0.05$); además, de un efecto significativo de la semana ($p \leq 0.05$) dentro de la primera etapa, destacándose un menor contenido en la semana 1 (Tabla 6).

Tabla 6. Contenido de lactosa (g d^{-1}) en la leche de ovejas East Friesian alimentadas con dietas con (BU) y sin zeolita (CO)

Dieta	Etapa 1				Total	Etapa 2				Total	Global
	Lactosa, g d^{-1}					Lactosa, g d^{-1}					
	Semana					Semana					
1	2	3	4	5	6	7	8				
CO	14.20±6.7	18.80±5.9	19.20±5.3	20.90±4.8	18.3±5.5	23.30±5.4	25.20±5.7	28.50±6.1	29.50±6.6	26.60±5.8	22.5±3.4
BU	12.20±7.4	20.10±6.8	16.30±6.2	18.60±5.8	16.8±6.4	26.00±4.5	27.50±4.8	29.60±5.3	32.50±6.0	28.90±5.0	22.9±3.4
Global	13.20±6.1 ^b	19.40±5.3 ^a	17.80±4.6 ^{ab}	9.70±4.0 ^a	17.5±4.9 ^B	24.60±3.6	26.40±4.0	29.00±4.5	31.00±5.2	27.80±4.2 ^A	—

CO: dieta integral, BU: dieta integral con buffer a base de zeolita

a, b; A, B: medias con superíndice distinto en la misma fila indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Minerales

No se observó un efecto significativo del tipo de dieta sobre el contenido mineral (g d^{-1}) de la leche ($p > 0.05$; Tabla 7). Sin embargo, la segunda etapa mostró valores significativamente superiores ($p \leq 0.05$), independientemente del tratamiento.

Sólidos totales

Durante la primera etapa no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. En contraste, durante la segunda etapa las ovejas alimentadas con la dieta suplementada con zeolita (BU) presentaron una producción diaria de sólidos totales (g d^{-1}) significativamente mayor ($p \leq 0.05$; Tabla 8). A nivel global, se evidenciaron diferencias significativas entre semanas y etapas ($p \leq 0.05$), con un incremento progresivo hacia la segunda etapa.

DISCUSIÓN

En consumo promedio de materia seca por oveja (≈ 60 kg en animales con parto simple), fue consistente con los valores establecidos por el [NRC \(2007\)](#) y con los reportados para ovejas East Friesian bajo condiciones experimentales comparables ([Estrada-Angulo et al., 2017](#); [Kremer et al., 2015](#)). La inclusión dietética de zeolita al 1.5 % no modificó significativamente el consumo voluntario, en concordancia con estudios previos en rumiantes mayores y menores ([Marin et al., 2020](#)). Este comportamiento podría atribuirse



a que la zeolita no afecta la palatabilidad de la dieta, lo que permite mantener niveles estables de ingestión incluso en etapas fisiológicamente demandantes (Amanzougarene & Fondevila, 2022). Aunque algunos autores han reportado ligeras reducciones en el consumo durante el parto en ciertas especies, no se han documentado efectos adversos persistentes (Frizzarini *et al.*, 2024).

Tabla 7. Contenido de minerales (g d⁻¹) en la leche de ovejas East Friesian alimentadas con dietas con (BU) y sin zeolita (CO)

Dieta	Etapa 1				Total	Etapa 2				Total	Global
	Contenido mineral, g d ⁻¹					Contenido mineral, g d ⁻¹					
	Semana					Semana					
1	2	3	4	5	6	7	8				
CO	1.72±0.64	1.76±0.58	1.91±0.52	2.15±0.48	1.88±0.52	2.32±0.53	2.52±0.55	3.03±0.59	3.11±0.64	2.75±0.55	2.31±0.33
BU	1.44±0.71	0.28±0.65	1.72±0.60	2.04±0.56	1.37±0.61	2.67±0.46	2.86±0.48	3.14±0.52	3.49±0.58	3.04±0.47	2.21±0.33
Global	1.58±0.59 ^A	1.020±0.51 ^B	1.82±0.45 ^A	2.09±0.39 ^A	1.63±0.46	2.50±0.35	2.69±0.39	3.08±0.44	3.30±0.50	2.89±0.39	-

CO: dieta integral, BU: dieta integral más buffer con zeolita.

A, B: medias con superíndice distinto en la misma fila indican diferencia significativa (p ≤ 0.05)

Tabla 8. Producción de sólidos totales (g d⁻¹) en la leche de ovejas East Friesian alimentadas con dietas con (BU) y sin zeolita (CO)

Dieta	Etapa 1				Total	Etapa 2				Total	Global
	Sólidos totales, g d ⁻¹					Sólidos totales, g d ⁻¹					
	Semana					Semana					
1	2	3	4	5	6	7	8				
CO	39.8±18.5	48.6±16.5	54.4±14.8	60.8±13.5	50.9±15.4	65.9±15.1	71.4±15.8	81.6±16.9	82.9±18.3	75.4±16.1	63.2±9.7
BU	32.5±20.7	53.6±18.9	48.4±17.3	55.6±16.1	47.5±17.9	77.0±12.6	80.2±13.5	82.8±14.8	92.9±16.6	83.2±13.9	65.4±9.7
Global	36.1±17.1 ^b	51.1±14.8 ^a	51.4±12.8 ^a	58.2±11.2 ^a	49.2±13.7 ^B	71.5±10.0	75.8±11.0	82.2±12.6	87.9±14.5	79.3±11.6 ^A	-

CO: dieta integral, BU: dieta integral más buffer con zeolita.

a, b; A, B: medias con superíndice distinto en la misma fila indican diferencia significativa (p ≤ 0.05).

En su forma de clinoptilolita, particularmente cuando se administra como partícula fina, la zeolita ha demostrado eficacia como adsorbente de micotoxinas (Katsoulos *et al.*, 2016). Además de su acción detoxificante, su empleo en nutrición animal está ampliamente respaldado por su capacidad para aportar minerales y optimizar el rendimiento productivo



(El-Nile *et al.*, 2023), mediante la estabilización del ambiente ruminal (Olteanu *et al.*, 2019).

En el presente estudio, no se observaron incrementos significativos en el volumen de leche atribuibles a la inclusión de zeolita, resultado que coincide con lo informado por Marin *et al.* (2020) en vacas lecheras. No obstante, sí se detectó un aumento significativo en la producción y el contenido de grasa láctea, un efecto previamente descrito (Khachlouf, 2018; El-Nile *et al.*, 2021) y vinculado a la capacidad buffer de la zeolita, que favorece la producción de ácidos grasos volátiles (El-Nile *et al.*, 2023), especialmente acetato (Khachlouf, 2018), principal precursor lipogénico en la glándula mamaria. Este hallazgo sugiere un ambiente ruminal más estable y propicio para la fermentación de la fibra.

Por el contrario, los contenidos de proteína y lactosa no presentaron variaciones significativas, en concordancia con lo reportado por Khachlouf *et al.* (2019) y Saad *et al.* (2021), lo que indica que la zeolita no interfiere en la síntesis de estos componentes esenciales de la leche. Asimismo, se observó una mejora en la eficiencia de utilización de la energía dietética cercana al 4.5 %, consistente con lo descrito por Urías-Estrada *et al.* (2021) en rumiantes alimentados con dietas de alta densidad energética, aunque los mecanismos fisiológicos subyacentes a este efecto requieren mayor elucidación.

En relación con la composición mineral de la leche, se registró un incremento durante la segunda fase del experimento, sin asociación directa con el tratamiento, pero congruente con la literatura que atribuye a la zeolita propiedades de intercambio iónico capaces de modular la biodisponibilidad mineral y proteger compuestos lipídicos durante la fermentación ruminal (Lyubin *et al.*, 2020; Ochoa-Alfaro *et al.*, 2009). Además, su capacidad para adsorber metales pesados podría contribuir indirectamente a mejorar la salud digestiva y, en consecuencia, la calidad del producto final (Butsjak & Butsjak, 2014). Finalmente, la mayor proporción de sólidos totales observada en la leche de ovejas suplementadas con zeolita (Khachlouf, 2018) respalda su potencial como aditivo funcional para mejorar la calidad composicional de la leche, especialmente en lo relativo a las fracciones grasa, lactosa y minerales (Sulzberger *et al.*, 2016; Khachlouf *et al.*, 2019). Este efecto resulta particularmente relevante en sistemas ovinos especializados en la producción de leche con alto valor nutricional y comercial. Asimismo, el empleo de zeolitas ha sido validado internacionalmente en medicina veterinaria y nutrición animal (Khachlouf, 2018), reportándose beneficios que van desde la mejora del comportamiento de ingesta en animales jóvenes hasta un impacto positivo en el bienestar postparto (Simona & Camelia 2019; Dalton *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

El presente estudio amplía el conocimiento disponible para sistemas ovinos especializados en México. La inclusión de un buffer con zeolita en la dieta de ovejas East Friesian lactantes no modificó significativamente el consumo voluntario de materia seca



ni la producción total de leche, lo que indica que la adición de zeolita en las proporciones evaluadas no afecta negativamente estas variables productivas.

No obstante, la suplementación con zeolita sí generó un incremento significativo en la calidad composicional de la leche, al aumentar tanto el contenido porcentual como la producción diaria de grasa, así como el porcentaje de sólidos totales. Estos resultados sugieren que el efecto buffer y la capacidad de intercambio iónico de la zeolita podrían favorecer un ambiente ruminal más estable y una mayor síntesis de ácidos grasos volátiles, traduciéndose en un mejor perfil graso de la leche.

Por otro lado, no se observaron efectos significativos sobre el contenido de proteína, lactosa y minerales en la leche, aunque la producción diaria de proteína y lactosa fue mayor en etapas avanzadas de la lactancia, en concordancia con los procesos fisiológicos característicos de este periodo.

En conjunto, estos hallazgos evidencian que la zeolita puede emplearse como un aditivo funcional capaz de mejorar la composición nutritiva de la leche sin comprometer el consumo ni el rendimiento lácteo, constituyendo así una estrategia nutricional viable para optimizar la calidad de la leche en sistemas ovinos especializados.

Declaración de aprobación ética

El presente estudio forma parte del protocolo de investigación titulado “Producción de leche con borregas East Friesian resguardando la proteína ruminal con zeolita y bentonita”, identificado con el número COBIAN/004/23, el cual fue sometido a evaluación por el Comité de Bienestar Animal del Colegio de Postgraduados y tras revisar los aspectos metodológicos y éticos del estudio, emitió su aprobación mediante el Oficio No. 004. El comité constató que el protocolo cumple con los lineamientos nacionales e institucionales para el uso responsable y ético de animales en investigación.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de posgrado, a TEMISA®, por el suministro de insumos y análisis de laboratorio. Asimismo, al Rancho “Flor y Canto” por el uso de sus instalaciones y a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, por el financiamiento parcial de este trabajo de investigación dentro del proyecto "fortalecimiento de las capacidades de adaptación al cambio climático en el sector ganadero".

LITERATURA CITADA

AMANZOUGARENE Z, Fondevila M. 2022. Rumen Fermentation of Feed Mixtures Supplemented with Clay Minerals in a Semicontinuous *In Vitro* System. *Animals (Basel)*. 12(3):345. <https://doi.org/10.3390/ani12030345>



AOAC. 2005. Official method of Analysis. *Association of Officiating Analytical Chemists, 18th Edition*. Washington DC. Chapter, ISBN 0-935584-77-3.

https://www.researchgate.net/publication/292783651_AOAC_2005

BUTSJAK AA, Butsjak VI. 2014. Using of zeolite tuffs as enterosorbents. Is in cows nourishment. *Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Named*. UDC 619.612.015:546.31.

<https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/bbbb4d7a-29ab-4106-a8ae-b148b2ddb519/content>

CARDONA-TOBAR KM, López-Álvarez DC, Álvarez-Franco LÁ. 2020. Estudios de asociación genómica en ovinos de América Latina. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 11(3): 859-883.

<https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/5372>

COLPOS. 2022. Reglamento para el Uso y Cuidado de Animales destinados a la investigación. *Colegio de Postgraduados*. Pp. 1-38.

https://www.colpos.mx/wb_pdf/norma_interna/2022/reglamento-animales-2022.pdf

DALTON JI, Hendriks SJ, Roche JR, Donaghy DJ, Rue BD, Kuhn-Sherlock B, Phyn CVC. 2024. The effect of prepartum synthetic zeolite supplementation on the eating, lying and activity behaviours of grazing dairy cows. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 67(3): 336-347. <https://doi.org/10.1080/00288233.2023.2283052>

EL-NILE A, Elazab M, El-Zaiat H, El-Azrak KE, Elkomy A, Sallam S, Soltan Y. 2021. *In Vitro* and *In Vivo* Assessment of Dietary Supplementation of Both Natural or Nano-Zeolite in Goat Diets: Effects on Ruminal Fermentation and Nutrients Digestibility. *Animals (Basel)*. 27;11(8):2215. <https://doi.org/10.3390/ani11082215>

EL-NILE AE, Elazab MA, Soltan YA, Elkomy AE, El-Zaiat HM, Sallam SMA, El-Din El-Azrak K. 2023. Nano and natural zeolite feed supplements for dairy goats: Feed intake, ruminal fermentation, blood metabolites, and milk yield and fatty acids profile. *Animal Feed Science and Technology*. 295(21):115522.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115522>

ESTRADA-ANGULO A, Coronel-Burgos F, Castro-Pérez BI, López-Soto MA, Barreras A, Angulo-Montoya C, Contreras-Pérez G, Plascencia A. 2017. Efecto de la inclusión de zeolita (clinoptilolita) en ovinos en etapa de finalización: Respuesta productiva y energética de la dieta. *Archivos de Zootecnia*. 66(255):383-388.

<https://www.redalyc.org/pdf/495/49553112009.pdf>



FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2020. *Pequeños rumiantes*. Portal lácteo. <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/small-ruminants/es/>

FLORES-ARMAS Y, Armenteros-Amaya M, Riverón-Alemán Y, Remón-Díaz D, Martínez-Vasallo A. 2020. Evaluación de la calidad higiénico-sanitaria de los quesos frescos artesanales de la provincia Mayabeque, Cuba. *Revista de Salud Animal*. 42(2). ISSN-e2224-4700. <http://scielo.sld.cu/pdf/rsa/v42n2/2224-4700-rsa-42-02-e04.pdf>

FORBES MJ. 2007. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: Minimal total discomfort. *In Nutrition Research Reviews*. 20(2):132-146. <https://doi.org/10.1017/s0954422407797834>

FRIZZARINI WS, Campolina JP, Vang AL, Lewandowski LR, Teixeira NN, Connelly MK, Monteiro PLJ, Hernandez LL. 2024. Mechanisms by which feeding synthetic zeolite A and dietary cation-anion difference diets affect feed intake, energy metabolism, and milk performance: Part II. *Journal of Dairy Science*. 107(7):5222-5234. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24057>

JIMÉNEZ-SOBRINO L, Garzón-Sigler A, Pérez-Guzmán PMD, García-Martínez A, Arias-Sánchez R. 2018. Calidad microbiológica diferencial de la leche de oveja procedente de tanque. *Revista Científica*. 28(1):1-18. ISSN: 0798-2259. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95955168002>

KATSOULOS PD, Karatzia MA, Boscós CM, Wolf P, Karatzias H. 2016. In-field evaluation of clinoptilolite feeding efficacy on the reduction of milk aflatoxin M1 concentration in dairy cattle. *Journal of Animal Science and Technology*. 58(24). <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0106-4>

KHACHLOUF K, Hamed H, Gdoura H, Gargouri A. 2018. Effects of Zeolite Supplementation on Dairy Cow Production and Ruminant Parameters – A Review. *Annals of Animal Science*. 18(4):857-877. <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0025>

KHACHLOUF K, Hamed H, Gdoura R, Gargouri A. 2019. Effects of dietary Zeolite supplementation on milk yield and composition and blood minerals status in lactating dairy cows. *Journal of Applied Animal Research*. 47(1):54-62. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1563548>

KREMER R, Giordano JP, Rosés L, Rista L. 2015. Producción de ovejas Milchschaaf en un sistema lechero en pastoreo. *Veterinaria (Montevideo)*. 51(199):12-23. ISSN 1688-4809. <https://www.revistasmvu.com.uy/index.php/smvu/article/view/120/63>



KREMER R, Rosés L. 2016. Producción y composición de leche de ovejas Frisona-Milchschaef ordeñadas 1 o 2 veces diarias. *Veterinaria (Montevideo)*. 52(201-204):128-134. ISSN 1688-4809. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6070523>

LYUBIN NA, Dezhatkina SV, Akhmetova VV, Muchitov AA, Dezhatkin IM, Zyalalov SR. 2020. Application of sedimentary zeolite in dairy cattle breeding. *Journal volume & issue*. 97(1):113-119. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2020-01.14>

MARIN MP, Pogurschi EN, Marin I, Nicolae CG. 2020. Influence of Natural Zeolites Supplemented with Inorganic Selenium on the Productive Performance of Dairy Cows. *Pakistan Journal of Zoology*. 52(2):775-783.
<https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20190829190816>

NRC. 2007. Nutrient Requirements of Sheep and Goats. *National Research Council*. Pp. 1-10. <https://www.aces.edu/wp-content/uploads/2018/11/ANR-0812.pdf>

OCHOA-ALFARO AE, Vega-Roque L, Ochoa-Cordero MA, Bisset-Mandeville P y Torres-Hernández G. 2009. Características físico-químicas de la leche de ovejas Rambouillet bajo manejo intensivo. *Revista Científica*. 19(2):196-2000. ISSN 0798-2259.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95911642014>

OLTEANU M, Saracila M, Ropota M, Turcu DC, Dragatoiu D, Marin MP, Pogurschi. 2019. Volcanic tuff, potential source of minerals in dairy cows feeding. *AgroLife Scientific Journal*. 8(1): 206- 213. ONLINE 2286-0126.
<https://agrolifejournal.usamv.ro/index.php/agrolife/article/view/437/433>

SAAD DE, Osman AA and Soliman SA. 2021. Effects of Dietary Zeolite Supplementation on Milk Yield, Milk Composition, Digestion Coefficients and Nutritive Values in Holsten Cows. *Journal of Animal, Poultry & Fish Production*. 10(1):17-20.
<https://doi.org/10.21608/japfp.2021.178518>

SECAMPO. 2023. Secretaría del Campo del Estado de México. *Tlalmanalco 2023: Panorama agropecuario municipal*. Subdirección de Información y Estadística, Departamento de Análisis y Estadística, con datos del SIAP, IGECM e IME.
https://secampo.edomex.gob.mx/sites/secampo.edomex.gob.mx/files/files/Produccion_Campo/103Tlalmanalco2023.pdf

SIMONA MZ, Camelia T. 2019. Zeolites Applications in Veterinary Medicine. *Zeolites - New Challenges*. Pp.1-16.
https://www.researchgate.net/publication/334993565_Zeolites_Applications_in_Veterinary_Medicine



SULZBERGER S, Kalebich CC, Melnichenko S, Cardoso FC. 2016. Efectos de la arcilla tras un desafío con granos en la composición de la leche y en el pH ruminal, sanguíneo y fecal de vacas Holstein. *Journal of Dairy Science*. 99(10):8028–8040. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11030>

TÁNORI-LOZANO A, Montalvo-Corral M, Pinelli-Saavedra A, Valenzuela-Malendres M, Zamorano-García L, Dávila-Ramírez JL, González-Ríos H. 2023. Inclusión dietaria de clinoptilolita como aditivo en la producción de rumiantes. *Biotecnia*. 25(1): 51-60. ISSN 1665-1456.

https://www.researchgate.net/publication/366811427_Inclusion_dietaria_de_clinoptilolita_como_aditivo_en_la_produccion_de_rumiantes_Dietary_inclusion_of_clinoptilolite_as_a_feed_additive_in_ruminants_production

URÍAS-ESTRADA J, Estrada-Angulo A, Zinn RA, Plascencia A. 2021. The role of zeolite as feed additive in finishing diets for ruminants: An approach under energetic perspective. *EC Veterinary Science*. 6(6):45-49.

<https://www.researchgate.net/publication/352006487>

VAN Soest PJ. 1963. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. II. A Rapid Method for the Determination of Fiber and Lignin. *Journal of Association of Official Agricultural Chemists*. 46(5):829-835. <https://doi.org/10.1093/jaoac/46.5.829>

YOU X, Fang Q, Chen C, Cao J, Fu S, Zhang T, Wang S, He X, He J, Zhou Y, Wang B, Wang L, Wang Z, Sun T, Yang X, Te R, Jian J, Zhou H, Dai Y, Liu Y. 2024. A near complete genome assembly of the East Friesian sheep genome. *Scientific data*. 11(1):762. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03581-w>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-17. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.2>

Revisión de Literatura. Recibido: 07/06/2024. Aceptado:12/09/2024. Publicado: 14/02/2025. Clave: e2024-34.
<https://www.youtube.com/watch?v=3ZIZSJTTc4>

***Lippia graveolens* y su actividad contra bacterias asociadas a mastitis bovina: Revisión bibliográfica**

Lippia graveolens and its activity against bacteria associated with bovine mastitis: Literature review



Vargas-Monter Jorge^{1,2} ID, Rivero-Pérez Nallely*¹ ID, Valladares-Carranza Benjamín³ ID, Ojeda-Ramírez Deyanira¹ ID, Noguez-Estrada Juan^{1,2} ID, Zaragoza-Bastida Adrian¹ ID**

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Hidalgo, México. ²Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Ingeniería en Producción Animal, Hidalgo, México. ³Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Estado de México. México. *Autor responsable: Rivero-Pérez Nallely. **Autor de correspondencia: Zaragoza-Bastida Adrián. Rancho Universitario Av. Universidad km. 1, Ex Hacienda de Aquetzalpa, Apartado Postal No. 32, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. E-mail: va472618@uaeh.edu.mx, rivero@uaeh.edu.mx, bvalladares@uaemex.mx, dojeda@uaeh.edu.mx, jnoguez@upfim.edu.mx, adrian_zaragoza@uaeh.edu.mx

RESUMEN

La mastitis bovina es una enfermedad infectocontagiosa de la glándula mamaria causada por la invasión de patógenos. La etiología bacteriana de esta enfermedad es una de las más importantes y el tratamiento de estas infecciones actualmente es más complejo por la resistencia que han generado las bacterias a los antimicrobianos convencionales. El objetivo de la presente investigación fue realizar una revisión bibliográfica de *Lippia graveolens* y su actividad contra bacterias asociadas a mastitis bovina. Se consultaron los reportes científicos de composición fitoquímica del orégano silvestre (*L. graveolens*) y la actividad antibacteriana contra bacterias asociadas a mastitis bovina. Los metabolitos identificados en *L. graveolens* con mayor reporte de actividad antibacteriana fueron naringenina, quercetina, luteolina así como los terpenos timol y carvacrol. *L. graveolens* contiene metabolitos secundarios con reportes de actividad antibacteriana por lo que podría ser una alternativa de tratamiento contra bacterias asociadas a mastitis bovina.

Palabras clave: *Lippia graveolens*, metabolitos secundarios, actividad antibacteriana, mastitis.

ABSTRACT

Bovine mastitis is an infectious disease of the mammary gland caused by the invasion of pathogens, among them the bacterial etiology is one of the most important and the treatment of these infections has currently been complicated by the resistance generated by Gram positive bacteria and Gram negative to conventional antimicrobials. The objective of this research was to carry out a bibliographic review of *Lippia graveolens* and its activity against bacteria associated with bovine mastitis. Scientific reports on the phytochemical composition of wild oregano (*L. graveolens*) and the antibacterial activity against bacteria associated with bovine mastitis were consulted. The metabolites identified in *L. graveolens* with the highest reported antibacterial activity were naringenin, quercetin, luteolin as well as the terpenes thymol and carvacrol. *L.*



graveolens contains secondary metabolites with reports of antibacterial activity, so it could be an alternative treatment against bacteria associated with bovine mastitis.

Keywords: *Lippia graveolens*, secondary metabolites, antibacterial activity, mastitis.

INTRODUCCIÓN

La mastitis bovina es la inflamación de la glándula mamaria, causada por la invasión de microorganismos patógenos que destruyen los tejidos secretores de leche. En la etiología bacteriana se reportan más de 100 especies asociadas a mastitis bovina (Sharun *et al.*, 2021; Morales *et al.*, 2023). Las bacterias más frecuentes en los casos de mastitis son: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus uberis*, *Streptococcus dysgalactiae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus coagulasa* negativos (Pascu *et al.*, 2022; Morales *et al.*, 2023).

El tratamiento de la mastitis se realiza con la administración de antimicrobianos de origen químico, sin embargo, su uso continuo y desmedido ha inducido el desarrollo de resistencia antimicrobiana, generando una problemática mundial en la salud animal y humana, por la interacción de las bacterias de estas dos poblaciones y la transferencia de resistencia intergénica (Galarza *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2023). La resistencia bacteriana genera un incremento del costo en el tratamiento y eliminación prematura de animales, lo anterior ha estimulado a la comunidad científica a la búsqueda de nuevas alternativas para el tratamiento de la mastitis bovina (Kovačević *et al.*, 2022; Morales *et al.*, 2023).

Dentro la diversidad florística, el orégano mexicano *Lippia graveolens* es una planta de interés por su composición fitoquímica, esta arbustiva silvestre se ha utilizado con fines culinarios y en medicina tradicional para tratar enfermedades respiratorias, digestivas, cuadros de inflamación, dolores de cabeza y reumatismo (Bautista *et al.*, 2021). Existen reportes que evidencian la actividad antibacteriana de *L. graveolens* con diferentes metodologías de extracción de metabolitos secundarios y concentraciones a las cuales se ha determinado la actividad antibacteriana contra diversos géneros bacterianos incluyendo los asociados a mastitis bovina (Bautista *et al.*, 2021; Cortés *et al.*, 2021; Kovačević *et al.*, 2022; Garcia *et al.*, 2022). El objetivo de la presente investigación fue realizar una revisión bibliográfica de *L. graveolens* y su actividad contra bacterias asociadas a mastitis bovina.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la presente revisión se realizó una búsqueda exhaustiva en las siguientes bases de datos: PubMed, ScienceDirect y Google académico, de estudios publicados hasta 2024. Se utilizaron los siguientes encabezados y palabras clave: *L. graveolens*, extractos vegetales, mastitis bovina y actividad antibacteriana. Se revisaron

los documentos de texto completo y se eliminaron los documentos duplicados. Los criterios de exclusión fueron métodos inadecuados y falta de acceso al texto completo.

BOTÁNICA DE LA PLANTA

L. graveolens es una planta arbustiva perenne, alcanza dos metros de altura, presenta ramas de corteza exfoliante con hojas pecioladas opuestas, ovaladas lanceoladas, haz rugoso escabroso, estrigoso glandular, envés densamente piloso, ápice obtuso y margen diversamente crenado (Ocampo *et al.*, 2009). La floración se presenta en época con mayores precipitaciones (Bueno, 2014), su inflorescencia es indeterminada de tipo espiga subglobosas, corolas blancas, zigomorfas, con flores pequeñas de 4 mm hermafroditas, en cantidades de 2 a 20 flores, presenta frutos pequeños de cápsulas indehiscentes, con semillas sin endospermo (Figura 1) (Ocampo *et al.*, 2009).



Figura 1. *Lippia graveolens* en Orizabita, Ixmiquilpan, Hidalgo, México

La planta es silvestre, se encuentra en cerros de zonas templadas, áridas y semiáridas de México, se adapta entre 1400 a 2300 metros de altitud, en suelos pedregosos de textura franco-arenosa, prefiere clima tipo seco y semiseco, con temperatura de 20 a 24°C y precipitación de entre 182 a 267 mm (Figura 1) (Martínez *et al.*, 2014). Es una planta aromática, su uso es culinario y en la herbolaria para el tratamiento de padecimientos digestivos. En Chihuahua, Durango, Tamaulipas, Coahuila, Jalisco, Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y Baja California, se colecta su follaje para su comercialización en los mercados locales (Bueno, 2014).



COMPOSICIÓN FITOQUÍMICA

La caracterización fitoquímica de *L. graveolens* a partir de extractos acuosos, hidroalcohólicos y aceites esenciales, muestra diferencias en su composición fitoquímica (González *et al.*, 2017; Bernal *et al.*, 2022). La extracción se ha realizado con técnicas convencionales como la maceración con alcoholes y agua a diferentes proporciones, y por tecnologías actuales como extracción asistida por ultrasonido con uso de solventes eutécticos y extracción con fluido supercrítico mediante dióxido de carbono como disolvente (Bernal *et al.*, 2023). La presencia de metabolitos difiere por los métodos de extracción como se observa en la Tabla 1, destacando los compuestos fenólicos y monoterpenos (González *et al.*, 2017).

Tabla 1. Compuestos fitoquímicos identificados en extractos vegetales de *Lippia graveolens*

Extracto	Método de extracción	Solvente	Compuestos	Referencia
Acuoso	Ultrasonido y fluido supercrítico mediante CO ₂	Cloruro de colina-etilenglicol, cloruro de colina-glicerol y Cloruro de colina-ácido láctico.	Ácido cafeíco, protocatequico y rosmarínico. Quercetina, luteolina, naringenina, eriodictiol. carvacrol	García <i>et al.</i> (2022) González <i>et al.</i> (2017) Soto <i>et al.</i> (2019) Bernal <i>et al.</i> (2023)
Hexano	Maceración	Hexano	Timol, m -cimen-8-ol, salicilato de metilo, carvacrol y linalol.	González <i>et al.</i> (2017)
Acetato de etilo	Maceración	Acetato de etilo	p -cimeno, timol, cirsimaritina, naringenina	
Etanólico	Maceración	Etanol CO ₂ supercrítico modificado con etanol después de destilación al vapor	Naringenina, taxifolina, eriodictiol, ácido cafeico, luteolina, ácido cummarico, Quercetina 3 O-glucósido, Ácido 2-hidroxibenzoico, apigenina, quercetina, flordizín, acacetina, sakuranetina, cirsimaritina, crisoeriol.	Arias <i>et al.</i> (2023) Bernal <i>et al.</i> (2023) González <i>et al.</i> (2017)
Hidroalcohólico	Maceración	Metanol y Cloroformo	Loganina, secologanina, secoxiloganina, dimetilsecologanosido, ácido logánico, ácido 8-epi-logánico, ácido carioptosídico y sus derivados 6-O-p-coumaroil y 6-O-cafeoil, naringenina,	Cortes <i>et al.</i> (2021) Picos <i>et al.</i> (2021) Leyva <i>et al.</i> (2016) Rastrelli <i>et al.</i> (1998) Lin <i>et al.</i> (2007)



		pinocembrina, lapachenol e icterogenina, luteolina-7-O-glucósido, apigenina 7-O-glucósido, floridzina, taxifolina, eriodictiol, escutellareína, luteolina, quercetina y galangina.	
Aceite esencial	Hidro-destilación	Carvacrol, acetato de α -terpinilo, m-cimeno, timol, β -pineno y α -thujeno, linalool humuleno Sesquiterpeno: isocariofileno, γ -terpineno.	Hernández <i>et al.</i> (2009) Martínez <i>et al.</i> (2014) Nonato <i>et al.</i> (2022) Castillo <i>et al.</i> (2023)

En *L. graveolens* los flavonoides de mayor presencia son: la quercetina, luteolina, naringenina, eriodictiol, luteolina, hesperidina y floridzina (Bernal *et al.*, 2023). Los metabolitos; naringenina, quercetina floridzina y cirsimaritina son marcadores químicos del género de *Lippia* (Bernal *et al.*, 2022). En extracto metanólico de hojas se obtiene mejor perfil de flavonoides, se han encontrado tres iridoides mayoritarios: ácido carioptosídico con dos derivados: 6'-O-p-coumaroil y 6'-O-cafeoil, y siete iridoides minoritarios: loganina, secologanina, secoxiloganina, dimetil, secologanosido, ácido logánico, ácido 8-epi-logánico y carioptosido (Rastrelli *et al.*, 1998; Lin *et al.*, 2007). Los monoterpenos son los componentes principales de los aceites esenciales del género *Lippia* (Cortés *et al.*, 2021; Bernal *et al.*, 2023). En extractos a base de agua, hexano, acetato de metilo y en procesos de hidrodestilación para la obtención de aceite esencial, se reportan la presencia de los monoterpenos: timol, carvacrol, limoneno, b -cariofileno, r -cimeno, canfor, linalol, a -pineno, los cuáles pueden variar de acuerdo al quimiotipo y método de extracción (Calvo *et al.*, 2014; Garcia *et al.*, 2022). Al respecto Vernin (2001) reportó que el aceite esencial de *L. graveolens* de México y Centroamérica presentan concentraciones del 35 al 71 % de carvacrol y del 5 al 7 % de timol. Calvo *et al.* (2014) reportaron la presencia de más de 70 compuestos en sus aceites esenciales, identificaron tres quimiotipos de la planta: dos fenólicos (carvacrol y timol) y un quimiotipo no fenólico de sesquiterpenos oxigenados (β -cariofileno, α -humuleno y óxido de cariofileno). El hábitat de la planta determina la composición de aceite, la mayor concentración de carvacrol se ha obtenido de plantas que crecen en clima semiárido, con suelos delgados y rocosos (Torres *et al.*, 2022). Sin embargo, existen reportes de plantas jóvenes que crecen en condiciones menos áridas y con suelos profundos, lo que proporciona mayor presencia de timol y las que crecen en clima subhúmedo presentan mayor cantidad de sesquiterpenos oxigenados (Llamas *et al.*, 2022).

METABOLITOS Y ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA

Terpenos

El carvacrol y el timol son de mayor presencia en *L. graveolens* (Calamaco *et al.*, 2023), su concentración se afecta por factores edáficos y climáticos del hábitat de la planta (Cortés *et al.*, 2021). El carvacrol (2-metil-5-1-metiletilfenol) proporciona el aroma característico del orégano (Ultee *et al.*, 2000). Se sintetiza a partir del cimeno por la vía del mevalonato, es un monoterpeno insoluble en agua y soluble en etanol, tetracloruro de carbono y éter dietílico (Lee *et al.*, 2017). Su estereoquímica (Figura 2) de un solo anillo fenólico con tres sustituyentes de grupos funcionales (Memar *et al.*, 2017) le otorgan propiedades antibacterianas, antioxidantes, anticancerígenas y antiinflamatorias (Tapia *et al.*, 2017).



Figura 2. Terpenos reportados en *Lippia graveolens*

En bacterias el carvacrol induce lisis celular por cambios en los compuestos lipofílicos y las partes hidrofóbicas de la membrana citoplasmática, incrementa la permeabilidad de los cationes (H⁺ y K⁺), genera salida de lipopolisacáridos y producción de especies reactivas de oxígeno, inhibe actividad de las ATPasas, la replicación del ADN microbiano y la síntesis de energía, causando muerte celular (Gallegos *et al.*, 2022). Sin embargo, Ultee *et al.* (2000) reportaron que las bacterias pueden adaptarse al carvacrol y modificar la composición de ácidos grasos de la membrana y reducir su permeabilidad.

El timol es un isómero de Carvacrol (Figura 2), es una sustancia aromática de coloración cristalina blanca, de baja solubilidad en agua y alta en solventes orgánicos, con pH neutro, pero puede tener características alcalinas en soluciones acuosas debido a la desprotonación del fenol (Chizzola, 2013). Presenta actividad bactericida, fungicida, insecticida, nematocida, varroocida (Gallegos *et al.*, 2022). Se ha reportado su efecto antibacteriano *in vitro* contra *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *S. aureus* a una concentración de 0.75 mg/mL (Shapira-Mimran 2007; Gallegos *et al.*, 2019). En concentraciones de 1 % y 2 % en aceite esencial de orégano, tiene mayor actividad antimicrobiana contra bacterias Gram positivas y menor sobre bacterias Gram negativas

(Du *et al.*, 2015; Erazo *et al.*, 2017). En estudios *in vitro* sobre enterobacterias Gram negativas se encontró mayor actividad antibacteriana del timol de *Lippia berlandieri* a diferencia de otros antimicrobianos (García *et al.*, 2022; Gracia *et al.*, 2022). El mecanismo de acción antibacteriano es similar al de carvacrol, se une a las membranas bacterianas de manera hidrofóbica por puentes de hidrógeno afectando la membrana externa e interna, incrementando la permeabilidad y la pérdida de iones de potasio y ATP intracelular, ocasionando la muerte celular (Di Pasqua *et al.*, 2010).

Flavonoides

En *L. graveolens* los flavonoides (Figura 3) con mayor reporte de actividad biológica son naringenina, quercetina y luteolina (Lin *et al.*, 2007). La naringenina es un compuesto bioactivo con actividad hepatoprotectora, antiaterogénica, antiinflamatoria, antimutagénica, anticancerígena y antimicrobiana (Ke *et al.*, 2017). En reacción con yoduros de alquilo forma compuestos de O-alquilo de naringenina con potencial antibacteriano contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus subtilis* (Kozłowska *et al.*, 2019). Un derivado de O-alquilo naringenina, es la sakuranetina (7-O-metilnaringenina) con importante actividad antimicrobiana frente a bacterias Gram negativas y Gram positivas. La naringenina inhibe el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, afectando la membrana celular y la composición de ácidos grasos. En *Escherichia coli* actúa a nivel de los genes asociados a la biosíntesis de ácidos grasos de la membrana (Wang *et al.*, 2018).



Figura 3. Flavonoides reportados en *Lippia graveolens*

La quercetina es un flavonol, basado en la estructura de flavona nC6 (anillo A)-C3 (anillo C)-C6 (anillo B). Su actividad antibacteriana es de amplio espectro, rompe la pared celular de las bacterias, inhibe la síntesis de ácidos nucleicos y reduce de la actividad enzimática (Wang *et al.*, 2018), específicamente en *Escherichia coli* altera la actividad del trifosfato de adenosina (Plaper *et al.*, 2003). Según Hooda *et al.* (2020), la impregnación de quercetina con nanopartículas de plata inhibe el crecimiento de bacterias: *Klebsiella pneumoniae* (ATCC⁷⁹⁰⁶⁰³), *Enterococcus faecalis* (ATCC⁵¹²⁹⁹), *Proteus vulgaris* (ATCC⁴²⁶), *Escherichia coli* (ATCC²⁵⁹²²), *Staphylococcus aureus* (ATCC⁴³³⁰), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC²⁷⁸⁵³).



La luteolina (3',4',5,7-tetrahidroxiflavona) es un polifenol de familia de las flavonas, con estructura molecular (C6-C3-C6) de dos anillos bencénicos y un tercer anillo que contiene oxígeno, y un doble enlace entre los carbonos C2 y C3 (Figura 3). Su estructura favorece su actividad bioquímica y biológica (Wu *et al.*, 2019). Este flavonoide tiene diversas actividades biológicas, tales como: antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana, anticancerígena, y efecto hipoglucémico, hipolipidémico, hipotensor e inmunomodulador (Wu *et al.*, 2019). En las bacterias la luteolina afecta la integridad de la pared y membrana celular, inhibiendo la síntesis de ácidos nucleicos, la expresión de proteínas e interfiere con el metabolismo energético (Guo *et al.*, 2022). En un estudio Qian *et al.* (2021) encontraron que la luteolina deteriora la morfología celular de la membrana y afecta la formación de biopelícula en *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. En estudios contra *Trueperella pyogenes* se reporta una Concentración Mínima Inhibitoria (MIC) de luteolina de 78 µg/mL, y con la mitad de la MIC se aumenta la susceptibilidad para *Staphylococcus* resistentes a metilcilina y a macrólidos, lo que permite una alternativa de tratamiento a patógenos resistentes (Guo *et al.*, 2022).

ACTIVIDAD DE *Lippia* spp. CONTRA BACTERIAS RESISTENTES ASOCIADAS A MASTITIS BOVINA

Existen reportes de la actividad antibacteriana de extractos de *Lippia* spp. en bacterias resistentes como *Streptococcus* spp., *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *Escherichia coli* (Gupta *et al.*, 2020; Pinheiro *et al.*, 2022; Nonato *et al.*, 2022). La Concentración Mínima Inhibitoria en la evaluación de extractos y metabolitos de *Lippia* spp. sobre bacterias presenta variación por la especie evaluada, metodología de extracción y evaluación (Rani *et al.*, 2022; Nonato *et al.*, 2022; Suarez *et al.*, 2024).

En *Streptococcus* spp. se reporta una MIC de fluido supercrítico de *L. graveolens* de 67 mg/mL, mientras que para los metabolitos: timol se reportan MIC de 0.31 a 8.0 mg/mL y para carvacrol de 0.31 a 9 mg/mL (Tabla 2). En *Staphylococcus* spp. la MIC para extractos etanólicos de *Lippia* spp. se reporta de 128 a 512 µg/mL, para aceite esencial de 53.3 a 512 µg/mL, mientras que para timol fue de 0.15 a 0.75 µg/mL y carvacrol de 0.38 a 1.3 µg/mL (Dal Pozzo *et al.*, 2011; Rani *et al.*, 2022; Gallegos *et al.*, 2019; Nonato *et al.*, 2022).

En *Pseudomonas aeruginosa* se reporta una MIC para extractos etanólicos de 128 a 512 µg/mL, mientras que en aceites esenciales de 0.37 a 80 µg/mL. Para el caso de *Escherichia coli* se encontraron los siguientes reportes de MIC: extractos etanólicos (74.6 a 256 µg/mL), aceites esenciales (0.37 a 426 µg/mL), timol (0.15 a 0.38 µg/mL) y carvacrol (0.15 a 0.75 µg/mL). Los aceites esenciales y sus compuestos (carvacrol y timol), son los que presentan mayor actividad antibacteriana en bacterias resistentes aisladas de mastitis (Rani *et al.*, 2022; Nonato *et al.*, 2022; Suarez *et al.*, 2024). Pinheiro *et al.* (2022)



mencionan que el aceite esencial tiene acción inhibitoria y bactericida contra cepas de *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae*, no así contra *Pseudomonas aeruginosa* donde su efectividad disminuye por la formación de biopelícula y la acción de bombas de eflujo, características intrínsecas de esta especie. La combinación de extractos etanólicos de *Lippia spp.* con antimicrobianos reducen las MIC de amikacina, gentamicina, y cefalotina, sin embargo, tienen efecto antagonista con bencilpenicilina y con otros extractos naturales (Nonato *et al.*, 2022). En la actualidad se investigan las sinergias entre extractos y antimicrobianos para mejorar la eficacia, reducir toxicidad y resistencia bacteriana (Garcia *et al.*, 2019; Pinheiro *et al.*, 2022; Nonato *et al.*, 2023; Suarez *et al.*, 2024).

Tabla 2. Actividad antibacteriana de *Lippia spp* y sus metabolitos contra patógenos resistentes asociados a mastitis bovina

Bacteria	Extractos y compuestos	Concentración Mínima Inhibitoria (MIC)	Referencia
<i>Streptococcus spp.</i>	Timol	0.31-0.63 µL/mL	Gupta <i>et al.</i> (2020)
	Carvacrol	0.16-0.63 µL/mL	
<i>Streptococcus agalactiae</i>	Fluido supercrítico de <i>L. graveolens</i>	67 mg/mL	García <i>et al.</i> (2019)
	Timol	8.0 mg/mL	Gupta <i>et al.</i> (2020)
	Carvacrol	9.0 mg/mL	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Extracto etanólico de <i>L. alba</i>	853 µg/mL	Nonato <i>et al.</i> (2022)
	Extracto etanólico de <i>L. sidoides</i>	128 µg/mL	
	Extracto etanólico de <i>L. gracilis</i>	512 µg/mL	
	Aceite esencial de <i>L. alba</i>	256 µg/mL	
	Aceite esencial de <i>L. sidoides</i>	53.3 µg/mL	
	Aceite esencial de <i>L. gracilis</i>	512 µg/mL	
	Aceite esencial de <i>L. graveolens</i>	12 µL/mL	Suarez <i>et al.</i> (2024)
<i>Staphylococcus spp.</i>	Timol	0.15-0.75 mg/mL	Gallegos <i>et al.</i> (2019)
	Carvacrol	0.38-0.45 mg /mL	Rani <i>et al.</i> (2022)
	Aceite esencial de <i>L. graveolens</i>	1.6 mg /mL	Dal Pozzo <i>et al.</i> (2011)
Timol	0.4 a 0.5 mg/mL		
Carvacrol	0.8 a 1.3 mg/mL		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Extracto etanólico de <i>L. alba</i>	213.3 µg/mL	Nonato <i>et al.</i> (2022)
	Extracto etanólico de <i>L. sidoides</i>	128 µg/mL	
	Extracto etanólico de <i>L. gracilis</i>	512 µg/mL	
	Aceite esencial de <i>L. alba</i>	1024 µg/mL	
	Aceite esencial de <i>L. sidoides</i>	298.6 µg/mL	
	Aceite esencial de <i>L. gracilis</i>	682 µg/mL	
	Aceite esencial <i>L. berlandieri</i>	80 µg/mL	Reyes <i>et al.</i> (2020)
Aceite esencial de <i>L. origanoides</i>	2500 µg/mL	Pinheiro <i>et al.</i> (2022)	



	Mezcla de aceites esenciales de <i>L. salvifolia</i> : <i>L. sidoides</i> (9:1)	0.37 µg/mL	Gupta <i>et al.</i> (2020)
	Extracto etanólico de <i>L. origanoides</i>	5.0 µL	Castellanos <i>et al.</i> (2020)
	Extracto etanólico de <i>L. alba</i>	768 µg/mL	
	Extracto etanólico de <i>L. sidoides</i>	74.6 µg/mL	
	Extracto etanólico de <i>L. gracilis</i>	256 µg/mL	Nonato <i>et al.</i> (2022)
	Aceite esencial de <i>L. alba</i>	106.6 µg/mL	
<i>Escherichia coli</i>	Aceite esencial de <i>L. sidoides</i>	106.6 µg/mL	
	Aceite esencial de <i>L. gracilis</i>	426.6 µg/mL	
	Aceite esencial de <i>L. origanoides</i>	312 µg/mL	Pinheiro <i>et al.</i> (2022)
	Aceite esencial <i>L. berlandieri</i>	4 µg/mL	Bautista <i>et al.</i> (2021)
	Mezcla de aceites esenciales de <i>L. salvifolia</i> : <i>L. sidoides</i> (9:1)	0.37 µg/mL	Gupta <i>et al.</i> (2020)
	Timol	0.15-0.38 mg/mL	Gallegos <i>et al.</i> (2019)
	Carvacrol	0.15-0.75 mg/mL	Rani <i>et al.</i> (2022)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Aceite esencial de <i>L. origanoides</i>	312 µg/mL	Pinheiro <i>et al.</i> (2022)
	Timol	0.75 mg/mL	Rani <i>et al.</i> (2022)
	Carvacrol	0.75 mg/mL	

CONCLUSIONES

Los principales metabolitos secundarios de *L. graveolens* son flavonoides y monoterpenos y su concentración es variable de acuerdo a las condiciones de suelo y clima del hábitat de la planta. Se ha demostrado su actividad antibacteriana contra diversos géneros bacterianos de importancia en salud, incluyendo las asociadas a mastitis bovina. La mayor actividad antibacteriana de *L. graveolens* se ha asociado a timol y carvacrol, sin embargo, también se ha reportado actividad por la presencia de naringenina, quercetina y luteolina. En la búsqueda de alternativas para combatir bacterias resistentes o multirresistentes asociadas a mastitis bovina, los metabolitos secundarios de *Lippia graveolens* representan una opción de estudio de nuevos tratamientos.

LITERATURA CITADA

ARIAS J, Muñoz F, Mejía J, Kumar A, Villa AL, Martínez JR, Stashenko EE. 2023. Simultaneous extraction with two phases (modified supercritical CO₂ and CO₂-expanded liquid) to enhance sustainable extraction/isolation of pinocembrin from *Lippia origanoides* (Verbenaceae). *Advances in Sample Preparation*. 100059(6):1-12. ISSN: 2772-5820. <https://doi.org/10.1016/j.sampre.2023.100059>



BAUTISTA HI, Aguilar CN, Martínez AGC, Torres LC, Iliina A, Flores GAC, Chávez GML. 2021. Mexican Oregano (*Lippia graveolens* Kunth) as Source of Bioactive Compounds: A Review. *Molecules*. 26(17):1-12. ISSN: 1420-3049.

<https://doi.org/10.3390/molecules26175156>

BERNAL MMDJ, Carrasco PMDC, Heredia JB, Bastidas BPDJ, Gutiérrez GEP, León FJ, Angulo EMÁ. 2023. Green extracts and UPLC-TQS-MS/MS profiling of flavonoids from Mexican Oregano (*Lippia graveolens*) using natural deep eutectic solvents/ultrasound-assisted and supercritical fluids. *Plants*.12(8):1-12. ISSN: 2223-7747.

<https://doi.org/10.3390/plants12081692>

BERNAL MMDJ, Gutiérrez GEP, Contreras AL, Muy RMD, López MLX, Heredia JB. 2022. Spray-dried microencapsulation of oregano (*Lippia graveolens*) polyphenols with maltodextrin enhances their stability during in vitro digestion. *Journal of Chemistry*. 2022 (141):1-10. ISSN:1916-9698. <https://doi.org/10.1155/2022/8740141>

BUENO DAY, Cervantes MJ, Obledo VEN. 2014. Composition of essential oil from *Lippia graveolens*. Relationship between spectral light quality and thymol and carvacrol content. *Journal of essential oil research*. 26(3):153-160. ISSN: 2163-8152

<https://doi.org/10.1080/10412905.2013.840808>

CALAMACO ZG, Montfort GRC, Marszalek JE, González GV. 2023. Revisión sobre el orégano mexicano *Lippia graveolens* HBK.(Sinonimia *Lippia berlandieri* Schauer) y su aceite esencial. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 8(1):861-871. ISSN: 2448-7503. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.109>

CALVO ILM, Parra TV, Acosta AV, Escalante EF, Díaz VL, Dzib GR, Peña RLM. 2014. Phytochemical Diversity of the Essential Oils of Mexican Oregano (*Lippia graveolens* Kunth) Populations along an Edapho-Climatic Gradient. *Chemistry & biodiversity*. 11(7):1010-1021. ISSN: 1612-1872.

<https://doi.org/10.1002/cbdv.201300389>

CASTELLANOS HOA, Rodríguez SMD, Acevedo HGJ, Rayn, CA, Rodríguez SA. 2020. Evaluación antimicrobiana del aceite esencial de *Lippia graveolens* como inhibidor de crecimiento de *Salmonella* sp, *E. coli* y *Enterococcus* sp. *e-CUCBA*. 2020 (14):1-6. ISSN: 2448-5225. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.v0i14.155>

CASTILLO HGA, Espinosa ME, Haro GJN, García FJA, Andrews HE, Velázquez MM. 2023. Impact of fractional distillation on physicochemical and biological properties of oregano essential oil of *Lippia graveolens* HBK grown wild in Mexico. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 26(6):1515-1525. ISSN: 0972-060X.

<https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2295418>



CHIZZOLA R. 2013. Regular monoterpenes and sesquiterpenes (essential oils). *Natural products*. 2023(10):973-978. ISSN: 1520-6025.

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6130>

CORTÉS CMD, Flores MH, Orozco AI, León CC, Suárez JA, Estarrón EM, López MI. 2021. Identification and quantification of phenolic compounds from Mexican oregano (*Lippia graveolens* HBK) hydroethanolic extracts and evaluation of its antioxidant capacity. *Molecules*. 26(3-702):1-18. ISSN: 1420-3049.

<https://doi.org/10.3390/molecules26030702>

CUI H, Zhang C, Li C, Lin L. 2019. Antibacterial mechanism of oregano essential oil. *Industrial Crops and Products*. 139(111498):1-17. ISSN: 0926-6690.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111498>

DAL POZZO M, Santurio DF, Rossatto L, Vargas AC, Alves SH, Loreto ES, Viegas J. 2011. Atividade de óleos essenciais de plantas condimentares frente *Staphylococcus spp.* isolados de mastite bovina. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 63(5):1229-1232. ISSN: 1678-4162. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000500026>

DI PASQUA R, Mamone G, Ferranti P, Ercolini D, Mauriello G. 2010. Changes in the proteome of *Salmonella enterica* serovar Thompson as stress adaptation to sublethal concentrations of thymol. *Proteomics*. 10(5):1040-1049. ISSN: 1876-7737.

<https://doi.org/10.1002/pmic.200900568>

Du E, Gan L, Li Z, Wang W, Liu D, Guo Y. 2015. In vitro antibacterial activity of thymol and carvacrol and their effects on broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*. *Journal of animal science and biotechnology*. 6(58):1-12. ISSN: 2049-1891.

<https://doi.org/10.1186/s40104-015-0055-7>

DUDA MA, Kozłowska J, Krzyżek P, Anioł M, Seniuk A, Jermakow K, Dworniczek E. 2020. Antimicrobial O-alkyl derivatives of naringenin and their oximes against multidrug-resistant bacteria. *Molecules*. 25(16-3642):1-15. ISSN: 1420-3049.

<https://doi.org/10.3390/molecules25163642>

ERAZO GMJ, Arroyo BFA, Arroyo BDA, Castro GMR, Santacruz TSG, Armas VADC. 2017. Efecto antimicrobiano del cinamaldehído, timol, eugenol y quitosano sobre cepas de *Streptococcus mutans*. *Revista Cubana de Estomatología*. 54(4):1-9. ISSN: 1561297X.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003475072017000400005&lng=es&tlng=es

GALARZA GMI, Yarzabal RLA. 2021. *Staphylococcus aureus* resistentes à metilina em animais de fazenda em américa do Sul: uma revisão sistemática. *Vive Revista de Salud*. 4(11):246-265. ISSN:2664-3243 <https://doi.org/10.33996/revistavive.v4i11.99>



GALLEGOS FPI, Bañuelos VR, Delgadillo RL, Meza LC, Echavarría CF. 2019. Actividad antibacteriana de cinco compuestos terpenoides: carvacrol, limoneno, linalool, α -terpineno y timol. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 22(2):241-248. ISSN:1870-0462. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2838>

GALLEGOS FPI, Delgadillo RL, Bañuelos VR, Echavarría CF, Valladares CB, Meza LC. 2022. Inhibition of bacterial mobility by terpenoid compounds and plant essential oils. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 25(1):1-10. ISSN:1870-0462. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3914>

GARCIA CM, Picos CLA, Gutiérrez GEP, Angulo EMA, Licea CA, Heredia JB. 2022. Loading and release of phenolic compounds present in Mexican oregano (*Lippia graveolens*) in different chitosan bio-polymeric cationic matrixes. *Polymers*. 4(17):3609. ISSN: 2073-4360. <https://doi.org/10.3390/polym14173609>

GARCÍA PJR; Marroquín DC; Pérez GMI. 2019. Inclusión de extracto de *Lippia graveolens* (Kunth) en la alimentación de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) para la prevención de estreptococosis por *Streptococcus agalactiae*. *AquaTIC*. 1(54):15-24. ISSN:1578-4541. <https://www.redalyc.org/journal/494/49464451002/html/>

GONZÁLEZ TME, Hernández SLY, Muñoz OV, Dorazco GA, Guevara FP, Aguirre HE. 2017. Pharmacological evaluation of the anxiolytic-like effects of *Lippia graveolens* and bioactive compounds. *Pharmaceutical biology*. ISSN: 1744-5116. 55(1):1569-1576. <https://doi.org/10.1080/13880209.2017.1310908>

MAR, Escobedo BC. 2022. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of two types of oregano (*Lippia berlandieri*) essential oils against bacteria from shrimp ponds. *Revista bio ciencias*. 9(2022):1-15. ISSN: 2007-3380. <https://doi.org/10.15741/revbio.09.e1344>

GUO Y, Huang C, Su H, Zhang Z, Chen M, Wang R, Liu, M. 2022. Luteolin increases susceptibility to macrolides by inhibiting MsrA efflux pump in *Trueperella pyogenes*. *Veterinary Research*. 53(2022):1-11. ISSN: 1297-9716. <https://doi.org/10.1186/s13567-021-01021-w>

GUPTA R, Kumar S, Khurana R. 2020. Essential oils and mastitis in dairy animals: a review. *Haryana Veterinarian*. 2020(59):1-9. ISSN: 0033-4359. <https://www.researchgate.net/publication/340004579>

HERNANDEZ T, Canales M, AVILA JG, GARCÍA AM, Meraz S, Caballero J, Rafael, LIRA. 2009. Composition and antibacterial activity of essential oil of *Lippia graveolens* HBK (Verbenaceae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 8(4):295-300. ISSN: 0717-7917. <https://www.redalyc.org/pdf/856/85611265010.pdf>



HOODA H, Singh P, Bajpai S. 2020. Effect of quercetin impregnated silver nanoparticle on growth of some clinical pathogens. *Materials Today: Proceedings*. 2020(31):625-630. ISSN: 2214-7853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.530>

KE JY, Banh T, Hsiao YH, Cole RM, Straka SR, Yee LD, Belury MA. 2017. Citrus flavonoid naringenin reduces mammary tumor cell viability, adipose mass, and adipose inflammation in obese ovariectomized mice. *Molecular nutrition & food research*. 61(9): 1600934. ISSN: 1613-4133. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600934>

KOVAČEVIĆ Z, Samardžija M, Horvat O, Tomanić D, Radinović M, Bijelić K, Kladar N. 2022. Is there a relationship between antimicrobial use and antibiotic resistance of the most common mastitis pathogens in dairy cows?. *Antibiotics*. 12(3):1-15. ISSN: 2079-6382. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12010003>

KOZŁOWSKA J, Grela E, Baczyńska D, Grabowiecka A, Anioł M. 2019. Novel O-alkyl derivatives of naringenin and their oximes with antimicrobial and anticancer activity. *Molecules*. 24(4-679):1-15. ISSN: 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules24040679>

LEE JH, Kim YG, Lee J. 2017. Carvacrol-rich oregano oil and thymol-rich thyme red oil inhibit biofilm formation and the virulence of uropathogenic *Escherichia coli*. *Journal of applied microbiology*. 123(6):1420-1428. ISSN: 1364-5072. <https://doi.org/10.1111/jam.13602>

LEE JH, Park JH, Cho HS, Joo SW, Cho MH, Lee J. 2013. Anti-biofilm activities of quercetin and tannic acid against *Staphylococcus aureus*. *Biofouling*. 29(5):491-499. ISSN: 1029-2454. <https://doi.org/10.1080/08927014.2013.788692>

LEYVA LN, Nair V, Bang WY, Cisneros ZL, Heredia JB. 2016. Protective role of terpenes and polyphenols from three species of Oregano (*Lippia graveolens*, *Lippia palmeri* and *Hedeoma patens*) on the suppression of lipopolysaccharide-induced inflammation in RAW 264.7 macrophage cells. *Journal of Ethnopharmacology*. 2016(187):302-312. ISSN: 0378-8741. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.04.051>

LI X, Xu C, Liang B, Kastelic JP, Han B, Tong X, Gao J. 2023. Alternatives to antibiotics for treatment of mastitis in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*. 10(1160350):1-13. ISSN: 2297-1769. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1160350>

LIN LZ, Mukhopadhyay S, Robbins RJ, Harnly JM. 2007. Identification and quantification of flavonoids of Mexican oregano (*Lippia graveolens*) by LC-DAD-ESI/MS analysis. *Journal of food composition and analysis*. 20(5):361-369. ISSN: 0889-1575. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.09.005>



LLAMAS TI, Grijalva AR, Porter BL, Calvo ILM. 2022. Impact of the in situ-ex situ management of Mexican oregano *Lippia origanoides* Kunth in northwestern Yucatan. *Botanical Sciences*. 100(3):610-630. ISSN: 2007-4476.

<https://doi.org/10.17129/botsci.2994>

MARTÍNEZ NDA, Parra TV, Ferrer OMM, Calvo ILM. 2014. Genetic diversity and genetic structure in wild populations of Mexican oregano (*Lippia graveolens* HBK) and its relationship with the chemical composition of the essential oil. *Plant systematics and evolution*. 300(2014):535-547. ISSN: 1615-6110. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0902-y>

MEMAR MY, Raei P, Alizadeh N, Aghdam MA, Kafil HS. 2017. Carvacrol and thymol: strong antimicrobial agents against resistant isolates. *Reviews and Research in Medical Microbiology*. 28(2):63-68. ISSN: 2770-3150.

<https://doi.org/10.1097/MRM.000000000000100>

MORALES UAL, Rivero PN, Valladares CB, Velázquez OV, Delgadillo RL, Zaragoza BA. 2023. Bovine mastitis, a worldwide impact disease: prevalence, antimicrobial resistance, and viable alternative approaches. *Veterinary and Animal Science*. 21(100306):1-14. ISSN: 2451-943X. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2023.100306>

NONATO CDF, Camilo CJ, Leite DOD, da Nobrega MGLA, Ribeiro FJ, de Menezes IRA, da Costa JGM. 2022. Comparative analysis of chemical profiles and antioxidant activities of essential oils obtained from species of *Lippia* L. by chemometrics. *Food Chemistry*. 2022(384):1-8. ISSN: 0308-8146.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132614>

OCAMPO VRV, Malda BGX, Suárez RG. 2009. Biología reproductiva del orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth) en tres condiciones de aprovechamiento. *Agrociencia*. 43(5):475-482. ISSN: 1405-3195.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140531952009000500003&lng=es&nrm=iso

PASCU C, Herman V, Iancu I, Costinar L. 2022. Etiology of mastitis and antimicrobial resistance in dairy cattle farms in the western part of Romania. *Antibiotics*. 11(1):57. ISSN: 2079-6382. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11010057>

PICOS SMA, Gutiérrez GEP, Valdez TB, Angulo EMA, López MLX, Delgado VF, Heredia JB. 2021. Supercritical CO₂ extraction of oregano (*Lippia graveolens*) phenolic compounds with antioxidant, α -amylase and α -glucosidase inhibitory capacity. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 15(4):3480-3490. ISSN: 2193-4134.

<https://doi.org/10.1007/s11694-021-00928-4>



PINHEIRO LG, dos Santos FRO, Rodrigues THS, Pinto VDPT, Barbosa FCB. 2022. Inhibitory and bactericidal activities of *Lippia organoides* essential oil against *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* and *Pseudomonas aeruginosa* multidrug resistant. *Research, Society and Development*. 11(9):1-12. ISSN: 2525-3409. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31478>

PLAPER AGM, Hafner I, Oblak M, Šolmajer T, Jerala R. 2003. Characterization of quercetin binding site on DNA gyrase. *Biochemical and biophysical research communications*. 306(2):530-536. ISSN: 0006-291X. [https://doi.org/10.1016/S0006-291X\(03\)01006-4](https://doi.org/10.1016/S0006-291X(03)01006-4)

QIAN WD, Fu YT, Liu M, Zhang JN, Wang WJ, Li JY, Li YD. 2020. Mechanisms of Action of Luteolin Against Single-and Dual-Species of *Escherichia coli* and *Enterobacter cloacae* and Its Antibiofilm Activities. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 193(5):1397-1414. ISSN: 1559-0291. <https://doi.org/10.1007/s12010-020-03330-w>

RANI S, Verma S., Singh H, Ram C. 2022. Antibacterial activity and mechanism of essential oils in combination with medium-chain fatty acids against predominant bovine mastitis pathogens. *Letters in Applied Microbiology*. 74(6):959-969. ISSN: 1472-765X. <https://doi.org/10.1111/lam.13675>

RASTRELLI L, Caceres A, Morales C., De Simone F, Aquino R. 1998. Iridoids from *Lippia graveolens*. *Phytochemistry*. 49(6):1829-1832. ISSN: 1873-3700. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(98\)00196-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00196-4)

REYES JF, Munguía PR, Cid PTS, Hernández CP, Ochoa VCE, Avila SR. 2020. Inhibitory Effect of Mexican Oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) Essential Oil on *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella Thyphimurium* Biofilm Formation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4(36):1-6. ISSN: 2571-581X. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00036>

SHAPIRA R, Mimran E. 2007. Isolation and characterization of *Escherichia coli* mutants exhibiting altered response to thymol. *Microbial Drug Resistance*. 13(3):157-165. ISSN: 1931-8448. <https://doi.org/10.1089/mdr.2007.731>

SHARUN K, Dhama K, Tiwari R, Gugjoo MB, Iqbal YM, Patel SK, Chaicumpa W. 2021. Advances in therapeutic and managemental approaches of bovine mastitis: a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*. 41(1):107-136. ISSN:1875-5941. <https://doi.org/10.1080/01652176.2021.1882713>

SOTO ALC, Sacramento RJC, Ruiz MCA, Lope NMC, Rocha UJA. 2019. Extraction yield and kinetic study of *Lippia graveolens* with supercritical CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2019(145):205-210. ISSN: 0896-8446. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.12.018>



SUAREZ BJM, Suarez MC, Calvo MA, Parada F, Cortés F, Tobón F, Toro S. 2024. Screening of essential oils against oxacillin-resistant *Staphylococcus aureus* strains isolated from bovine mastitis. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 23(3):401-409. ISSN: 0717-7917.

<https://doi.org/10.37360/blacpma.24.23.3.28>

TAPIA RMR, Hernandez MA, Gonzalez AGA, a TMA, Martins CM, Ayala ZJF. 2017. Carvacrol as potential quorum sensing inhibitor of *Pseudomonas aeruginosa* and biofilm production on stainless steel surfaces. *Food Control*. 2017(75):255-261. ISSN: 0956-7135. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.014>

TORRES SLM, Pérez CA, Torregroza EA, Vitola RD. 2022. Chemical comparison of the essential oils of *Lippia Origanoides* in two agroclimatic zones of the Colombian Caribbean coast. *Dyna*. 89(220):172-177. ISSN: 0012-7353.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v89n220.95739>

ULTEE A, Kets EP, Alberda M, Hoekstra FA, Smid EJ. 2000. Adaptation of the food-borne pathogen *Bacillus cereus* to carvacrol. *Archives of microbiology*. 174(4):233-238. ISSN: 1432-072X. <https://doi.org/10.1007/s002030000199>

VERNIN G, Lageot C, Gaydou EM, Parkanyi C. 2001. Analysis of the essential oil of *Lippia graveolens* HBK from El Salvador. *Flavour and fragrance journal*. 16(3):219-226. ISSN: 1099-1026. <https://doi.org/10.1002/ffj.984>

WANG LH, Zeng XA, Wang MS, Brennan CS, Gong D. 2018. Modification of membrane properties and fatty acids biosynthesis-related genes in *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*: Implications for the antibacterial mechanism of naringenin. *Biochimica et Biophysica. Acta (BBA)-Biomembranes*. 1860(2):481-490. ISSN: 1879-2642. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.217.11.007>

WANG Z, Xue Y, Gao Y, Guo M, Liu Y, Zou X, Yan Y. 2021. Phage vB_PaeS-PAJD-1 rescues murine mastitis infected with multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 689770(11):1-13. ISSN: 2235-2988 <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.689770>

WU C, Xu Q, Chen X, Liu J. 2019. Delivery luteolin with folacin-modified nanoparticle for glioma therapy. *International Journal of Nanomedicine*. 2019(14):7515-7531. ISSN: 1178-2013. <https://doi.org/10.2147/IJN.S214585>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-18. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.7>

Revisión de Literatura. Recibido: 13/10/2023. Aceptado:17/06/2025. Publicado: 11/09/2025. Clave: e2023-44.

<https://www.youtube.com/watch?v=V3Bj91NIJw8>

Actualización de la prueba de eritrocitos micronucleados: fundamentos, significado biológico y modelos



Update on the micronucleated erythrocyte test: foundations, biological
significance, and models

**Torres-Bugarín Olivia^{*1,2} , Cervantes-González Erika¹ , Rivera-Padilla Rafael¹ ,
Montero-de-Anda José ¹ , Tamayo-Garza Mónica ¹ , Arellano-García Evarista² **

¹Universidad Autónoma de Guadalajara, Laboratorio de Evaluación de Genotóxicos, Unidad Académica de Ciencias de la Salud. México. ²Universidad Autónoma de Baja California, Laboratorio de Genotoxicología Ambiental, Facultad de Ciencias, México. *Autor Responsable: Olivia Torres-Bugarín. *Autor para correspondencia: Olivia Torres-Bugarín; Laboratorio de Evaluación de Genotóxicos, Medicina Interna II, Facultad de Medicina, Unidad Académica de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Guadalajara, Av. Patria 1201. Lomas del Valle, CP 45129, Zapopan, Jalisco, México. Apartado Postal 1440. E-mail: olivatorres@hotmail.com, erikacervantes_g@hotmail.com, rafael.rivera@edu.uag.mx, josem.montero@edu.uag.mx, monitamayog@gmail.com, evarista.arellano@uabc.edu.mx

RESUMEN

El daño al DNA es una amenaza para los organismos y en última instancia, para la supervivencia de las especies. Entonces, es esencial disponer de herramientas para evaluar precisa y oportunamente este daño. Una opción muy efectiva es la prueba de eritrocitos micronucleados (EMN). Por ello se realizó una actualización que incluye sus fundamentos, ventajas, limitaciones, significado de la inestabilidad genética, los modelos más comunes, así como los desarrollados en México, que destacan por su carácter innovador. Esta prueba se distingue por su alta informatividad, precisión, relativa simplicidad y costo comparativamente bajo, además que solo se requiere de tomar unas gotas de sangre, sin comprometer la vida del organismo. Un micronúcleo es una pequeña estructura citoplasmática, con membrana inestable, resultado de daño al DNA y promotor de inestabilidad y caos genético; con ello el cáncer y otras patologías. Por otro lado, si el DNA del micronúcleo se libera al citosol, inicia la respuesta inflamatoria crónica, senescencia y apoptosis. Actualmente, se cuenta de amplia variedad de modelos para entornos de laboratorio y campo, que permiten la detección y evaluación de agentes micronucleogénicos que ingresan al organismo a través de diversas vías, como oral, intraperitoneal, tópica o transplacentaria, entre otras.

Palabras clave: micronúcleos, eritrocitos, sangre periférica, genotoxicidad, citotoxicidad, inestabilidad genómica.

ABSTRACT

Damage to DNA is a threat to organisms and, ultimately, to the survival of species. Therefore, it is essential to have tools for accurately and timely assessing this damage. One very effective option is the micronucleus test (MNT). An update has been conducted, which includes its foundations, advantages, limitations, the significance of genetic instability, the most common models, as well as those developed in Mexico, known for their innovative character. This test stands out for its high informativeness, precision, relative simplicity, and comparatively low cost. Additionally, it only requires a few drops of blood, without compromising the life



of the organism. A micronucleus is a small cytoplasmic structure with an unstable membrane, resulting from DNA damage and promoting genetic instability and chaos. This can lead to conditions such as cancer and other pathologies. On the other hand, if the DNA from the micronucleus is released into the cytosol, it initiates a chronic inflammatory response, senescence, and apoptosis. Currently, a wide variety of models are available for laboratory and field environments, allowing for the detection and evaluation of micronucleogenic agents that enter the organism through various routes, such as oral, intraperitoneal, topical, or transplacental, among others.

Keywords: micronuclei, erythrocytes, peripheral blood, genotoxicity, cytotoxicity, genomic instability.

INTRODUCCIÓN

Un problema global es la liberación al medio ambiente de amplia variedad de agentes con múltiples efectos para la salud, entre ellas el compromiso de la integridad genética, daño silencioso y cuando se detecta suele ser irreversible, ya que está implicado en procesos reproductivos, degenerativos y cancerígenos (Torres-Bugarín *et al.*, 2019). Por ello, es apremiante contar con programas de biomonitorio y pruebas eficientes y sencillas de aplicar e interpretar. Una de ellas es la evaluación de eritrocitos micronucleados (EMN) de sangre periférica, cuyas bondades incluyen; que es altamente informativa, precisa, rápida, relativamente sencilla y comparativamente barata (Arellano-García *et al.*, 2021). Por ello, el objetivo fue realizar una actualización que incluye fundamentos, ventajas, limitaciones, significado de la inestabilidad genética, los modelos más comunes, así como los desarrollados en México, que destacan por su carácter innovador.

METODOLOGÍA

En las bases de datos PubMed y Google académico se realizó una revisión bibliográfica manual de artículos sobre las generalidades relacionadas con el uso de los eritrocitos como biomarcadores de salud-enfermedad, así como los principios, ventajas, desventajas y modelos en el uso de la prueba de EMN de sangre periférica. Se buscaron artículos tanto en inglés como en español, con fecha de publicación del 2013 al 2023 y algunos artículos clásicos anteriores mediante los términos “Micronucleated erythrocytes”, “model erythrocyte micronucleus test” and “biomonitoring erythrocytes micronucleated in Mexico”. De cada artículo se revisó título, panorama general de los resúmenes y se seleccionaron los artículos de mayor interés.

¿Qué es toxicidad, citotoxicidad, genotoxicidad y teratogenicidad?

La *toxicidad* es la exposición a un agente —tóxico— con capacidad de alterar la función celular, seguido de la distribución, metabolismo y la interacción de este agente o sus metabolitos con las macromoléculas como proteínas o DNA, con efectos adversos. Paracelso mencionó que cualquier sustancia puede ser tóxica (*Dosis facit venenum*), dependiendo de la dosis (Giannuzzi, 2018).



Por su parte, la *citotoxicidad* es la capacidad que tiene un agente para causar disfunción o muerte celular por apoptosis o necrosis, por tanto, poder evaluarlo es vital ([Çelik et al., 2018](#)).

Por otra parte, Ehrenberg, en 1973, acuñó el término *genotóxico* para señalar aquellos agentes que dañan al DNA tanto de células germinales como somáticas y que podría ser letal o hereditario. En cuyo caso las consecuencias son muy distintas; en células somáticas, afecta a un individuo y en germinales afecta a individuos de próximas generaciones, lo que podría amenazar la supervivencia de la especie ([Klaassen et al., 2018](#)). Estos también pueden actuar directa o indirectamente; la directa induce aberraciones cromosómicas, roturas de cadena simple o doble, entrecruzamiento, mutaciones puntuales, entre otras y la indirecta afecta proteínas histónicas, enzimas, o defectos en sistemas de reparación y replicación ([Puerta-Ortíz et al., 2020](#)).

Y pueden ser mutagénicos, cancerígenos o teratogénicos, de tal manera que un *mutágeno* induce o incrementa la frecuencia de mutaciones espontáneas—cambios permanentes y heredables del DNA. Por tanto, todos los mutágenos son genotóxicos, pero no necesariamente citotóxicos o cancerígenos.

Por otra parte, un *cancerígeno* o carcinógeno es un agente que podría incrementar la frecuencia de cáncer o inducirlo. No obstante, no todos los genotóxicos o mutágenos son cancerígenos, pero todos los cancerígenos son genotóxicos ([Torres-Bugarín et al., 2019, 2023](#)).

Los *teratógenos* tienen la capacidad de impulsar o ampliar la incidencia de fallas innatas en el crecimiento, migración y diferenciación en organismos expuestos durante la organogénesis ([Giannuzzi, 2018; Calzadilla et al., 2022](#)).

Trascendencia de la inestabilidad genómica

La inestabilidad genética es la incapacidad celular para mantener la homeostasis de los procesos de duplicación, reparación y muerte, generado por el aumento de mutaciones, procesos que estudia la genética toxicológica. Esta multidisciplinaria investiga el daño al DNA, la interacción de agentes físicos, químicos o biológicos con el material genético, los mecanismos de respuesta, sus consecuencias, así como el desarrollo de técnicas para estudiar todos estos agentes y sus mecanismos ([Ladeira & Smajdova, 2017](#)). Es evidente que la estabilidad del genoma es crucial para mantener el equilibrio celular y garantizar la continuidad de las especies, sin embargo, el DNA, es una molécula dinámica que continuamente sufre cambios transitorios o permanentes “mutaciones”, que podrían alterar la expresión genética y en consecuencia repercutir en la salud de los organismos ([Torres-Bugarín et al., 2019, 2023](#)). Estos cambios ocurren continuamente por causas endógenas o por factores exógenos, no obstante, estas modificaciones, podrían ser incompatibles con la vida, y es gracias a los mecanismos de detección, reparación o eliminación, que estos daños son corregidos casi en su totalidad, por ello, la tasa de mutación espontánea es baja



(Pedrazzini *et al.*, 2022); pero, al alterarse estos procesos, entonces ocurren elevada tasa de alteraciones en el material hereditario, denominado “Inestabilidad genómica”; característica del envejecimiento y de enfermedades crónico-degenerativas como el cáncer (Aguilera *et al.*, 2013). Entonces la inestabilidad genómica deriva de errores en la replicación y reparación del DNA, y de alteraciones en el control de la segregación cromosómica, que conlleva alta tasa de mutaciones. Además de estos errores intrínsecos, hay muchos agentes exógenos que incrementan las mutaciones, lo cual satura a los sistemas de reparación, e impactan como genotóxicos, mutagénicos, carcinógenos o teratógenos (Maruri *et al.*, 2022).

Tabla 1. Algunas técnicas para evaluar genotoxicidad e inestabilidad genómica

Prueba	Características	Ref.
Ames	Se usa <i>Salmonella typhimurium</i> deficiente en la síntesis de histidina, después se cuantifican las revertantes His+ inducidos por el tratamiento.	Human <i>et al.</i> , (2014)
Índice mitótico	Se calcula la proporción de células en cualquier fase de la mitosis dentro de la población celular analizada.	Olivares <i>et al.</i> , (2015)
ICH	El Intercambio de Cromátidas hermanas (ICH) refleja mediante la incorporación de Brd la inestabilidad genómica (más de 5 intercambios).	Valbuena <i>et al.</i> , (2020)
Cariotipo *Clásico ♦Espectral-SKY	Patrón y características cromosómicas de una especie *Se estudia anomalías numéricas y estructurales. ♦ Se usan sondas marcadas con fluorocromos para cada cromosoma, para identificar regiones específicas.	Ortega <i>et al.</i> , (2018)
Prueba cometa	Mide la frecuencia de ruptura del DNA de cadena simple y doble, sin inducir división celular. Se diferencian los núcleos sanos de los dañados por que en estos se observa migración del DNA fracturado.	Yamunaque <i>et al.</i> , (2019)
Hibridación fluorescente in situ (FISH)	Marcaje de cromosomas mediante sondas marcadas con fluorocromos de colores específicos. Detecta secuencias DNA específicas.	Roncancio-Velandia <i>et al.</i> , (2019).
Apoptosis	Cuantifica los eventos asociados a la apoptosis, incluso la activación de caspasas, la exposición de fosfatidilserina o la fragmentación del DNA.	Pineda <i>et al.</i> , (2021)
Micronúcleos	Cuerpos citoplasmáticos esféricos que contienen fragmentos o cromosomas completos. Revela daño por clastógenos o aneuploidógenos, promotores de la inestabilidad genética.	Sommer <i>et al.</i> , (2020).

Algunas pruebas para evaluar daño celular

El dilema es identificar a tiempo a los organismos susceptibles al daño genómico y por tanto propensos a problemas crónico-degenerativos como los oncológicos, o envejecimiento prematuro; entonces es apremiante contar con biomarcadores y pruebas de fácil ejecución y relativamente económicos que los permitan identificar (Torres-Bugarín *et al.*, 2023). Como, por ejemplo, las pruebas microbiológicas —Ames— o citogenéticas — inicio mitótico, intercambio de cromátides hermanas (ICH), cariotipo, cometa, FISH, apoptosis y micronúcleos— (Tabla 1). También las hay moleculares estas detectan alteraciones pequeñas que no son detectables con microscopio, como la



reacción en cadena de la polimerasa (PCR), sondas, secuenciación, polimorfismos, y muchas más (Merchán *et al.*, 2017).

Eritrocitos como biomarcadores de salud-enfermedad

Tradicionalmente las alteraciones hematológicas se utilizan como biomarcadores de diversas patologías y de toxicidad. Por su parte, muchas sustancias causan daño a las líneas celulares hematológicas, tanto en su función, morfología como en los procesos hematopoyéticos, citoesqueleto, metabolismo y permeabilidad, entre otros (Frag *et al.*, 2018). Específicamente, los eritrocitos (glóbulos rojos o hematíes) transportan el oxígeno y por sus peculiaridades son una herramienta muy valiosa en el biomonitoreo y desarrollo de bioensayos (Harabawy *et al.*, 2014). Son las células más abundantes en sangre periférica y la base de métodos para el monitoreo poco invasivo en comparación con otros tejidos o fluidos biológicos, además de que son fáciles de obtener, aislar y manipular (Stevenson *et al.*, 2017). En mamíferos, los hematíes carecen de sistema de endomembranas, característica que facilita la determinación de la hemólisis mediante la cuantificación de hemoglobina libre por fotometría, esto detecta cambios membranales plasmáticos tanto morfológicos, (elasticidad, flexibilidad y deformabilidad, osmolaridad), como fisiológicos (envejecimiento, enfermedad o por exposición a xenobióticos) (Frag *et al.*, 2018). Por otro lado, la vida media de los hematíes es de 120 días, esto posibilita el registro del historial de exposición pues en ese tiempo se pueden acumular diversos compuestos o modificar su morfología (Heitland & Köster, 2021). En muchas especies es posible diferenciar los eritrocitos maduros o normocromáticos en contraste con los inmaduros o reticulocitos —policromáticos (EPC)—. Estos últimos tienen máximo 24 h de haber salido a circulación, característica que permite distinguir entre efectos a corto o largo plazo (Torres-Bugarín *et al.*, 2019). Además, los eritrocitos acumulan metales pesados u otros tóxicos en concentraciones más altas que las citoplasmáticas (Guirola *et al.*, 2019), por ello se puede determinar la bioacumulación de sustancias químicas. Son excelentes biomarcadores de estrés oxidativo, son particularmente sensibles a la peroxidación, y los cambios en la integridad de la membrana y la actividad de las enzimas antioxidantes indican estrés oxidativo (Stevenson *et al.*, 2017). En toxicología, es frecuente la evaluación *in vitro* e *in vivo* del efecto citotóxico y genotóxico de diferentes moléculas mediante la cuantificación de apoptosis (eriptosis) y micronúcleos (Frag *et al.*, 2018).

Micronúcleos: características, mecanismos y significado biológico

El uso de la prueba de micronúcleos es frecuente (Hayashi, 2016), no obstante, no se comprende totalmente los mecanismos de formación y eliminación de estas estructuras (Russo & Degrossi, 2018). Su forma es redonda o almendrada cuyo diámetro varía desde 1/20 a un 1/5 (0.4 a 1.6 μ) del tamaño normal del eritrocito (6 a 8 μ de diámetro). Estos



cuerpos se localizan en el citoplasma y contienen DNA, sin conexión con el núcleo, de ahí el término de micronúcleo. Generalmente se forman durante la transición metafase-anafase a partir de fragmentos (evento clastógenos) o cromosomas completos (mecanismo aneuploidógenos) que no logran incorporarse a los núcleos de las células hijas y cuya membrana es inestable y propensa a desintegrarse sin oportunidad a ser reparada (Sommer *et al.*, 2020). El DNA contenido en estas estructuras puede condensarse, replicarse y dividirse; no obstante, de manera asincrónica al material genético nuclear, incluso puede sufrir de cromotripsis, que consiste en el reordenamiento cromosómico en el que múltiples regiones cambian simultáneamente y reincorporarse al núcleo, lo cual provoca inestabilidad y caos genético y con ello cáncer o autofagia (Terradas *et al.*, 2016). Por otro lado, si el DNA del micronúcleo es liberado al citosol, desencadena la respuesta inflamatoria crónica, senescencia y apoptosis (Guo *et al.*, 2019; Torres-Bugarín *et al.*, 2023). Los micronúcleos son raros en las células de individuos sanos, pero frecuentes en células de organismos con alguna patología o envejecidas (Arellano-García *et al.*, 2020). Por todo ello son empleados como biomarcadores de efecto, exposición y susceptibilidad a daños genéticos ya que permiten identificar a organismos altamente susceptibles a daño citogenético (Sommer *et al.*, 2020).

La prueba de micronúcleos es altamente versátil, se utiliza de forma rutinaria *in vitro* e *in vivo*, en campo o laboratorio; para detectar inestabilidad genómica y la exposición a genotóxicos, mutagénicos, cancerígenos y teratogénicos. Para su estudio se cuenta con múltiples aplicaciones en amplia gama de tejidos, organismos y modelos (Torres-Bugarín *et al.*, 2023). El conteo de estas estructuras es relativamente fácil en cualquier tejido que se divida tanto en plantas (Casillas-Figueroa *et al.*, 2020) como animales (Schmid, 1975; Tabla 1), e incluso en el hombre (Batista-González *et al.*, 2006; Stopper *et al.*, 2020). Algunos de los tejidos más utilizados con éxito son células de mucosa bucal (Malacarne *et al.*, 2022), médula ósea (Schmid, 1975), y la más utilizada sangre periférica, en la que es posible utilizar linfocitos (en cultivo) (Ruíz-Ruíz *et al.*, 2023) y eritrocitos (Zúñiga-González *et al.*, 2003). Sin embargo, esta prueba tiene limitantes a considerar, como el hecho de que no detecta agentes que provocan translocaciones o inversiones, tampoco es posible utilizar células con baja frecuencia de división celular (Schmid, 1975; Hayashi, 2016).

Prueba de micronúcleos en eritrocitos de sangre periférica

Los eritrocitos de los vertebrados no mamíferos como aves, peces y anfibios son nucleados en contraste con los de los mamíferos los cuales carecen de núcleo (Figura 1), por ello se utilizan para evaluar citotoxicidad y genotoxicidad mediante pruebas como cometa, fragmentación del DNA y micronúcleos. Incluso las anomalías de la morfología celular y nuclear eritrocitaria de estas especies son indicadores de daño y suelen



clasificarse en dos categorías principales: la primera evalúa daño al DNA, mediante las anomalías nucleares que incluyen binucleados, lóbulos, muescas, yemas o vacuolas (Farag *et al.*, 2018; Zamora *et al.*, 2023). La segunda evalúa citotoxicidad, mediante anomalías morfológicas como tamaño (macrocitosis o microcitosis) y forma (esquistocitos, acantocitos, equinocitos) o citoplasmáticas (vacuolado o muescas) (Farag *et al.*, 2018). Si bien, los hematíes de mamíferos son anucleados, en ellos también es posible evaluar en eritrocitos policromáticos (EPC) genotoxicidad y citotoxicidad (mielosupresión) a 24 a 48 horas y en eritrocitos normocromáticos (ENC) exposición crónica. No obstante, dependiendo de la especie se debe considerar la histología del bazo, ya que un bazo con histología sinusal elimina los EMN de sangre periférica casi al 100%, como sucede en el humano; en contraste, el bazo no sinusal no es tan eficiente en retirar EMN, por ello en sangre periférica se pueden observar altas frecuencias de EMN espontáneos, como en el ratón. También se debe considerar que en algunos organismos en etapas juveniles el bazo aún no madura, por ello es que la frecuencia de EMN es mayor, esta característica se modifica conforme el organismo madura y se hace más eficiente impidiendo la visualización de los EMN en la etapa adulta (Zúñiga-González *et al.*, 1996; Torres-Bugarín *et al.*, 2019).

La prueba de EMN en sangre periférica es relativamente sencilla, solo requiere de unas gotas de sangre, hacer dos frotis (uno de trabajo y otro de respaldo), fijar, teñir y analizar bajo el microscopio (Torres-Bugarín *et al.*, 2019; Arellano-García *et al.*, 2021).

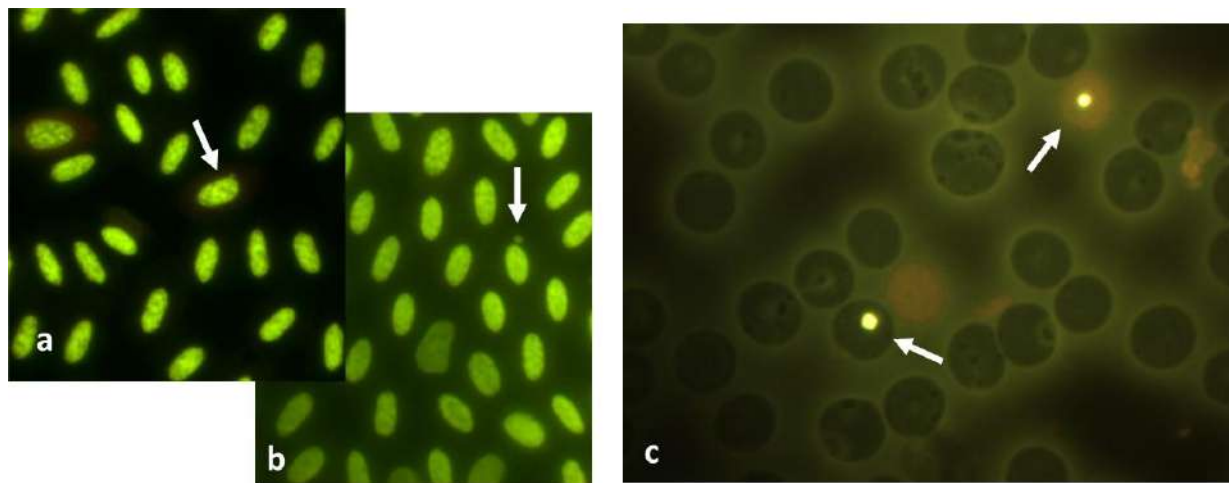


Figura 1. Eritrocitos de sangre periférica. a) Ave (*Anas acuta*), b) Pez (*Xenotoca variata*), c) Mamífero (*Mus musculus*). Flecha blanca: micronúcleo—cuerpo de Howell-Jolly; Eritrocitos Color rojo: policromático reticulocito. Tinción: acridina naranja, Amplificación óptica:100x, Microscopio: Carl Zeiss IVFL Axiostar Plus, Filtro: fluorescencia de 450-490 nm. Imágenes Dra. Olivia Torres-Bugarín.



Modelos y aplicaciones

Existen diversos modelos que pueden emplearse en condiciones de laboratorio, ambientales o cautiverio (Tabla 2), los que permiten evaluar el impacto de un medioambiente en riesgo o de agentes potencialmente tóxicos que podrían ingresar al organismo por diferentes vías (oral, intramuscular, intraperitoneal o cutánea).

Evaluación de agentes cuya exposición es por vía oral, intramuscular o intraperitoneal: en un entorno de laboratorio, lo ideal es contar con dos grupos de organismos, uno expuesto al agente a estudiar y otro como control expuesto a agua. Se aconseja tomar una muestra (unas gotas) de sangre a todos los organismos a las 0 horas (previo a cualquier tratamiento) y cada 24 horas por el tiempo que se establezca. La obtención de sangre periférica normalmente es la punta de la cola (en organismos de laboratorio) o de alguna extremidad, evitar hacer daño innecesario, hacer dos frotis (uno de trabajo y otro de respaldo). Las muestras se fijan (etanol 80%), se tiñen (Giemsa o anaranjado de acridina) y se analizan bajo el microscopio (100x); se contabilizan 10,000 eritrocitos totales, se identifican los EPC (citotoxicidad), EPCMN (genotoxicidad a 24-48 horas — efecto agudo—) y EMN (genotoxicidad a 24- o más horas — efecto crónico —) ([Arellano-García et al., 2021](#)).

Evaluación de exposición por vía tópica: es posible determinar si los agentes penetran hasta médula ósea, para ello se utilizan ratones rasurados de una pequeña zona o eutímicos, en cuyo caso se facilita el ensayo. Se aplican los compuestos en una pequeña zona y a las 24 a 120 horas posteriores se toman unas gotas de sangre, se hacen los frotis y se analiza bajo el microscopio, si hay incremento de la frecuencia de EMN y EPCM, entonces se establece que el compuesto si penetró a médula ósea ([Naranjo-Vázquez et al., 2020](#); [Zúñiga-González et al., 2015](#)).

Evaluación de teratogenicidad: estos modelos facilitan evaluar si los compuestos evaluados cruzan barrera placentaria y alcanzan al embrión, el cual se verá reflejado mediante el incremento de EMN y EPCMN. Para minimizar la toxicidad en los fetos, se deben tratar a las hembras preñadas al finalizar la organogénesis. La unidad de estudio es una hembra por dosis, la que es tratada diariamente durante seis días consecutivos. Inmediatamente después del nacimiento, de seis organismos se extrae una gota de sangre de la cola y se realizan los frotis para luego analizarlos ([Gómez-Meda et al., 2016](#)).

Biomonitoreo ambiental: primero se debe de validar bajo condiciones de laboratorio al organismo que se pretende utilizar en el biomonitoreo, hay que considerar la historia de vida de la especie, su objetivo, el potencial como bioindicador, debe ser representativo del ecosistema, de fácil acceso y capaz de proporcionar información relevante sobre el medio ambiente. También deben tomarse en cuenta las características físicas y biológicas de los sitios de muestreo, como su naturaleza terrestre, acuática, aérea, así como las particularidades de los agentes involucrados. Con base en estas características, se utilizan los modelos descritos en la Tabla 2, como es caso del cocodrilo (*Cocodrilo*



moriletti), perico atolero (*Aratinga canicularis*), a todos los felinos en especial al gato doméstico (*Felis domesticus*) algunos peces y anfibios (Benvindo-Souza *et al.*, 2020).

Por lo tanto, para que un organismo pueda ser considerado un buen modelo en la evaluación de genotóxicos bajo condiciones de laboratorio o ambientales mediante la prueba de micronúcleos (EMN) en sangre periférica, deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos (Arellano-García *et al.*, 2021):

- El organismo este fuera de riesgo y sea de fácil manejo y manutención.
- Qué tenga eritropoyesis muy activa y bazo no sinosal (este se identifica si espontáneamente se contabilizan mínimo 4-6 EMN/10,000 eritrocitos).
- Que el núcleo, en caso de tenerlo, sea regular y sin lóbulos y la relación citoplasma-núcleo sea amplio para identificar claramente los micronúcleos y es ideal que posean EPC en sangre periférica.
- Además, al ser expuesto a un genotóxico conocido en condiciones de laboratorio, el organismo debe mostrar la formación significativa de EMN, como respuesta al compuesto.

Tabla 2. Algunos modelos utilizados en México en la aplicación de la prueba de micronúcleos en eritrocitos de sangre periférica (EMN)

Modelos	Características	Respuesta Frecuencia de EMN/10, 000 ET		Ref.		
		Exposición	Basal		Expuesto	
Primates	Humano <i>Homo sapiens</i>	Adulto Sin bazo	Quimioterapia	29.5 ± 5.8	65.2 ± 17.7	Zúñiga-González <i>et al.</i> , (1996)
	<i>Marmoceta Callithrix jacchus</i>	Neonato	Diabetes gestacional	3.5 ± 4.1	7.7 ± 4.8	Batista-González <i>et al.</i> , (2006)
		Patología materna				
Carnívoros	Gato <i>Felis domesticus</i>	Cautiverio	Agua bidestilada Ara-C (3mg/kg/0h) + Citarabina (24h/IM)	6:0 ± 3.0	26.4 ± 8.6	Zuñiga <i>et al.</i> , (2005)
		Cautiverio	- Agua - Colchicina (0.19mg/kg) + Ara-C (4.5 mg/kg) *	2.2 ± 0.9	3.1 ± 1.4	Torres-Bugarín <i>et al.</i> , (2019)
	Gato doméstico	Cáncer, albinismo, polidactilia	2.3 ± 1.1	8.6	Arellano-García <i>et al.</i> , (2020)	
Ungulados	Becerras Holstein Friesian	6- 9 meses	Vacunas recombinantes	7.4 ± 1.0	1.3 ± 0.2	Ramos-Ibarra <i>et al.</i> , (2020)
Roedores	Ratón C57BL/6JNHsd Machos	◇ AgNPs-PVP	Agua destilada AgNPs-PVP (12mg/ kg)	12	8	Valenzuela <i>et al.</i> , (2019)
	Ratón BALB/c	Citoprotector	Agua	13.4 ± 7.2	16.4 ± 7.4	Franco-Ramos <i>et al.</i> , (2020)
		<i>Nigella sativa</i> - Aceite, IP	<i>Nigella sativa</i>	14.4 ± 4.5	15.6 ± 6.0	
		EMN: 0h-72 h	Cisplatino	11.8 ± 7.5	10 ± 4.8	
Ratón SKH1-sin pelo	Eutímico e inmunocompetente	<i>N. sativa</i> + Cisplatino	14.2 ± 8.9	24 ± 10.2	Naranjo <i>et al.</i> , (2020).	
	Minoxidil Tópico/5%/12h/10 días	1.7 Aprox.	2.5 Aprox.			

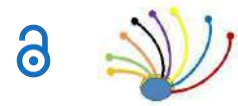


	Rata sin pelo	Transplacentario Hembras expuestas EMN: Recién nacidos	UVA- 365 nm /160 min Gestación (16–21 días)	4.0 ± 0.6	8.9 ± 1.9	Zúñiga-González <i>et al.</i> , (2015)
	Rata	Lactancia materna EMN-Recién nacidos	Colchicina 20mg/kg/24h/3 días	2.7 ± 0.8 0h	5.0 ± 1.5 120 h	Gómez-Meda <i>et al.</i> , (2016)
Mamíferos Acuáticos	Delfín <i>Tursiops truncatus</i>	Cautiverio	Delfinarios	18.6±3.5	26.0 ± 5.9	Zamora <i>et al.</i> , (2006)
Mamíferos Voladores	Murciélago <i>Pteronotus mexicanus</i>	♂ EA: Jalisco-Colima	Exp. Agroquímicos El salitre (1) Don Pancho (2)	0.06 ± 0.04 Bajo nivel (1)	0.1 ± 0.06 Alto nivel (2)	Sandoval-Herrera <i>et al.</i> , (2020)
Logomorfos	Conejo <i>Oryctolagus cuniculus</i>	Transplacentario Hembras/18 meses EMN: Recién nacidos	Ciclofosfamida /IM 4 mg/kg/24h/6 días 25-30 días7gestación	18.0 ± 8.1	59.0 ± 23.4	Gómez-Meda <i>et al.</i> , (2008)
Aves	Charrán real <i>Thalasseus maximus</i>	♂ EA	Etapas: Desarrollo embrionario	8.5 Aprox. Inicial	1.0 Aprox. Avanzada	Ceyca-Contreras <i>et al.</i> , (2023)
	Gorrión <i>Centronyx bairdii</i>	♂ EA: Durango	Pastizales	2.55 ±3.3	—	Pereda-Solis <i>et al.</i> , (2021)
Reptiles	Cocodrilo <i>moriletti</i>	Cautiverio	Ciclofosfamida 7 mg/kg/2 días	3.4 ± 2.6 0h	12.0 ± 8.3 72 h	Zamora <i>et al.</i> , (2023)
	Tortuga <i>Chelonia mydas</i>	♂ EA	Caribe Mexicano	0.0001		Labrada-Martagón <i>et al.</i> , (2019)
Peces	Tilapia sp. cf. Zillii	♂ EA	Hardy River (basal) Xochimilco Lagoon Arsénico y selenio	2 ±1.4	7.4 ± 5.7	Flores-Galván <i>et al.</i> , (2020).
	<i>Cyprinus carpio</i>	Cultivo	Metales pesados Al + Fe + Hg	0.5 0h	7.5 12h	Gómez <i>et al.</i> , (2017).
	<i>Xenotoca melanosoma</i>	Cautiverio	Ciclofosfamida 50 mg/L	2.9 ± 2.1	11.4 ± 3.4	Torres-Bugarín <i>et al.</i> , (2019).

h- horas; IM-Intramuscular; ◊- AgNPs-Nanopartículas de plata con polivinilpirrolidone; ♂-Evaluación ambiental.

CONCLUSIÓN

Es imperativo disponer de técnicas o biomarcadores que puedan proporcionar información precisa y oportuna sobre el daño genotóxico que experimentan diferentes especies expuestas de manera aguda o crónica a agentes nocivos. Los métodos utilizados para evaluar los riesgos o la protección frente a efectos genotóxicos a menudo resultan ser costosos, complicados o invasivos, en algunos casos requieren incluso el sacrificio del organismo en estudio. En este contexto, la prueba de EMN de sangre periférica se constituye como una excelente alternativa en el monitoreo del daño genético en poblaciones en alto riesgo. Esta técnica se destaca por su claridad y precisión, y no requiere el uso de cultivos celulares. Es altamente fiable, eficaz, rápida y sencilla, además de ser relativamente económica. Mediante la aplicación de esta técnica, es posible obtener resultados en un corto período de tiempo sin necesidad de instalaciones especializadas. Además, su versatilidad permite su aplicación en diversos organismos,



tejidos y modelos de estudio. Un beneficio adicional es que, cuando se aplica en sangre periférica, esta prueba resulta mínimamente invasiva.

AGRADECIMIENTOS

A CONAHCYT - Programa Estancia posdoctoral por México 2023, Modalidad Académica (CVU-109104). A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y a la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG) por todas las facilidades y el apoyo recibido para la estancia posdoctoral.

LITERATURA CITADA

AGUILERA A, García-Muse T. 2013. Causes of genome instability. *Annual Review of Genetics*. 47:19–50. ISSN: 0066-4197. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-111212-133232>

ANGARITA MM, Torres CM, Díaz TA. 2017. Técnicas de biología molecular en el desarrollo de la investigación. Revisión de la literatura. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*. 16(5):796-807. ISSN: 1729-519X.
http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v16n5/en_rhcm12517.pdf

ARELLANO-GARCÍA ME, Izaguirre-Pérez ME, Molina-Noyola LD, Castañeda-Yslas IY, Luna-Vázquez-Gómez R, Torres-Bugarín O. 2020. Polydactyl hypopigmented cat with squamous cell carcinoma—A case report. *Frontiers in Veterinary Science*. 12(7):258. ISSN: 2297-1769. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00258>

ARELLANO-GARCÍA ME, Torres-Bugarín O, García-García MR, García-Flores D, Toledano-Magaña Y, Sanabria-Mora CS, Castro-Gamboa S, García-Ramos JC. 2021. Genomic instability and cyto-genotoxic damage in animal species. In: updates on veterinary anatomy and physiology. Edited Catrin Sian Rutland and Samir A.A. El-Gendy. Ed. Intech Open. 1-19. ISBN: 978-1-83969-530-8.
<https://www.intechopen.com/chapters/78242>

BATISTA-GONZÁLEZ CM, Corona-Rivera JR, Gómez-Meda BC, Zamora-Pérez AL, Ramos-Ibarra ML, Zúñiga-González GM. 2006. Micronucleated erythrocytes in preterm newborns in relation to maternal pathology. *Revista Biomédica*. 17:11-16. ISSN: 2007-8447.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2006/bio061c.pdf>

BENVINDO-SOUZA M, Santos OE, Assis RA, Araújo SC, Borges RE, de Melo D, Souza SL. 2020. Micronucleus test in tadpole erythrocytes: Trends in studies and new paths. *Chemosphere*. 240:124910. ISSN: 0045-6535.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124910>



CALZADILLA LS, Uriarte NA, Ricardo SF, Melian SC. 2022. Consideraciones actuales sobre los teratógenos y sus efectos durante el embarazo. *MEDISAN*. 26(2): 381-402. ISSN: 1029-3019. <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v26n2/1029-3019-san-26-02-381.pdf>

CASILLAS-FIGUEROA F, Arellano-García ME, Leyva-Aguilera C, Ruíz-Ruíz B, Luna Vázquez-Gómez R, Radilla-Chávez P, Chávez-Santoscoy RA, Pestryakov A, Toledano-Magaña Y, García-Ramos JC. 2020. Argovit™ silver nanoparticles effects on allium cepa: plant growth promotion without cyto genotoxic damage. *Nanomaterials*. 10(7):1386. ISSN: 2079-4991. <https://doi.org/10.3390/nano10071386>

ÇELIK, TA. 2018. Introductory chapter: cytotoxicity. Pp 3-6. Ed. In TechOpen. 978-1-78923-431-2. ISBN: 78-1-83881-443-4. <https://www.intechopen.com/chapters/61438>

CEYCA-CONTRERAS JP, Castillo-Guerrero JA, Torres-Bugarín O, García-Hernández J, Betancourt-Lozano M. 2023. Micronuclei in embryos of eight seabird species in northwestern Mexico: a biomarker of exposure to coastal pollution?. *Mutation Research Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. (887):503615. ISSN: 1879-3592. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2023.503615>

FARAG MR, Alagawany M. 2018. Erythrocytes as a biological model for screening of xenobiotics toxicity. *Chemico-Biological Interactions*. 5:279:73-83. ISSN: 1872-7786. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.11.007>

FLORES-GALVÁN MA, Daesslé LW, Arellano-García E, Torres-Bugarín O, Macías-Zamora JV, Ruíz-Campos G. 2020. Genotoxicity in fishes environmentally exposed to As, Se, Hg, Pb, Cr and toxaphene in the lower Colorado River basin, at Mexicali valley, Baja California, México. *Ecotoxicology*. 29(4):493-502. ISSN 1573-3017. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02200-9>

FRANCO-RAMOS RS, López-Romero CA, Torres-Ortega H, Oseguera-Herrera D, Lamoreaux-Aguayo JP, Molina-Noyola D, Juárez-Vázquez CI, Torres-Bugarín O. 2020. Evaluation of anti-cytotoxic and anti-genotoxic effects of *Nigella sativa* through a micronucleus test in BALB/c mice. *Nutrients*. 12(5):1317. ISSN: 2072-6643. <https://doi.org/10.3390/nu12051317>

GIANUZZI L. 2018. Toxicología general y aplicada. Editorial Universidad de la Plata. Pp. 5-8. ISBN: 978-950-34-1695-2. <https://doi.org/10.35537/10915/71533>



GÓMEZ-MEDA BC, Bañales-Martínez LR, Zamora-Perez AL, Lemus-Varela ML, Trujillo X, Sánchez-Parada MG, Torres-Mendoza BM, Armendáriz-Borunda J, Zúñiga-González GM. 2016. Micronucleated erythrocytes in peripheral blood from neonate rats exposed by breastfeeding to cyclophosphamide, colchicine, or cytosine-arabioside. *BioMed Research International*. 1-10. ISSN: 2314-6141. <https://doi.org/10.1155/2016/9161648>

GÓMEZ-MEDA, BC, Zamora-Perez, AL, Ramos-Ibarra ML, Batista-González CM, Zúñiga-González GM. 2008. Micronucleated erythrocytes in peripheral blood of newborn rabbits after exposure to cyclophosphamide during pregnancy. *Scandinavian Journal of Laboratory Animal Science*. 35(3):151-158. ISSN: 2002-0112. <https://doi.org/10.23675/sjlas.v35i3.146>

GÓMEZ-OLIVÁN LM, Mendoza-Zenil YP, SanJuan-Reyes N, Galar-Martínez M, Ramírez-Durán N, Rodríguez Martín-Doimeadios RDC, Rodríguez-Fariñas N, Islas-Flores H, Elizalde-Velázquez A, García-Medina S, Pérez-Pastén Borja R. 2017. Geno- and cytotoxicity induced on *Cyprinus carpio* by aluminum, iron, mercury and mixture thereof. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 135:98-105. ISSN: 1090-2414 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.09.037>

GUIROLA FJ, Mastrapa OH, García GY, Pérez BL, Cisnero N, Batista RY. 2019. Caracterización de la intoxicación por plomo. Revisión bibliográfica. *RETEL: Revista de Toxicología en Línea*. 59: 39-63. ISSN: 1668-091X <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

GUO X, Ni J, Liang Z, Xue J, Fenech MF, Wang X. 2019. The molecular origins and pathophysiological consequences of micronuclei: new insights into an age-old problem. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*. 779:1-35. ISSN: 1388-2139. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2018.11.001>

HARABAWY SA, Mosleh YY. 2014. The role of vitamins A, C, E and selenium as antioxidants against genotoxicity and cytotoxicity of cadmium, copper, lead and zinc on erythrocytes of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 104:28-35. ISSN: 1090-2414. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.02.015>

HAYASHI M. 2016. The micronucleus test—most widely used *in vivo* genotoxicity test. *Genes and Environmental*. 38, e18. ISSN: 1880-7062. <https://doi.org/10.1186/s41021-016-0044-x>

HEITLAND P, Köster HD. 2021. Human biomonitoring of 73 elements in blood, serum, erythrocytes and urine. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 64, e126706. ISSN: 1878-3252. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33352468/>



KLAASSEN CD. 2018. Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, 9th Edition McGraw-Hill. ISBN: 978-1-259-86374-5.

<https://accesspharmacy.mhmedical.com/book.aspx?bookid=2462#194918150>

LABRADA-MARTAGÓN V, Muñoz Teneriá FA, Tania Zenteno-Savín T. 2019. Standardized micronucleus assay for peripheral blood from sea turtles. *Chelonian Conservation and Biology*. 18(2):175-186. ISSN: 1071-8443.

<https://doi.org/10.2744/CCB-1373.1>

LADEIRA C, Smajdova L. 2017. The use of genotoxicity biomarkers in molecular epidemiology: Applications in environmental, occupational and dietary studies. *AIMS Genet*. 4:166–191. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6690241/>

MALACARNE IT, Alpire MES, Malinverni ACM, Ribeiro DA 2022. The use of micronucleus assay in oral mucosa cells as a suitable biomarker in children exposed to environmental mutagens: theoretical concepts, guidelines and future directions. *Reviews on Environmental Health*. 11, e0084. ISSN: 2191-0308. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0084>

MARURI J, Martínez-Cortés F, Odales J, Manoutcharian K. 2022. Inestabilidad genética, origen y evolución del cáncer y la inmunoterapia personalizada. *Vacunas*. 23(3): 222-233. ISSN: 1576-9887. <https://doi.org/10.1016/j.vacun.2022.01.004>

MERCHÁN MA, Caicedo MIT, Torres AKD. 2017. Molecular biology techniques for research development. A literature review. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*. 16(5):796-807. ISSN: 1729-519X.

<https://www.medigraphic.com/pdfs/revhabciemed/hcm-2017/hcm175l.pdf>

NARANJO-VÁZQUEZ E, Sánchez-Parada MG, Gómez-Meda BC, Zamora-Perez AL, Gallegos-Arreola MP, González-Santiago AE, Zúñiga-González GM. 2020. Effect of high-dose topical minoxidil on erythrocyte quality in SKH1 hairless mice. *Animals*. 10(4):731. ISSN:2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10040731>

OLIVARES Y, Gaete H, Neaman A. 2015. Evaluación de la fitotoxicidad y la genotoxicidad de suelos agrícolas de zonas con actividades mineras de cobre de la cuenca del río Aconcagua (Chile central). *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*. 31(3):237-243. ISSN: 0188-4999.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n3/v31n3a3.pdf>

ORTEGA TM, Torres RJ, Ángel OJ. 2018. Fundamentos de citogenética humana y animal. Editorial Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. 24, 61-65. ISBN:978-958-651-651-8. <https://doi.org/10.22490/9789586516518>



PEDRAZZINI E, Stella F, Slavutsky I. 2022. Inestabilidad genómica en mieloma múltiple. *Hematología*. 25(3):1-12. ISSN: 2250-8309.

<https://libros.unad.edu.co/index.php/selloeditorial/catalog/book/100>

PEREDA-SOLIS M, Guillén-González C, Ramírez- Carreño K, Martínez-Guerrero J, Sierra-Franco D, Salazar-Borunda M, Torres-Bugarín O. 2022. Leukocyte profile, micronuclei, and erythrocytic nuclear protrusions in sparrows (*Centronyx bairdii* and *Ammodramus savannarum*) of the chihuahuan desert during the winter. *Agrociencia*. 56:46-60. ISSN: 2521-9766.

<https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/2710/2119>

PINEDA EM. 2021. Análisis de las causas de fragmentación de ADN en células procariontes y eucariontes, Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.14-19.

<https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26297>

PUERTA-ORTIZ A, Morales-Aramburo J, Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes-2020. *Revista Colombiana de Cardiología*. 27(1):61-71. ISSN: 0120-5633.

https://rccardiologia.com/previos/RCC%202020%20Vol.%2027/RCC_2020_27_S1/RCC_2020_27_S1_061-071.pdf

RAMOS-IBARRA ML, Villa-Castellanos J, Barba-León J, Flores-Valdez M, Zavala-Aguirre JL, Torres Bugarín O. 2020. Estudio exploratorio de la genotoxicidad de vacunas recombinantes para tuberculosis bovina. *Abanico Veterinario*. 10(1):1-14. ISSN: 2448-6132-

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico/index.php/abanico-veterinario/article/view/249/409>

RONCANCIO-VELANDIA T, Parra-Medina R, Mejia JC, Gevara-Pardo G. 2019. Hibridación *in situ* fluorescente (FISH) en el Instituto Nacional de Cancerología (INC) de Colombia. Experiencia de 5 años. *Revista Colombiana de Cancerología*. 23(1):3-11. ISSN: 0123-9015.

<https://doi.org/10.35509/01239015.73>

RUIZ-RUIZ B, Arellano-García ME, Radilla-Chávez P, Salas-Vargas DS, Toledano-Magaña Y, Casillas-Figueroa F, Luna Vázquez-Gómez R, Pestryakov A, García-Ramos JC, Bogdanchikova N. 2020. Cytokinesis-block micronucleus assay using human lymphocytes as a sensitive tool for cytotoxicity/genotoxicity evaluation of AgNPs. *ACS Omega*. 5(21):12005-12015. ISSN: 2079-4991.

<https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00149>



RUSSO A, Degrassi F. 2018. Molecular cytogenetics of the micronucleus: Still surprising. *Mutation Research*. 836 (PtA):36-40. ISSN: 1879-3592.

<https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2018.05.011>

SANDOVAL-HERRERA N, Paz J, Herrera M, Welch K. 2020. Micronucleus test reveals genotoxic effects in bats associated with agricultural activity. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 40:202–207. ISSN: 1552-8618. <https://doi.org/10.1002/etc.4907>

SCHMID W. 1975. The micronucleus test. *Mutation Research*. 31(1):9-15. ISSN: 1879-3592. [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(75\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0165-1161(75)90058-8)

SOMMER S, Buraczewska I, Kruszewski M. 2020. Micronucleus assay: The state of art, and future directions. *International Journal of Molecular Sciences*. 24;21(4):1534. ISSN: 1422-0067. <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/4/1534>

STEVENSON A, Lopez D, Khoo P, Kalaria RN, Mukaetova EB. 2017. Exploring erythrocytes as blood biomarkers for Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*. 60(3):845-857. ISSN: 1875-8908. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28984593/>

TERRADAS M, Martín, M, Genescà A. 2016. Impaired nuclear functions in micronuclei results in genome instability and chromothripsis. *Archives of Toxicology*. 90(11):2657–2667. ISSN: 1432-0738. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1818-4>

STOPPER H, Bankoglu EE, Marcos R, Pastor S. 2020. Micronucleus frequency in chronic kidney disease patients: A review. *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*. 786, e108340. ISSN:1388-2139.

<https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2020.108340>

TORRES-BUGARÍN O, Arias-Ruíz L. 2023. Micronúcleos: Actualización del papel en la inestabilidad genética, inflamación, envejecimiento y cáncer. *Revisión panorámica. Revista Biomédica*. 34(2):208-223. ISSN: 20078447.

<https://doi.org/10.32776/revbiomed.v34i2.1101>

TORRES-BUGARÍN O, Carillo-GC, Armijo GJ. 2019. Evaluación de genotóxicos ambientales mediante la prueba de micronúcleos en sangre periférica. En *Ecología y Salud de la fauna silvestre Avances de investigación. Colección Investigadores. UJED. Ed. 2*. ISBN: 978-607-503-223-8.

<http://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/589>



TORRES-BUGARIN O, Ramos-Ibarra M, Flores-G A, Ruíz BS, Zavala-Cerna MG. 2015. La prueba de micronúcleos: Biomarcador de contaminación genotóxica, mutagénica y/o teratogénica. En Pacífico Mexicano, Contaminación e Impactos Ambientales: Diagnóstico y Tendencias. 2015.819-8-48. ISBN: 978-607-7887-94-2.

<https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/589>

TORRES-BUGARÍN O, Zavala-Cerna M, Nava-Zavala A, Flores-García A, Ramos-Ibarra M. 2014. Potential uses, limitations, and basic procedures of micronuclei and nuclear abnormalities in buccal cells. *Disease Markers*. 2014, e956835. ISSN: 1875-8630.

<https://doi.org/10.1155/2014/956835>

VALBUENA D, Meléndez FM, Villegas V, Sánchez M, Rodón LM. 2020. Daño celular y genético como determinantes de la toxicidad de los plaguicidas. *Ciencia en Desarrollo*. 11(2):25-42. ISSN: 2462-7658. <https://doi.org/10.19053/01217488.v11.n2.2020.11245>

VALENZUELA-SALAS LM, Girón-Vázquez NG, García-Ramos JC, Torres-Bugarín O, Gómez C, Pestryakov A, Villarreal-Gómez LJ, Toledano-Magaña Y, Bogdanchikova N. 2019. Antiproliferative and antitumor effect of non-genotoxic silver nanoparticles on melanoma models. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 1-12. ISSN: 1942-0994.

<https://doi.org/10.1155/2019/4528241>

YAMUNAUQUE CL, García BF, Serquén-LL. 2019. Ensayo cometa. *Revista Experiencia en Medicina del Hospital Regional Lambayeque*. 5(3)162-163. ISSN: 2412-4214.

<https://rem.hrlamb.gob.pe/index.php/REM/article/view/374/222>

ZAMORA-PEREZ A, Camacho-Magaña C, Gómez-Meda B, Ramos-Ibarra M, Batista-González C, Zúñiga-González G. 2006. Importance of spontaneous micronucleated erythrocytes in bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) to marine toxicology studies. *Acta Biologica Hungarica*. 57(4):441-448. ISSN:0236-5383.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17278706/>

ZAMORA-PEREZ AL, Luna-Aguirre J, Zúñiga-González GM, Torres-Bugarín O, Torres-Mendoza BM, Gallegos-Arreola MP, Ortiz-García RG, Gutiérrez-Sevilla JE, Gómez-Meda BC. 2021. Micronuclei and nuclear buds induced by cyclophosphamide in *Crocodylus moreletii* as useful biomarkers in aquatic environments. *Animals*. 11(11): 3178. ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11113178>

ZÚÑIGA G, Torres-Bugarín O, Ramírez-Muñoz MP, Delgado-Lamas JL, De Loza-Saldaña R, Cantú JM. 1996. Micronucleated erythrocytes in splenectomized with and without chemotherapy. *Mutation Research*. 12;361(2-3):107-112. ISSN: 1879-3592.

[https://doi.org/10.1016/s0165-1161\(96\)90244-7](https://doi.org/10.1016/s0165-1161(96)90244-7)



ZÚÑIGA-GONZÁLEZ GM, Gómez-Meda BC, Zamora-Perez AL, Martínez-González MA, Muñoz de Haro IA, Pérez-Navarro AE, Armendáriz-Borunda J, Gallegos-Arreola MP. 2015. Micronucleated erythrocytes in newborns of rat dams exposed to ultraviolet-A light during pregnancy, protection by ascorbic acid supplementation. *Mutation Research/Genetic Toxicology*. 782:36-41. ISSN: 1383-5718.

<https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2015.03.013>

ZÚÑIGA-GONZÁLEZ GM, Torres-Bugarín O, Zamora-Perez AL, Gómez-Meda BC, Ramos-Ibarra ML, Gallegos-Arreola P, Flores-García A, López-Urbe A. 2003. Induction of micronucleated erythrocytes in mouse peripheral blood after cutaneous application of 5-fluorouracil. *Archives of Medical Research*. 34:141-144. ISSN: 1873-5487.

[https://doi.org/10.1016/S0188-4409\(02\)00470-8](https://doi.org/10.1016/S0188-4409(02)00470-8)

ZÚÑIGA-GONZÁLEZ GM, Gómez-Meda BC, Zamora-Perez AL, Ramos-Ibarra ML, Batista-González CM, Lemus-Varela ML, Rodríguez-Avila JL, Gallegos-Arreola MP. 2005. Micronucleated erythrocyte frequencies in old and new world primates: measurement of micronucleated erythrocyte frequencies in peripheral blood of *Callithrix jacchus* as a model for evaluating genotoxicity in primates. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 46(4):253-9. ISSN:1098-2280. <https://doi.org/10.1002/em.20154>

[Errata Erratum](#)







<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>

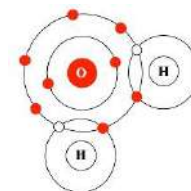


Abanico Veterinario. January-December 2025; 16:1-28. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.12>
Literature review. Received: 24/09/2025. Accepted:13/12/2025. Published: 28/12/2025. Code: e2025-37.
<https://www.youtube.com/watch?v=StvkPpXwnog>

Comprehensive analysis of medical biochemistry: molecular interactions and pathways in metabolism

Análisis integral de la bioquímica médica: interacciones moleculares y vías en el metabolismo

García-Casillas Arturo^{*1} , Hernández-Rivera Juan¹ , Tirado-González Deli² , Pérez-González Jairo¹ , Carrillo-Díaz María¹ , Prado-Rebolledo Omar^{**1} 



¹Universidad de Colima. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México. ²Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico El Llano de Aguascalientes. Departamento de Ingenierías. México.
*Responsible author: García-Casillas Arturo. **Corresponding author: Prado-Rebolledo Omar. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima. Autopista Colima-Manzanillo Km 40, Tecomán, Colima, México. CP 28100. E-mail: cesargarciasillas@hotmail.com, jhernandez2@ucol.mx, deli.tg@llano.tecnm.mx, jperez123@ucol.mx, mcarrillo13@ucol.mx, omarpr@ucol.mx

ABSTRACT

Biochemistry bridges biology and chemistry, serving as the molecular foundation of life. This review aims to provide a thorough understanding of fundamental biochemical concepts, key metabolic pathways, and their relevance to health and disease management. It begins with an overview of atomic structure and the variety of biochemical reactions that occur within cells to synthesize molecules. The discussion then focuses on water and biochemical bonds, highlighting how molecular flexibility of monosaccharides, amino acids, fatty acids, and nucleotides facilitates rapid reactions and meets the body's energy and structural needs. The review explores carbohydrate metabolism, covering glycogenesis and the pentose phosphate pathway, illustrating how cells utilize sugars. It extends to crucial biomolecules such as DNA and RNA, explaining how cells translate genetic information and synthesize lipids. The review details how cells break down dietary and stored carbohydrates and lipids to release energy essential for various physiological functions. Biomedical research advances integrate deeper understanding of biochemical principles, integrating structural chemistry, enzymology, and cellular biology to support clinical problem-solving skills to maintain its utility in medical education and practice.

Keywords: Biochemistry, carbohydrates, proteins, lipids, DNA, RNA.

RESUMEN

La bioquímica es la unión de la biología y la química, sirviendo como la base molecular de la vida. Esta revisión tiene como objetivo proporcionar una comprensión profunda de los conceptos bioquímicos fundamentales, las principales vías metabólicas y su relevancia para la gestión de la salud y las enfermedades. Comienza con una visión general de la estructura atómica y la variedad de reacciones bioquímicas que ocurren dentro de las células para sintetizar moléculas. Luego, la discusión se centra en el agua y los enlaces bioquímicos, destacando cómo la flexibilidad molecular de los monosacáridos, aminoácidos, ácidos grasos y nucleótidos facilita reacciones rápidas y satisface las necesidades energéticas y estructurales del cuerpo. La revisión explora el metabolismo de los carbohidratos, abarcando



la glucogénesis y la vía de las pentosas fosfato, ilustrando cómo las células utilizan los azúcares. Se extiende a biomoléculas cruciales como el ADN y ARN, explicando cómo las células traducen la información genética y sintetizan lípidos. La revisión detalla cómo las células descomponen los carbohidratos y lípidos de la dieta y almacenados para liberar energía esencial para diversas funciones fisiológicas. Los avances en la investigación biomédica integran una comprensión más profunda de los principios bioquímicos, combinando química estructural, enzimología y biología celular para apoyar el desarrollo de habilidades de resolución de problemas clínicos, manteniendo así su utilidad en la educación y práctica médica.

Palabras clave: Bioquímica, carbohidratos, proteínas, lípidos, ADN, ARN.

ABBREVIATIONS

$^1\text{O}_2$	atomic oxygen		
aa	amino acid	N^{3-}	nitride ion
ADP	diphosphate adenosine	NAD ⁺	nicotinamide adenine dinucleotide phosphates in their oxidized form
ATP	adenosine triphosphate	NADPH/ H^+	nicotinamide adenine dinucleotide phosphate in reduced form
C=O	carbonyl group	NEFAs	non-esterified fatty acids
C16:0	palmitic	NH_2	amino group
$\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_3$	pyruvate	NH_3	ammonia
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	glycerol	O_2	dioxygen
$\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_9\text{P}$	glucose-6-phosphate	OH	hydroxyl group
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	glucose	PCR	polymerase chain reaction
Ca^{2+}	calcium	pH	potential of hydrogen
CO_2	carbon dioxide	PO_3^{2-}	phosphate group
COCH_3	acetyl group	PP_i	inorganic pyrophosphate
COOH	carboxyl group	RNA	ribonucleic acid
DNA	deoxyribonucleic acid	ROS	reactive oxygen species
H^-	hydride ion	tau	T subunit
H^+	hydrogen ion	tRNA	transfer ribonucleic acid
H_2CO_3	carbonic	UDP	uridine diphosphate
H_2O	water	UDP-glucose	uridine diphosphate glucose
Hb	haemoglobin	UTP	uridine triphosphate
HCO_3^-	hydrogen carbonate		
mRNA	messenger ribonucleic acid		

INTRODUCTION

The present review offers a concise survey of aspects of biochemistry most relevant to the study of medicine and provides the reader with the most current and pertinent information. All topics are organized under five major sections. Figures follow each section to assist the study and facilitate retention of the information. Section I includes an atom, the law of conservation of matter, chemical reaction, protons, electrons, the law of electrostatics, anion, cation, oxidation-reduction, the CPK (Corey-Pauling-Koltun) system as a colour convention to distinguish the atoms of the principal chemical elements to create molecular models, and the octet rule. Section II considers the water (H_2O), polarity, cohesion, dioxygen (O_2), carbon dioxide (CO_2), H-bond, covalent bond, ionic bond, hydrophobic interaction, and van der Waals forces. Section III discusses monomers, polymers, polymerization, monosaccharides, O-glycosidic bond, hydroxyl group (OH), glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), amino acid (**aa**), peptide bond, amino group (NH_2), carboxyl group (COOH), fatty acid, ester bond, triglyceride, nucleotide, phosphodiester bond, phosphate group (PO_3^{2-}), and potential of hydrogen (**pH**). Section IV outlines the amylases,



hydrolysis, glycogenogenesis, pentose phosphate pathway, and nicotinamide adenine dinucleotide phosphate in reduced form (**NADPH+H⁺**). Section V includes a deoxyribonucleic acid (**DNA**), replication, DNA gyrase, DNA helicase, DNA primase, and DNA polymerases I, II, and III. Section VI considers the ribonucleic acid (**RNA**), rough endoplasmic reticulum, ribosomes, A site or aminoacyl, P site or peptidyl, proteogenesis, messenger ribonucleic acid (**mRNA**), transfer ribonucleic acid (**tRNA**), and protein translation. Section VII discusses lipogenesis, acetyl-Coenzyme A, fatty acids, triacylglycerols, glycosylation, and exocytosis. Section VIII includes glycogenolysis, glucagon, lipolysis, non-esterified fatty acids (**NEFAs**), pyruvate (**C₃H₃O₃**), and acetyl-Coenzyme A. Section IX considers the Krebs cycle, oxidative decarboxylation, and adenosine triphosphate (**ATP**). Biochemistry significantly contributes to cell biology, physiology, immunology, microbiology, pharmacology, toxicology, and epidemiology. These close relationships emphasize that life, as we know it, depends on biochemical reactions and processes.

Atom and molecular interactions

In the early days of Biochemistry, Antoine-Laurent de Lavoisier was considered the father of modern Chemistry for his studies on i) the law of conservation of matter, ii) O₂ and its vital role in respiration, iv) oxidation, v) heat and combustion, and vi) photosynthesis (Beretta, 2024). Also, Lavoisier is one of the 72 scientists whose name is inscribed on the Eiffel Tower (Kambas, 2025). His law of conservation of matter states that matter is neither created nor destroyed; it only transforms (Klein, 2015). Therefore, during every chemical reaction, the total number of atoms before and after the reaction remains constant (Ragab, 2025). The amount of matter consumed by the reactants equals the amount of matter in the products obtained (the total number of protons, neutrons, and electrons remains constant) (Sunte, 2025).

A chemical reaction occurs when atoms collide, displacing electrons (Chen *et al.*, 2020). This changes the chemical identity of the substances involved in the collision by breaking previously existing bonds between the atoms and forming new ones (Alkorta *et al.*, 2020). In other words, it involves rearranging the bonds between atoms, giving rise to new products (Li & Zuo, 2020). Also, stoichiometry calculates the quantitative relationships between reactants and products during a chemical reaction (Sardans *et al.*, 2021). The atom is the smallest unit of matter (ten billionths of a meter) (Prescod, 2024). Each atom consists of a nucleus, consisting of one or more protons (positive electrical charge) and typically a similar number of neutrons (made up of three quarks, whose combined charges are zero) (L'Annunziata, 2022). The nucleus accounts for 99.94% of the atom's total mass (Ragab, 2025). The electrons are rotating in orbitals around it, with a negative electrical charge and equivalent to 0.06% of the atom's total mass (Bailey, 2022a; El-Shorbagy *et al.*, 2025).



Charles-Augustin de Coulomb: formulated the law of electrostatics (Coulomb's law) (Lacasse, 2023). He established that this force causes attraction between protons and electrons (Popova & Popov, 2021). The force is repulsive if the charges are of the same sign (+ +, - -) (El-Shorbagy *et al.*, 2025). The force is attractive if the charges are of different signs (+, -) (Hren *et al.*, 2021). Therefore, an electrically neutral atom has equal protons and electrons (Popova & Popov, 2021). An ion is a particle that has more or fewer electrons than protons (Sibley, 2021), so it has an overall negative or positive charge, and its number of protons does not change (L'Annunziata, 2022). The ionization process occurs when electrons are gained or lost from an electrically neutral atom (Hren *et al.*, 2021; Bailey, 2022a). When one or more electrons are added (gained), a negatively charged ion (anion) is formed (El-Shorbagy *et al.*, 2025). When one or more electrons are removed (lost), a positively charged ion (cation) is formed (Sibley, 2021).

Therefore, two chemical reactions occur: i) oxidation when an atom (loses) one or more electrons from its outer orbital and acquires a positive charge (cation) (Sies *et al.*, 2024); when an atom (loses) one or more electrons from its outer orbital and acquires a positive charge (cation) (Li *et al.*, 2020); and ii) reduction, when an atom (gains) one or more electrons in its outer orbital and acquires a negative charge anion (Bailey, 2022a) (Figure 1).

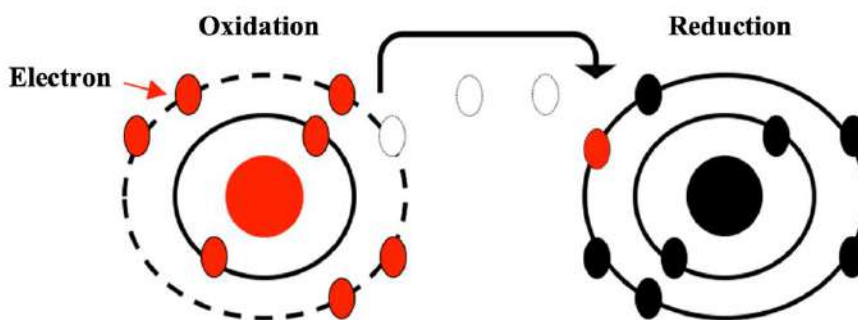


Figure 1. Oxidation and reduction

Source Own Work

The principal chemical elements for life are carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, phosphorus, and sulphur (Helmut, 2021a). Robert Corey, Linus Pauling, and Walter Koltun established the CPK system as a colour convention to distinguish the atoms of the principal chemical elements to create molecular models (Grice & Jones, 2024). They identified carbon as black, hydrogen as white, oxygen as red, nitrogen as blue, phosphorus as orange, and sulphur as yellow (Turner, 2016). A molecule is two or more atoms chemically bonded together, and its valency indicates the number of bonds an atom forms (Hargittai, 2023). E.g., in ammonia (NH_3), the nitride ion (N^{3-}) has a valency of three,



since it has three free electrons in its outer orbital to form three bonds ([Spatolisano et al., 2023](#)). Hydrogen has one valence since only one electron forms a bond ([Suno & Ohno, 2024](#)).

Gilbert Newton Lewis formulated the octet rule ([Gutiérrez, 2023](#)). It establishes that atoms bond to each other (losing or accepting one or more electrons) to complete their outer orbital (valence shell) in order to achieve stability ([L'Annunziata, 2022](#)). An atom is stable with eight electrons in its valence shell ([Brown, 2023](#)). This is why elements always form bonds for stability ([Cui & Harshman, 2022](#)). The hydrogen ion (H^+) or hydride ion (H^-), depending on whether it is a cation or an anion, respectively ([Suno & Ohno, 2024](#)), is the exception to the rule, as it achieves stability with two electrons in its outer orbital ([Brown, 2023](#)).

Molecules and biochemical bonds

A chemical reaction involves a molecular transformation that alters both the energy and the composition of the system ([Beretta, 2024](#)). These changes are described by the state functions enthalpy, entropy, and Gibbs free energy ([Sardans et al., 2021](#)). Enthalpy represents the heat exchanged at constant pressure, and its variation allows us to determine whether the reaction absorbs heat (endothermic) or releases it (exothermic) ([Hargittai, 2023](#)). Entropy measures the extent to which energy is dispersed and the degree of disorder in the system, while Gibbs free energy integrates both concepts to assess the spontaneity of a process under constant temperature and pressure ([El-Shorbagy et al., 2025](#)). Based on these principles, reactions can be classified as reversible or irreversible ([Bailey, 2022a](#)). A reversible reaction proceeds in both directions (from reactants to products and from products to reactants) until it reaches dynamic equilibrium ([Hargittai, 2023](#)). In contrast, a reaction is considered practically irreversible when it proceeds almost completely toward the products, which often occurs when one of the products is removed from the system ([Sardans et al., 2021](#)).

Thus, among the main molecules of medical importance, H_2O stands out as a biological solvent ([Nilsson & Pettersson, 2015](#)). It is a molecule formed by two hydrogen atoms and one energetically excited singlet or atomic oxygen ($^1\text{O}_2$), joined by a covalent bond ([Greer, 2006](#)). The H_2O (Figure 2) is a strongly polar molecule, as its electrons give it a diamagnetic property (it repels magnetic fields) ([Tanaka, 2000](#)). Many biological macromolecules, e.g., carbohydrates, are polar and dissolve easily in H_2O ([Chandel, 2021a](#)). Polarity is the property that facilitates the movement of electrons toward the atom with the greatest electronegativity (electric dipole) ([Roussy et al., 2023](#)). The high polarity of H_2O also favours lipids (nonpolar or hydrophobic) to aggregate and stay together, forming biological barriers, e.g., cell membranes ([Pratt et al., 2016](#)). The H_2O also exhibits cohesion, favoring large molecules' stability ([Nilsson & Pettersson, 2015](#)).

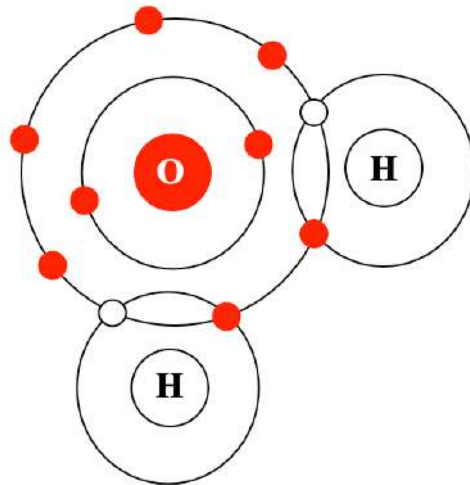


Figure 2. Water (H_2O)

Source Own Work

The O_2 is a molecule formed by two atoms of oxygen, 1O_2 , joined to complete eight "octet" electrons (Figure 3), in their outer orbital or valence shell (Greer, 2006). It is an essential element for breathing, which is why we have always considered it synonymous with life, freedom, and relief, when it also makes us sick, age, and die (Sies, 2015). The latter is due to the formation of reactive oxygen species (ROS) (Sies *et al.*, 2022).

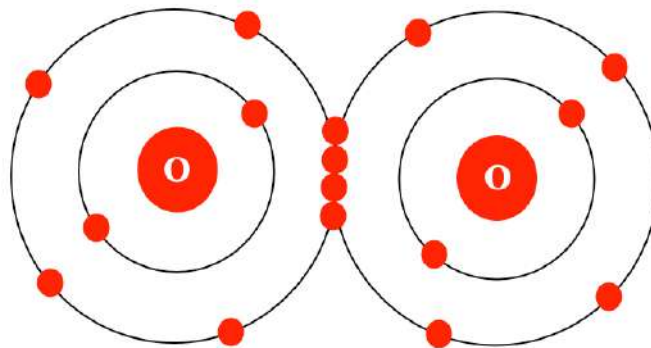


Figure 3. Dioxygen gas (O_2)

Source Own Work

CO_2 is a molecule formed by two atoms 1O_2 joined to complete eight "octet" electrons (Figure 4), in their outer orbital or valence shell with a C atom, which has four electrons in its external orbital (Sullivan *et al.*, 2021).

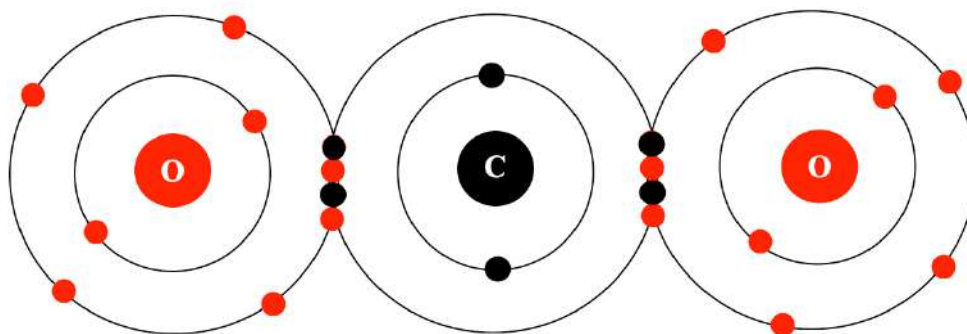


Figure 4. Carbon dioxide (CO₂)

Source Own Work

All these molecules are formed by biochemical bonds exchanging or sharing electrons between two or more atoms ([Gawthrop et al., 2015](#)). The H-bond is a weak chemical bond formed by electromagnetic interactions between the oxide, the N³⁻, and the hydrogen ([Weiss et al., 2001](#)). A covalent bond is a strong chemical bond, where the atoms being bonded share electrons to acquire a stable configuration, to complete eight "octet" electrons in their external orbital or valence shell ([Chakma & Konkolewicz, 2019](#)). An ionic bond is a weak chemical bond between atoms, formed by electrostatic interactions (opposite charges) that allow ionization in aqueous solutions ([Luxford & Bretz, 2013](#)). Hydrophobic interaction is a weak chemical bond between atoms that forms when nonpolar (hydrophobic) molecules form tightly bonded bonds in a polar environment with H₂O interaction ([Tanaka, 2000](#); [Xiao et al., 2020](#)). They play an essential role in the stability of cell membranes ([Gawthrop et al., 2015](#)). Finally, van der Waals forces are a weak chemical bond between atoms, formed by attractive forces that occur when electrons are within three to four angstroms ([Castellanos et al., 2022](#)). They are important in bonding enzymes with substrates and the interactions between aa and nucleotides ([Matyushov, 2022](#)).

Monomers and polymers

Molecules of metabolic importance are classified mainly into two: i) monomers or small molecules linked by covalent bonds, and ii) polymers or macromolecules (usually organic) formed by the union of several monomers ([Helmut, 2021a](#)). Through the chemical process called polymerization, monomers are chemically grouped. Monomers are joined together individually, as are dimers, trimers, tetramers, and pentamers ([Moazzen & McKellar, 2013](#)). Monomers are joined through H-bonds, ionic bonds, hydrophobic interactions, and van der Waals forces ([Gawthrop et al., 2015](#)). Therefore:



1. Monosaccharides are the monomers of polysaccharide polymers (Chandel, 2021a).
2. AAs are the monomers of protein polymers (Ling *et al.*, 2023).
3. Fatty acids are the monomers of lipid polymers (Stavila *et al.*, 2023).
4. Nucleotides are the monomers of DNA and RNA polymers (Chandel, 2021b).

The biochemical bond of monosaccharides is the O-glycosidic bond, the union between two or more monosaccharides through a condensation "dehydration" of their OH group (Xin & Weigang, 2016). As a result, a molecule of H₂O is lost, and an ether bond is formed. The C₆H₁₂O₆ (Figure 5) is the principal organic monosaccharide in nature (Chandel, 2021a).

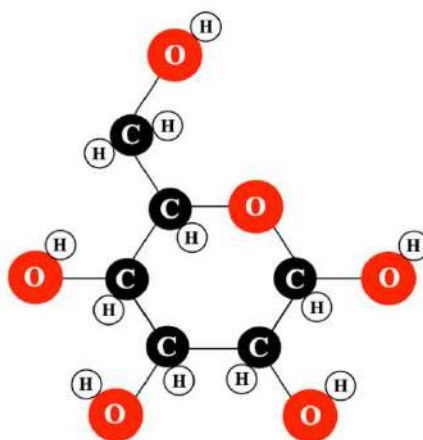


Figure 5. Glucose (C₆H₁₂O₆)

Source Own Work

It is the primary substrate for the synthesis of structural polysaccharides e.g., cellulose, and energy storage polysaccharides e.g., starch (composed of amylose and amylopectin and contained in the endosperm of seed plants) and glycogen (contained in the vacuoles of hepatocytes and in the vacuoles of myocytes) (Schombs & Gervay, 2016). The biochemical bond of aa is the peptide bond, which is the union between the NH₂ group of one aa and the COOH group of another, accompanied by the formation of a molecule of H₂O (Hansen *et al.*, 2002). This is a "dehydration" condensation, so a molecule of H₂O is lost, and a covalent bond CO-NH is formed (Nissen *et al.*, 2000) (Figure 6).

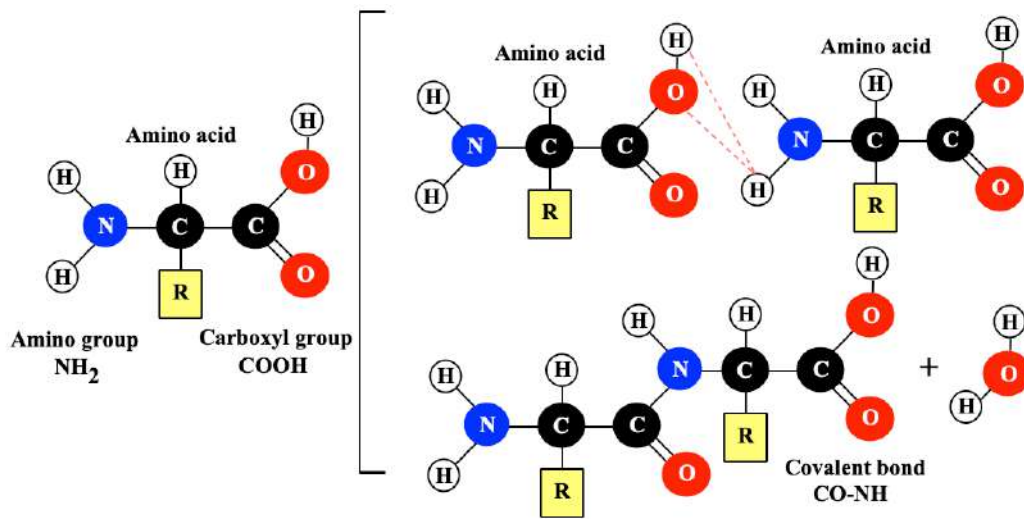


Figure 6. Amino acid, covalent bond (CO-NH)

Source Own Work

The biochemical bond of fatty acid is the ester bond, which is the union between the OH group of a monosaccharide, e.g., glycerol ($C_3H_8O_3$), and the COOH group of a fatty acid, accompanied by the formation of a molecule of H_2O (He *et al.*, 2023). This occurs through dehydration condensation, so a molecule of H_2O is lost, and a covalent bond COO-CH is formed (Nissen *et al.*, 2000). This bond prevents the polar groups from becoming accessible (Roussy *et al.*, 2023). Therefore, nonpolar (hydrophobic) and highly insoluble molecules are formed (Nilsson & Pettersson, 2015).

The biochemical bond of nucleotide is the phosphodiester bond (Figure 7), which is the union between the OH group of a five-carbon monosaccharide (aldopentose: ribose or deoxyribose) and a PO_3^{2-} group (Chandel, 2021b). The pentose was previously linked to the NH_2 group of a pyrimidine nitrogenous base: cytosine, thymine, and uracil, or a purine nitrogenous base: adenine and guanine, forming a nucleoside (Bailey, 2022b).

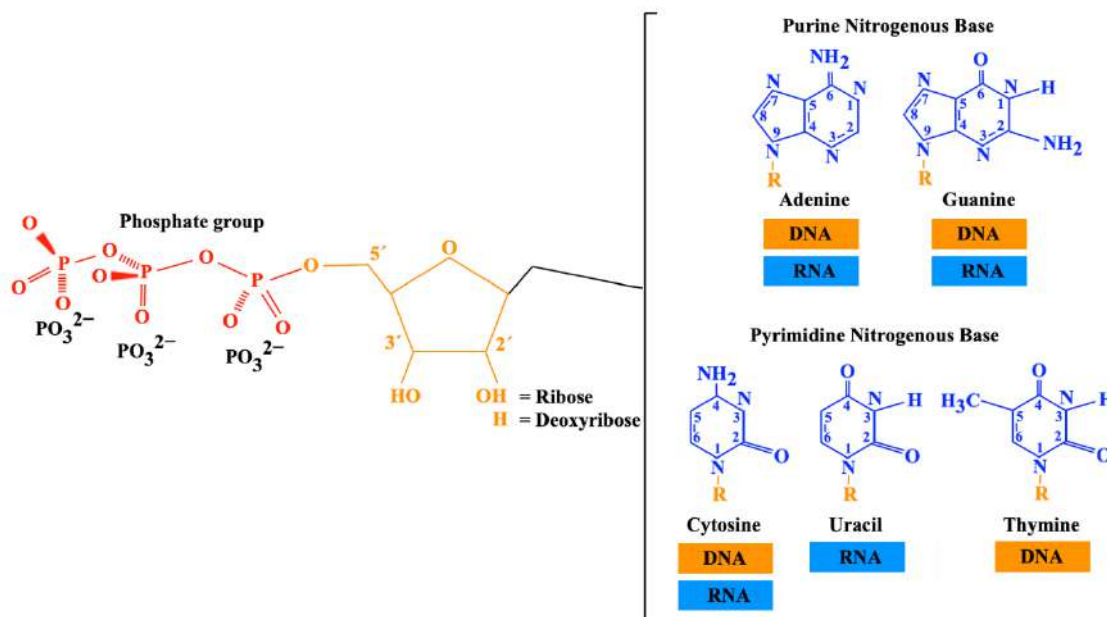


Figure 7. Nucleotide with phosphodiester bond

Source Own Work

The pH indicates the concentration of hydrogen present in specific solutions (Proksch, 2018). Therefore, acid dissociation is when acids release a hydrogen atom upon contact with H₂O (Nordness & Brennecke, 2020). Usually reversibly, resulting in a negatively charged ion (anion) and a positively charged ion (cation) (Yuan *et al.*, 2025). The equilibrium between hydrogen released by an acid in an aqueous medium and the hydrogen received by a conjugate base indicates how strong an acid is (Proksch, 2018). In medical practice, physiological buffers balance the presence of acidic and basic substances to maintain the pH within physiological limits (Salis & Monduzzi, 2016). Among the physiological buffers, the following stand out: i) oxygenated haemoglobin (Hb), which is a very efficient physiological buffer (Giardina, 2022), lowering the proportion of O₂ gaseous, and ii) the hydrogen carbonate/carbonic system, the organism can form hydrogen carbonate (HCO₃⁻) and carbonic (H₂CO₃) anions from CO₂ gaseous (Hwee & See, 2021).

Metabolism of carbohydrates

In the cytoplasm of the eukaryotic cell, various biochemical processes take place, among which the following stand out: i) the phosphorylation of C₆H₁₂O₆ (Nolfi *et al.*, 2020), ii) glycogenogenesis (Pacheco *et al.*, 2021), iii) glycogenolysis-glycolysis (Panja *et al.*, 2013), and iv) the pentose phosphate pathway (TeSlaa *et al.*, 2023). Polysaccharides in food are broken down (O-glycosidic bond cleavage) by amylases produced in the salivary glands (particularly the parotid glands) and the pancreas (Xin & Weigang, 2016). Following this hydrolysis, the monomer C₆H₁₂O₆ is released (Schombs & Gervay, 2016).



The $C_6H_{12}O_6$ enters the cytoplasm to be phosphorylated (addition of PO_3^{2-} group), from adenosine triphosphate (**ATP**) (Fontecilla, 2022). This reaction is catalysed by hexokinase (Frommer *et al.*, 2003). The resulting glucose-6-phosphate ($C_6H_{11}O_9P$) is abundant in all cells, since the vast majority of $C_6H_{12}O_6$ that enters the cytoplasm ends up being phosphorylated, to prevent it from crossing back through the cytoplasmic membrane and diffusing into the extracellular medium (Panja *et al.*, 2013).

In glycogenogenesis or anabolism, the body must store $C_6H_{11}O_9P$ by transforming it into glycogen (Schombs & Gervay, 2016). This process occurs in the cytoplasm of myocytes and hepatocytes (Pacheco *et al.*, 2021). When $C_6H_{11}O_9P$ levels in the cytoplasm are high, phosphoglucomutase transfers the PO_3^{2-} group from carbon C6 to C1, synthesizing glucose-1-phosphate (TeSlaa *et al.*, 2023). Uridine triphosphate (**UTP**), which is generally used as a substrate in RNA synthesis due to its nitrogenous base (uracil), interacts with glucose-1-phosphate in a reaction catalysed by UDP-glucose pyrophosphorylase, forming uridine diphosphate glucose (**UDP-glucose**) and releasing an inorganic pyrophosphate (**PPi**) (Zhang *et al.*, 2020). Insulin activates glycogen synthase 1 expressed in myocytes and/or glycogen synthase 2 expressed in hepatocytes to attach the OH group of UDP-glucose to glycogen (O-glycosidic bond) (Xin & Weigang, 2016), lengthening the polysaccharide and releasing the nucleotide uridine diphosphate (**UDP**) for reuse (Yamamoto *et al.*, 2011).

The pentose phosphate pathway also occurs in the cell cytoplasm and is divided into oxidative and non-oxidative phases (TeSlaa *et al.*, 2023). In the oxidative phase, $C_6H_{11}O_9P$ is dehydrogenated (losing two hydrogen), a reaction catalysed by glucose-6-phosphate dehydrogenase (Stincone *et al.*, 2015). The product is 6-phosphogluconolactone and a molecule of NADPH/ H^+ (Xie *et al.*, 2020). The 6-phosphogluconolactone is hydrolysed (Kruger & von Schaewen, 2003). This reaction is catalysed by 6-phosphogluconolactonase, and the product is 6-phosphoglucanate (TeSlaa *et al.*, 2023). The 6-phosphoglucanate is decarboxylated (elimination of the COOH group), a reaction catalysed by 6-phosphoglucanate dehydrogenase (Stincone *et al.*, 2015). The product is ribulose-5-phosphate (ketopentose), a molecule of NADPH/ H^+ and CO_2 (Kruger & von Schaewen, 2003; TeSlaa *et al.*, 2023). In the non-oxidative phase, depending on the metabolic state of the cell, ribulose-5-phosphate can undergo isomerization [a molecule is transformed into another that has the same atoms, but arranged differently – the carbonyl group (**C=O**) changes location] to ribose 5-phosphate (aldopentose) (Stincone *et al.*, 2015). The main functions of the pentose phosphate pathway are: i) to synthesize five-carbon monosaccharides (aldopentose-P) and ii) to generate NADPH/ H^+ (Xie *et al.*, 2020). The NADPH/ H^+ is the cellular reducing power unit (electron donor) most useful in biochemical reactions (Covarrubias *et al.*, 2021).



Deoxyribonucleic acid and DNA replication

The nucleus is a central organelle in eukaryotic cells, with an average diameter of 6 μm (approximately 10% of total cell volume) (Helmut, 2021b). It contains a cytoplasm-like fluid called the nucleoplasm (Caragine *et al.*, 2019). It contains most of the cell's genetic material through multiple DNA molecules known as chromatin, during the intercellular membrane (Dixon *et al.*, 2016) and chromosomes, during mitosis (Hirano, 2015). DNA is a double-stranded polymer (Figure 8), formed by nucleotides [a 5-carbon monosaccharide (aldopentose deoxyribose), a nitrogenous base: cytosine, guanine, adenine, and thymine, and a PO_3^{2-} group, linked by H-bonds (Bailey, 2022b).

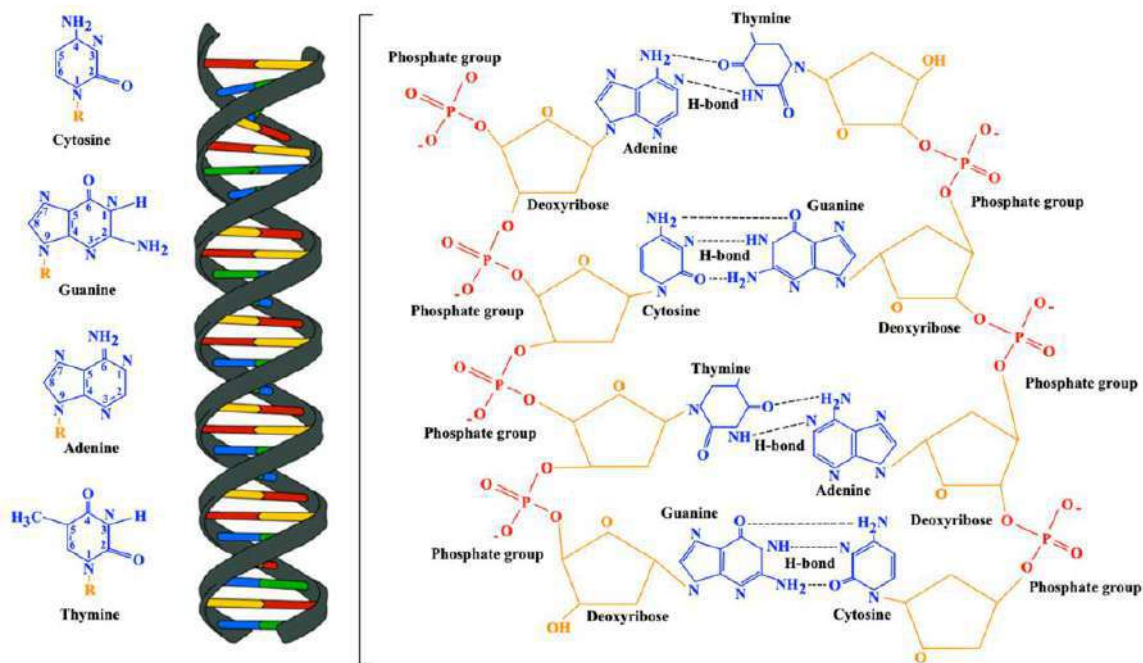


Figure 8. Deoxyribonucleic acid structure

Source Own Work

DNA replication is obtaining two identical copies or replicas of a DNA molecule (Helmut, 2021b). This process is fundamental to transferring genetic information from one generation to the next and, therefore, is the basis of inheritance (Costa & Diffley, 2022). DNA replication requires:

1. DNA gyrase or topoisomerase reduces the molecular tension in DNA caused by supercoiling (Costa & Diffley, 2022).
2. DNA helicase opens DNA like a zipper and breaks the H-bonds between nucleotides (Brosh & Matson, 2020).



3. When H-bonds are broken, replication proteins A or single-stranded deoxyribonucleic acid binding proteins are synthesized as an alternate product. These prevent the strand from rejoining ([Helmut, 2021b](#)).
4. DNA primase synthesizes small RNA fragments of about ten nucleotides, known as primers, used in the laboratory technique of polymerase chain reaction (**PCR**) ([Costa & Diffley, 2022](#)).
5. Due to their exposed OH group, primers establish a starting point for the DNA-polymerase complex to begin synthesis of the new strand ([Fontana & Gahlon, 2020](#)).
6. The T subunit (**tau**) holds two DNA-polymerase complexes together in a single DNA molecule, because in the cell, both double helix strands are duplicated simultaneously ([Helmut, 2021b](#)).
7. DNA polymerase I replaces the primers with complementary nucleotides ([Yao & O'Donnell, 2021](#)).
8. DNA polymerase II is involved in error correction ([Fontana & Gahlon, 2020](#)).
9. DNA polymerase III is responsible for chain elongation ([Yao & O'Donnell, 2021](#)).

Ribonucleic acid and proteogenesis

The rough endoplasmic reticulum and ribosomes are the organelles responsible for protein synthesis ([Opron & Burton, 2018](#)), and the synthesis of hydrolase enzymes, e.g., lipase, esterase, glycogen phosphorylase, and glucose-6-phosphatase, peptidase or protease, aminotransferase, and nuclease ([Busto *et al.*, 2010](#)). Ribosomes have an A site, aminoacyl, and P site or peptidyl ([Hoffmann *et al.*, 2022](#)). RNA is a single-stranded polymer (Figure 9), formed by ribonucleotides [a 5-carbon monosaccharide (aldopentose ribose), a nitrogenous base: cytosine, guanine, adenine, and uracil, and a PO_3^{2-} group, linked by phosphodiester bonds ([Helmut, 2021c](#); [Bailey, 2022b](#)).

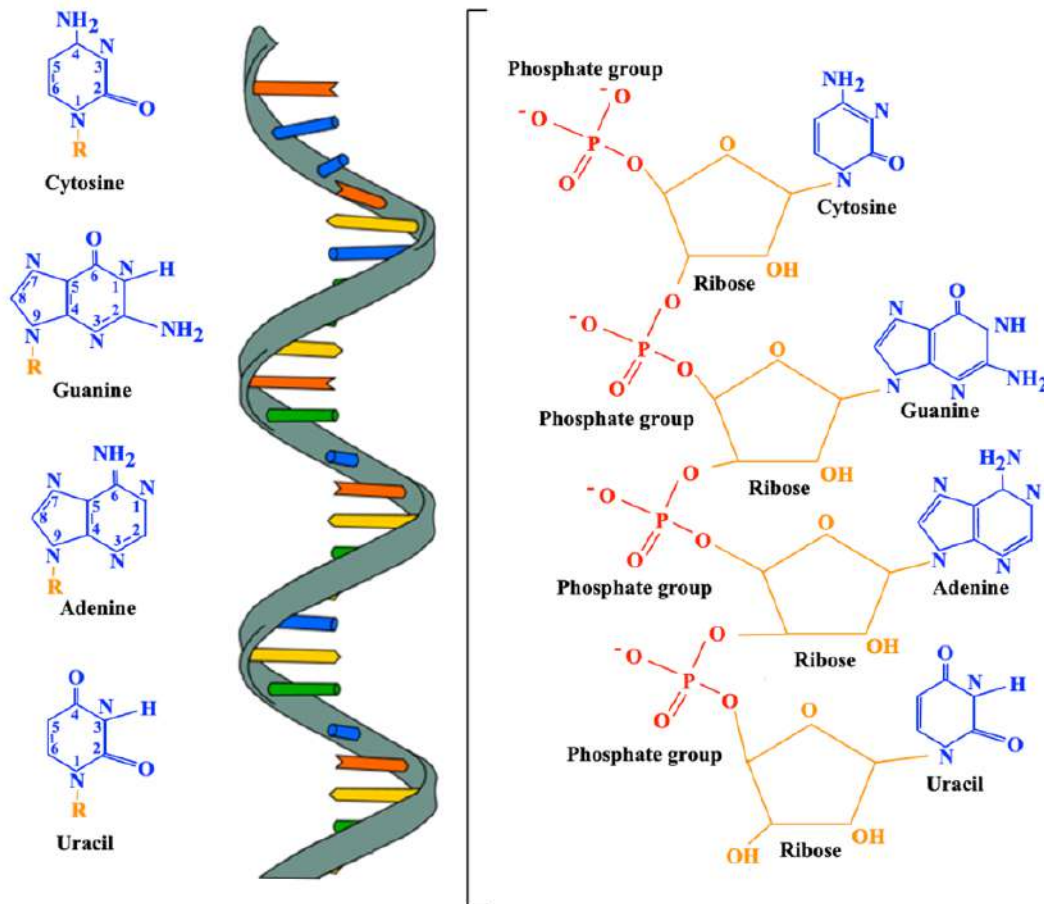


Figure 9. Ribonucleic acid structure

Source Own Work

Proteogenesis (Figure 10) begins when RNA polymerase catalyses mRNA transcription in the 5' to 3' direction (Nagao *et al.*, 2023). The mRNA carries genetic information in codons (triplet nucleotides) to the ribosomes (Komar, 2016). Polymerase III catalyses the transcription of tRNA in the 3' to 5' direction (Arimbasseri & Maraia, 2016). The tRNA transfers its anticodons to the aa to adapt them to their corresponding codon (Helmut, 2021c), following the genetic code for translating a protein.

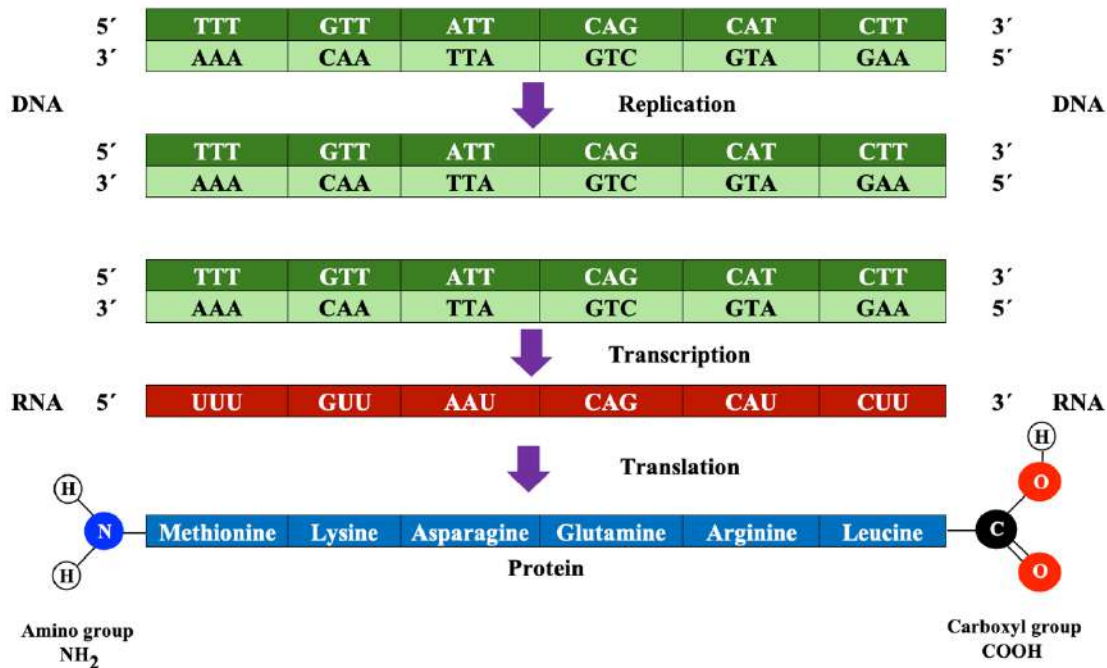


Figure 10. Replication, transcription, and protein translation

Source Own Work

Proteins are translated from the NH₂ group in the A site or aminoacyl to the COOH group in the P site or peptidyl (Nagao *et al.*, 2023). The polypeptide chain elongates via peptide bonds (Hansen *et al.*, 2002). Upon completion of protein translation, the mRNA is released and can be read by other ribosomes (Opron & Burton, 2018).

Fatty acids and lipogenesis

Lipogenesis requires the production of acetyl-Coenzyme A in the mitochondria (Cross *et al.*, 2023). However, the mitochondrial membrane is impermeable to the passage of acetyl-Coenzyme A (Nolfi *et al.*, 2020). Therefore, the tricarboxylate system and the enzymatic action of citrate synthase are also required to convert acetyl-Coenzyme A into citrate and allow its passage into the cell cytoplasm (Nematbakhsh *et al.*, 2021). Once inside the cytoplasm, citrate is transformed again into acetyl-Coenzyme A by the Liasa ATP-Citrate, obtaining oxaloacetate and diphosphate adenosine (ADP) (Berger & Moon, 2021). As the process for the synthesis of fatty acids is very endergonic, it accumulates energy from C, acetyl-Coenzyme to present carboxylation, a COOH group is structured in the molecule, through its junction with the HCO₃⁻ in a reaction catalysed by acetyl-Coenzyme to carboxylase (Jeon *et al.*, 2023).

As a result, acetyl-Coenzyme A becomes malonyl-Coenzyme with a functional COOH group (Cross *et al.*, 2023). From this moment on, lipogenesis (synthesis of fatty acids) is performed by elongation, using the protein of fatty acid synthase (Nematbakhsh *et al.*,



2021). This protein complex causes condensation, dehydration, and reduction (Berger & Moon, 2021). During the elongation, the malonyl-Coenzyme suffers a decarboxylation and groups of two carbons, to the fatty acid, always obtaining as a final product palmitic (C16:0) (Jeon *et al.*, 2023). Subsequently, C16:0 is released from the protein complex of fatty acid synthase and can be elongated, with the introduction of carbons, to produce other larger and/or unsaturated fatty acid molecules, with the introduction of double bonds between carbons (Jump, 2009). The synthesis of triacylglycerols begins with the esterification of three fatty acids to a C₃H₈O₃, inside the smooth endoplasmic reticulum (Nematbakhsh *et al.*, 2021). The Golgi apparatus is the organelle responsible for assembling and packaging proteins and lipids for their export outside the cell through regulated and constitutive exocytosis (Nakano, 2022). It is also responsible for protein glycosylation by hydrolases synthesized in the rough endoplasmic reticulum, and lipid glycosylation (Gamblin *et al.*, 2009; Hirata & Kizuka, 2021; Li *et al.*, 2022).

Protein glycosylation is the addition of a carbohydrate chain to a protein, e.g., peptidoglycan, proteoglycan, and glycoprotein (Kajihara *et al.*, 2016). Depending on the site of carbohydrate addition, there are three types of glycoproteins:

1. N-glycoprotein: carbohydrates are attached to the NH₂ group (Hirata & Kizuka, 2021).
2. O-glycoprotein: aa are attached to the OH group of monosaccharides (Li *et al.*, 2022).
3. C-glycoprotein: carbohydrates are attached to the COOH group of the aa (Gamblin *et al.*, 2009).

Lipid glycosylation is the addition of a carbohydrate chain to a lipid (Kopitz, 2017).

Regulated exocytosis is responsible for expelling molecules stored in vesicles from the Golgi apparatus, the contents of which are only released after an extracellular signalling process, e.g., calcium (Ca²⁺) concentration (Nakano, 2022). Constitutive exocytosis is responsible for expelling molecules from the vesicles of the Golgi apparatus to regenerate the eukaryotic cytoplasmic membrane through a continuous process of vesicle replication, translocation, and fusion (Sugita, 2008).

Digestion of the main biological polymers

Glycogenolysis occurs in almost all tissues, especially muscle and the liver (Panja *et al.*, 2013). When C₆H₁₂O₆ levels in the blood are low, adrenaline (epinephrine) in the muscle and glucagon in the liver activate protein kinases, which phosphorylate (transfer of a PO₃²⁻ group) glycogen phosphorylase, which activates glycogen phosphorylase (Verberne *et al.*, 2016). Glycogen phosphorylase catalyses the transfer of an inorganic orthophosphate at C1 of glycogen (Agius, 2015). This change breaks the O-glycosidic bond and releases glucose-1-phosphate (Busto *et al.*, 2010). Glucose-1-phosphate is transformed into



$C_6H_{11}O_9P$. This reaction is catalysed by phosphoglucomutase, which transfers the PO_3^{2-} group from C1 to C6 (Doello & Forchhammer, 2023). Glycolysis consists of the catabolism of $C_6H_{11}O_9P$ to obtain acetyl-Coenzyme A, from $C_3H_3O_3$. The $C_3H_3O_3$ leaves the cytoplasm and enters the mitochondrial matrix, utilizing the proton-motive force generated by the respiratory chain (Nolfi *et al.*, 2020). Oxidative decarboxylation of $C_3H_3O_3$ occurs inside the mitochondria (Pacheco *et al.*, 2021). The COOH group is released as CO_2 , and the remainder of the molecule undergoes dehydrogenation (oxidation), forming the acetyl group (**COCH₃**). This reaction is catalysed by pyruvate dehydrogenase (Wang *et al.*, 2021). Coenzyme A, ADP, and cysteine are transferred to the COCH₃ group, forming acetyl-Coenzyme A. Lipid catabolism in the digestive tract processes exogenous or ingested lipids from the diet. This digestive process produces the NEFAs, which are necessary for synthesizing acetyl-Coenzyme A and other biomolecules formed from them (Stich & Berlan, 2004).

The Krebs cycle

The Krebs cycle is part of cellular (mitochondrial) respiration (Chakrabarty & Chandel, 2022). The process releases the energy stored in acetyl-coenzyme A in the form of ATP (Fontecilla, 2022). Hans Adolf Krebs discovered the Krebs cycle. Acetyl-Coenzyme A gives up its COCH₃ group when combined with oxaloacetate to form citrate via a condensation reaction. Hydrolysis, oxidative decarboxylation, and hydration convert citrate into oxaloacetate (Nolfi *et al.*, 2020); the carbon atoms are released as CO_2 (Chakrabarty & Chandel, 2022). The cycle consumes one acetyl-Coenzyme A and three nicotinamide adenine dinucleotide phosphates in their oxidized form (**NAD⁺**) per cycle (Covarrubias *et al.*, 2021). The cycle produces two CO_2 and three NADPH/ H^+ per cycle (Chakrabarty & Chandel, 2022). For each acetyl-Coenzyme A that enters the Krebs cycle, 12 ATP are produced. For every $C_6H_{12}O_6$, two $C_3H_3O_3$ are produced, producing two acetyl-Coenzyme A. Therefore, each $C_6H_{12}O_6$ in the Krebs cycle produces four CO_2 , six NADPH+ H^+ , and 24 ATP (Fontecilla, 2022).

CONCLUSIONS

This manuscript provides a concise overview of key concepts in medical biochemistry, highlighting the importance of molecular bonds, cellular metabolism, and biomolecular synthesis. It emphasizes pathways such as carbohydrate and lipid metabolism, DNA/RNA synthesis, and redox regulation, aiming to enhance understanding and diagnostic skills essential for clinical practice. offers a comprehensive overview of fundamental aspects of medical biochemistry, emphasizing the interconnectedness of atomic structure, molecular bonds, and the complexity of cellular metabolism. It highlights the significance of water and biochemical bonds in maintaining structural stability and facilitating biochemical reactions crucial for cellular function. The review underscores the pivotal roles of



carbohydrates, amino acids, fatty acids, and nucleotides in energy production, biosynthesis, and metabolic regulation. Key pathways such as glycogenogenesis, glycolysis, the pentose phosphate pathway, and lipid metabolism are explored in detail, illustrating how cells generate, store, and utilize vital biomolecules to meet physiological demands. Furthermore, the manuscript delves into molecular mechanisms of DNA and RNA synthesis, structural dynamics during protein translation, and the importance of redox biology and reactive oxygen species in maintaining cellular homeostasis. All these metabolic processes are integrated and regulated by enzymes, and energy is continuously released and consumed. These topics emphasize the complexity of biochemical regulation and its relevance to health and disease. Biomedical research advances integrate deeper understanding of biochemical principles, integrating structural chemistry, enzymology, and cellular biology to support clinical problem-solving skills to maintain its utility in medical education and practice.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest. They have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence in this chapter.

Author contribution

García-Casillas Arturo. Writing original draft.
Hernández-Rivera Juan. Review and correction.
Tirado-González Deli. Data curation and supervision.
Pérez-González Jairo. Review and correction.
Carrillo-Díaz María. Data curation and supervision.
Prado-Rebolledo Omar. Review and correction.

Funding

This research was funded by the Academic Body: UCOL-CA-11 Production Systems Agriculture, by the Network of Advances in Agricultural Research in Mexico, and the Secretariat of Science, Humanities, Technology, and Innovation (SECIHTI-Mexico).

Acknowledgements

In memory of Dra. María Guadalupe Prado-Flores.



REFERENCES

- AGIUS L. 2015. Role of glycogen phosphorylase in liver glycogen metabolism. *Molecular Aspects of Medicine*. 46(1):34-45. ISSN: 1872-9452.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mam.2015.09.002>
- ALKORTA I, Elguero J, Frontera A. 2020. Not only hydrogen bonds: other noncovalent interactions. *Crystals*. 10(10):1-29. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cryst10030180>
- ARIMBASSERI AG, Maraia RJ. 2016. RNA polymerase III advances: structural and tRNA functional views. *Trends in Biochemical Sciences*. 41(6):546-559. ISSN: 0968-0004.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibs.2016.03.003>
- BAILEY J. 2022a. Chapter 7. History of the atom, 1803-1932. In: Bailey J, *Inventive geniuses who changed the world*. New York, United States: Springer Cham. Pp.173-201. ISBN: 978-3-030-81380-2. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-81381-9>
- BAILEY J. 2022b. Chapter 12. Nucleosides, nucleotides, polynucleotides (RNA and DNA) and the genetic code. In: Bailey J, *Inventive geniuses who changed the world*. New York, United States: Springer Cham. Pp. 313-340. ISBN: 978-3-030-81380-2.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-81381-9>
- BERETTA M. 2024. Lavoisier and the history of Chemistry. *Society for the History of Alchemy and Chemistry Ambix*. 71(2):209-224. ISSN: 1745-8234.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00026980.2024.2324618>
- BERGER JM, Moon YA. 2021. Increased hepatic lipogenesis elevates liver cholesterol content. *Molecules and Cells*. 44(2):116-125. ISSN: 0219-1032.
<https://doi.org/https://doi.org/10.14348/molcells.2021.2147>
- BROSH RM, Jr. Matson SW. 2020. History of DNA helicases. *Genes*. 11(3):1-15. ISSN: 2073-4425. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/genes11030255>
- BROWN ID. 2023. A rigorous theory of valence. *Structural Chemistry*. 34(2):361-389. ISSN: 1040-0400. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11224-023-02128-w>
- BUSTO E, Gotor FV, Gotor V. 2010. Hydrolases: catalytically promiscuous enzymes for non-conventional reactions in organic synthesis. *Chemical Society Reviews*. 39(11):4504-4523. ISSN: 1460-4744. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/C003811C>



CARAGINE CM, Haley SC, Zidovska A. 2019. Nucleolar dynamics and interactions with nucleoplasm in living cells. *Elife*. 8(26):1-21. ISSN: 2050-084X.

<https://doi.org/https://doi.org/10.7554/eLife.47533>

CASTELLANOS GA, Duan X, Fei Z, Gutiérrez HR, Huang Y, Huang X, Quereda J, Qian Q, Sutter E, Sutter P. 2022. Van der Waals heterostructures. *Nature Reviews Methods Primers*. 2(1):58-63. ISSN: 2662-8449. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s43586-022-00139-1>

CHAKMA P, Konkolewicz D. 2019. Dynamic covalent bonds in polymeric materials. *Angewandte Chemie International Edition*. 58(29):9682-9695. ISSN: 1521-3773.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/anie.201813525>

CHAKRABARTY RP, Chandel NS. 2022. Beyond ATP, new roles of mitochondria. *Biochemical (London)*. 44(4):2-8. ISSN: 0954-982X.

https://doi.org/https://doi.org/10.1042/bio_2022_119

CHANDEL NS. 2021a. Carbohydrate metabolism. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 13(1):1-10. ISSN: 1943-0264.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1101/cshperspect.a040568>

CHANDEL NS. 2021b. Nucleotide metabolism. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 13(7):1-17. ISSN: 1943-0264.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1101/cshperspect.a040592>

CHEN Q, Dwyer C, Sheng G, Zhu C, Li X, Zheng C, Zhu Y. 2020. Imaging beam-sensitive materials by electron microscopy. *Advanced Materials*. 32(16):e1907619. ISSN: 1521-4095. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adma.201907619>

COSTA A, Diffley JFX. 2022. The initiation of eukaryotic DNA replication. *Annual Review of Biochemistry*. 91(1):107-131. ISSN: 1545-4509.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-072321-110228>

COVARRUBIAS AJ, Perrone R, Grozio A, Verdin E. 2021. NAD(+) metabolism and its roles in cellular processes during ageing. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 22(2):119-141. ISSN: 1471-0080. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41580-020-00313-x>

CROSS E, Dearlove DJ, Hodson L. 2023. Nutritional regulation of hepatic de novo lipogenesis in humans. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 26(2):65-71. ISSN: 1473-6519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000914>



CUI Q, Harshman J. 2022. A simple approach for beginners to drawing Lewis structures, resonance forms, and isomers. *ChemRxiv*. 1(1):1-8.

<https://doi.org/https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2022-m4ffd>

DIXON JR, Gorkin DU, Ren B. 2016. Chromatin domains: the unit of chromosome organization. *Molecular Cell*. 62(5):668-680. ISSN: 1097-4164.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molcel.2016.05.018>

DOELLO S, Forchhammer K. 2023. Phosphoglucomutase comes into the spotlight. *Journal of Experimental Botany*. 74(5):1293-1296. ISSN: 1460-2431.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jxb/erac513>

EL-SHORBAGY MA, Bouaouda A, Abualigah L, Hashim FA. 2025. Atom search optimization: a comprehensive review of its variants, applications, and future directions. *PeerJ Computer Science*. 11(1):e2722. ISSN: 2376-5992.

<https://doi.org/https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2722>

FONTANA GA, Gahlon HL. 2020. Mechanisms of replication and repair in mitochondrial DNA deletion formation. *Nucleic Acids Research*. 48(20):11244-11258. ISSN: 1362-4962.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/nar/gkaa804>

FONTECILLA CJC. 2022. The complex roles of adenosine triphosphate in bioenergetics. *Chembiochem*. 23(10):e202200064. ISSN: 1439-7633.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cbic.202200064>

FROMMER WB, Schulze WX, Lalonde S. 2003. Hexokinase, jack-of-all-trades. *Science*. 300(5617):261-263. ISSN: 1095-9203.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1126/science.1084120>

GAMBLIN DP, Scanlan EM, Davis BG. 2009. Glycoprotein synthesis: an update. *Chemical Reviews*. 109(1):131-163. ISSN: 1520-6890.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1021/cr078291i>

GAWTHROP PJ, Cursons J, Crampin EJ. 2015. Hierarchical bond graph modelling of biochemical networks. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 471(2184):20-31. ISSN: 1364-5021.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rspa.2015.0642>

GIARDINA B. 2022. Hemoglobin: multiple molecular interactions and multiple functions. An example of energy optimization and global molecular organization. *Molecular Aspects of Medicine*. 84(1):10-21. ISSN: 1872-9452.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mam.2021.101040>



GREER A. 2006. Christopher Foote's discovery of the role of singlet oxygen [$^1\text{O}_2$ (1Delta g)] in photosensitized oxidation reactions. *Accounts of Chemical Research*. 39(11):797-804. ISSN: 0001-4842. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/ar050191g>

GRICE JW, Jones IT. 2024. Iconic models in science and psychology. *Theory & Psychology*. 34(6):815-835. ISSN: 0959-3543. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/09593543241287748>

GUTIÉRREZ BSA. 2023. Teaching proposal to promote the construction of representations of Gilbert Newton Lewis chemical bonds through models in 10th grade students. *Revista Electrónica EDUCyT*. 14:629-635. <https://die.udistrital.edu.co/revistas/index.php/educyt/article/view/343>

HANSEN JL, Schmeing TM, Moore PB, Steitz TA. 2002. Structural insights into peptide bond formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 99(18):116-125. ISSN: 0027-8424. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.172404099>

HARGITTAI I. 2023. Structural chemistry-tools and concepts. *Structural Chemistry*. 34(2):355-359. ISSN: 1040-0400. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11224-023-02143-x>

HE Q, Chen Y, Wang Z, He H, Yu P. 2023. Cellular uptake, metabolism and sensing of long-chain fatty acids. *Frontiers in Bioscience-Landmark*. 28(1):10-20. ISSN: 2768-6698 <https://doi.org/https://doi.org/10.31083/j.fbl2801010>

HELMUT S. 2021a. Chapter 1. Molecular biology of the cell. In: Helmut S, *Biophysics for beginners. A journey through the cell nucleus*. New York, United States: Jenny Stanford Publishing. Pp. 1-18. ISBN: 978-1-25-983793-7. <https://doi.org/10.1201/9781003223108>

HELMUT S. 2021b. Chapter 4. DNA. In: Helmut S, *Biophysics for beginners. A journey through the cell nucleus*. New York, United States: Jenny Stanford Publishing. Pp. 34-77 ISBN: 978-1-25-983793-7. <https://doi.org/10.1201/9781003223108>

HELMUT S. 2021c. Chapter 6. RNA and protein folding. In: Helmut S, *Biophysics for beginners. A journey through the cell nucleus*. New York, United States: Jenny Stanford Publishing. Pp. 97-113. ISBN: 978-1-25-983793-7. <https://doi.org/10.1201/9781003223108>

HIRANO T. 2015. Chromosome dynamics during mitosis. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 7(6). ISSN: 1943-0264. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/cshperspect.a015792>



HIRATA T, Kizuka Y. 2021. N-Glycosylation. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 1325(1):3-24. ISSN: 0065-2598. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-70115-4_1

HOFFMANN PC, Kreysing JP, Khusainov I, Tuijtel MW, Welsch S, Beck M. 2022. Structures of the eukaryotic ribosome and its translational states *in situ*. *Nature Communications*. 13(1):7435. ISSN: 2041-1723.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41467-022-34997-w>

HREN M, Božič M, Fakin D, Kleinschek KS, Gorgieva S. 2021. Alkaline membrane fuel cells: anion exchange membranes and fuels. *Sustainable Energy & Fuels*. 5(3):604-637. ISSN: <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/D0SE01373K>

HWEE MC, See ZH. 2021. PhyGeometry: organizing physiology. *BLDE University Journal of Health Sciences*. 6(2):111-114. ISSN: 2468-838X.
https://doi.org/https://doi.org/10.4103/bjhs.bjhs_112_20

JEON YG, Kim YY, Lee G, Kim JB. 2023. Physiological and pathological roles of lipogenesis. *Nature Metabolism*. 5(5):735-759. ISSN: 2522-5812.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s42255-023-00786-y>

JUMP DB. 2009. Mammalian fatty acid elongases. *Methods in Molecular Biology*. 579(1):375-389. ISSN: 1940-6029. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-60761-322-0_19

KAJIHARA Y, Murakami M, Unverzagt C. 2016. Chapter 11. Chemical glycoprotein synthesis. In: Shang CH , Zulueta MLM, *Glycochemical synthesis: strategies and applications*. Washington, United States: John Wiley & Sons, Inc. Pp. 263-292. ISBN: 9781118299845. <https://doi.org/10.1002/9781119006435.ch11>

KAMBAS L. 2025. Antoine-Laurent Lavoisier's 'sur la nature de l'eau': an annotated english translation. *Annals of Science*. 82(1):102-132. ISSN: 1464-505X.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00033790.2023.2289531>

KLEIN U. 2015. A revolution that never happened. *Studies in History and Philosophy of Science*. 49(1):80-90. ISSN: 0039-3681.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2014.11.003>

KOMAR AA. 2016. The yin and yang of codon usage. *Human Molecular Genetics*. 25(R2):R77-R85. ISSN: 1460-2083 <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/hmg/ddw207>



KOPITZ J. 2017. Lipid glycosylation: a primer for histochemists and cell biologists. *Histochemistry and Cell Biology*. 147(2):175-198. ISSN: 1432-119X.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00418-016-1518-4>

KRUGER NJ, von Schaewen A. 2003. The oxidative pentose phosphate pathway: structure and organisation. *Current Opinion in Plant Biology*. 6(3):236-246. ISSN: 1369-5266. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00039-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00039-6)

L'ANNUNZIATA FM. 2022. Chapter 1 - Birth of modern Physics: from the discovery of radioactivity to the discovery of the proton, electron, and atomic nucleus. In: L'Annunziata FM, *Radioactivity. History, Science, Vital Uses and Ominous Peril*. Meriden, United States: Elsevier. Pp. 115-167. ISBN: 978-1-25-983793-7. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90440-7.00002-8>

LACASSE S. 2023. Charles Augustin de Coulomb, the artisan of modern geotechnical engineering. *Revue Française de Géotechnique*. 1(175):9-18. ISSN: 0181-0529.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1051/geotech/2023006>

LI CH, Zuo JL. 2020. Self-healing polymers based on coordination bonds. *Advanced Materials*. 32(27):e1903762. ISSN: 1521-4095.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adma.201903762>

LI J, Guo B, Zhang W, Yue S, Huang S, Gao S, Ma J, Cipollo JF, Yang S. 2022. Recent advances in demystifying O-glycosylation in health and disease. *Proteomics*. 22(23):e2200156. ISSN: 1615-9861.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pmic.202200156>

LI X, Ji M, Li H, Wang H, Xu M, Rong H, Wei J, Liu J, Chen W. 2020. Cation/anion exchange reactions toward the syntheses of upgraded nanostructures: principles and applications. *New Materialist Research*. 2(3):554-586. ISSN: 2590-2393.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matt.2019.12.024>

LING ZN, Jiang YF, Ru JN, Lu JH, Ding B, Wu J. 2023. Amino acid metabolism in health and disease. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 8(1):345-351. ISSN: 2059-3635.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41392-023-01569-3>

LUXFORD CJ, Bretz SL. 2013. Moving beyond definitions: what student-generated models reveal about their understanding of covalent bonding and ionic bonding. *Chemistry Education Research and Practice*. 14(2):214-222.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1039/C3RP20154F>



MATYUSHOV DV. 2022. War and peace between electrostatic and van der Waals forces regulate translational and rotational diffusion. *Journal of Chemical Physics*. 157(8):12-23. ISSN: 1089-7690. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0098506>

MOAZZEN AN, McKellar A. 2013. Spectroscopy of dimers, trimers and larger clusters of linear molecules. *International Reviews in Physical Chemistry*. 32(4):611-650. ISSN: 0144-235X. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/0144235X.2013.813799>

NAGAO A, Nakanishi Y, Yamaguchi Y, Mishina Y, Karoji M, Toya T, Fujita T, Iwasaki S, Miyauchi K, Sakaguchi Y, Suzuki T. 2023. Quality control of protein synthesis in the early elongation stage. *Nature Communications*. 14(1):27-34. ISSN: 2041-1723. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41467-023-38077-5>

NAKANO A. 2022. The Golgi apparatus and its next-door neighbors. *Front Cell Dev Biol*. 10(1):88-94. ISSN: 2296-634X. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fcell.2022.884360>

NEMATBAKHS S, Pei Pei C, Selamat J, Nordin N, Idris LH, Abdull Razis AF. 2021. Molecular regulation of lipogenesis, adipogenesis and fat deposition in chicken. *Genes*. 12(3):1-19. ISSN: 2073-4425. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/genes12030414>

NILSSON A, Pettersson LG. 2015. The structural origin of anomalous properties of liquid water. *Nature Communications*. 6(1):1-12. ISSN: 2041-1723. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/ncomms9998>

NISSEN P, Hansen J, Ban N, Moore PB, Steitz TA. 2000. The structural basis of ribosome activity in peptide bond synthesis. *Science*. 289(5481):920-930. ISSN: 0036-8075. <https://doi.org/https://doi.org/10.1126/science.289.5481.920>

NOLFI DD, Braganza A, Shiva S. 2020. Mitochondrial electron transport chain: oxidative phosphorylation, oxidant production, and methods of measurement. *Redox Biology*. 37(1):10-17. ISSN: 2213-2317. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101674>

NORDNESS O, Brennecke JF. 2020. Ion dissociation in ionic liquids and ionic liquid solutions. *Chemical Reviews*. 120(23):12873-12902. ISSN: 1520-6890. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00373>

OPRON K, Burton ZF. 2018. Ribosome structure, function, and early evolution. *International Journal of Molecular Sciences*. 20(1):1-11. ISSN: 1422-0067. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijms20010040>



PACHECO GV, Caballero ZA, Martínez GS, Prado ROF, García CCA. 2021. Biochemistry and metabolic pathways of polysaccharides, lipids, and proteins. *Abanico veterinario*. 11(1):1-26. ISSN: 2448-6132. <https://doi.org/https://doi.org/10.21929/abavet2021.47>

PANJA S, Patra S, Mukherjee A, Basu M, Sengupta S, Dutta PK. 2013. A closed-loop control scheme for steering steady states of glycolysis and glycogenolysis pathway. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*. 10(4):858-868. ISSN: 1557-9964. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TCBB.2013.82>

POPOVA E, Popov VL. 2021. The legacy of Coulomb and generalized laws of friction. *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*. 20(1):e202000062. ISSN: 1617-7061. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pamm.202000062>

PRATT LR, Chaudhari MI, Rempe SB. 2016. Statistical analyses of hydrophobic interactions: a mini-review. *Journal of Physical Chemistry B* 120(27):6455-6460. ISSN: 1520-5207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b04082>

PRESCOD WC. 2024. Atomic physics for beginners. *New Scientist*. 263(3509):22-30. ISSN: 0262-4079. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(24\)01687-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0262-4079(24)01687-7)

PROKSCH E. 2018. pH in nature, humans and skin. *Journal of Dermatology*. 45(9):1044-1052. ISSN: 1346-8138 <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1346-8138.14489>

RAGAB A. 2025. Recent advances in the synthesis, reaction, and bio-evaluation potential of purines as precursor pharmacophores in chemical reactions: a review. *Royal Society of Chemistry Advances*. 15(5):3607-3645. ISSN: 2046-2069. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/d4ra08271k>

ROUSSY TS, Caldwell L, Wright T, Cairncross WB, Shagam Y, Ng KB, Schlossberger N, Park SY, Wang A, Ye J, Cornell EA. 2023. An improved bound on the electron's electric dipole moment. *Science*. 381(6653):46-50. ISSN: 1095-9203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1126/science.adg4084>

SALIS A, Monduzzi M. 2016. Not only pH. Specific buffer effects in biological systems. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 23(1):1-9. ISSN: 1359-0294. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cocis.2016.04.004>

SARDANS J, Janssens IA, Ciais P, Obersteiner M, Peñuelas J. 2021. Recent advances and future research in ecological stoichiometry. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*. 50(1):1-70. ISSN: 1433-8319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ppees.2021.125611>



SCHOMBS M, Gervay HJ. 2016. Chapter 1. Glycochemistry overview and progress. In: Shang CH , Zulueta MLM, *Glycochemical synthesis: strategies and applications*. Washington, United States: John Wiley & Sons, Inc. Pp. 1-34. ISBN: 9781118299845 <https://doi.org/10.1002/9781119006435.ch1>

SIBLEY JNM. 2021. Chapter 2. Electrostatic fields. In: Sibley JNM, *Introduction to electromagnetism. From Coulomb to Maxwell*. Boca Raton, United States: CRC Press. Pp. 7-56. ISBN: 9780367462703. <https://doi.org/10.1201/9780367462703>

SIES H. 2015. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox Biology*. 4(1):180-183. ISSN: 2213-2317. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002>

SIES H, Belousov VV, Chandel NS, Davies MJ, Jones DP, Mann GE, Murphy MP, Yamamoto M, Winterbourn C. 2022. Defining roles of specific reactive oxygen species (ROS) in cell biology and physiology. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 23(7):499-515. ISSN: 1471-0080. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41580-022-00456-z>

SIES H, Mailloux RJ, Jakob U. 2024. Fundamentals of redox regulation in biology. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 25(9):701-719. ISSN: 1471-0080. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41580-024-00730-2>

SPATOLISANO E, Pellegrini LA, de Angelis AR, Cattaneo S, Roccaro E. 2023. Ammonia as a carbon-free energy carrier: NH₃ cracking to H₂. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 62(28):10813-10827. ISSN: 0888-5885. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c01419>

STAVILA E, Yuliati F, Adharis A, Laksmono JA, Iqbal M. 2023. Recent advances in synthesis of polymers based on palm oil and its fatty acids. *Royal Society of Chemistry Advances*. 13(22):14747-14775. ISSN: 2046-2069. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/d3ra01913f>

STICH V, Berlan M. 2004. Physiological regulation of NEFA availability: lipolysis pathway. *Proceedings of the Nutrition Society*. 63(2):369-374. ISSN: 0029-6651. <https://doi.org/https://doi.org/10.1079/PNS2004350>



STINCONE A, Prigione A, Cramer T, Wamelink MM, Campbell K, Cheung E, Olin-Sandoval V, Gruning NM, Kruger A, Tauqeer Alam M, Keller MA, Breitenbach M, Brindle KM, Rabinowitz JD, Ralser M. 2015. The return of metabolism: biochemistry and physiology of the pentose phosphate pathway. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 90(3):927-963. ISSN: 1469-185X.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/brv.12140>

SUGITA S. 2008. Mechanisms of exocytosis. *Acta Physiologica*. 192(2):185-193. ISSN: 1748-1716. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2007.01803.x>

SULLIVAN I, Goryachev A, Digdaya IA, Li X, Atwater HA, Vermaas DA, Xiang C. 2021. Coupling electrochemical CO₂ conversion with CO₂ capture. *Nature Catalysis*. 4(11):952-958. ISSN: 2520-1158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41929-021-00699-7>

SUNO H, Ohno N. 2024. Virtual hydrogen, a VR hydrogen atomic orbitals viewer in physics and chemistry. *Procedia Computer Science*. 246(1):1710-1719. ISSN: 1877-0509. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.666>

SUNTE J. 2025. Sources of electrons and protons in the universe. *Advancement of Signal Processing and its Applications*. 8(2):1-3.

<https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.15309776>

TANAKA H. 2000. Simple physical model of liquid water. *Journal of Chemical Physics*. 112(2):799-809. ISSN: 0021-9606. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/1.480609>

TESLAA T, Ralser M, Fan J, Rabinowitz JD. 2023. The pentose phosphate pathway in health and disease. *Nature Metabolism*. 5(8):1275-1289. ISSN: 2522-5812.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s42255-023-00863-2>

TURNER KL. 2016. A cost-effective physical modeling exercise to develop students' understanding of covalent bonding. *Journal of Chemical Education*. 93(6):1073-1080. ISSN: 0021-9584. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00981>

VERBERNE AJ, Korim WS, Sabetghadam A, Llewellyn SIJ. 2016. Adrenaline: insights into its metabolic roles in hypoglycaemia and diabetes. *British Journal of Pharmacology*. 173(9):1425-1437. ISSN: 1476-5381 [https://doi.org/ https://doi.org/10.1111/bph.13458](https://doi.org/https://doi.org/10.1111/bph.13458)

WANG X, Shen X, Yan Y, Li H. 2021. Pyruvate dehydrogenase kinases (PDKs): an overview toward clinical applications. *Bioscience Reports*. 41(4):1-12. ISSN: 1573-4935.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1042/BSR20204402>



WEISS MS, Brandl M, Suhnel J, Pal D, Hilgenfeld R. 2001. More hydrogen bonds for the (structural) biologist. *Trends in Biochemical Sciences*. 26(9):521-523. ISSN: 0968-0004. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0968-0004\(01\)01935-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0968-0004(01)01935-1)

XIAO F, Chen Z, Wei Z, Tian L. 2020. Hydrophobic Interaction: a promising driving force for the biomedical applications of nucleic acids. *Advanced Science*. 7(16):20-28. ISSN: 2198-3844. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/advs.202001048>

XIE N, Zhang L, Gao W, Huang C, Huber PE, Zhou X, Li C, Shen G, Zou B. 2020. NAD(+) metabolism: pathophysiologic mechanisms and therapeutic potential. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 5(1):227-235. ISSN: 2059-3635. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41392-020-00311-7>

XIN SY, Weigang L. 2016. Chapter 3. General aspects in O-glycosidic bond formation. In: Shang CH, Zulueta MLM, *Glycochemical synthesis: strategies and applications*. Washington, United States: John Wiley & Sons, Inc. Pp. 69-95. ISBN: 9781118299845. <https://doi.org/10.1002/9781119006435.ch3>

YAMAMOTO T, Koyama H, Kurajoh M, Shoji T, Tsutsumi Z, Moriwaki Y. 2011. Biochemistry of uridine in plasma. *Clinica Chimica Acta*. 412(19-20):1712-1724. ISSN: 1873-3492. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cca.2011.06.006>

YAO NY, O'Donnell ME. 2021. The DNA replication machine: structure and dynamic function. *Subcellular Biochemistry*. 96(1):233-258. ISSN: 0306-0225. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-58971-4_5

YUAN Y, Li J, Zhu Y, Qiao Y, Kang Z, Wang Z, Tian X, Huang H, Lai W. 2025. Water in electrocatalysis. *Angewandte Chemie International Edition in English*. 64(18):e202425590. ISSN: 1521-3773. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/anie.202425590>

ZHANG Y, Guo S, Xie C, Fang J. 2020. Uridine metabolism and its role in glucose, lipid, and amino acid homeostasis. *Biomedical Research International*. 2020(1):70-92. ISSN: 2314-6141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2020/7091718>

Errata Erratum

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-18. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.13>

Revisión de Literatura. Recibido: 16/05/2025. Aceptado:07/12/2025. Publicado: 28/12/2025. Clave: e2025-34.

<https://www.youtube.com/watch?v=Hvh8qP8FHJc>

Recientes avances en el estudio de la termorregulación en animales homeotermos: termogénesis, termólisis y homeostasis térmica



Recent advances in the study of thermoregulation in homeothermic animals: thermogenesis, thermolysis, and thermal homeostasis

Cuchillo-Hilario Mario^{*1,2**} , Díaz-Martínez Margarita¹ , Álvarez-Rodríguez Consuelo² , López Morales Luis² , Delgadillo-Puga Claudia¹ 



¹Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Departamento de Nutrición Animal Dr. Fernando Pérez-Gil Romo. Ciudad de México, México. ²Universidad Nacional Autónoma de México. Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán. Estado de México, México. *Autor responsable: Cuchillo-Hilario Mario **Autor de correspondencia: Cuchillo-Hilario Mario, Vasco de Quiroga 15, Col. Belisario Domínguez Sección XVI, Tlalpan, CP.14080. +52 55 5487-0900 Ext. 2820. Ciudad de México, México. E-mail: mario.cuchilloh@incmnsz.mx, margarita.diazm@incmnsz.mx, marychelo18@gmail.com, luis.lopez@cuautitlan.unam.mx, claudia.delgadillop@incmnsz.mx

RESUMEN

La termorregulación en animales homeotermos es un proceso fisiológico activo y permanente que equilibra la generación (termogénesis) y la pérdida (termólisis) de calor para mantener una homeostasis térmica, crucial ante el cambio climático. Los animales homeotermos regulan su temperatura corporal (37 - 42°C) mediante mecanismos neurales y periféricos, donde en especial la zona preóptica del hipotálamo, actúa como un núcleo integrador, aunque hay evidencia de la existencia de redes descentralizadas asociadas al hipotálamo que son complementarias. Existen estrategias para mantener la homeostasis ante el frío como la vasoconstricción cutánea, la termogénesis no tiritante (actividad del tejido adiposo pardo) y la contracción muscular esquelética con el fin de conservar el calor corporal. En contraste, el calor induce una vasodilatación capilar, sudoración y jadeo para facilitar la termólisis o pérdida de calor. Los canales de potencial receptor transitorio y las neuronas GABAérgicas/glutamatérgicas modulan estas respuestas, con implicaciones directas en los procesos de hipertermia/hipotermia. La asimetría fisiológica entre límites superiores e inferiores de la homeostasis térmica, hace evidente la vulnerabilidad de los organismos a las temperaturas extremas fuera de la zona de confort.

Palabras clave: vasoconstricción cutánea, tejido adiposo pardo, termogénesis no tiritante

ABSTRACT

Thermoregulation in homeothermic animals is an active and continuous physiological process that balances heat generation (thermogenesis) and heat loss (thermolysis) to maintain thermal homeostasis, which is crucial in the face of climate change. Homeothermic animals regulate their body temperature (37–42°C) through neural and peripheral mechanisms, with the preoptic area of the hypothalamus acting as a key integrating nucleus, although evidence suggests the existence of decentralized hypothalamic-associated networks that play complementary roles. Strategies to maintain homeostasis in cold conditions include cutaneous vasoconstriction, non-shivering thermogenesis (brown adipose tissue activity), and skeletal



muscle contraction to conserve body heat. In contrast, heat induces capillary vasodilation, sweating, and panting to facilitate thermolysis or heat loss. Transient receptor potential (TRP) channels and GABAergic/glutamatergic neurons modulate these responses, with direct implications for hyperthermia/hypothermia processes. The physiological asymmetry between the upper and lower limits of thermal homeostasis highlights the vulnerability of organisms to extreme temperatures outside their comfort zone.

Keywords: cutaneous vasoconstriction, brown adipose tissue, non-shivering thermogenesis

INTRODUCCIÓN

Una temperatura adecuada es vital para el funcionamiento de los procesos físico-químicos y biológicos de un organismo ya que muchas reacciones son dependientes de la temperatura a la que éstas ocurren. Desde hace ya varios años, el cambio climático representa, de manera directa o indirecta, un desafío para todos los organismos vivos al cambiar las zonas de confort de los animales a consecuencia del incremento de la temperatura global. El calor corporal de los animales puede considerarse como el resultado de una relación entre el calor producido (termogénesis) y el calor perdido por el organismo (termólisis). Los valores de temperatura corporal pueden variar entre especies; es así que el rango aceptado como temperatura corporal normal es de 38-39°C para perros, gatos, bovinos, conejos, ovinos y caprinos; mientras que para las aves es de 39-41°C (Cunningham & Bradley, 2014; [Song et al., 2016](#)). Una temperatura por debajo de este rango podría derivar en una disminución de la tasa metabólica y comprometería las funciones vitales; mientras que una temperatura elevada, cercana a los 45°C, puede comprometer la vida ([Zhao et al., 2017](#)). Existe también un rango de temperatura ambiental en el cual el calor generado por el metabolismo basal se iguala a la pérdida neta de calor en el ambiente, y es conocido como zona termoneutral ([Beale et al., 2017](#)).

La fisiología térmica es asimétrica; la zona termoneutral está localizada muy cercana al límite superior de supervivencia y un aumento sobre este límite podría generar fácilmente la desnaturalización de las proteínas del sistema nervioso o de otros órganos y tejidos del animal (Figura 1). En el sentido contrario, existe una distancia lejana al límite inferior desde la zona termoneutral, por lo que para enfrentar un riesgo importante sería necesario aproximarnos a temperaturas cercanas a la congelación del agua. Por ello, los sensores que limitan la ganancia de calor, son más comunes que los sensores de frío. Además de ser menos comunes, los sensores del frío también parecen ser activados por la supresión de neuronas sensitivas al calor ([Romanovsky, 2007](#)). Debido a la continua exposición de los animales a cambios internos y externos de temperatura, las estrategias para iniciar las respuestas de termorregulación antes de que se origine un daño en el organismo, son esenciales ([Morrison & Nakamura, 2011](#)). En el presente trabajo se describen los mecanismos de regulación de temperatura para mantener la homeostasis



térmica en respuesta al frío y al calor. La descripción se centra en animales homeotermos por ser de mayor interés en Medicina Veterinaria.

Clasificación de animales de acuerdo a su estrategia en la homeostasis térmica

Durante la evolución de las especies, se desarrollaron diferentes tipos de organismos que se pueden identificar por sus distintas estrategias para el manejo de la temperatura corporal. Existe una primera clasificación que se refiere a los endotermos y ectotermos ([Andrade et al., 2015](#)). Los animales endotermos son organismos que producen su propio calor corporal, mientras que los animales ectotermos son organismos que adquieren el calor de fuentes externas. Existe otra clasificación que identifica a los animales como homeotermos (e.g. aves y mamíferos) o poiquilotermos (e.g. peces, reptiles y anfibios). Los homeotermos tienden a mantener una temperatura corporal constante y adaptarse a variaciones importantes de temperatura ambiental; mientras los poiquilotermos utilizan en mayor medida el medio exterior para controlar su propia temperatura corporal ([Flouris, 2015](#)).

Debido a esta característica adaptativa, los homeotermos tienen una mayor distribución geográfica en comparación con los poiquilotermos. Adicionalmente, los homeotermos pueden mantenerse en actividad incluso durante las épocas más frías del año. Una prueba de supervivencia a temperaturas extremas es la incursión del hombre a una temperatura de -110°C en la superficie lunar y a los 2000°C del aire cuando una nave entra a la atmósfera terrestre ([Romanovsky, 2007](#)). Esta adaptación trae consigo una condicionante fisiológica importante: mantener una alta ingesta de alimento, que puede llegar a ser cinco veces mayor a la ingesta de un cuadrúpedo ectotérmico, para que ésta a su vez, permita mantener una tasa metabólica elevada ([Liedtke, 2017](#); [Bastos et al., 2021](#); [Yahiro et al., 2023a](#)). Por otra parte, algunos mamíferos y algunas aves son capaces de adaptar su estricto auto control de temperatura de una forma selectiva y conveniente, cuando la demanda de energía para mantener una temperatura interna estable es imposible de satisfacerse.

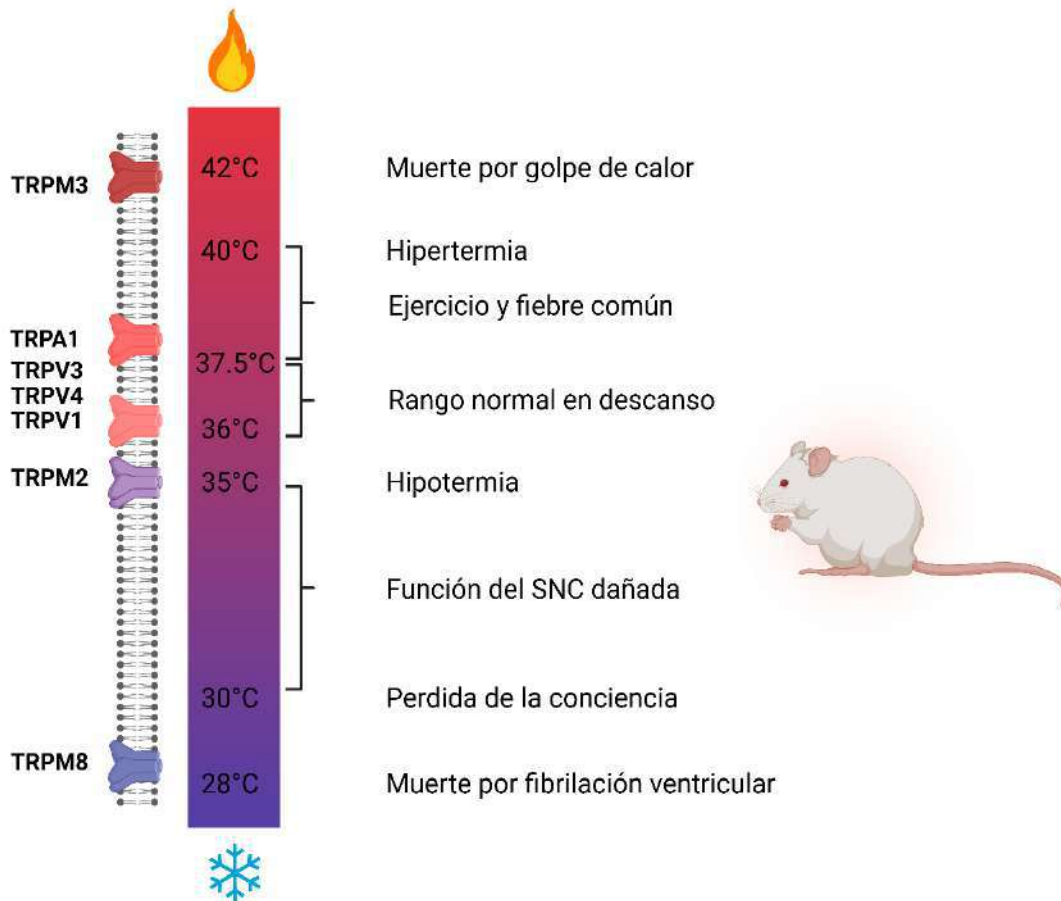


Figura 1. Rangos de temperatura corporal, sus variaciones en animales homeotermos. Modificado de (Cheng & Zheng, 2021; Kuht & Farmery, 2021; Masuda *et al.*, 2022; Suito & Tominaga, 2024).

Procesos biofísicos de la termorregulación

Los procesos que intervienen en el metabolismo basal de un organismo, son los causantes principales del calor corporal. Existen procesos biofísicos de termorregulación por medio de los cuales los animales interactúan con su medio ambiente. Estos incluyen radiación (e.g. luz solar), convección (enfriamiento por contacto con aire o agua), conducción (postración sobre una zona fría o caliente para ganar o perder calor) y evaporación, como en el caso de la sudoración (Charkoudian, 2016; Cramer & Jay, 2016; Kruse *et al.*, 2017). Finalmente, la energía metabolizada es convertida en energía mecánica para desarrollar un trabajo o contribuir a la energía calórica del sistema. La ganancia o pérdida de calor en forma de radiación ocurre en todos los cuerpos (Cramer & Jay, 2016). Es decir, un objeto más frío recibirá o absorberá la radiación proveniente de un objeto más caliente. Debido a ello, el medio ambiente es una fuente de calor sumamente importante para los animales. Cuando la temperatura ambiental es mayor a la del animal, este último recibe la radiación e incrementa su temperatura. Debido a ello,



una respuesta adecuada para mantener su temperatura y asegurar su supervivencia resulta crítica ([Charkoudian, 2016](#)).

El tamaño de los animales también puede determinar el gasto energético mínimo necesario para mantenerse en homeostasis energética. Es decir, el metabolismo basal en animales de mayor tamaño es menor al de un animal pequeño, debido a que la relación de superficie/volumen favorece una mayor pérdida de calor corporal en los animales pequeños por contacto con el medio ambiente ([Cunningham & Bradley, 2014](#); [Scriven *et al.*, 2016](#)). En otras palabras, los niveles absolutos de convección, radiación y evaporación serán mayores en animales con la mayor superficie corporal en relación a su peso ([Cramer & Jay, 2016](#)).

Localización anatómica del centro termorregulador

En los libros clásicos de fisiología se establece que la temperatura cerebral es detectada por un centro de neuronas con actividad termosensora del hipotálamo ([Cunningham & Bradley, 2014](#)). Sin embargo, hay teorías que proponen que el cerebro no tiene un centro integrador de la temperatura corporal, sino que existen efectores con capacidad termorreguladora que son independientes, dándose una coordinación estrecha entre ellos sin la existencia de un controlador universal ([Blatteis, 2016](#); [Tan *et al.*, 2016](#); [Imeri, 2017](#)). A pesar de estas nuevas propuestas que están en continuo estudio, se reconoce que las neuronas involucradas a nivel de sistema nervioso central son calor-sensitivas, es decir, se activan al percibir calor. Dentro del hipotálamo (Figura 2) se encuentran las neuronas termosensibles de la zona preóptica anterior (POA) la cual se considera el área más importante de respuesta termoeffectora autonómica ([Romanovsky, 2007](#); [Blatteis, 2016](#); [Song *et al.*, 2016](#); [Tan *et al.*, 2016](#); [Imeri, 2017](#); [Kruse *et al.*, 2017](#)). Por mucho tiempo se creyó en los roles neuronales de frío y calor, los cuales son recíprocos y simétricos, donde el balance de estos es posible gracias a los estímulos de un solo tipo y en un solo sentido: inhibitorios o excitatorios. Sin embargo, actualmente es aceptado que ambas respuestas, al frío y al calor, son mediadas e iniciadas por las neuronas termosensitivas ([Liedtke, 2017](#); [Zhao *et al.*, 2017](#)). Un estímulo sobre las neuronas termosensitivas incrementa su actividad y por tanto, la respuesta frente al calor; mientras que una menor actividad de estas mismas neuronas desencadena las defensas en contra del frío ([Romanovsky, 2007](#); [Kingma, 2016](#)). Más recientemente, se ha descubierto que las neuronas gabaérgicas (primordialmente con actividad neuronal inhibitoria) ubicadas en el área frontal al hipotálamo (área preóptica ventral lateral), se comunican con la región dorsomedial (núcleo dorsomedial), donde se localizan dos tipos de neuronas con actividad gabaérgica (GABA = ácido γ -aminobutírico; neurotransmisor inhibitorio) y glutamatérgicas (glutamato = neurotransmisor estimulante). La activación de las neuronas gabaérgicas del área preóptica ventral lateral reduce la temperatura corporal y la tasa metabólica, mientras que su inhibición causa fiebre letal. Sin embargo, cuando se



inhiben ambos tipos de neuronas (gabaérgicas y glutamatérgicas) a nivel del núcleo dorsomedial del hipotálamo, se reduce la temperatura corporal y la tasa de metabólica, mientras que la activación de estas neuronas tiene el efecto contrario, es decir el aumento de la temperatura. Esto significa que la respuesta térmica a la actividad gabaérgica de neuronas del área preóptica atenúa la actividad (tanto gabaérgica como glutamatérgica) del núcleo dorso medial ([Liedtke, 2017](#); [Zhao et al., 2017](#)).

Actualmente se acepta que existen neuronas periféricas termosensibles que detectan cambios de temperatura en la piel, boca y mucosa urogenital. Un libro típico diría que los sensores superficiales, e.g. en la piel, son principalmente de frío. Debido a que los termosensores centrales están diseñados principalmente para contrarrestar la elevación de la temperatura a nivel cerebral, la especialización de los sensores periféricos para contrarrestar el frío tiene sentido. Sin embargo, se han identificado sensores de calor no tan superficiales localizados en la subdermis ([Romanovsky, 2007](#)), así como en la espina dorsal y en órganos internos ([Kamm & Siemens, 2017](#)).

En la Figura 2 se muestra cómo los termorreceptores cutáneos (frío y calor) transmiten señales hacia los ganglios del asta dorsal (DRG). Estos a su vez retransmiten esta información a neuronas sensoriales hacia el asta dorsal (DH). Las neuronas sensoriales de frío y calor (DH) estimulan a las neuronas sensoriales del núcleo parabraquial lateral (LPB). Las señales son enviadas al área preóptica (POA), donde las neuronas GABAérgicas (rojas) en el subnúcleo preóptico medio (MnPO) son activadas, lo que provoca en el área preóptica medial (MPA) la inhibición de las neuronas sensibles al calor (W-S), las cuales controlan la vasoconstricción cutánea (CVC), la termogénesis del tejido adiposo pardo (BAT) y la termogénesis por contracción muscular esquelética (tiritona). Por el contrario, las neuronas glutamatérgicas (verde oscuro) en el MnPO son estimuladas por las neuronas activadas por el calor en el LPB y éstas, a su vez, excitan a las neuronas W-S en la MPA. La prostaglandina (PGE_2) se une a las neuronas W-S en la MPA para inhibir su actividad. El MnPO también posee neuronas (verde claro) que excitan a las neuronas premotoras de la CVC en el núcleo del rafe pálido (rRPa), así como neuronas (verde claro) que excitan a las neuronas promotoras del BAT y las contracciones esqueléticas en el hipotálamo dorsomedial (DMH) ([Morrison, 2016a](#); [2016b](#); [Yahiro et al., 2023a](#); [2023b](#); [Mota-Rojas et al., 2024](#); [Sarubbi et al., 2024](#)).

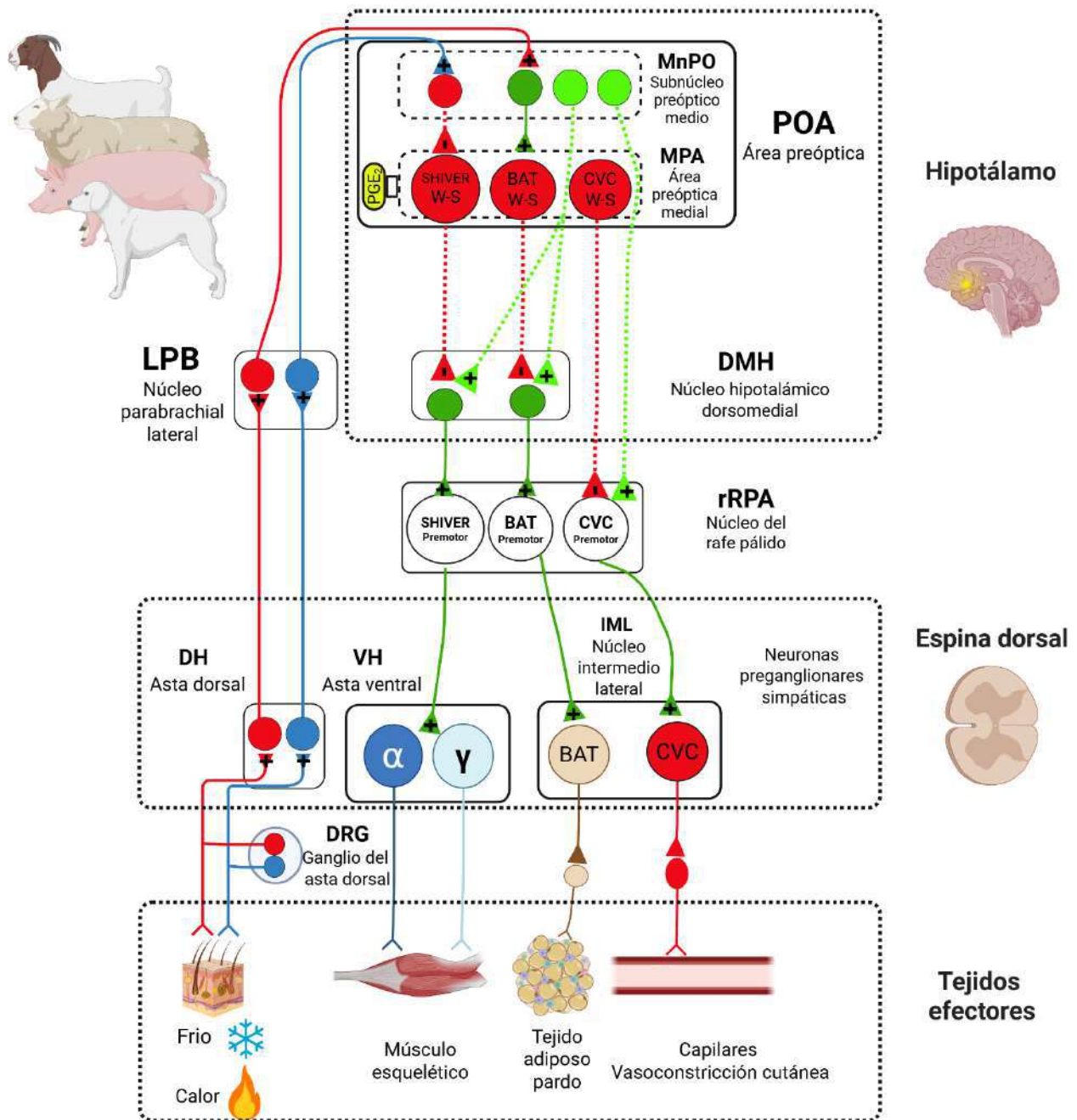


Figura 2. Modelo del control termorregulador de la vasoconstricción cutánea (CVC), la termogénesis del tejido adiposo marrón (BAT) y la termogénesis tiritante. Modificado de (Morrison, 2016a; 2016b; Mota-Rojas *et al.*, 2024; Sarubbi *et al.*, 2024).



Se han hecho investigaciones en las últimas dos décadas acerca de los canales de potencial de receptor transitorio (TRP = Transient Receptor Potential channels) localizados principalmente en neuronas periféricas (Blatteis, 2016; Kamm & Siemens, 2017). Esta es una familia que consiste en seis subfamilias: TRPC (canonical), TRPV (vaniloide), TRPM (melastático), TRPML (mucopolínico), TRPP (policistínico), y TRPA (anquirínico). A pesar de que cada uno de los canales TRP es activado en un rango estrecho de temperatura, en conjunto, se activan en un tramo muy amplio, que abarca desde un frío perjudicial hasta un calor nocivo. Es posible encontrar traslapes de temperatura entre estos canales (Romanovsky, 2007; Imeri, 2017). Debido a esta característica de encontrarse en un rango amplio de temperatura, los canales TRP comúnmente se encuentran en sensores periféricos. Sin embargo, recientemente se han encontrado canales TRP en el hipotálamo y en otras áreas centrales del sistema nervioso. El canal TRPM2 regula la respuesta de la temperatura por encima de los 37°C y controla la respuesta a la fiebre para evitar un sobrecalentamiento de los componentes celulares. La activación e inhibición de estos canales resulta en un decremento e incremento de la temperatura corporal (Song *et al.*, 2016). El canal TRPM2 previene el daño tisular a temperaturas por encima de la zona termoneutral, funciona como un guardián de temperatura. También ha sido reportado como un sensor de especies reactivas de oxígeno, las cuales son moléculas finales del metabolismo celular que pueden dañar a los tejidos si se encuentran en una alta concentración, por lo que podría estar relacionado con la prevención del daño oxidativo del sistema nervioso (Kamm & Siemens, 2017).

Existen vías aferentes (desde la periferia del organismo, al Sistema Nervioso Central de señalización para el control de temperatura y son iniciadas con termosensores al calor. El cuerpo de estas células se localiza en la raíz dorsal ganglionar y sus axones son proyectados al cuerno dorsal de la espina dorsal. Ahí hacen sinapsis con neuronas secundarias (lámina). Los axones de estas neuronas secundarias atraviesan la línea media y ascienden por el funículo lateral de la espina dorsal. Por mucho tiempo se creyó que las neuronas secundarias proyectaban sus axones directamente al complejo ipsilateral del tálamo y posteriormente a la corteza somatosensora y algunos libros aún sostienen esto como verdad. Sin embargo, ahora se sabe que, para el sentido térmico, el estímulo es llevado a la corteza insular (isla de Reil) que se localiza en la parte lateral del tálamo, específicamente al núcleo parabraquial y la parte basal del núcleo paraventral del tálamo (Romanovsky, 2007). Esta vía se emplea para la sensación de temperaturas a una alta resolución espacial del ambiente e.g. la yema de un dedo introducida a un líquido frío o caliente.

Las señales térmicas generadas en áreas amplias del cuerpo son enviadas al cerebro a través de la ruta espino-retículo-hipotálamo, ésta va desde la raíz dorsal ganglionar hasta el cuerno o asta dorsal de la espina dorsal (mismas neuronas eferentes de la sensación de temperaturas de una alta resolución espacial). Ahí hacen sinapsis con neuronas



secundarias. Los axones de estas neuronas secundarias se conectan con la formación reticular. Una vía alterna está reportada y aún existe información incompleta sobre su funcionamiento, es la que involucra a los axones de las neuronas secundarias, los cuales envían una señal a un punto intermedio y éste a su vez, a las neuronas termosensibles de la zona preóptica anterior del hipotálamo para iniciar la termorregulación (Blatteis, 2016).

Mecanismos de la regulación de la temperatura

Respuestas al frío

La exposición de un organismo a temperaturas inferiores a la zona termoneutral desencadena estrategias fisiológicas para incrementar el calor corporal. La termogénesis se entiende como un producto de los procesos metabólicos a nivel celular. Los alimentos son una de las fuentes más importantes para generar calor. Todos los alimentos ingeridos generan diferentes tasas de calor al ser metabolizados, en función de su naturaleza. Se ha calculado que la ingesta de un gramo de grasa, proteína y carbohidratos genera 9.6, 4.2, y 4.1 kcal, respectivamente; por cada gramo metabolizado (Cunningham & Bradley, 2014). Es así que, aunque el medio ambiente determina en gran medida la respuesta animal a las variaciones de temperatura (Shi *et al.*, 2017), los animales pueden modular su tasa de producción de calor de acuerdo con el tipo de alimento consumido y de la cantidad consumida (Beale *et al.*, 2017).

Desde el momento de nacer, los mamíferos se enfrentan al enorme riesgo de sufrir hipotermia e incluso, fallecer, como en el caso de los cerdos. El tejido adiposo pardo (BAT, por sus siglas en inglés) juega un papel primordial al activar los procesos, tanto bioquímicos como endocrinos al presentarse un estrés por frío. Sin embargo, la presencia o ausencia de BAT, así como su activación, localización e incluso el grado de respuesta termogénica, son características que dependen tanto de factores intrínsecos como extrínsecos en estos animales (Bienboire-Frosini *et al.*, 2023). El BAT se activa cuando las neuronas sensibles al frío detectan una disminución en la temperatura ambiental. Más adelante se describen más a detalle los tipos de tejido adiposo. Este órgano termogénico, el BAT, presenta, entre otras características, un número importante de mitocondrias con muchas crestas y existe evidencia científica de su alto contenido de proteína desacoplante 1 (UCP1, por sus siglas en inglés). La UCP1 interviene durante la fosforilación oxidativa para facilitar que los protones de las mitocondrias regresen sin que se produzca ATP, lo cual permite la generación de calor, en lugar de almacenar energía. Cuando las neuronas sensibles al frío reconocen una disminución de la temperatura ambiental o central, se activa el BAT para producir calor. Como una respuesta al estrés por frío al momento del nacimiento, se activan dos mecanismos de generación de calor: primero se incrementa la actividad metabólica celular y la producción de calor mediante la termogénesis por estremecimiento y, por otro lado, ocurre la termogénesis sin



estremecimiento, la cual se caracteriza por la lipólisis del BAT. La baja temperatura ambiental que percibe el neonato provoca el arranque de los procesos de retroalimentación negativa debido a la activación del eje hipotálamo-hipofisario-adrenal (HPA).

Así como el medio ambiente puede actuar como una fuente de calor cuando la temperatura corporal está por debajo de la ambiental, este fenómeno puede revertirse si la temperatura ambiental está por debajo de la corporal, originándose una pérdida de energía térmica por convección (Kruse *et al.*, 2017). Una vez más, los mecanismos de termorregulación juegan un papel central en la supervivencia del animal para mantener la temperatura corporal bajo las condiciones ambientales (Hankir *et al.*, 2016). La respuesta inmediata al frío incluye una vasoconstricción periférica o cutánea para minimizar la pérdida de calor corporal por mecanismos de radiación y convección (Kamm & Siemens, 2017). En condiciones donde la zona termoneutral no está comprometida, la circulación cutánea permite disipar el calor corporal al ambiente, esto se facilita en regiones donde existe menos pelo como en el caso de una cola de ratón o en la oreja de un conejo o elefante (Morrison & Nakamura, 2011). En condiciones de estrés por frío, esta perfusión sanguínea puede centralizarse para obtener el efecto inverso. Aunado al proceso de vasoconstricción, la taquicardia es causa de generación de calor por perfusión mediada principalmente por inhibición vagal, lo que a su vez proporciona una mayor presión sanguínea. La modulación de la vasodilatación es generada principalmente por neuronas termosensibles de la zona preóptica anterior del hipotálamo quienes activan a las neuronas simpáticas (Morrison & Nakamura, 2011).

Otro mecanismo de termorregulación al estrés por frío es la termogénesis lenta o química, que se caracteriza por la movilización de reservas tisulares. Unos de los procesos más estudiados es el del metabolismo de la grasa parda (Morrison, 2016a; 2016b; Yoneshiro *et al.*, 2017). El tejido adiposo pardo es especializado, es capaz de generar calor al ser metabolizado (Morrison & Nakamura, 2011; Shi *et al.*, 2017). Existen tres tipos de adipocitos: blancos, pardos y beige. Los primeros son primordialmente una reserva energética en forma de grasa, los adipocitos pardos tienen una función principalmente termogénica y los adipocitos beige (pardo inducibles) son adipocitos pardos infiltrados en células adiposas blancas que pueden funcionar como las dos anteriores (Chu & Gawronska, 2017; Wang & Yang, 2017). La grasa parda puede estar localizada por debajo de la piel o entremezclada con la grasa blanca. En condiciones fisiológicas normales, la termogénesis originada en grasa parda está causada por la exposición al frío. La termogénesis también responde a la estimulación vía nervios adrenérgicos que incrementan el metabolismo adiposo (Morrison, 2016a; 2016b; Wang & Yang, 2017). La capacidad de la grasa parda para generar calor obedece a un alto aporte de protones mitocondriales que permite una expresión de proteínas desacoplantes (Termogenina; UCP1) en las membranas mitocondriales en células de grasa parda para facilitar su



permeabilidad e incrementar la tasa de fosforilación oxidativa donde se generan moléculas de ATP (Morrison & Nakamura, 2011).

La grasa parda está controlada por ganglios simpáticos de neuronas medulares, los cuerpos neuronales preganglionares de estas células están localizados en el área intermedio-lateral de la columna. Estas neuronas reciben señales del área medular (rafe y área peripiramidal) las cuales están bajo influencia del hipotálamo (área dorsomedial y núcleo paraventricular), cerebro medio (campo retrorubral y área tegmental ventral) y posiblemente pontina (*locus coeruleus*) que a su vez reciben señalización de las neuronas termosensibles de la zona preóptica anterior del hipotálamo (Nilsson *et al.*, 2016; Romanovsky, 2007). En este tipo de termogénesis, las motoneuronas del asta ventral reciben directa o indirectamente información de cerebro medio, rafe y el área piramidal. Los axones de las neuronas del cerebro medio descienden por la espina dorsal en los tractos retículo espinal y rubro espinal. Estas neuronas están bajo el control del hipotálamo posterior, el cual recibe estímulos inhibitorios de sensores térmicos de las neuronas termosensibles de la zona preóptica anterior del hipotálamo (Nilsson *et al.*, 2016). El nivel de actividad del sistema nervioso simpático, la liberación de norepinefrina y el acoplamiento con los receptores beta 3 adrenérgicos a las células de grasa parda, determinan el nivel de termogénesis (Morrison & Nakamura, 2011). Una ingesta de catequinas por vía oral también induce la estimulación de adipocitos pardos a temperaturas moderadamente frías en mamíferos homeotermos (Yoneshiro *et al.*, 2017). Se ha indicado que el mejor entendimiento del metabolismo de este tipo de células adiposas podría ayudar a tratar problemas de obesidad y sobrepeso para tener control sobre el tejido graso (Shi *et al.*, 2017). De la misma manera, se ha vinculado recientemente a las células adiposas pardas con el metabolismo de péptidos que regulan el apetito, lo que sugiere una comunicación cruzada con el sistema enteral y pancreático para modular la sensación de saciedad (Chondronikola *et al.*, 2017).

Existe otro mecanismo mediante el cual el organismo puede producir calor: las contracciones involuntarias musculoesqueléticas que involucran una hidrólisis de ATP sin un movimiento productivo (Morrison & Nakamura, 2011; Beale *et al.*, 2017). Esta termogénesis se clasifica como termogénesis física o rápida y puede producir una tasa de calor dos veces mayor a la normal en tiempos prolongados, sin embargo, en tiempos cortos puede de ser de hasta cuatro veces la tasa normal (Cunningham & Bradley, 2014). La contracción muscular resulta de la actividad motora de fibras esqueléticas invadidas. En este proceso de generación de calor, la sangre tiene un papel primordial al ser la vía por la cual el calor es distribuido en todo el cuerpo. La perfusión sanguínea y la hemodinámica presente se adecuan para mantener un equilibrio sobre la temperatura y sobre el funcionamiento tisular (Morrison & Nakamura, 2011; Chondronikola *et al.*, 2017). La generación de calor por temblor es el último mecanismo de defensa y su umbral de excitación es menor al de la vasoconstricción cutánea o termogénesis de la grasa parda



([Bienboire-Frosini et al., 2023](#); [Chen et al., 2024](#); [Ricquier, 2024](#)). Es posible que este mecanismo sea el último en utilizarse debido a que el temblor pone en relativo peligro a los animales, por disminuir su capacidad de respuesta a la necesidad de escape y por limitar en cierta medida su libertad de movimiento. El incremento en el estímulo aferente genera la respuesta de temblor. El mecanismo no está muy bien entendido, pero se cree que los estímulos aferentes estimulan el núcleo parabraquial lateral, la zona preóptica del hipotálamo ([Kamm & Siemens, 2017](#); [Yahiro et al., 2023b](#); [Blomqvist, 2024](#)).

La vasoconstricción es reconocida como un mecanismo primario que interviene en la pérdida de calor al reducir el flujo en los vasos sanguíneos periféricos. Es posible que facilite la conservación de calor en regiones con alto compromiso metabólico, como la cabeza y el tórax al permitir la redistribución del calor en el organismo. De forma contraria a la vasoconstricción periférica, la termogénesis, con o sin escalofríos, aumenta la producción de calor. Ambos mecanismos surgen de la activación de los termorreceptores (p. ej., TRPM8) y del procesamiento central en el hipotálamo ([Mota-Rojas et al., 2024](#)).

Respuestas al calor

Las respuestas termorreguladoras al calor son principalmente la sudoración y la vasodilatación cutánea. Durante la sudoración, la evaporación de agua contenida en secreciones es un facilitador para perder calor corporal ([Charkoudian, 2016](#)). En contraste al estrés por frío, donde existe una vasoconstricción, en el estrés por calor se genera una vasodilatación periférica para aumentar la tasa de pérdida de calor por convección ([Romanovsky, 2007](#); [Morrison, 2016a](#); [Kruse et al., 2017](#)). El efecto concomitante de evaporación por fluidos en la piel y por la respiración puede ayudar a la termólisis ([Morrison & Nakamura, 2011](#); [Yahiro et al., 2017](#)). La termorregulación puede estar mediada por las glándulas sudoríparas apocrinas (secreción proteica) y ecrinas (secreción acuosa). Estas secreciones son a su vez mediadas por neurotransmisores simpáticos de acetilcolina y noradrenalina ([Hu et al., 2017](#)). Cuando la temperatura central o de la piel aumenta, un estímulo glutamatérgico se origina desde los sensores térmicos cutáneos. El estímulo viaja por los nervios eferentes (que viajan desde el SNC a la periferia del organismo), el estímulo desciende a través del tegumento y del rafe medular en la espina dorsal. En la espina dorsal, los axones emergen del asta ventral y pasan a través del *ramus comunicandus* blanco, hacen sinapsis con los ganglios simpáticos y llegan a las glándulas sudoríparas ([Hu et al., 2017](#)). Se ha reportado que al inactivarse las neuronas del núcleo parabraquial lateral, localizado cerca del cerebro medio, la respuesta al calor y al frío son abatidas. Esto significa que esta área y no el tálamo, como se tenía entendido, es responsable de modular la señalización periférica termosensible ([Yahiro et al., 2017](#)).

En un escenario de vasodilatación periférica el retorno venoso es menor y se puede generar una estasis vascular transitoria. Una sudoración copiosa puede generar hipovolemia y disminuir el retorno venoso, lo que compromete el funcionamiento cardíaco



óptimo y la presión sanguínea (Suito & Tominaga, 2024). En una sudoración limitada, el agua, junto con el cloro y sodio, es nuevamente reutilizada y reabsorbida. Sin embargo, el resto de los componentes, predominantemente urea, ácido láctico, potasio y/o proteínas, son eliminados. En cambio, en una sudoración profusa, se reutiliza menos sodio, cloro y agua. En ciertos casos, puede activarse la liberación de aldosterona para aumentar la retención de sodio y aumentar la presión sanguínea. La ruta del aumento de la actividad simpática colinérgica para estimular las glándulas sudoríparas es desconocida. Sin embargo, se presume que involucra a un termorreceptor aferente que incluye el asta dorsal y el núcleo parabraquial lateral y a las neuronas preganglionares simpáticas de la médula espinal (Morrison & Nakamura, 2011).

La pérdida de agua corporal debido a la evaporación que ocurre en conjunto con un incremento en la perfusión sanguínea, tiene un efecto en el volumen sanguíneo y en la osmolaridad plasmática que hace evidente una interacción cercana entre los controles de plasma sanguíneo, el cardiovascular y el termorregulador durante exposición al calor, a la deshidratación y al ejercicio. Una mayor osmolaridad desencadena un estímulo para contrarrestar la termogénesis. El canal TRPM8 es activado por el enfriamiento y es un receptor potencial cutáneo para el frío; sin embargo, aún falta la identificación del sensor del calor a nivel periférico (Morrison, 2016a).

El jadeo es otra estrategia fisiológica para eliminar calor. En este caso, el epitelio respiratorio y el de la mucosa oral están más irrigados por la dilatación vascular. También se incrementa la salivación para aumentar la pérdida de calor (Cunningham & Bradley, 2014), ésta es otra estrategia utilizada por los roedores para perder calor. La evaporación por saliva es una estrategia más compleja que consiste en un incremento de la secreción de saliva baja en proteínas complementada con la aplicación de ésta en el cuerpo del animal.

En cuanto a cambios conductuales, los mamíferos en hatos permanecen de pie por más tiempo con el fin de incrementar la superficie de su piel expuesta al flujo de aire. Además, adoptan otras conductas para limitar la producción de calor metabólico, como la disminución del consumo de alimento y de la actividad locomotora. Estas respuestas buscan restablecer la termoneutralidad y prevenir nuevos aumentos de la temperatura corporal central. Comprender que el ganado tiene una zona termoneutral donde no se desencadenan estas respuestas es esencial para prevenir la hipertermia en animales de granja (Sarubbi *et al.*, 2024).

Como podemos ver, las respuestas termorreguladoras principales durante la hipertermia en animales son cambios fisiológicos y conductuales modulados por el circuito térmico entre los termorreceptores periféricos, el área preóptica y las fibras aferentes de los órganos efectores. Entre las respuestas fisiológicas, la vasodilatación es un mecanismo que aumenta la disipación de calor para reducir la carga térmica y disminuir la



temperatura corporal central. La sudoración, junto con la polipnea, también promueve la pérdida de calor por evaporación.

CONCLUSIONES

El sistema nervioso es el encargado de recibir, procesar y coordinar la respuesta a estímulos internos y externos para mantener la homeostasis térmica. Las formas de pérdida y ganancia de calor mediante procesos biofísicos son: radiación, convección, conducción y evaporación. Aunque este último es más recurrido para perder calor. La localización central del control autónomo de la termorregulación está en el hipotálamo en la zona preóptica. Sin embargo, recientemente se ha descrito al sistema termorregulador como multifactorial y carente de un controlador central. Las estrategias para producir calor corporal en homeotermos incluyen la ingesta de alimento, la vasoconstricción, la contracción muscular y la movilización de la grasa parda. Mientras que las respuestas en contra del calor son la vasodilatación, la evaporación y el jadeo.

Agradecimientos

Al Departamento de Nutrición Animal Dr. Fernando Pérez Gil Romo del INCMNSZ por el financiamiento otorgado para esta investigación.

LITERATURA CITADA

ANDRADE DV, Gavira RSB, Tattersall GJ. 2015. Thermogenesis in ectothermic vertebrates. *Temperature*. 2:454-454. ISSN 2332-8940.

<https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1115570>

BASTOS B, Pradhan N, Tarroso P, Brito JC, Boratyński Z. 2021. Environmental determinants of minimum body temperature in mammals. *Journal of Vertebrate Biology*. 70:1-12. ISSN 2694-7684. <https://doi.org/10.25225/jvb.21004>

BEALE PK, Marsh KJ, Foley WJ, Moore BD. 2017. A hot lunch for herbivores: physiological effects of elevated temperatures on mammalian feeding ecology. *Biological Reviews*. 93:674-692. ISSN 1469-185X. <http://dx.doi.org/10.1111/brv.12364>

BIENBOIRE-FROSINI C, Wang D, Marcet-Rius M, Villanueva-García D, Gazzano A, Domínguez-Oliva A, Olmos-Hernández A, Hernández-Ávalos I, Lezama-García K, Verduzco-Mendoza A, Gómez-Prado J, Mota-Rojas D. 2023. The role of brown adipose tissue and energy metabolism in mammalian thermoregulation during the perinatal period. *Animals*. 13:2173. ISSN 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani13132173>

BLATTEIS CM. 2016. A personal recollection: 60 years in thermoregulation. *Temperature*. 3:1-7. ISSN 2332-8940. <https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1148524>



BLOMQVIST A. 2024. Prostaglandin E2 production in the brainstem parabrachial nucleus facilitates the febrile response. *Temperature*. 11:309-317. ISSN 2332-8940. <https://doi.org/10.1080/23328940.2024.2401674>

CHARKOUDIAN N. 2016. Human thermoregulation from the autonomic perspective. *Autonomic Neuroscience*. 196:1-2. ISSN 1566-0702. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.007>

CHEN Z, Zhang P, Liu T, Qiu X, Li S, Lin JD. 2024. Neuregulin 4 mediates the metabolic benefits of mild cold exposure by promoting beige fat thermogenesis. *Journal of Clinical Investigation Insight*. 9. ISSN 2379-3708. <https://doi.org/10.1172/jci.insight.172957>

CHENG C-W, Zheng J. 2021. Distribution and assembly of TRP ion channels. In Zhou L (Ed.), *Ion Channels in Biophysics and Physiology*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-4254-8>

CHONDRONIKOLA M, Porter C, Malagaris I, Nella AA, Sidossis LS. 2017. Brown adipose tissue is associated with systemic concentrations of peptides secreted from the gastrointestinal system and involved in appetite regulation. *European Journal of Endocrinology*. 177:33-40. <https://doi.org/10.1530/EJE-16-0958>

CHU DT, Gawronska KB. 2017. Brown and brite adipocytes: same function, but different origin and response. *Biochimie*. 138:102-105. ISSN 0300-9084. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2017.04.017>

CRAMER MN, Jay O. 2016. Biophysical aspects of human thermoregulation during heat stress. *Autonomic Neuroscience*. 196:3-13. ISSN 1566-0702. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.03.001>

CUNNINGHAM JG, Bradley GK. 2014. *Cunningham - Fisiologia Veterinaria*. (5ta ed.). Elsevier. ISBN 9788490223178.

FLOURIS AD. 2015. Shaping our understanding of endothermic thermoregulation. *Temperature*. 2:328-329. ISSN 2332-8940. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1058321>

HANKIR MK, Kranz M, Gnad T, Weiner J, Wagner S, Deuther-Conrad W, Bronisch F, Steinhoff K, Luthardt J, Klötting N, Hesse S, Seibyl JP, Sabri O, Heiker JT, Blüher M, Pfeifer A, Brust P, Fenske WK. 2016. A novel thermoregulatory role for PDE10A in mouse and human adipocytes. *EMBO Molecular Medicine*. 8:796-812. ISSN 1757-4676. <https://doi.org/10.15252/emmm.201506085>

HU Y, Converse C, Lyons MC, Hsu WH. 2017. Neural control of sweat secretion: a review. *British Journal of Dermatology*. ISSN 1365-2133. <http://dx.doi.org/10.1111/bjd.15808>

IMERI L. 2017. Thermoregulation as a non-unified system: a difficult to teach concept. *Temperature*. 4:1-8. ISSN 2332-8940. <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1281872>



KAMM GB, Siemens J. 2017. The TRPM2 channel in temperature detection and thermoregulation. *Temperature*. 4:21-23. ISSN 2332-8940.

<https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1258445>

KINGMA BRM. 2016. The link between autonomic and behavioral thermoregulation. *Temperature*. 3:195-196. ISSN 2332-8940.

<https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1168535>

KRUSE V, Neess D, Færgeman NJ. 2017. The Significance of Epidermal Lipid Metabolism in Whole-Body Physiology. *Trends in Endocrinology and Metabolism*. 28:669-683. ISSN 1043-2760. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2017.06.001>

KUHT J, Farmery AD. 2021. Body temperature and its regulation. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*. 22:657-662. ISSN 1472-0299.

<https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2021.07.004>

LIEDTKE WB. 2017. Deconstructing mammalian thermoregulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 114:1765-1767. ISSN 0027-8424. <https://doi.org/10.1073/pnas.1620579114>

MASUDA Y, Sakai R, Kato I, Nagashima K. 2022. Thermoregulatory heat-escape/cold-seeking behavior in mice and the influence of TRPV1 channels. *PLoS One*. 17:e0276748. ISSN 1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276748>

MORRISON SF. 2016a. Central control of body temperature. *F1000Research*. 5:F1000 Faculty Rev-1880. ISSN 2046-1402. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7958.1>

MORRISON SF. 2016b. Central neural control of thermoregulation and brown adipose tissue. *Autonomic Neuroscience*. 196:14-24. ISSN 1566-0702

<https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.010>

MORRISON SF, Nakamura K. 2011. Central neural pathways for thermoregulation. *Frontiers in Bioscience*. 16:74-104. ISSN 1093-9946.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3051412/>

MOTA-ROJAS D, Ghezzi MD, Hernández-Ávalos I, Domínguez-Oliva A, Casas-Alvarado A, Lendez PA, Ceriani MC, Wang D. 2024. Hypothalamic neuromodulation of hypothermia in domestic animals. *Animals*. 14:513. ISSN 2076-2615.

<https://doi.org/10.3390/ani14030513>

NILSSON JÅ, Molokwu MN, Olsson O. 2016. Body temperature regulation in hot environments. *PLoS One*. 11:e0161481. ISSN 1932-6203.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161481>

RICQUIER D. 2024. The brown adipocyte: What a story! *Annales d'Endocrinologie*. 85:252. ISSN 0003-4266. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2024.05.018>

ROMANOVSKY AA. 2007. Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 292:R37-R46. ISSN 0363-6119.

<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00668.2006>



SARUBBI J, Martínez-Burnes J, Ghezzi MD, Olmos-Hernandez A, Lendez PA, Ceriani MC, Hernández-Avalos I. 2024. Hypothalamic neuromodulation and control of the dermal surface temperature of livestock during hyperthermia. *Animals*. 14:1745. ISSN 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani14121745>

SCRIVEN JJ, Whitehorn PR, Goulson D, Tinsley MC. 2016. Bergmann's Body Size Rule Operates in Facultatively Endothermic Insects: Evidence from a Complex of Cryptic Bumblebee Species. *PLoS One*. 11:e0163307. ISSN 1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163307>

SHI LL, Fan WJ, Zhang JY, Zhao XY, Tan S, Wen J, Cao J, Zhang XY, Chi QS, Wang DH, Zhao ZJ. 2017. The roles of metabolic thermogenesis in body fat regulation in striped hamsters fed high-fat diet at different temperatures. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 212:35-44. ISSN 1095-6433. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2017.07.002>

SONG K, Wang H, Kamm GB, Pohle J, Reis FdC, Heppenstall P, Wende H, Siemens J. 2016. The TRPM2 channel is a hypothalamic heat sensor that limits fever and can drive hypothermia. *Science*. 353:1393-1398. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7537>

SUITO T, Tominaga M. 2024. Functional relationship between peripheral thermosensation and behavioral thermoregulation. *Front Neural Circuits*. 18:1435757. ISSN 1662-5110. <https://doi.org/10.3389/fncir.2024.1435757>

TAN CL, Cooke EK, Leib DE, Lin YC, Daly GE, Zimmerman CA, Knight ZA. 2016. Warm-sensitive neurons that control body temperature. *Cell*. 167:47-59.e15. ISSN 0092-8674. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.028>

WANG S, Yang X. 2017. Inter-organ regulation of adipose tissue browning. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 74:1765-1776. ISSN 1420-9071. <https://doi.org/10.1007/s00018-016-2420-x>

YAHIRO T, Kataoka N, Nakamura K. 2023a. Exploration of thermosensory central neural pathways that drive thermoregulatory behavior. *Physiology*. 38:5730524. <https://doi.org/10.1152/physiol.2023.38.s1.5730524>

YAHIRO T, Kataoka N, Nakamura K. 2023b. Two ascending thermosensory pathways from the lateral parabrachial nucleus that mediate behavioral and autonomous thermoregulation. *Journal of Neuroscience*. 43:5221-5240. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0643-23.2023>

YAHIRO T, Kataoka N, Nakamura Y, Nakamura K. 2017. The lateral parabrachial nucleus, but not the thalamus, mediates thermosensory pathways for behavioural thermoregulation. *Scientific Reports*. 7:5031. ISSN 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05327-8>

YONESHIRO T, Matsushita M, Hibi M, Tone H, Takeshita M, Yasunaga K, Katsuragi Y, Kameya T, Sugie H, Saito M. 2017. Tea catechin and caffeine activate brown adipose tissue and increase cold-induced thermogenic capacity in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 105:873-881. ISSN <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.144972>



ZHAO Z-D, Yang WZ, Gao C, Fu X, Zhang W, Zhou Q, Chen W, Ni X, Lin J-K, Yang J, Xu X-H, Shen WL. 2017. A hypothalamic circuit that controls body temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 114:2042-2047.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1616255114>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-16. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.3>

Nota de Investigación. Recibido:24/04/2024. Aceptado:16/09/2024. Publicado:14/02/2025. Clave: e2024-22.

https://www.youtube.com/watch?v=cEQPkzLh3_o

Identificación y cuantificación de *Eimeria* spp. en conejos del Valle del Mezquital, Hidalgo

Identification and quantification of *Eimeria* spp. in rabbits from Mezquital Valley, Hidalgo



Noguez-Estrada Juan^{1ID}, Zaragoza-Bastida Adrian^{*1ID}, Olmedo-Juárez Agustín^{2ID}, López-Rodríguez Gabino^{1ID}, Ojeda-Ramírez Deyanira^{1ID}, Rivero-Pérez Nallely^{**1ID}

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Hidalgo, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, Morelos, México, *Autor responsable: Adrian Zaragoza Bastida. **Autor de correspondencia: Nallely Rivero-Perez. Rancho Universitario Av. Universidad km. 1, Ex Hacienda de Aquetzalpa, Apartado Postal No. 32, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. E-mail: jnoguez@upfim.edu.mx, adrian_zaragoza@uaeh.edu.mx, aolmedoj@gmail.com, no472617@uaeh.edu.mx, dojeda@uaeh.edu.mx, nallely_rivero@uaeh.edu.mx

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue identificar y cuantificar especies del género *Eimeria* presentes en conejos naturalmente infectados en las unidades de producción del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo. Se colectaron heces en diez unidades de producción cunícola (UPC) de 320 conejos de entre 30 a 60 días de edad (período de engorda). La identificación de especies del género *Eimeria* spp., se realizó con la técnica de flotación, con criterios de medición y comparación morfológica. Los oocistos por gramo de heces (OPG) se determinaron con la técnica McMaster. Los datos de carga parasitaria se normalizaron ($\sqrt{x+0.5}$) y se realizó un análisis de media principal en el programa Minitab®. Se identificó, *E. stiedae* (coccidiosis hepática) en 8 UPC (19-100%) y coccidiosis intestinal por *E. irresidua* en 5 UPC (17-63.6%), *E. exigua* en 4 (23.5-100%), además se identificaron en tres UPC *E. media* (14.7-47.6%) y *E. coecicola* (14.7-19%), en dos *E. intestinalis* (24-28%), *E. magna* (11.7-24%) y *E. perforans* (4.5-18%) y en una UPC *E. piriformis* (9%). La carga parasitaria fue superior a la media en las UPC 9 (241450 ± 33555) y 8 (56817 ± 3907), solo en la unidad de producción 10, la cantidad de OPG (25433 ± 2776), se encontró dentro de los límites de decisión, la mayor cantidad de OPG se identificó en UPC con deficiente diseño de instalaciones, así como en aquellas en las cuales la alimentación y suministro de agua de buena calidad son limitados. *Eimeria* spp., está presente en todas las UPC del Valle del Mezquital, con una cantidad de OPG que pone en riesgo la salud de los animales.

Palabras clave: conejos, *Eimeria* spp. coccidiosis, OPG.

ABSTRACT

The objective of this study was to identify and quantify species of the genus *Eimeria* present in naturally infected rabbits in the production units of Valle del Mezquital, Hidalgo state. Fecal samples were collected from 10 rabbit production units (RPU) comprising 320 rabbits aged between 30 and 60 days (fattening period). Identification of *Eimeria* spp. species was carried out using the flotation technique, with criteria of measurement and morphological comparison. Oocysts per gram of feces (OPG) were determined using the



McMaster technique. Parasite load data were normalized ($\sqrt{x+0.5}$) and a principal mean analysis was performed in Minitab® software. *E. stiedae* (hepatic coccidiosis) was identified in 8 RPUs (19-100%) and intestinal coccidiosis by *E. irresidua* in 5 RPUs (17-63.6%), *E. exigua* in 4 (23.5-100%), additionally, *E. media* (14.7-47.6%) and *E. coecicola* (14.7-19%) were identified in three RPUs, *E. intestinalis* (24-28%), *E. magna* (11.7-24%), and *E. perforans* (4.5-18%) in two RPUs, and *E. piriformis* (9%) in one RPU. The parasite load was above average in RPUs 9 (241450 ± 33555) and 8 (56817 ± 3907), only in production unit 10 the amount of OPG (25433 ± 2776) was found within decision limits, the highest amount of OPG was identified in RPUs with poor facility design, as well as those where feeding and supply of good quality water are limited. *Eimeria* spp. is present in all RPUs of Valle del Mezquital, with an OPG quantity that puts the health of the animals at risk.

Keywords: rabbits, *Eimeria* spp. coccidiosis, OPG.

INTRODUCCIÓN

La carne de conejo desempeña un papel importante en la salud, economía rural y el desarrollo sostenible, por sus características nutricionales, como alto contenido de proteínas (20.3g/100g) y ácidos grasos insaturados (60.5%), bajo contenido en grasas (1.8-8.8g/100g), de colesterol (47mg/100g) y sodio (37-47mg/100g) (Siddiqui *et al.*, 2023). Sin embargo, la cadena productiva enfrenta diversos problemas, principalmente relacionados con la sanidad animal y la calidad del producto. Los brotes de enfermedades, la mortalidad y los costos de alimentación afectan la rentabilidad (Mukaila, 2023). Una de las condiciones para el éxito de la cunicultura, es asegurar el bienestar epizootiológico de las UPC, la parasitosis afecta a la ganadería, ya que retrasan el crecimiento de los animales, pueden ocasionar su muerte y afectar la calidad de la carne (Gutyj *et al.*, 2023).

El conocimiento de los factores de riesgo, del tipo de enfermedades, causas de muerte y tasas de prevalencia, permite implementar estrategias de manejo más eficientes (Espinosa *et al.*, 2020). La coccidiosis del conejo es una enfermedad parasitaria causada por especies del género *Eimeria* (Xu *et al.*, 2022). Los conejos afectados presentan diarrea, disminución del apetito, deshidratación, pérdida de peso, retraso en el crecimiento, lesiones hepáticas e intestinales y muerte (Exequiel *et al.*, 2021).

Se reportan dos tipos de coccidiosis, la hepática causada por *Eimeria stiedae*, enfermedad devastadora, con alta morbilidad y mortalidad, que ejerce efectos patológicos sobre la integridad de los hepatocitos y la función hepática de los conejos (Athanasidou *et al.*, 2023). A su vez *Eimeria* spp., causan coccidiosis intestinal que afectan a la mucosa, *E. intestinalis* y *E. magna* destruye la flora intestinal, lo que provoca cambios en los metabolitos y en los mecanismos moleculares de las interacciones conejo-parásito (Xu *et al.*, 2022). *Eimeria intestinalis* induce inflamación intestinal, pérdida de células caliciformes, alteración de la microbiota (aumenta la población de *Escherichia* y *Enterococcus*) y los metabolitos yeyunales, así como la interacciones hospedero-microbioma (Xu *et al.*, 2022).



El diagnóstico morfológico, sigue siendo la herramienta para el diagnóstico de patologías asociadas a esta especie (Espinosa *et al.*, 2020; Cordero del Campillo & Rojo, 2000). Mientras que la prevención y el control se logran implementando medidas higiénicas, con el uso de fármacos o productos anticoccidianos (Abd El-Ghany, 2020). El mecanismo de acción consiste en destruir las etapas intracelulares del parásito una vez que ha invadido las células hospederas, los productos sintéticos incluyen robenidina, decoquinato y diclazurilo (Kadykalo *et al.*, 2018).

La administración de ionóforos ha sido un método eficaz para controlar las infecciones por *Eimeria* spp., sin embargo, por la presión política y social actual, se ha reducido y/o prohibido su uso en la ganadería (Ferreira *et al.*, 2020). Compuestos fitoquímicos, han mostrado efectos preventivos, terapéuticos o inmunomoduladores contra la coccidiosis. Estos tratamientos se caracterizan por la ausencia de desarrollo de resistencia coccidial (Nahed *et al.*, 2022).

En México, existen 11 mil 560 UPC con un millón 108 mil 350 conejos. Los estados con más UPC registradas son: el Estado de México con tres mil 885 y 293 mil 332 animales, e Hidalgo con mil 64 y 274 mil 811 conejos (SENASICA, 2020). Actualmente, se desconoce la situación sanitaria respecto a las especies del género *Eimeria* que prevalecen en las unidades de producción y la carga parasitaria presente en ellas; por lo que el objetivo, del presente estudio fue identificar morfológicamente y cuantificar especies del género *Eimeria* presentes en conejos naturalmente infectados en unidades de producción del Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en 10 localidades de los municipios de Tezontepec de Aldama (20°11'26" N, 99°16'27" O, 2006 msnm), Mixquiahuala de Juárez (20°13'49" N, 99°12'50" O, 2002 msnm), Progreso de Obregón (20°14'50" N, 99°11'24" O, 1999 msnm), Francisco I. Madero (20° 14' 43" N, 99° 5' 28" O, 1980 msnm) y Ajacuba (20° 5' 33" N, 99° 7' 10" O, 2143 msnm) (Figura 1), pertenecientes al Valle del Mezquital Hidalgo, que por sus características presenta un clima semiárido, con suelos de riego y temporal, temperatura media anual de 18 °C y precipitación de 593 mm (Rosas *et al.*, 2015).

Unidades de Producción

En las UPC se registró la raza, número de reproductores y tipo de alimentación, además de las características de las instalaciones y equipos que utilizan.

Colecta de las muestras

Se colectaron muestras de heces de 32 conejos (por unidad) en 10 UPC de 5 municipios del Valle del Mezquital con productores cooperantes, de razas Nueva Zelanda Blanco

(NZB), California (CAL), Chinchilla (CH), Azteca Negro (AZN) y Satinado (ST), de entre 30 y 60 días de edad (período de engorda), alojados en jaulas de alambre galvanizado en grupos de 8 animales en promedio.

Para garantizar la integridad de las muestras, estas se transportaron a temperatura de refrigeración (4°C) al laboratorio del Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia (AAMVZ), en el Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), para su identificación morfológica y determinación de carga parasitaria.

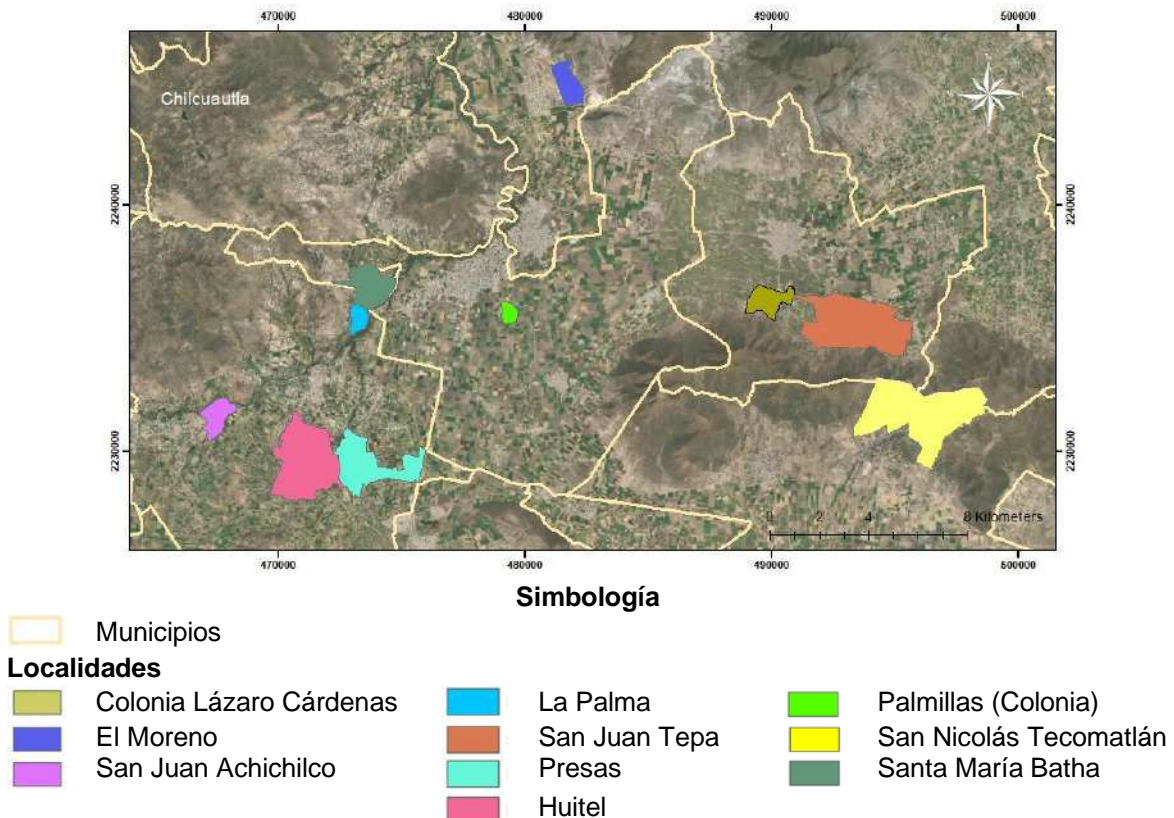


Figura 1. Ubicación geográfica de las localidades en las cuales se localizaron las UPC muestreadas para el estudio

Identificación morfológica

Para la identificación de las especies del género *Eimeria* presentes en los conejos, se utilizó la técnica de flotación, usando una solución saturada de NaCl y observando al microscopio a 10X y 40X para su identificación cualitativa con criterios de medición y comparación morfológica (Cordero del Campillo & Rojo, 2000).

Determinación de carga parasitaria

Para determinar la cantidad de OPG, se utilizó la técnica de McMaster. El número de OPG fue calculado sumando el resultado del recuento de ambas cámaras y multiplicando



por 50 (Sandoval *et al.*, 2011). Se realizaron cuatro repeticiones por Unidad de producción cunícola.

Análisis estadístico

Los datos de carga parasitaria se normalizaron mediante $\sqrt{x+0.5}$ para realizar un análisis de media principal en el programa Minitab® Statistical Software MiniTab, (2021).

RESULTADOS

De acuerdo con el análisis de los resultados, la raza de conejo predominante en las unidades de producción fue Nueva Zelanda presente en el 80% de las granjas, seguido de la raza California con el 50%, y que corresponde a productores que utilizan cruzamiento con estas dos razas. En cuanto a la alimentación, en 7 de las 10 granjas proporcionan alimento comercial en forma de pellets, mientras que una alimenta únicamente con alfalfa verde, otra con alimento comercial y alfalfa y una más con una combinación de concentrado comercial, alfalfa y nopal (Tabla 1).

Tabla 1. Características de las Unidades de producción cunícola en la región Valle del Mezquital

Granja	Raza					No. de reproductores				Alimentación			
	Nueva Zelanda	Blanco California	Chinchilla	Azteca Negro	Satinado	Hembras	Machos	Concentrado	Alfalfa	Concentrado + alfalfa	Concentrado + alfalfa + nopal		
1	1			1		13	2		1				
2	1	1				40	5				1		
3	1	1				55	7	1					
4	1	1	1			100	11	1					
5					1	30	5	1					
6					1	30	4	1					
7	1					35	5	1					
8	1	1				36	8	1					
9	1	1				17	3			1			
10	1					36	10	1					
Total	8	5	1	1	2	392	60	7	1	1	1		

Respecto al diseño de instalaciones y equipo disponible, en la tabla 2 se observa que la mayoría de los techos de las granjas (9/10) están elaborados con láminas de hierro, solo una utiliza lámina de asbesto. El 50% de las paredes de las granjas es de block y el 50%



utiliza malla ciclónica. El 60% tienen piso de cemento y el 40% no cuenta con piso firme (tierra).

Las jaulas son americanas de alambre galvanizado en el 80% de las UPC, acomodadas en flat deck (calibre 14), el 20% utiliza módulos de alambre galvanizado (calibre 12). El 50% utiliza comederos tipo tolva que permite un uso más eficiente del alimento, el 40% alimenta en comederos tipo J y solo un productor alimenta con alfalfa sobre las jaulas (10%). El 70% proporciona agua en recipientes de plástico o de acero inoxidable y sólo el 30% utiliza bebederos automáticos de chupón (Tabla 2).

Tabla 2. Tipo de instalaciones y equipo que se utilizan en UPC del Valle del Mezquital, Hidalgo

Granja	Techo		Piso		Pared			Jaula		Comedero		Bebedero			Nidos		
	Lámina	Asbesto	Tierra	Concreto	Block	Malla	Individual	Modulo	Tipo J	Tipo tolva	Forrajera	Plástico	Acero	Automático	Lámina	Plástico	Madera
1	X		X			X	X				X	X				X	
2	X		X		X		X		X			X			X		
3	X			X		X		X		X				X	X		
4	X			X	X		X		X				X			X	
5		X		X	X			X		X				X		X	
6	X		X			X	X			X			X			X	
7	X			X	X		X		X			X					X
8	X		X			X	X			X			X			X	
9	X			X		X	X		X			X				X	
10	X			X	X		X			X				X	X		
Total	9	1	4	6	5	5	8	2	4	5	1	4	3	3	3	6	1

Identificación de especies del género *Eimeria*

En las UPC del área de estudio, se identificaron los dos tipos de coccidiosis, la hepática ocasionada por *E. stiedae* y la coccidiosis intestinal causada por diferentes especies de *Eimeria spp* (Tabla 3). *E. stiedae* fue identificada en 8 UPC, en un rango de 19 al 100%, seguido de *E. irresidua* con presencia en 5 UPC con un mínimo de 17 y un máximo de

63.6 %, y de *E. exigua*, al encontrarse en 4 UPC entre el 23.5 y 100%. *E. intestinalis* y *E. flavescens* son las que producen coccidiosis intestinal más severa y se identificaron en 2 y una UPC, con una tasa de infección de 26 y 9%, respectivamente. Se identificaron además *E. magna*, *E. media*, *E. piriformis*, *E. perforans*, *E. coecicola*.

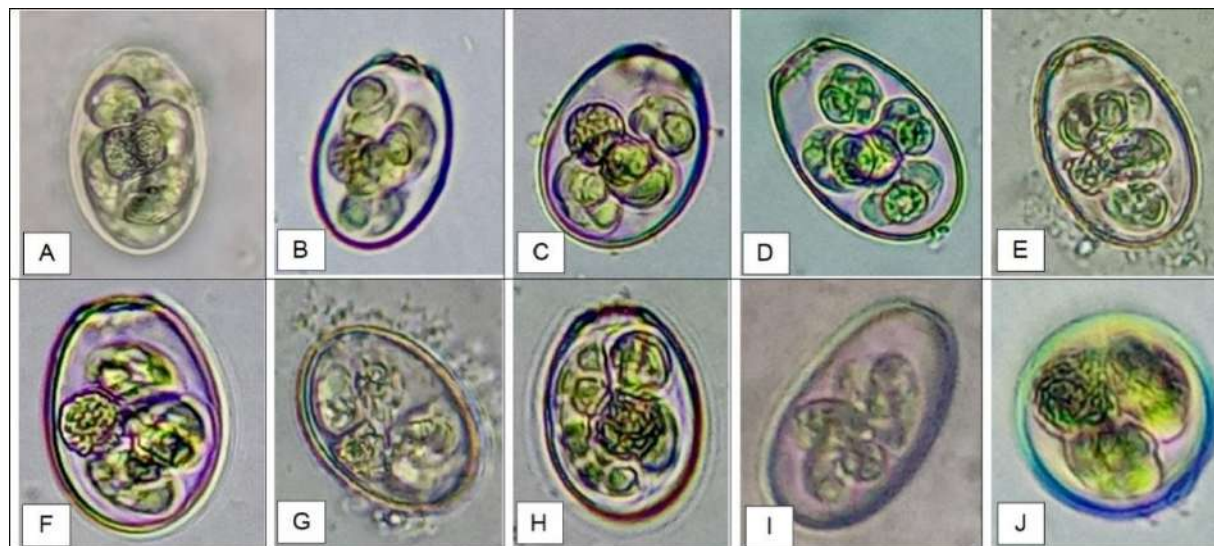


Figura 2. Morfología de los ooquistes de las especies del género *Eimeria* identificadas en las UPC del Valle del Mezquital, Hidalgo. A) *E. stiedae*, B) *E. flavescens*, C) *E. intestinalis*, D) *E. magna*, E) *E. media*, F) *E. irresidua*, G) *E. piriformis*, H) *E. perforans*, I) *E. coecicola*, J) *E. exigua*

Cuadro 3. Porcentaje de especies del género *Eimeria* en UPC del Valle del Mezquital, Hidalgo

Especie	Unidades de Producción Cunícola									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>E. stiedae</i>	23.4	19		44	45		48	100	30.9	36
<i>E. flavescens</i>	9.3									
<i>E. intestinalis</i>		28					24			
<i>E. magna</i>		24							11.7	
<i>E. media</i>	47.6			39					14.7	
<i>E. irresidua</i>			63.6	17	28		28			31
<i>E. piriformis</i>					9					
<i>E. perforans</i>					18				4.5	
<i>E. coecicola</i>	19.7	29							14.7	
<i>E. exigua</i>			36.4			100			23.5	33



Porcentaje de infección de especies de *Eimeria* spp. en UPC

De las 10 UPC analizadas, el 100% resultaron positivas a *Eimeria* spp., en la figura 3, se observa que existen diferencias estadísticas significativas en la cantidad de OPG entre UPC, siendo las UPC 9 (241450 ± 33555) y 8 (56817 ± 3907) las que presentaron una cantidad superior a la media de OPG, mientras que las cargas inferiores a la media se encontraron en la UPC 1 (11417 ± 1051), 7 (6367 ± 1614), 6 (4500 ± 816), 4 (3217 ± 437), 2 (1583 ± 246), sin mostrar diferencias significativas entre la UPC 5 (583 ± 125) y 3 (433 ± 85), siendo solo la UPC 10, la que presentó una cantidad de OPG que se encontró dentro de los límites de decisión.

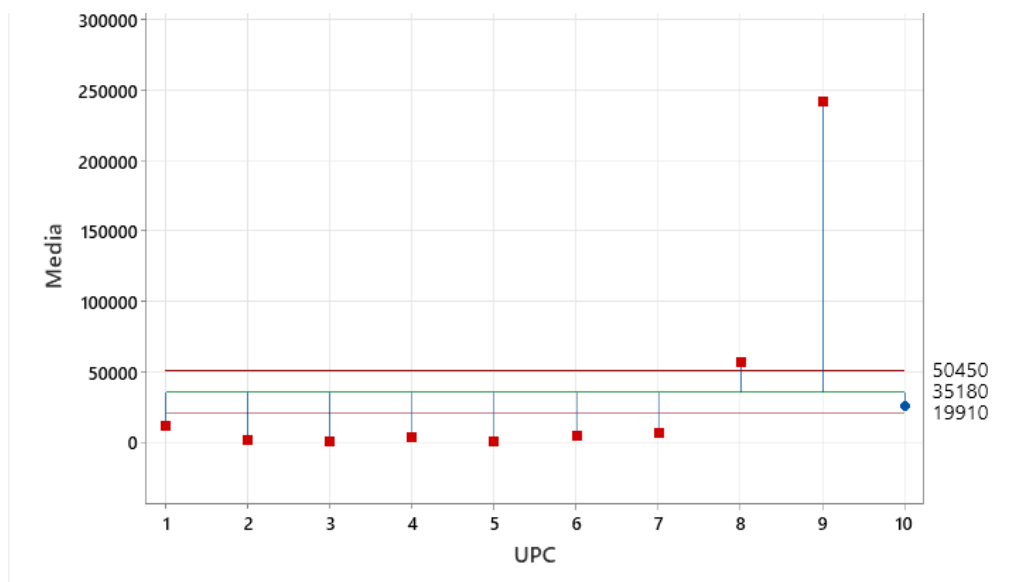


Figura 3. OPG de *Eimeria* spp. en UPC en el Valle del Mezquital, Hidalgo

DISCUSIÓN

Las especies del género *Eimeria* que se identificaron en el presente estudio corresponden a diez de las 11 especies reportadas a nivel mundial que afectan al conejo. La presencia de varias especies obliga a determinar si pueden actuar sinérgicamente, y si con dos o más especies, aumenta la patogenicidad (García *et al.*, 2017). Según Gabriele & Daniel, (2019), *Clostridium spiroforme* y *Eimeria* spp., se asocian con enfermedades gastrointestinales en conejos jóvenes y pueden provocar altas tasas de morbilidad y mortalidad. Serge *et al.*, (2020), refieren que los conejos son susceptibles a la coccidiosis al principio y al final de la lactancia mientras que la sensibilidad de los gazapos es más evidente en los días posteriores al destete, donde las reproductoras juegan un papel importante en la transmisión de la coccidiosis.

Las UPC se clasificaron como pequeño y mediano cunicultor según la clasificación de Vélez *et al.*, (2023), quienes las clasifican con base en su capacidad productiva,



capacidad del cunicultor y eficiencia técnica: pequeño cunicultor familiar (37%), mediano cunicultor familiar (50%) y cunicultor empresarial (13%), y de acuerdo con [Shkromada & Nedzheria, \(2020\)](#), tanto en granjas comerciales como familiares, la infección más común es por *E. perforans*, *E. magna*, *E. media*, *E. irresidua*, *E. piriformes* y *E. intestinalis*.

En el Valle del Mezquital, las razas NZB y CAL son las más utilizadas, observándose también que presentan la mayor carga parasitaria, coincidiendo con lo reportado por [Shola et al., \(2019\)](#), quienes mencionan que la raza y el tipo de alojamiento son factores de riesgo significativos asociados con la infección de *Eimeria* spp. Por su parte, [Pilarczyk et al., \(2020\)](#), no reportan diferencias significativas en la infección por especies del género *Eimeria* con respecto al género, pero sí por la edad y densidad por jaula, siendo mayor en conejos menores de 6 meses y agrupados, en relación con los alojados individualmente.

Las características de las jaulas (modelo y calibre) y equipo (comederos y bebederos) utilizados en las UPC del Valle del Mezquital permiten la reproducción de especies del género *Eimeria*, y coincide con [Legendre et al., \(2019\)](#), quienes mencionan que los gazapos se infectan por vía oral, al consumir alimentos o agua contaminados con ooquistes, incrementado la posibilidad de ser infectados cuando son alimentados con forrajes. [Henneb et al., \(2022\)](#), mencionan que la población de *Eimeria* spp., es significativamente mayor en las granjas que no cumplen con buena higiene, agua y alimento de calidad. [Gerbil et al., \(2023\)](#), indican que el tipo y la calidad de los equipos utilizados en la producción de conejos, debe cubrir las necesidades de alimento y confort, evitando su contaminación con heces.

Por su parte, [Shkromada et al., \(2019\)](#), describen que el parásito se propaga a través de animales enfermos y se conserva bien en el ambiente externo. Los ooquistes de coccidios viven en las células durante mucho tiempo, por lo que el desalojo temporal de los animales no previene la infección. [Shola et al., \(2019\)](#), reportan que los conejos mantenidos en "batería" presentan una tasa de prevalencia más alta (95.2%) en comparación con los criados en el sistema "flat-deck" (71.9%). Según [Shkromada & Nedzheria, \(2020\)](#), el manejo en jaulas metálicas, cumpliendo con las normas sanitarias e higiénicas y la desocupación oportuna, reduce el nivel de la infección por *Eimeria* spp. Mientras que [Hamid et al., \(2019\)](#), mencionan que los parásitos son ubicuos en el medio ambiente y se transmiten por vía fecal-oral.

En las UPC del Valle del Mezquital, se identificaron 10 de las 11 especies del género *Eimeria* reportadas en conejos de acuerdo con [Qin et al., \(2023\)](#), son. Además, de encontrarse de 8 a 1 especie en la misma UPC, datos similares a lo reportado por [Serge et al., \(2019\)](#), quienes al registrar por siete meses la dinámica de excreción de ooquistes en reproductoras y sus crías, en el 100% de los animales encontraron altas concentraciones de ooquistes, con 7 especies de coccidios, coexistiendo en un mismo



individuo. Maziz *et al.*, (2018), al evaluar la prevalencia de coccidias en granjas de conejos en el norte de Argelia, identificaron ocho especies del género *Eimeria*, reportando que las infecciones mixtas con cuatro especies fueron comunes, siendo *E. magna* la especie dominante, en comparación con *E. media* y *E. irresidua* con frecuencias respectivas de 42.5%, 17.6% y 14.9% ($p < 0.001$).

De las especies identificadas en el presente estudio, según Takami *et al.*, (2023). *E. intestinalis* y *E. flavescens*, causan coccidiosis intestinal, y *E. stiedae*, causa coccidiosis hepática, presentando alta virulencia. A su vez, Athanasiou *et al.*, (2023), reportan que *Eimeria stiedae*, es una enfermedad devastadora con altas tasas de morbilidad y mortalidad, sin embargo, Laha & Goswami, (2023), afirman que sólo la coccidiosis intestinal puede causar alta mortalidad en conejos. Anak & Sarayati, (2023), mencionan que la vía de transmisión ocurre cuando los conejos consumen alimentos y bebidas contaminados con ooquistes. Por su parte *Eimeria magna* se caracteriza por ser levemente patógena y moderadamente inmunogénica (Geru *et al.*, 2017). Provocando letargo, pérdida de peso, diarrea e incluso la muerte en casos graves (Chen *et al.*, 2023).

En las UPC del presente estudio, las muestras se recolectaron en conejos de engorda (30 a 60 días de edad) por ser una etapa donde se presentan grandes pérdidas económicas, asociadas a diarreas. Elhendy *et al.*, (2018), reportan una prevalencia del 88% en conejos menores de 4 meses. Según estudios de El-Ashram *et al.*, (2020), el 86.50% (198/229) de los conejos después del destete, fueron infectados por *E. media*, *E. perforans*, *E. intestinalis*, *E. magna*, *E. coecicola*, *E. exigua* y *E. flavescens*.

Sun *et al.*, (2016), refieren que las especies del género *Eimeria* en conejos, solo son capaces de infectar a ciertos hospederos, y que, durante la infección, se produce la división y crecimiento celular, inflamación en el intestino para reemplazar los enterocitos dañados, siendo necesario el colesterol como constituyente esencial de la membrana celular. A su vez, Manjunatha *et al.*, (2019), observaron en los conejos afectados, retraso en el crecimiento, anorexia, pérdida de peso, diarrea, dolor abdominal y muerte súbita, mientras que en la bioquímica sanguínea se reporta un aumento de las enzimas hepáticas y la bilirrubina.

Por su parte, Petrova *et al.*, (2022), al realizar la necropsia de conejos infectados con *Eimeria stiedae*, revelaron hepatomegalia, nódulos amarillentos multifocales difusamente repartidos por la superficie del hígado y en el parénquima, conductos biliares dilatados e hiperplasia biliar, además, Manjunatha *et al.*, (2019), identificaron numerosos ooquistes de *E. stiedae*, encontrándose múltiples áreas de necrosis coagulativa de células hepáticas rodeadas de células inflamatorias. Según Chatterjee *et al.*, (2023), esta situación clínica prevalece en diferentes órganos como páncreas, hígado y ciego.



De acuerdo con [Taraneh et al., \(2011\)](#), los animales afectados presentan pérdida de peso, con reservas de grasa reducidas y atrofia muscular, pelo hirsuto y material fecal adherido al pelo en el perineo, se observan cambios patológicos macroscópicos en el intestino delgado, distendidos y llenos de una ingestión semisólida de color verde grisáceo, la mucosa intestinal severamente hiperémica y edematosa. De igual forma, [Sidorenko et al., \(2020\)](#), identificaron en secciones histológicas del intestino delgado, merozoitos, enterocitos dañados, así como acumulaciones de linfocitos y eosinófilos.

La variabilidad de OPG de las UPC del Valle del Mezquital fue alta, solo una UPC registró una población <500 OPG, que de acuerdo con [Anak y Sarayati et al., \(2023\)](#), se considera una infección leve y sin capacidad de generar daño. A su vez, [Sidorenko et al., \(2020\)](#), al evaluar la intensidad de infección de *E. perforans* y *E. irresidua* inoculando con 50-60 mil ooquistes por conejo de 40 días de edad, reportaron que la ganancia máxima de peso vivo y el rendimiento en canal, disminuyen en conejos híbridos F1 Chinchilla x California. Por su parte, [Balicka et al., \(2020\)](#), reportan que el número de OPG muestra también grandes fluctuaciones en el año, siendo más alta en el mes de mayo (21100 OPG).

[Tokiwa et al., \(2022\)](#), mencionan que las especies del género *Eimeria* pueden transmitirse horizontalmente a través de ooquistes, siendo problemático en entornos cerrados. Mientras que [Chatterjee et al., \(2023\)](#), reportan que la temperatura adecuada puede desencadenar la esporulación y complementar su ciclo de vida. Además, [Shkromada et al., \(2019\)](#), señalan que es imposible eliminar totalmente los coccidios, a pesar de acidificar todos los días el agua, porque al disminuir la concentración terapéutica los conejos se enferman. La acidificación con ácidos fórmico, ortofosfórico, sórbico y ácido cítrico a un pH de 3,5 y una exposición de 60 minutos elimina del 50 al 90 % de ooquistes. Un pH 3,5 a 4,5 no causa destrucción del epitelio de la mucosa. De igual forma [Hamid et al., \(2019\)](#), reportan que la aplicación de medidas de bioseguridad mediante la eliminación de los ooquistes en las heces antes de que esporulen reduce la cantidad de ooquistes con capacidad infecciosa.

La alta concentración de OPG en por lo menos 9 de las 10 granjas evaluadas podrían afectar de manera considerable las utilidades de las UPC, ya que según [Chatterjee et al., \(2023\)](#), aproximadamente el 70% de los costos estimado por coccidiosis subclínica, se debe a que se afecta la ganancia de peso y la conversión alimenticia, siendo necesario implementar medidas eficientes de prevención y control para evitar pérdidas económicas.

De acuerdo con [Chen et al., \(2023\)](#), un método para prevenir la coccidiosis en conejos es usar fármacos anticoccidiales en la dieta, sin embargo, existe preocupación sobre la resistencia y la presencia de residuos (de los fármacos) en la canal. A su vez, [Xiao et al., \(2022\)](#), recomiendan el uso de vacunas como estrategia de medicina preventiva. Por su parte, [Rivero et al., \(2019\)](#), proponen el uso de productos antimicrobianos obtenidos a partir de plantas y árboles como *Salix babylonica* (Sauce llorón) como alternativa para el



control de coccidiosis en conejos naturalmente infectados, ya que con la administración de 25 y 50 mg/kg de peso vivo, logró disminuir la eliminación OPG, efecto asociado a su composición fitoquímica (cumarinas, triterpenos, flavonoides, lactonas sesquiterpénica, saponinas, terpineno, linalol, timol y carvacrol). Mientras que Nahed *et al.*, (2022), reportan que, en pollos, los compuestos fenólicos disminuyen el recuento de ooquistes de *Eimeria* spp. al reaccionar con las membranas citoplasmáticas, causando lisis y destrucción del protozoario.

CONCLUSIONES

Eimeria spp., están presentes en el 100% de las Unidades de Producción Cunicola muestreadas en el Valle del Mezquital, en el 80% de los casos se presentaron como infecciones mixtas con la presencia de más de una especie. La cantidad de OPG (más de 500) pone en riesgo la salud de los animales y obliga a implementar programas de prevención y/o controles efectivos que consideren la reducción en el uso de fármacos.

LITERATURA CITADA

ABD El-Ghany WA. 2020. Coccidiosis: A Parasitic Disease of Significant Importance in Rabbits. *World Vet. J.* 10 (4):499-507. ISSN: 2322-4568.

<https://dx.doi.org/10.54203/scil.2020.wvj60>

ANAK PA, Sarayati HAMS. 2023. Gastrointestinal Infection of Rabbits in Ranau Rabbit Farm. Ranau, Sabah Malaysia. *Science Letters.* 17(1): 145-155. ISSN: 1675-7785. eISSN: 2682-8626. <https://doi.org/10.24191/sl.v17i1.19874>

ATHANASIOU LV, Tsokana CN, Doukas D, Kantere MC, Katsoulos PD, Papakonstantinou GI, Katsogiannou EG, Dedousi A. 2023. Hepatic Coccidiosis in Wild Rabbits in Greece: Parasite Detection on Liver Imprints and the Associated Biochemical Profile. *Veterinary Sciences.* 10(4):248. ISSN: 2306-7381.

<https://doi.org/10.3390/vetsci10040248>

BALICKA RA, Laurans L, Pohorecki K, Batko M, Ramisz A. 2020. Short communication: prevalence of *Eimeria* spp. infection in domestic rabbits of Polish farms. *World Rabbit Sci.* 28: 181-185. ISSN: 1257-5011. <https://doi.org/10.4995/wrs.2020.10758>

CHATTERJEE T, Muherjea R, Mondal M. 2023. Occurrence of Coccidiosis amongst Different Wildlife and Other Domestic Animals Including Birds: A Review on Comparative Study. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 12(2):8-16. eISSN: 2319-7706.

<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2023.1202.002>

CHEN H, Pu J, Xiao J, Bai X, Zheng R, Gu X, Xie Y, He R, Xu J, Jing B, Peng X, Ren Y, Yang G. 2023. Evaluation of the immune protective effects of rEmMIC2 and rEmMIC3 from *Eimeria magna* in rabbits. *Parasitology Research.* 122: 661–669. eISSN: 1432-1955

<https://doi.org/10.1007/s00436-022-07774-3>



CORDERO DEL CAMPILLO M, Rojo Vázquez FA. 2000. *Parasitología Veterinaria*. MacGraw-Hill Interamericana. ISBN 84-486-0236-6, 1a. ed., España. Pp. 729-734.

EL-ASHRAM S, Aboelhadid SM, Abdel-Kafy E-SM, Hashem SA, Mahrous LN, Farghly EM, Kamel AA. 2020. Investigation of Pre- and Post-Weaning Mortalities in Rabbits Bred in Egypt, with Reference to Parasitic and Bacterial Causes. *Animals*. 10(3): 537. eISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10030537>

ELHENDY A, Kuraa H, Nageib B. 2018. Pathological and parasitological studies on some eimeria species in rabbits using light and electron microscope. *Assiut Veterinary Medical Journal*. 64(157): 81-93. eISSN: 2314-5226. <https://doi.10.21608/AVMJ.2018.168915>

ESPINOSA J, Ferreras MC, Benavides J, Cuesta N, Pérez C, García Iglesias MJ, García Marín JF, Pérez V. 2020. Causes of Mortality and Disease in Rabbits and Hares: A Retrospective Study. *Animals*. 10(1):158. ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10010158>

EXEQUIEL S, Allende L, Fariña F, Quintana S, Rivero M, Rodríguez M, Pane S. 2021. Excreción de ooquistes de *Eimeria* en conejos infectados naturalmente en una granja de producción de carne. *Neotropical Helminthology*. 15(2):199–209. eISSN 1995-1043 <https://doi.org/10.24039/rnh20211521276>

FERREIRA DCA, Santin E, Kogut M. 2020. Poultry Coccidiosis: Strategies to Understand and Control. *Frontiers in Veterinary Science*. 7. ISSN:2297-1769. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.599322>

GABRIELE CPI, Daniel GF. 2019. Clostridial Enterotoxemia and Coccidiosis in Weanling Cottontail Rabbits (*Sylvilagus audubonii*, *Sylvilagus floridanus*, *Sylvilagus nuttallii*) from Colorado, USA. *J Wildl Dis*. 55 (1):189–195. ISSN: 0090-3558. <https://doi.org/10.7589/2018-02-026>

GARCÍA RVG, Bautista GLG, Martínez CJS, Romero NC. 2017. Multicausal etiology of the enteric syndrome in rabbits from Mexico. *Revista Argentina de Microbiología*. 49(2):132-138. ISSN 0325-7541. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.001>

GERBIL K, Essa N, Abdou S, Omar A. 2023. Characterization of rabbits production systems in Egypt. *Archives of Agriculture Sciences Journal*. 6(1): 59-72. eISSN:2535-1699. <https://dx.doi.org/10.21608/AASJ.2023.295298>

GERU T, Yunzhou W, Chao L, Xiaolong G, Ping C, Sufang F, Xun S, Xianyong L. 2017. High pathogenicity and strong immunogenicity of a Chinese isolate of *Eimeria magna* Pérard, 1925. *Parasitology International*. 66(3):207-209. ISSN 1383-5769. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2017.01.014>

GUTYJ B, Boyko O, Korchan L. 2023. Epizootological monitoring of rabbit parasitoses on the territory of Ukraine. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Veterinary Sciences*. 25(109):3-7. eISSN:2518–1327. <https://doi.org/10.32718/nvlvet10901>



HAMID PH, Prastowo S, Kristianingrum YP. 2019. Intestinal and hepatic coccidiosis among rabbits in Yogyakarta, Indonesia. *Vet World*. 12(8):1256-1260. eISSN: 2231-0916. <https://www.veterinaryworld.org/Vol.12/August-2019/12.html>

HENNEB M, Belabbas R, Habbache N, Zenia S. 2022. Prevalence and risk factors of *Eimeria* spp. and *Giardia* spp. in rabbits of local algerian population. *Plant Archives*. 23(1):11-16. eISSN:2581-6063. <https://doi.org/10.51470/plantarchives.2023.v23.no1.002>

KADYKALO S, Roberts T, Thompson M, Wilson J, Lang M, Espeisse O. 2018. The value of anticoccidials for sustainable global poultry production. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 51(3):304-310. ISSN:0924-8579. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2017.09.004>

LAHA R, Das M, Goswami A. 2023. Coccidiosis in rabbits in a subtropical hilly region. *Indian Journal of Animal Research*. 49(2): 231-233. eISSN:0976-0555. <https://doi.org/10.5958/0976-0555.2015.00064.3>

LEGENDRE H, Goby JP, Le Stum J, Hoste H, Cabaret J, Gidenne T. 2019. Parasitisme gastro-intestinal du lapin pâturage en fonction de l'âge, de la saison et du type du pâturage: 1/Nematodes. In: Proceedings of the 18emes *Journées de la Recherche de Cunicole*. 9–12. ISSN 2273-8142. <https://hal.inrae.fr/hal-02738438>

MANJUNATHA V, Rout M, Sujay CS, Jaisingh N, Salin Nikitha, Byregowda SM. 2019. Clinico-pathologic observations of spontaneous hepatic coccidiosis in broiler rabbits maintained in Bannerghatta biological park in Karnataka state of India. *Indian Journal of Animal Research*. 53(4):528-532. eISSN:0976-0555. <https://doi.org/10.18805/ijar.B-3436>

MAZIZ BS, Aissi M, Ainbaziz H, Bachene MS, Zenia S, Ghisani F. 2018. Prevalence of coccidian infection in rabbit farms in North Algeria, *Veterinary World*. 11(11):1569-1573. eISSN: 2231-0916. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1569-1573>

MINITAB, LLC. 2021. Minitab. <https://www.minitab.com>

MUKAILA R. 2023. Measuring the economic performance of small-scale rabbit production agribusiness enterprises. *World Rabbit Sci*. 31:35-46. ISSN:1257-5011. <https://doi.org/10.4995/wrs.2023.18660>

NAHED A. El-Shall, Mohamed E. Abd El-Hack, Najah M. Albaqami, Asmaa F. Khafaga, Ayman E. Taha, Ayman A. Swelum, Mohamed T. El-Saadony, Heba M. Salem, Amira M. El-Tahan, Synan F. AbuQamar, Khaled A. El-Tarabily, Ahmed R. Elbestawy. 2022. Phytochemical control of poultry coccidiosis: a review. *Poultry Science*. 101(1). ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101542>

PETROVA JP, Iliev PT, Ivanov AI, Petrov VS, Kalkanov II, Kostadinov NN, Ceciliani F, Vitiello T, Giordano A, Georgieva TM. 2022. Biochemical and Pathomorphological Investigations on Rabbits with Experimentally Induced Hepatic Eimeriosis *Macedonian Veterinary Review*. 45(1):53-59. eISSN:1857-7415. <https://doi.org/10.2478/macvetrev-2022-0013>



PILARCZYK B, Tomza-Marciniak A, Pilarczyk R, Januś E, Stanek P, Seremak B, Sablik P. 2020. The effect of the sex, age, and breed of farmed rabbits and the choice of management system on the extensity and intensity of *Eimeria* infection. *Veterinary World*. 13(8):1654-1660. eISSN 2231-0916. www.doi.org/10.14202/vetworld.2020.1654-1660

QIN Z, Zhang J, Zhang K, Lang J, Wang N, Li J, Zhang L. 2023. Morphological and Molecular Characteristics of a Single oocyst for the Identification of *Eimeria* species in Domestic Rabbits (*Oryctolagus cuniculus* f. domesticus). *Veterinary Parasitology*. 321:109986. ISSN:0304-4017. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.109986>

RIVERO PN, Hernández AJL, Valladares CB, Delgadillo RL, Ojeda RD, Sosa GCG, Morales UAL, Vega SV, Zaragoza BA. 2019. *Salix babylonica* L. as a Natural Anticoccidial Alternative in Growing Rabbits. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2019:1-8. eISSN:1741-4288. <https://doi.org/10.1155/2019/2107231>

ROSAS ÁJ, García RA, López GJ, Manzo DL. 2015. Análisis multicriterio para la delimitación de una región árida del centro de México. *Acta Universitaria*. 25(4):3-17. ISSN:2007-9621. <https://doi.org/10.15174/au.2015.772>

SANDOVAL E, Morales G, Ybarra N, Barrios M, Borges J. 2011. Comparación entre dos modelos diferentes de cámaras de McMaster empleadas para el conteo coproscópico en el diagnóstico de infecciones por nematodos gastroentéricos en rumiantes. *Zootecnia Tropical*. 29(4):495-501. ISSN:0798-7269. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692011000400011&lng=es&tlng=es

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2020. Acciones conjuntas para proteger la cunicultura. México. <https://www.gob.mx/senasica/articulos/acciones-conjuntas-para-proteger-la-cunicultura>

SERGE AD, Kimsé M, Komoin OC, Koné MW, Touré A. 2020. Dynamic of oocystal excretion of coccidiosis in female rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) and their litters, from pregnancy to fattening. *International Journal of Innovation and Scientific Research*. 49(1): 148–159. ISSN:2351-8014. <http://www.ijisr.issr-journals.org/abstract.php?article=IJISR-20-121-06>

SHKROMADA O, Skliar O, Paliy A, Ulko L, Suprun Y, Naumenko O, Ishchenko K, Kysterna O, Musiienko O, Paliy A. 2019. Development of preventing means for rabbits' coccidiosis. *EUREKA:Health Sciences*. (3):58-68. ISSN:2504-5679. <https://doi.org/10.21303/2504-5679.2019.00914>

SHKROMADA O, Nedzheria T. 2020. Intensity of invasion in emeriosis of rabbits in different methods of keeping. *EUREKA: Health Sciences*. (5):107-114. eISSN 2504-5679. <https://doi.org/10.21303/2504-5679.2020.001419>

SHOLA DOF, Nuhu AA, Fabiyi JP, Sanda IM, Hussain K, Rabi M, Ganiyu IA. 2019. Prevalence and associated risk factors of *Eimeria* species in rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in Ilorin, Kwara State, Nigeria. *Annals of Parasitology*. 65:267-273. ISSN:22990631. <https://doi.org/10.17420/ap6503.209>



SIDDIQUI SA, Gerini F, Ikram A, Saeed F, Feng X, Chen Y. 2023. Rabbit Meat—Production, Consumption and Consumers’ Attitudes and Behavior. *Sustainability*. 15(3):2008. ISSN:2071-1050. <https://doi.org/10.3390/su15032008>

SIDORENKO K, Mkrtychyan M, Kuznetsov Y, Klimova E. 2020. The pathogenic effect of *Eimeria* on rabbits of the soviet chinchilla breed and its hybrids with the Californian breed. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 8(s2):7-11. eISSN:2307-8316. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2020/8.s2.7.11>

SUN L, Dong H, Zhang Z, Liu J, Hu Y, Ni Y, Grossmann R, Zhao R. 2016. Activation of epithelial proliferation induced by *Eimeria acervulina* infection in the duodenum may be associated with cholesterol metabolism. *Oncotarget*. 7:27627-27640. ISSN:1949-2553 <https://doi.org/10.18632/oncotarget.8490>

TAKAMI S, Shibahara T, Sasai K, Matsubayashi M. 2023. Occurrence, Histopathological Findings, and Molecular Identification of Pathogenic *Eimeria* Infections in Rabbits (Mammalia: Lagomorpha) in Japan. *Acta Parasitol.* 68:453-457. eISSN:1896-1851. <https://doi.org/10.1007/s11686-023-00678-x>

TARANEH O, Gulegen E, Senlik B, Bakirci S. 2011. Intestinal Coccidiosis in Angora Rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) Caused by *Eimeria intestinalis*, *Eimeria perforans* and *Eimeria coecicola*. *YYU Veteriner Fakultesi Dergisi*. 22(1):27-29. ISSN: 1017-8422. <https://www.researchgate.net/publication/267690663>

TOKIWA T, Chou S, Kitazoe H, Ito K, Torimoto R, Shoshi Y, Sanjoba C, Yamamoto M, Yoshimura H. 2022. Three new species of *Eimeria* (Apicomplexa: Eimeriidae) from the Amami rabbit, *Pentalagus furnessi* (Mammalia: Leporidae). *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 18:194-200. ISSN 2213-2244. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2022.05.006>

VÉLEZ IA, Espinosa GJA, Aguilar RF. 2023. Type and characterization of rabbit farmers in Mexico's central states. *Rev Mex Cienc Pecu*. 12(2):469-486. ISSN:2448-6698. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5811>

XIAO J, Zheng R, Bai X, Pu J, Chen H, Gu X, Xie Y, He R, Xu J, Jing B, Peng X, Yang G. 2022. Preliminary evaluation of the protective effects of recombinant AMA1 and IMP1 against *Eimeria stiedae* infection in rabbits. *Parasites & Vectors*. 15(400). ISSN: 1756-3305. <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05492-4>

XU Y, Xiaofen H, Shanshan Y, Shengwei Z, Tingyu Y, Yunxiao Z, Yong L. 2022. Fecal metabolomic analysis of rabbits infected with *Eimeria intestinalis* and *Eimeria magna* based on LC-MS/MS technique. *Microbial Pathogenesis*. 162. ISSN 0882-4010, <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.105357>

Errata Erratum

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-13. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.5>

Nota de Investigación. Recibido:13/07/2024. Aceptado:16/03/2025. Publicado:29/04/2025. Clave: e2024-39.

<https://www.youtube.com/watch?v=ILxhUFRZRLA>

Efecto de la fermentación con *Aspergillus oryzae* sobre el contenido fitoquímico y nutricional de cereales

Effect of fermentation with *Aspergillus oryzae* on the phytochemical and nutritional content of cereals



Ortiz-Robledo Faviola*^{1,2} [ID](#), Araiza-Rosales Elia³ [ID](#), Herrera-Gamboa Jaime² [ID](#), Villanueva-Fierro Ignacio⁴ [ID](#), Torres-Fraga Karla⁵ [ID](#), Pámanes-Carrasco Gerardo**¹ [ID](#)

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, 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. ³Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera Durango-Mezquitil Km 11.5, 34307, Durango, Durango, México. ⁴Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Calle Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, C.P. 34220, Durango, México. ⁵Universidad Politécnica de Durango, Carretera Durango-México Km. 9.5, Localidad Dolores Hidalgo, C.P. 34300. Durango, Durango, México. *Autor responsable: Ortiz-Robledo Faviola. **Autor de correspondencia: Pámanes-Carrasco Gerardo. E-mail: favior7@yahoo.com.mx, e_araiza2002@hotmail.com, jaime.hg@vguadiana.tecnm.mx, ifierro62@yahoo.com, karlatf@hotmail.com, gerardo.pamanes@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue fermentar granos de cereales con *Aspergillus oryzae* a diferentes tiempos (0, 3, 5 y 7 días) para incrementar su contenido fenólico total, proteico y taninos condensados. Para esto, se utilizaron granos de cuatro cereales: maíz, avena, cebada y sorgo. Los granos se sometieron a una fermentación en estado sólido con una cepa de *Aspergillus oryzae*. Los mayores incrementos de proteína cruda en maíz, sorgo y avena fueron observados a los 5 y 7 días de fermentación. En relación al contenido fenólico, se mostró el mayor contenido a los 7 días en todos los granos. Por otro lado, el contenido de taninos condensados mostró un mayor incremento en maíz y sorgo a los 5 días de fermentación, mientras que en avena se alcanzó a los 7 días. La cebada no mostró diferencias de 3 a 7 días. En conclusión, la fermentación en estado sólido incrementó el contenido fitoquímico y nutricional de cereales, al manipular el tiempo de fermentación.

Palabras clave: fermentación en estado sólido, hongos filamentosos, compuestos bioactivos, fenoles.

ABSTRACT

The aim of this study was the fermentation of cereal grains with *Aspergillus oryzae* at different times (0, 3, 5 and 7 days) to increase the total phenolic, protein and condensed tannins content. Therefore, four cereal grains were used: corn, oat, barley and sorghum. Cereal grains were subjected to a solid-state fermentation with *Aspergillus oryzae*. Higher increases of protein in corn, oat and sorghum were observed at 5 and 7 days of fermentation. In relation to phenolic content, the highest content was shown at 7 days of fermentation in all grains. Otherwise, condensed tannins showed higher contents in corn and sorghum at 5 days of fermentation; whereas, oat reached higher contents at 7 days. No changes were observed in barley among 3 and 7 days of fermentation time. In conclusion, solid state fermentation increased phytochemicals and nutritional contents by changing fermentation time.

Keywords: state-solid fermentation, filamentous fungi, bioactive compounds, phenolics.



INTRODUCCIÓN

Los cereales son fuente importante de alimento para humanos y animales, ya que proveen energía, proteínas y una variedad de sustancias bioactivas (Xiao *et al.*, 2015^a; Borrás & Torres, 2016). Estos compuestos bioactivos llamados fitoquímicos o metabolitos secundarios, son moléculas orgánicas que no tienen una participación directa en el metabolismo primario, pero presentan diversas actividades biológicas (Camacho-Escobar *et al.*, 2020). Los compuestos fenólicos son el grupo de metabolitos secundarios que más abundan en las plantas; su estructura básica está conformada por un grupo hidroxilo unido a un anillo aromático y a partir de esta estructura se origina una variedad de compuestos como: ácidos fenólicos, cumarinas, ligninas, taninos y flavonoides (Sánchez, 2022). Los fenoles que se encuentran en cereales pueden ser solubles, insolubles o ligados. Dentro de los solubles, se encuentran los fenoles libres, glucosilados y esterificados y se ubican en mayor cantidad en las capas exteriores de los granos como el pericarpio, testa y células de aleurona (Cabrera-Soto *et al.*, 2009). La mayoría de los fenoles insolubles forman enlaces covalentes con componentes de la pared celular como la pectina, celulosa y proteínas estructurales (Shahidi & Yeo, 2016). En los cereales, los fenoles más abundantes son derivados del ácido benzoico, ácidos cinámicos y flavonoides (Balli *et al.*, 2019). Estos exhiben diversas propiedades biológicas como antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, entre otras (Torres-León *et al.*, 2019). La bioactividad de los compuestos fenólicos depende de su bioaccesibilidad, que se traduce como la liberación de la matriz alimenticia para que puedan estar disponibles (Gutierrez-Gijalva *et al.*, 2016).

La fermentación en estado sólido (FES), es una técnica utilizada en países orientales desde tiempos antiguos para producir una variedad de comidas tradicionales (Xu *et al.*, 2018). Se define como un proceso eficiente y económico en el que microorganismos crecen sobre sustratos sólidos, para transformarlos y enriquecerlos nutricionalmente o para producir diversos metabolitos secundarios, bajo reducidos niveles de humedad (Liu *et al.*, 2022). Los microorganismos como hongos, levaduras y bacterias lácticas, son empleados en el proceso de fermentación, pero los más comúnmente utilizados son los hongos filamentosos, los cuales son capaces de adaptarse a diferentes ambientes con bajos requerimientos de actividad de agua.

Actualmente, este proceso se aplica para aumentar la bioaccesibilidad de nutrientes y compuestos fenólicos (Gebru & Sbhata, 2020). En estudios previos, fermentaron en estado sólido una variedad de cereales para mejorar su contenido fenólico (Cia *et al.*, 2012; Bhanja Dey & Kuhad, 2014^a; Bhanja Dey & Kuhad, 2014^b; Xiao *et al.*, 2015^a; Xu *et al.*, 2018; Gebru & Sbhata, 2020).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue fermentar granos de cuatro cereales a diferentes tiempos con *Aspergillus oryzae* para incrementar su contenido fenólico y proteico.



MATERIAL Y MÉTODOS

Materia prima

Se emplearon granos de maíz variedad CAFIME del ciclo primavera-verano 2022, los cuales fueron proporcionados por el INIFAP-Durango (campo experimental Francisco I. Madero ubicado en el Municipio de Pánuco de Coronado, Durango), mientras que los granos de avena, cebada y sorgo fueron comprados en el mercado local. Todos los granos fueron limpiados y almacenados a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

Obtención y conservación de la cepa

El hongo *Aspergillus oryzae* cepa 2094 fue proporcionado por el cepario del Instituto Tecnológico de Durango-TecNM. Se utilizó como medio de conservación Agar Papa Dextrosa (PDA) a una temperatura de 30 °C. El inóculo fue preparado a partir de un cultivo de 13 días de desarrollo por suspensión de esporas en agua destilada a una concentración de 1×10^6 esporas/mL.

Fermentación en estado sólido (FES)

La FES se realizó con el método descrito por [Bhanja Dey & Kuhad \(2014^a\)](#). Se pesaron 200 g de cada grano (maíz, avena, cebada y sorgo) los cuales se depositaron en frascos de vidrio de 1 L, se agregaron 200 mL de agua destilada y se esterilizaron a 121 °C por 15 min, terminado el proceso se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, los granos esterilizados se inocularon con 20 mL de la suspensión de esporas (preparada previamente). El tiempo de incubación fue de 0, 3, 5 y 7 días respectivamente a una temperatura de 30 °C. Una vez concluido el proceso de fermentación, los granos fermentados fueron esterilizados nuevamente y se dejaron secar a 55 °C por un periodo de 72 h. Posteriormente, fueron molidos en un molino Wiley (Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA, USA) a un tamaño de partícula de 1 mm, para después guardarlos en bolsas Ziploc en un lugar oscuro y seco a temperatura ambiente para su posterior análisis.

Análisis químicos

Se determinó el contenido de proteína cruda (PC) en los granos fermentados de acuerdo con la [AOAC \(1990\)](#). Los compuestos fenólicos se llevaron a cabo de acuerdo a la metodología propuesta por [Heimler et al. \(2005\)](#). Un gramo de muestra se maceró con 90 mL de etanol al 70 % (ajustado a pH 2.0) y se dejó toda la noche a temperatura ambiente. Después, la mezcla se filtró y luego se desengrasó con éter de petróleo. Posteriormente, el extracto desengrasado se evaporó a temperatura ambiente y se redisolvió en etanol al 70 % (pH 2.0) a un volumen final de 2 mL. Para la determinación de fenoles totales (FT), se tomaron 125 µL de extracto fenólico, se le agregó 0.5 mL de agua desionizada y 125 µL de reactivo Folin-Ciocalteu. La mezcla se dejó reposar por 6 min, y luego se agregaron 1.25 mL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7 %. El volumen final se ajustó a 3 mL con agua desionizada. La mezcla se dejó reposar por 90 min y una vez pasado el tiempo, se midió la absorbancia a 760 nm, como blanco se utilizó agua. La



cantidad de fenoles totales se expresó como equivalentes de ácido gálico (μg EAG/g harina). Para la determinación de taninos condensados (TC), a 50 μl del extracto se le agregaron 3 mL de solución de vainillina al 4 % en metanol y 1.5 mL de ácido clorhídrico concentrado. La mezcla se dejó reposar por 15 min y la absorción se midió a 500 nm, se empleó metanol como blanco. La cantidad de TC se expresó como equivalentes de catequina (μg EC/g harina).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de proteína cruda, fenoles totales y taninos condensados se analizaron con ANOVA de una sola vía y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p < 0.05$), empleando el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Inc., Cary, NC, USA). Todos los tratamientos se efectuaron por triplicado y los valores se expresaron como la media \pm desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Proteína cruda (PC)

En la Tabla 1 se muestran los resultados del contenido de proteína cruda de los granos de cereales fermentados a diferentes tiempos. El maíz y la avena alcanzaron los niveles más altos de PC desde el día 5 de fermentación ($p < 0.05$), mientras que, la cebada y el sorgo desde el día 3 de fermentación ($p < 0.05$). Diversos estudios con diferentes microorganismos han demostrado el incremento de proteína durante la fermentación. Por su parte, (Chen *et al.*, 2013 & Chen *et al.*, 2014) observaron un incremento en la PC en harina de soya de 50.46 a 58.99 y 9.2 %, respectivamente, al fermentarla con *Aspergillus oryzae* por 0, 25 y 36 h. De igual manera, Xiao *et al.* (2015^b) observaron que la fermentación de harina de garbanzo con *Cordyceps militaris*, aumentó el contenido de PC de 22.13 a 26.43 %. Adicionalmente, Xiao *et al.* (2018) trabajaron con harina de frijol rojo fermentada con *Cordyceps militaris* y observaron un incremento significativo del 9.3 % (23.61 a 25.81 %) con el proceso de fermentación. Por su parte, Chen *et al.* (2021) fermentaron harina de soya con las bacterias *Bacillus velezensis* por 24 h y posteriormente con *Lactobacillus plantarum* por 48 h; los resultados mostraron un aumento de PC de 47.28 a 51.08 % a las 24 h, mientras que a las 48 h se obtuvo un máximo de 52.36 %. Asimismo, Sánchez-García *et al.* (2022) trabajaron con semillas de lentejas, quínoa y sus harinas, fermentándolas con el macrohongo *Pleurotus ostreatus* a diferentes tiempos. Obteniendo un incremento significativo en el contenido de proteína total entre 7 y 26 %. Además, observaron que el tamaño de partícula, así como el sustrato, influyeron sobre el contenido de proteína. Del mismo modo, Cubillos-Orjuela *et al.* (2024) fermentaron un producto alimenticio que incluía un porcentaje de tamo de cereales (10 y 20 %) con bacterias lácticas, y encontraron que al incluir 20 % de tamo de cereales y fermentar por 48 h se obtuvo un incremento de 2.2 % de proteína cruda.



Tabla 1. Contenido de proteína cruda (% PC) en granos fermentados a diferentes tiempos

Tiempo de fermentación (días)	Maíz	Avena	Cebada	Sorgo
Control	11.11 ± 0.30 ^{cd}	15.33 ± 0.04 ^c	11.44 ± 0.22 ^{ab}	13.27 ± 0.26 ^{ab}
0	10.89 ± 0.11 ^d	16.05 ± 0.18 ^{bc}	12.65 ± 0.45 ^a	12.65 ± 0.45 ^b
3	11.80 ± 0.38 ^{bc}	16.09 ± 0.16 ^{bc}	11.64 ± 0.60 ^{ab}	13.57 ± 0.10 ^a
5	12.64 ± 0.25 ^a	16.47 ± 0.47 ^{ab}	9.93 ± 0.74 ^c	13.96 ± 0.05 ^a
7	11.86 ± 0.15 ^b	17.02 ± 0.46 ^a	11.12 ± 0.27 ^{bc}	13.97 ± 0.48 ^a

Valores expresados como medias ± desviación estándar. ^{a-d} Literales diferentes en la misma columna presentan diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

Fenoles totales

En la Tabla 2 se presentan los resultados del contenido fenólico total en granos de cereales fermentados con *Aspergillus oryzae* a diferentes tiempos. En general, se observa que el contenido fenólico de todos los granos se incrementó conforme aumentó el tiempo de fermentación. En el maíz se observaron los valores más altos ($p < 0.05$) a partir de los 5 días de fermentación, en tanto que en la avena y cebada el contenido fenólico más alto ($p < 0.05$) se observó a los 7 días de fermentación. En sorgo, el contenido fenólico fue similar desde los 3 hasta los 7 días de fermentación ($p > 0.05$). El incremento que tuvo la avena, la cebada y el sorgo a los 7 días de fermentación fue de 248 %, 117 % y 57 %, respectivamente. El maíz a los 5 días de fermentación tuvo un incremento de 59 %. Según [Saharan et al. \(2017\)](#), el aumento del contenido fenólico durante la fermentación está relacionado con la producción de enzimas por el hongo, tales como α -amilasa, β -glucosidasa y xilanasas que tienen la capacidad de hidrolizar carbohidratos, degradar la pared celular y liberar compuestos fenólicos. La mejora del contenido fenólico en cereales fermentados con hongos filamentosos, fue observado por otros autores [Cai et al. \(2012\)](#) fermentaron harinas de avena con *Aspergillus oryzae* var. *effuses*, *Aspergillus oryzae* y *Aspergillus niger* por 3 días a 25 °C y reportaron que el hongo *Aspergillus oryzae* var. *effuses* incrementó en mayor grado el contenido fenólico en las harinas fermentadas. Por su parte, [Bhanja Dey & Kuhad, \(2014^a\)](#) fermentaron granos enteros de trigo, arroz integral, avena y maíz con *Aspergillus oryzae* NCIM 1212, *Rhizopus oligosporus* NCIM 1215, *Aspergillus awamori* MTCC No. 548 y *Rhizopus oryzae* RCK2012 a 30 °C por 3 días. Los resultados demostraron que el contenido fenólico en todos los granos fermentados con *Aspergillus oryzae* NCIM 1212 mostraron valores más altos que con los demás hongos. De igual manera, [Bhanja Dey & Kuhad \(2014^b\)](#) fermentaron granos de trigo con *Rhizopus oryzae* RCK2012 y encontraron que la fermentación incrementó un 377 % el contenido fenólico en los extractos acuosos. Por su parte, [Abd Razak et al. \(2015\)](#) estudiaron el efecto de la fermentación con *Rhizopus oligosporus* y *Monascus purpureus* (de manera individual y mezclados) sobre el contenido fenólico del salvado de arroz. Estos autores encontraron que el contenido fenólico de extractos acuosos y metanólicos de las muestras fermentadas fue mayor que



las muestras no fermentadas, a excepción del extracto acuoso de la muestra fermentada con *Monascus purpureus*. También se observó que la mezcla de los hongos en los extractos acuosos produjo un mayor contenido fenólico que de manera individual, mientras que, en los extractos metanólicos el contenido fenólico fue similar en ambas formas. A su vez, [Sandhu et al. \(2016\)](#) fermentaron seis variedades de trigo con *Aspergillus awamori nakazawa* a 30 °C por 6 días. Los resultados mostraron que la fermentación aumentó considerablemente el contenido fenólico al cuarto día en las seis variedades. Adicionalmente, [Saharan et al. \(2017\)](#) evaluaron granos de trigo, arroz, avena, maíz y sorgo fermentados con *Aspergillus oryzae* (MTCC 3107) durante 6 días a 30 °C. Encontrando en el trigo y avena los valores más altos de contenido fenólico al cuarto día de fermentación; mientras tanto, el arroz, sorgo y maíz el máximo incremento se observó al quinto día. Por su parte, [Sánchez-Magaña et al. \(2019\)](#) investigaron el efecto del tiempo de fermentación sobre el contenido fenólico libre, ligado y total en harinas de maíz crudo, cocido y fermentado a diferentes tiempos con *Rhizopus oligosporus* NRRL 2710. Ellos encontraron que la fermentación aumentó el contenido fenólico libre a partir de las 48 h y el valor máximo (227.75 mg ácido gálico/100 g muestra) se presentó a las 108 h. Con respecto al contenido fenólico ligado y total comenzó a aumentar a partir de las 72 h, con un valor máximo (993.44 mg ácido gálico/100 g muestra) a las 108 h. De acuerdo a lo reportado en estudios previos, es importante considerar varios factores que influyen en el contenido fenólico de cereales, como la especie, variedad, microorganismo, tiempo de fermentación, método de extracción y método de análisis.

Tabla 2. Contenido fenólico total (μg EAG/g harina) en granos fermentados a diferentes tiempos

Tiempo de fermentación (días)	Maíz	Avena	Cebada	Sorgo
Control	456.03 \pm 23.34 ^c	342.76 \pm 7.75 ^d	338.98 \pm 15.56 ^d	703.73 \pm 31.58 ^b
0	513.03 \pm 32.10 ^c	382.28 \pm 19.63 ^d	381.14 \pm 3.40 ^d	752.87 \pm 4.98 ^b
3	622.95 \pm 24.76 ^b	748.6 \pm 86.66 ^c	487.44 \pm 6.71 ^c	923.68 \pm 122.63 ^{ab}
5	727.09 \pm 13.96 ^a	1068.53 \pm 20.58 ^b	586.7 \pm 19.70 ^b	1069.7 \pm 118.56 ^a
7	690.95 \pm 17.93 ^a	1194.07 \pm 33.89 ^a	736.08 \pm 49.49 ^a	1107.38 \pm 119.64 ^a

Valores expresados como medias \pm desviación estándar. ^{a-d} Literales diferentes en la misma columna presentan diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

Taninos condensados (TC)

La Tabla 3 muestra el contenido de taninos condensados en los granos de cereales fermentados. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) conforme avanzaba el tiempo de fermentación. En el maíz se observó más este comportamiento, ya que el contenido de TC incrementó conforme aumentó el tiempo de fermentación con respecto al tiempo 0. Por su parte, el sorgo registró el mayor contenido de TC (202.11 μg EC/g harina) a los 5 días de fermentación, mientras que el maíz alcanzó su máximo (97.19 μg EC/g harina) a los 7 días ($p < 0.05$). [Espitia-Hernández et al. \(2022\)](#) reportaron resultados



opuestos a los del presente estudio con sorgo; trabajaron con dos variedades de sorgo (rojo y negro) fermentadas en estado sólido con *Aspergillus oryzae* y *Aspergillus niger* por 96 h. El sorgo rojo fermentado con *Aspergillus oryzae* no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$), mientras que con *Aspergillus niger* se mostró un incremento a partir de las 12 h, con el valor más alto a las 72 h (76.07 mg EC/100 g muestra). Respecto al sorgo negro fermentado con *Aspergillus oryzae*, los taninos condensados disminuyeron a partir de las 24 h ($p < 0.05$); por el contrario, con *Aspergillus niger* aumentó el contenido de TC a partir de las 36h y el valor más alto se obtuvo a las 84 h (73.20 mg EC/100g muestra). Un estudio previo con bacterias lácticas y levaduras fue realizado por [Terefe et al. \(2021\)](#), los cuales evaluaron el efecto de la fermentación en estado sólido con *Lactobacillus plantarum* y *Saccharomyces cerevisiae* y su cocultivo sobre el contenido de taninos condensados en harina de maíz a 0, 12, 24, 36 y 48 h. El contenido de TC disminuyó con todas las cepas conforme aumentaba el tiempo de fermentación; los valores más bajos se presentaron con el cocultivo a las 48 h (12.3 % EC). La información publicada acerca del efecto de la fermentación en estado sólido sobre el contenido de taninos condensados en cereales es muy limitada. Sin embargo, hay estudios que se han realizado con otras especies, tal como lo reportan [Dhull et al. \(2020\)](#) ellos evaluaron el efecto de la fermentación en estado sólido de tres variedades de lentejas (HM-1, LL-931 y Sapna) con *Aspergillus awamori* sobre el contenido de taninos condensados. Los resultados en las tres variedades indicaron un incremento de TC conforme aumentaba el tiempo de fermentación, maximizándose el contenido de taninos a los 6 días en las tres variedades (3.16, 4.52 y 4.30 mg EC/g base seca, respectivamente).

Por su parte, [Altop et al. \(2018\)](#) trabajaron con hojas de olivo para fermentarlas en estado sólido con cuatro cepas de *Aspergillus niger* (F1, F2, F3 y F4) y analizar su efecto sobre el contenido de taninos condensados. La fermentación aumentó el contenido taninos condensados en las hojas de olivo con todas cepas y el valor más alto de TC se encontró con la cepa F2 (11.44 %). Así mismo, [Duhan et al. \(2021\)](#) fermentaron en estado sólido la torta de cacahuate (residuo obtenido después de extracción del aceite de cacahuate) con *Aspergillus oryzae* durante 6 días para determinar su efecto sobre el contenido de taninos condensados. Los resultados claramente demostraron que la fermentación incrementó el contenido de TC; presentando su valor máximo (245 µg/g) a los 6 días de fermentación. Lo mencionado anteriormente indica que el tipo de cereal, variedad, especie, microorganismo y cepas juegan un rol muy importante durante la FES para poder liberar los taninos condensados de la pared celular.



Tabla 3. Contenido de taninos condensados ($\mu\text{g EC/g}$ harina) en granos fermentados a diferentes tiempos

Tiempo de fermentación (días)	Maíz	Avena	Cebada	Sorgo
Control	76.04 \pm 3.46 ^a	76.11 \pm 8.68 ^a	40.29 \pm 5.63 ^b	130.99 \pm 5.77 ^c
0	37.43 \pm 2.94 ^c	43.02 \pm 8.47 ^b	77.02 \pm 2.76 ^a	156.37 \pm 2.82 ^b
3	59.03 \pm 3.43 ^b	76.16 \pm 8.63 ^a	40.19 \pm 5.76 ^b	145.19 \pm 2.69 ^b
5	63.04 \pm 11.37 ^{ab}	73.97 \pm 11.28 ^a	43.02 \pm 2.99 ^b	202.11 \pm 3.26 ^a
7	51.48 \pm 5.28 ^{bc}	97.19 \pm 5.96 ^a	48.68 \pm 2.65 ^b	151.23 \pm 8.50 ^b

Valores expresados como medias \pm desviación estándar. ^{a-c} Literales diferentes en la misma columna presentan diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES

La fermentación en estado sólido con *Apergillus oryzae* aumentó significativamente el contenido de proteína cruda y contenido fenólico total en granos de avena, cebada, maíz y sorgo después de 3 días de fermentación. Con base en los resultados, se considera que el mejor tiempo de fermentación para incrementar el contenido nutricional y fitoquímico en maíz y sorgo es a los 5 días de fermentación, mientras que para la avena y cebada es a los 7 días de fermentación. La FES es una técnica eficiente, sencilla y económica que puede ser utilizada para enriquecer los componentes nutricionales y fitoquímicos de granos de cereales.

LITERATURA CITADA

ABD Razak DL, Abd Rashid NY, Jamaluddin A, Sharifudin SA, Long K. 2015. Enhancement of phenolic acid content and Antioxidant Activity of Rice Bran Fermented with *Rhizopus oligosporus* and *Monascus purpureus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 4(1): 33-38.

<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2014.11.003>

ALTOP A, Coskun I, Filik G, Kucukgul A, Bekiroglu YG, Cayan H, Gungor E, Sahin A, Erener G. 2018. Amino acid, mineral, condensed tannin, and other chemical contents of olive leaves (*Olea europaea* L.) processed via solid-state fermentation using selected *Aspergillus niger* strains. *Ciencia e Investigación Agraria*. 45(2): 220-230.

<https://openaccess.ahievran.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12513/4213>

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis. 15th. ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.

<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>



BALLI D, Bellumori M, Paoli P, Pieraccini G, Di Paola M, De Filippo C, Di Gioia D, Mulinacci N, Innocenti M. 2019. Study on a fermented whole wheat: phenolic content, activity on PTP1B enzyme and in vitro prebiotic properties. *Molecules*. 24(6):1120.
<https://doi.org/10.3390%2Fmolecules24061120>

BHANJA-DEY T, Kuhad RC^a. 2014. Upgrading the antioxidant potential of cereals by their fungal fermentation under solid-state cultivation conditions. *Letters in Applied Microbiology*. 59 (5): 493-499.
<https://doi.org/10.1111/lam.12300>

BHANJA-DEY T, Kuhad RC^b. 2014. Enhanced production and extraction of phenolic compounds from wheat by solid-state fermentation with *Rhizopus oryzae* RCK2012. *Biotechnology Reports*. 4: 120-127.
<https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.09.006>

BORRAS SLM, Torres VG. 2016. Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido-FES. *Orinoquia*. 20(2): 47-54. ISSN 0121-3709.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-37092016000200007&script=sci_arttext

CABRERA-SOTO ML, Salinas-Moreno Y, Velázquez-Cardelas A, Espinosa-Trujillo E. 2009. Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia*. 43: 827-839. ISSN 2521-9766.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000800006

CAI S, Wang O, Wu W, Zhu S, Zhou F, Baoping J, Gao F, Zhang D, Liu J, Cheng Q. 2012. Comparative study of the effects of solid-state fermentation with three filamentous fungi on the total phenolic content (TPC), flavonoids, and antioxidant activities of subfractions from oats (*Avena sativa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60: 507- 513.
<https://doi.org/10.1021/jf204163a>

CAMACHO-ESCOBAR MA, Ramos-Ramos DA, Ávila-Serrano NY, Sánchez-Bernal EI, López-Garrido SJ. 2020. Las defensas físico-químicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes. *Terra Latinoamericana*. 38(2): 443-453. ISSN 2395-8030.
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.629>



CARDOSO-GUTIÉRREZ E, Aranda-Aguirre E, Robles-Jimenez LE, Castelán-Ortega OA, Chay-Canul AJ, Foggi G, Angeles-Hernández JC, Vargas-Bello-Pérez E, González-Ronquillo M. 2021. Effect of tannins from tropical plants on methane production from ruminants: A systematic review. *Veterinary and Animal Science*. 14: 1-12.

<https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100214>

CHEN L, Madl RL, Vadlani PV. 2013. Nutritional Enhancement of soy meal via *Aspergillus oryzae* solid-state fermentation. *Cereal Chemistry*. 90(6):529-534.

<https://doi.org/10.1094/CCHEM-01-13-0007-R>

CHEN L, Vadlani PV, Madl RL. 2014. High-efficiency removal of phytic acid in soy meal using two-stage temperature-induced *Aspergillus oryzae* solid-state fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94(1): 13-118.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.6209>

CHEN L, Zhao Z, Yu W, Zheng L, Li L, Gu W, Xu H, Wei B, Yan X. 2021. Nutritional quality improvement of soybean meal by *Bacillus velezensis* and *Lactobacillus plantarum* during two-stage-solid-state fermentation. *AMB Express*. 11(23): 1-11.

<https://doi.org/10.1186/s13568-021-01184-x>

CUBILLOS-ORJUELA DI, Rodríguez-Montana A, Rache LY, Borrás-Sandoval LM. 2024. Tamo de cereales como suplemento alimenticio procesado por fermentación en estado sólido. *Ciencia en Desarrollo*. 15(1):1-14.

https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/17073

DHULL SB, Punia S, Kidwai MK, Kaur M, Chawla P, Purewal SS, Sangwan M, Palthania S. 2020. Solid-state fermentation of lentil (*Lens culinaris* L.) with *Aspergillus awamori*: effect on phenolic compounds, mineral content and their bioavailability. *Legume Science*. 2: e37.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/leg3.37>

DUHAN JS, Chawla P, Kumar S, Bains A, Sadh PK. 2021. Proximate composition, polyphenols and antioxidant activity of solid state fermented peanut press cake. *Preparative biochemistry & Biotechnology*. 51(4):1-10.

<https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1815060>



ESPITIA-HERNÁNDEZ P, Ruelas-Chacón X, Chávez-González ML, Ascacio-Valdés JA, Flores-Naveda A, Sepúlveda-Torre L. 2022. Solid-state fermentation of sorghum by *Aspergillus niger*: effects on tannin content, phenolic profile and antioxidant activity. *Foods*. 11 (19):1-15. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/19/3121>

GEBRU YA, Sbhatu DB. 2020. Effects of fungi-mediated solid-state fermentation on phenolic contents and antioxidant activity of brown and white teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) trotter) grains. *Journal of Food Quality*. 2020: 1-11.
<https://doi.org/10.1155/2020/8819555>

GUTIÉRREZ-GRIJALVA EP, Ambriz-Pérez DL, Leyva-López N, Castillo-López RI, Heredia JB. 2016. Bioavailability of dietary phenolic compounds: review. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 20(2): 140-147.
<https://doi.org/10.14306/renhyd.20.2.184>

HEIMLER D, Vignolini P, Dini M, Romani A. 2005. Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. Dry Beans. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 53(8): 3053-3056. <https://doi.org/10.1021/jf049001r>

HUANG R, Romero P, Belanche A, Ungerfeld EM, Yanez-Ruiz D, Morgavi DP, Popova M. 2023. Evaluating the effect of phenolic compounds as hydrogen acceptors when ruminal methanogenesis is inhibited *in vitro* -Part 1. Dairy cows. *Animal*. 17(5): 100788.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100788>

LIU W, Dun M, Liu X, Zhang G, Ling J. 2022. Effects on total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity of beans by solid-state fermentation with *Cordyceps militaris*. *International Journal of Food Properties*. 25(1): 477-491. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2048009>

SAHARAN P, Sadh P, Duhan JS. 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://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.10.013>

SÁNCHEZ-MAGAÑA LM, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo j, Mora-Rochín S, León-López I, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO. 2019. Influence of solid-state bioconversión by *Rhizopus oligosporus* on antioxidant activity and phenolic compounds of maize (*Zea mays* L.). 53: 45-57.
<https://agrocienza-colpos.org/index.php/agrocienza/article/view/1750/1750>



SÁNCHEZ-GARCÍA J, Asensio-Grau A, García-Hernández J, Heredia A, Andrés A. 2022. Nutritional and antioxidant changes in lentils and quinoa through fungal solid-state fermentation with *Pleurotus ostreatus*. *Bioresources and Bioprocessing*. 9(51):1-12.
<https://doi.org/10.1186/s40643-022-00542-2>

SÁNCHEZ GFFL. 2022. Fitoquímica. Editorial UNAM FES Zaragoza. México. Pp. 133. ISBN:978-607-30-6019-6.
<https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/2022/Publicaciones/libros/cbiologia/Fitoquimica.pdf>

SANDHU KS, Punia S, Kaur M. 2016. Effect of duration of solid-state fermentation by *Aspergillus awamori* on antioxidant properties of wheat cultivars. *LWT-Food Science and Technology*. 71: 323-328. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.008>

SHAHIDI F, Yeo J. 2016. Insoluble-Bound Phenolics in Food. *Molecules*. 21(9):1216
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27626402/>

TEREFE ZK, Omwamba MN, Nduko JM. 2021. Effect of solid state fermentation on proximate composition, antinutritional factors and in vitro protein digestibility of maize flour. *Food Science & Nutrition*. 9: 6343-6352.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.2599>

TORRES LC, Ramírez GN, Ascacio VJ, Serna CL, Dos Santos CMT, Contreras EJC, Aguilar CN. 2019. Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* to enhance the phenolic contents and antioxidative activity of mexican mango seed: a promising source of natural antioxidants. *LWT-Food Science and Technology*. 112: 108236.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.06.003>

XIAO Y, Rui X, Xing G, Wu H, Li W, Chen X, Jiang M, Dong M^a. 2015. Solid state fermentation with *Cordyceps militaris* SN-18 enhanced antioxidant capacity and DNA damage protective effect of oats (*Avena sativa* L.). *Journal of Functional foods*. 16: 58-73.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.032>

XIAO Y, Xing G, Rui X, Li W, Chen X, Jiang M, Dong M^b. 2015. Effect of solid-state fermentation with *Coryceps militaris* SN-18 on physicochemical and functional properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour. *LWT-Food Science and Technology*. 63: 1317-1324.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.046>



XIAO Y, Sun M, Zhang Q, Chen Y, Miao J, Rui Y, Dong M. 2018. Effects of *Cordyceps militaris* (L.) Fr. Fermentation on the nutritional physicochemical, functional properties and angiotensin I converting enzyme inhibitory activity of red beans (*Phaseolus angularis* [Willd.] W.F. Wight.) flour. *Journal of Food Science and Technology*. 55(4):1244-1255. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-018-3035-z>

XU LN, Guo S, Zhang S. 2018. Effects of solid-state fermentation with three higher fungi on the total phenol contents and antioxidant properties of diverse cereal grains. *FEMS Microbiology Letters*. 365(16): 1-8. <https://doi.org/10.1093/femsle/fny163>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-8. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.15>

Nota de Investigación. Recibido:23/07/2024. Aceptado:18/10/2025. Publicado:28/12/2025. Clave: e2024-42.

<https://www.youtube.com/watch?v=Hxz9gLp2KVw>

Efecto del agua tratada con bajo voltaje en crecimiento y consumo en ratas Wistar

Effect of electric field treatment in water on growth and water consumption of Wistar rats

Pardo-Ramírez Ramiro^{1ID}, Pizaña-Venegas Alberto^{1ID}, Mendoza-Martínez Germán^{2ID}, Hernández-García Pedro^{3ID}, Vázquez-Silva Gabriela^{4ID}, Díaz-Galván Cesar^{*2ID}



¹Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. Bioterio Unidad de Investigación Dr. Moisés Selman Lama. México, 56230, México. ²Universidad Autónoma Metropolitana. Departamento de Producción Agrícola y Animal, Xochimilco, Calzada, del Hueso 1100, 04960, Ciudad de México. ³Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM, Amecameca, km 2.5 Carretera Amecameca-Ayapango, 56900, Amecameca, México. ⁴Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de El Hombre y su Ambiente, Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, 04960, Ciudad de México. *Autor de correspondencia: Cesar Díaz-Galván. Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Calzada, del Hueso 1100, 04960, Ciudad de México. E-mail: ramiropr77@yahoo.com.mx, apv38@hotmail.com, gmendoza@correo.xoc.uam.mx, pedro_abel@yahoo.com, gavaz@correo.xoc.uam.mx, cesarwardi14@gmail.com

RESUMEN

El objetivo fue investigar los efectos de la aplicación de voltaje en la ingesta de agua en ratas para reducir el consumo de agua sin afectar el crecimiento. Veinte ratas Wistar (PI 72.6 ± 7.72 g) distribuidas aleatoriamente con dos tratamientos que consistieron en agua potable y agua tratada con 150 mV/m^3 durante 30 días. El agua se suministró *ad libitum* y se midió diariamente, así como el consumo de alimento. No hubo efectos ($P > 0.05$) en la cantidad de agua ingerida, consumo de alimento, ganancia de peso ni en materia seca de heces. El agua tratada con bajo voltaje no mostró valores de potencial redox diferentes (-4.77 vs -5.47 mV) pero el pH fue más alto (7.69 vs 7.95 ; $P < 0.10$). Los resultados indican que la aplicación de bajo voltaje en el agua no afectó al crecimiento de las ratas ni la cantidad de agua ingerida.

Palabras clave: agua, campo eléctrico, ratas, crecimiento.

ABSTRACT

The objective was to investigate the effects of voltage application on water intake in rats to reduce water consumption without affecting growth. Twenty Wistar rats (PI 72.6 ± 7.72 g) randomly distributed with two treatments consisting of drinking water and water treated with 150 mV/m^3 for 30 days. Water was supplied *ad libitum* and measured daily, as well as feed consumption. There was no effect ($P > 0.05$) on the amount of water ingested, feed consumption, weight gain or fecal dry matter. Water treated with low voltage did not show different redox potential values (-4.77 vs -5.47 mV), but pH was higher (7.69 vs 7.95 ; $P < 0.10$). The results indicate that the application of low voltage to the water did not affect the growth of the rats, or the amount of water ingested.

Keywords: water, electric field, rats, growth.



INTRODUCCIÓN

El agua electrolizada se ha utilizado en procesos alimentarios para inactivar microorganismos debido a sus efectos sobre las membranas biológicas con el propósito de suprimir sustancias emergentes y persistentes que no pueden ser eliminadas por medio de procesos o tratamientos convencionales (Knoerzer *et al.*, 2015; Machado *et al.*, 2016; Rahman *et al.*, 2016). La electrólisis del agua confiere propiedades únicas en la parte catódica, como alcalinidad, bajo contenido en oxígeno disuelto y alto contenido en hidrógeno (Ogawa *et al.*, 2019), por lo que se ha demostrado que su contenido de hidrógeno en agua puede suprimir la generación de aniones superóxido así como de peróxido de hidrógeno durante el proceso oxidativo (Buchholz *et al.*, 2008). Asimismo, se ha demostrado el efecto del agua electrolizada en la eliminación de especies reactivas de oxígeno, la reducción de la inflamación, así como la protección del ácido desoxirribonucleico frente al daño oxidativo (Hamasaki *et al.*, 2017), del mismo modo existen reportes que mencionan que mejora la glucosa en sangre, la interleucina-6 y el factor de necrosis tumoral alfa, además de aumentar la capacidad antioxidante (Choi *et al.*, 2020; LeBaron *et al.*, 2020).

El electrolizado ligeramente ácido se ha recomendado como una alternativa segura al agua estéril de bebida en instalaciones de animales de laboratorio (Inagaki *et al.*, 2011). Bodas *et al.* (2013) utilizaron agua electrolizada ligeramente ácida y demostraron que no se afectaron los parámetros de bioquímica sanguínea, así como la producción y composición de la leche en ovejas. Sin embargo, en una evaluación del agua electrolizada se redujo el peso corporal de las ratas después de 32 semanas con una ingesta similar de alimento y agua potable, lo que reduce las concentraciones de glucosa y colesterol en sangre (Jin *et al.*, 2006). Se ha demostrado que el consumo de agua rica en hidrógeno es capaz de suprimir la inflamación en ratones (Kasuyama *et al.*, 2011). En conejos, la acidificación del agua de bebida con ácidos orgánicos mejoró el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento, efectos asociados a reducción de *Escherichia coli* (Zhu *et al.*, 2014).

La información disponible sugiere que pueden existir interacciones entre los distintos tratamientos de agua y el tipo de especie que la recibe. Los tratamientos del agua deberían tener como objetivo mantener su inocuidad y mejorar la eficiencia en el uso del agua. La hipótesis de este experimento fue que el agua tratada con bajo voltaje podría reducir la cantidad de agua ingerida sin afectar el consumo de alimento y los cambios de peso.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tratamiento y análisis del agua

Se empleo agua potable comercial (Bonafont® México) y se trató con 150 V/m³, para aplicar el voltaje se cubrió una batería con baquelita y se colocó en un recipiente de 10 litros donde se utilizó el agua para el experimento con ratas. Se uso agua no tratada como testigo. Se midió el pH y el potencial redox (Bridgewater, 2017) con un potenciómetro Termoscientific Orion Star A 215 en muestras de agua de los dos tratamientos.



Experimento con ratas

El experimento se realizó en el Bioterio Unidad de Investigación Dr. Moisés Selman Lama del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER), México. Se utilizaron 20 ratas Wistar (*Rattus norvegicus albinus*) con un peso inicial de (72.6 ± 7.72 g), alojadas individualmente y mantenidas en un ciclo de luz/oscuridad de 12 horas a una temperatura promedio de 25 °C. El experimento tuvo una duración de 30 días y fue aprobado por el Comité Académico del Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, y se siguieron los lineamientos de la NOM-062-ZOO-1999 para el cuidado y uso de animales de laboratorio, así como procedimientos de manejo del Bioterio del INER.

Las ratas fueron asignadas aleatoriamente a los tratamientos y tuvieron libre acceso al agua y al alimento con bebederos y comederos individuales. Se usó el concentrado de LabDiet elaborado por Laboratorio Autoclavable para Roedores 5010. Los tratamientos consistieron en agua (testigo) y tratada con voltaje, registrándose diariamente la ingesta de alimento y agua; el día 15 se recogieron muestras de heces para determinar la materia seca (AOAC, 2012).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un diseño completamente aleatorizado con la prueba de comparación de medias de Tukey del software JMP 7 (Sall *et al.*, 2012).

RESULTADOS

El agua tratada con bajo voltaje mostró un potencial redox similar al agua control, sin embargo, tendió a aumentar el pH ($P=0.09$; Tabla 1).

Tabla 1. Composición química del agua con bajo voltaje

	Tratamiento agua control	Agua tratada con 150 v/m ³	EEM	P-value
pH	7.69	7.95	0.078	0.09
Potencial redox mV	-4.77	-5.47	0.205	0.68
Temperatura	19.05	19.10	0.087	0.73

EEM: Error estándar de la media; ^{a,b,c}Valores con diferentes literales en la misma fila son diferentes ($P<0.05$)

Respecto al efecto observado en el comportamiento productivo, no se encontraron cambios significativos ($P>0.05$) en peso corporal, ganancia diaria, ingesta de alimento, materia seca en heces o el consumo de agua (Tabla 2).



Tabla 2. Efecto de la fuente de agua y del tratamiento en el comportamiento productivo de las ratas

	Tratamiento agua control	Agua tratada con 150 V/m ³	EEM	P-value
Peso corporal inicial, g	73.0	72.2	1.726	0.80
Peso corporal final, g	268.9	276.5	4.513	0.41
Ingesta de materia seca, g/d	19.3	19.1	0.355	0.79
Ganancia diaria, g/d	6.52	6.81	0.187	0.46
Consumo de agua, ml/d	34.2	33.3	0.538	0.42
Materia seca fecal, %.	49.6	46.55	2.341	0.93

EEM: Error estándar de la media; ^{a,b,c}Valores con diferentes literales en la misma fila son diferentes (P<0.05).

DISCUSIÓN

Tratamiento y análisis del agua

El paso de corriente eléctrica provoca electrólisis y el hidrógeno puede reaccionar con minerales o sales de calcio, lo que puede cambiar el pH del agua a alcalina con un pH 8-10 (Rias *et al.*, 2020) y en algunos experimentos con agua de ratones el pH se han reportado valores entre 9 y 10 (Zhu *et al.*, 2013; Rahardjo *et al.*, 2018). Estudios previos han demostrado que un pH de 9.8 podría reducir las especies reactivas de oxígeno, así como los procesos inflamatorios, además de disminuir los niveles de citoquinas en ratones (Huang *et al.*, 2006; Rahardjo *et al.*, 2018). Como se ha observado con el agua tratada con campos magnéticos, los efectos de la aplicación de voltajes eléctricos varían en función de las características del agua, la intensidad del campo eléctrico, el tiempo de exposición, los iones contenidos en el agua y la cantidad de oxígeno disuelto (Pang *et al.*, 2012). La aplicación de bajo voltaje al agua dio lugar a agua alcalina, similar a la utilizada en el proceso para el agua potable.

Experimento con ratas

La mayoría de las evaluaciones con agua alcalina en roedores no registran el consumo de agua, en un experimento el agua alcalina generada químicamente afectó el peso corporal (Jin *et al.*, 2006). Un estudio realizado por Zhu *et al.* (2013) donde utilizó tres tipos de agua preparada (agua filtrada, agua con alto contenido de H₂ creada por electrólisis y agua deshidrogenada) no reportaron diferencias en el peso corporal, consumo de agua, así como en el consumo de alimento en ratas Dahl SS; Xue *et al.* (2014) evaluaron agua a diferentes pH (6.8 vs 9.5) e H₂ (0 vs 0.84 ppm) y no



encontraron diferencias en la ganancia de peso ni en el volumen de agua consumida en ratas Sprague Dawley, del mismo modo [Saitoh et al. \(2010\)](#) al emplear el mismo tipo de rata, utilizaron agua electrolizada que diferían en concentración de H_2 (0.90 vs 1.14 ppm), potencial de óxido reductor (-150 vs ~ -80 mV) y pH de (7.5 vs 7.9) y no encontraron diferencias en la ganancia de peso ni en el consumo de alimento.

Un estudio realizado por [Tsai et al. \(2009\)](#) demostraron el efecto hepatoprotector del agua electrificada (ERW) contra el daño hepático inducido por tetracloruro de carbono en ratones, sus resultados mostraron que el peso corporal a los 56 días fue similar en los ratones del grupo testigo y en los ratones con daño hepático inducido, lo que destaca el efecto hepatoprotector del ERW debido al aumento de la actividad de las enzimas antioxidantes, y remarca su efecto como agente hepatoprotector contra la hepatotoxicidad inducida por sustancias químicas *in vivo*. En un estudio realizado por [Kim et al. \(2007\)](#), al emplear ratones diabéticos, reportan que el peso corporal a los 29 días fue similar en ratones diabéticos o no diabéticos, cabe destacar que el ERW redujo la concentración de glucosa en sangre, lo que aumentó el nivel de insulina y mejorar la tolerancia a la glucosa, por lo que el ERW puede ser útil como agente antidiabético.

El procesamiento de agua electrificada está ampliamente aceptado como agua potable para la promoción de la salud y la prevención de enfermedades en muchos países y es un proceso complejo, además de que se ha reportado que reduce la resistencia a la insulina en modelos animales ([Kim & Kim, 2006](#); [Rias et al., 2020](#); [Mârza et al., 2022](#)), sin embargo, los animales domésticos productivos han recibido poca atención.

CONCLUSIÓN

El agua tratada con bajo voltaje de 150 mV/m³ no afectó los cambios de peso corporal en ratas en crecimiento, así como el consumo de alimento y agua.

LITERATURA CITADA

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2012. Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists. 19th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC. USA. ISBN: 9780935584837.

BODAS R, Bartolomé DJ, Tabernero De Paz MJ, Posado R, García JJ, Rodríguez L, Olmedo S, Martín-Diana AB. 2013. Electrolyzed water as novel technology to improve hygiene of drinking water for dairy ewes. *Research in Veterinary Science*. 95(3):1169-1170. ISSN: 0034-5288. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.07.009>



Bridgewater LL. 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater. American public health association. 23rd edition. USA. ISSN: 55-1979.

<https://repositori.mypolycc.edu.my/handle/123456789/4588>

BUCHHOLZ BM, Kaczorowski DJ, Sugimoto R, Yang R, Wang Y, Billiar TR, McCurry KR, Bauer AJ, Nakao A. 2008. Hydrogen inhalation ameliorates oxidative stress in transplantation induced intestinal graft injury. *American Journal of Transplantation*. 8(10):2015-2024. ISSN: 1600-6135. <https://doi.org/10.1111/j.1600-6143.2008.02359.x>

CHOI YA, Lee DH, Cho DY, Lee YJ. 2020. Outcomes assessment of sustainable and innovatively simple lifestyle modification at the workplace-drinking electrolyzed-reduced water (OASIS-ERW): a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Antioxidants*. 9(7):564. ISSN: 2076-3921. <https://doi.org/10.3390/antiox9070564>

HAMASAKI T, Harada G, Nakamichi N, Kabayama S, Teruya K, Fugetsu B, Gong W, Sakata I, Shirahata S. 2017. Electrochemically reduced water exerts superior reactive oxygen species scavenging activity in HT1080 cells than the equivalent level of hydrogen-dissolved water. *PLOS ONE*. 12(2), e0171192. eISSN: 1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171192>

HUANG KC, Yang CC, Hsu SP, Lee KT, Liu HW, Morisawa S, Otsubo K, Chien CT. 2006. Electrolyzed-reduced water reduced hemodialysis-induced erythrocyte impairment in end-stage renal disease patients. *Kidney International*. 70(2):391-398. ISSN: 1523-1755. <https://doi.org/10.1038/sj.ki.5001576>

INAGAKI H, Shibata Y, Obata T, Kawagoe M, Ikeda K, Sato M, Toida K, Kushima H, Matsuda Y. 2011. Effects of slightly acidic electrolyzed drinking water on mice. *Laboratory Animals*. 45(4):283-285. ISSN: 0023-6772. <https://doi.org/10.1258/la.2011.010122>

JIN D, Ryu SH, Kim HW, Yang EJ, Lim SJ, Ryang YS, Chung CH, Park SK, Lee KJ. 2006. Anti-diabetic effect of alkaline-reduced water on OLETF rats. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 70(1):31-37. ISSN: 1347-6947. <https://doi.org/10.1271/bbb.70.31>

KASUYAMA K, Tomofuji T, Ekuni D, Tamaki N, Azuma T, Irie K, Endo Y, Morita M. 2011. Hydrogen-rich water attenuates experimental periodontitis in a rat model. *Journal of Clinical Periodontology*. 38(12):1085-1090. ISSN: 1600-051X. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2011.01801.x>

KIM MJ, Jung KH, Uhm YK, Leem KH, Kim HK. 2007. Preservative effect of electrolyzed reduced water on pancreatic β -cell mass in diabetic mice. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 30(2):234-236. ISSN: 1347-5215. <https://doi.org/10.1248/bpb.30.234>



KIM MJ, Kim HK. 2006. Anti-diabetic effects of electrolyzed reduced water in streptozotocin-induced and genetic diabetic mice. *Life Sciences*. 79(24):2288-2292. ISSN: 1879-0631. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2006.07.027>

KNOERZER K, Buckow R, Trujillo FJ, Juliano P. 2015. Multiphysics simulation of innovative food processing technologies. *Food Engineering Reviews*. 7(2):64-81. ISSN: 1866-7929. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9098-3>

LEBARON TW, Singh RB, Fatima G, Kartikey K, Sharma JP, Ostojic SM, Gvozdjakova A, Kura B, Noda M, Mojto V, Niaz MA, Slezak J. 2020. The effects of 24-week, high-concentration hydrogen-rich water on body composition, blood lipid profiles and inflammation biomarkers in men and women with metabolic syndrome: a randomized controlled trial. *Diabetes Metabolic Syndrome and Obesity*. 13:889-896. ISSN: 1178-7007. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S240122>

MACHADO I, Meireles A, Fulgêncio R, Mergulhão F, Simões M, Melo LF. 2016. Disinfection with neutral electrolyzed oxidizing water to reduce microbial load and to prevent biofilm regrowth in the processing of fresh-cut vegetables. *Food and Bioprocess Processing*. 98:333-340. ISSN: 1744-3571. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.02.008>

MÂRZA SM, Popescu S, Tătaru M, Lăcătuș R, Purdoiu RC, Luca VE, Papuc I. 2022. Effect of alkaline water with a pH of 8.5 on weight and main blood indicators in rats. *Agricultura*. 124(3-4):54-64. <https://journals.usamvcluj.ro/index.php/agricultura/article/view/14446>

OGAWA S, Shimizu M, Nako K, Okamura M, Ohsaki Y, Kabayama S, Tabata K, Tanaka Y, Ito S. 2019. A clinical study on the insulin resistance improvement effects of electrolyzed hydrogen rich water in type 2 diabetes patients: a multicenter prospective double-blind randomized control trial. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3350543>

PANG XF, Deng B, Tang BO. 2012. Influences of magnetic field on macroscopic properties of water. *Modern Physics Letters B*. 26(11):1250069. ISSN: 1793-6640. <https://doi.org/10.1142/s0217984912500698>

RAHARDJO MB, Ridwan RD, Hikmah DA. 2018. Effect of electrolyzed reduced water on malondialdehyde levels and neutrophil cells in aggressive periodontitis. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 17(2):233-237. ISSN: 1596-9827. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v17i2.6>

RAHMAN S, Khan I, Oh DH. 2016. Electrolyzed water as a novel sanitizer in the food industry: current trends and future perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 15(3):471-490. ISSN:1541-4337. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12200>



RIAS YA, Kurniawan AL, Chang CW, Gordon CJ, Tsai HT. 2020. Synergistic effects of regular walking and alkaline electrolyzed water on decreasing inflammation and oxidative stress, and increasing quality of life in individuals with type 2 diabetes: a community based randomized controlled trial. *Antioxidants*. 9(10):946. <https://doi.org/10.3390/antiox9100946>

SAITOH Y, Harata Y, Mizuhashi F, Nakajima M, Miwa N. 2010. Biological safety of neutral-pH hydrogen-enriched electrolyzed water upon mutagenicity, genotoxicity and subchronic oral toxicity. *Toxicology and Industrial Health*. 26(4):203-216. ISSN: 1477-0393. <https://doi.org/10.1177/0748233710362989>

SALL J, Lehman A, Stephens M, Creighton L. 2012. JMP® Start Statistics: A Guide to Statistics and Data Analysis (5th ed.; SAS Institute Inc, Cary, NC, USA. ed.). https://books.google.com.mx/books?id=WYpGDgAAQBAJ&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s

TSAI CF, Hsu YW, Chen WK, Chang WH, Yen CC, Ho YC, Lu FJ. 2009. Hepatoprotective effect of electrolyzed reduced water against carbon tetrachloride-induced liver damage in mice. *Food and Chemical Toxicology*. 47(8):2031-2036. ISSN: 1873-6351. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.05.021>

XUE J, Shang G, Tanaka Y, Saihara Y, Hou L, Velasquez N, Liu W, Lu Y. 2014. Dose-dependent inhibition of gastric injury by hydrogen in alkaline electrolyzed drinking water. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 14(1):81. ISSN: 2662-7671. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-81>

ZHU KH, Xu XR, Sun DF, Tang JL, Zhang YK. 2014. Effects of drinking water acidification by organic acidifier on growth performance, digestive enzyme activity and caecal bacteria in growing rabbits. *Animal Feed Science and Technology*. 190:87-94. ISSN: 1873-2216. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.01.014>

ZHU WJ, Nakayama M, Mori T, Hao K, Terawaki H, Katoh J, Kabayama S, Ito S. 2013. Amelioration of cardio-renal injury with aging in dahl salt-sensitive rats by H₂-enriched electrolyzed water. *Medical Gas Research*. 3(1):26. ISSN: 2045-9912. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-3-26>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-16. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.16>

Nota de Investigación. Recibido:11/12/2024. Aceptado:16/12/2025. Publicado:30/12/2025. Clave: e2024-70.

<https://www.youtube.com/watch?v=Y6odqnU6XB0>

Evaluación de la calidad microbiológica de quesos comercializados en Tepic, Nayarit, México

Evaluation of the microbiological quality of cheeses marketed in Tepic, Nayarit, México



Covarrubias-Ávila Brenda*^{1ID}, Bautista-Rosales Pedro^{2,3 ID}, Ulloa José^{2,3 ID}, Rosas-Ulloa Petra^{2,3 ID}, Gutiérrez-Leyva Ranferi^{3,4 ID}, Palomino-Hermosillo Yolotzin^{2 ID}, Ramírez- Ramírez José^{**3,4 ID}



¹Instituto Mexicano del Seguro Social-BIENESTAR, Laboratorio de Análisis Clínicos. C.P. 63715, México sur s/n, Las Varas, Compostela, Nayarit, México. ²Universidad Autónoma de Nayarit, Centro de Tecnología de Alimentos. C.P. 63000, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Tepic, Nayarit, México. ³Universidad Autónoma de Nayarit. Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. C.P. 63000, Carretera Tepic-Compostela, Km 9, Xalisco, Nayarit, México. ⁴Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. C.P. 63700, Carretera Compostela-Chapalilla, Km 3.5, Compostela, Nayarit, México. *Autor responsable: Brenda Covarrubias Ávila. México sur s/n, Nueva Galicia, Nueva era, C.P. 63715, Las Varas, Nayarit, México. **Autor de correspondencia: José Ramírez Ramírez. Carretera Compostela-Chapalilla, Km 3.5, C.P. 63700, Compostela, Nayarit, México. e-mail: brendacova@hotmail.com, ubautista@uan.edu.mx, arulloa@uan.edu.mx, petrosas@uan.edu.mx, ranferi.gutierrez@uan.edu.mx, yolotzin@uan.edu.mx, josec.ramirez@uan.edu.mx

RESUMEN

Los quesos elaborados con leche cruda presentan un elevado riesgo de contaminación por bacterias patógenas, lo que pone en riesgo la salud del consumidor. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad microbiológica de tres tipos de queso de mayor demanda en Tepic, Nayarit, México. Se muestrearon aleatoriamente quesos artesanales (fresco, panela y adobera) en 14 cremerías para cuantificar su carga microbiana. Los mesófilos aeróbicos totales excedieron los valores oficiales, aunque el queso fresco mostró el valor menor (2.2×10^6 ufc/g) ($p \leq 0.05$). Las tres variedades de queso presentaron cuentas altas y similares (4.47×10^4 ufc/g) de coliformes totales ($p \geq 0.05$) y la panela mostró el contenido más alto (2.3×10^4 ufc/g) de coliformes fecales ($p \leq 0.05$). La carga de *Salmonella* spp. excedió el límite establecido oficialmente y fue mayor en queso panela y adobera ($p \leq 0.05$). Asimismo, el conteo de *Staphylococcus aureus* (3.3×10^6 ufc/g) rebasó el límite oficial y fue similar ($p \geq 0.05$) en las tres variedades de queso. Además, hubo exceso de mohos y levaduras en todos los quesos, la panela mostró el valor más alto (5.8×10^5 ufc/g) ($p \leq 0.05$) y 71 % de las muestras presentaron *Micobacterium*. En conclusión, debido a su carga microbiológica los quesos analizados representan un riesgo para la salud de los consumidores.

Palabras clave: quesos, carga microbiana, riesgo de salud.



ABSTRACT

Cheeses-making from crude milk are of dubious hygienic quality and risk to consumer health. The objective was to assess the microbiological quality of three types of cheese varieties most consumed in Tepic, Nayarit, México. Artisanal cheeses (fresco, panela and adobera) were randomly sampled in 14 creameries from Tepic to quantify their microbial load and verify the hygienic quality. Total aerobic mesophiles of all samples exceeded the official limit and the lowest value (2.2×10^6 cfu/g) corresponded to fresh cheese ($p \leq 0.05$). The three cheese varieties presented high and similar counts (4.47×10^4 cfu/g, average) of total coliforms ($p \geq 0.05$) and panela showed the highest contents (2.3×10^4 cfu/g) of fecal coliforms ($p \leq 0.05$). *Salmonella* spp values exceeded the official limit and were higher in panela and adobera cheeses ($p \leq 0.05$). Likewise, *Staphylococcus aureus* was similar ($p \geq 0.05$) in the three cheese varieties (3.3×10^6 cfu/g) and exceeded the official value. Besides, mold and yeast loads were higher than official limit, panela cheese showed the highest value (5.8×10^5 cfu/g) ($p \leq 0.05$) and *Micobacterium* in 71% of the samples was present. In conclusion, the cheeses analyzed represent a great risk to consumers health due to the microbiological concentration. **Keywords:** cheeses, microbial load, health risk.

INTRODUCCIÓN

El queso es un alimento de amplio consumo a nivel mundial debido a sus propiedades sensoriales, nutritivas y funcionales. Existen más de mil variedades de queso en todo el mundo y difieren según el tipo de leche utilizada, condiciones de proceso, maduración, conservación, empaque y presentación; lo cual influye en sus características higiénicas, fisicoquímicas y organolépticas (Bensal & Mishra, 2020; FAO, 2024). El queso fresco es el de mayor consumo en México y Latino América, se elabora con leche de vaca o de cabra, es tipo suave, no prensado ni madurado. La panela es un queso de pasta blanda y fresca que no incluye maduración y es prensado por su propio peso. Por su parte, el queso adobera se elabora con leche de vaca, es tipo suave, prensado, molido, fresco o ligeramente madurado (González *et al.*, 2016). La calidad microbiológica de los quesos depende de la salud del ganado lechero, el método de ordeño utilizado, manipulación de la leche y la cuajada durante su producción, además de las circunstancias bajo las cuales el queso es distribuido y comercializado hasta llegar al consumidor (Rysha *et al.*, 2014). A nivel mundial anualmente se enferman cerca de 600 millones de personas por ingerir alimentos contaminados y 420 000 mueren por esta misma causa (OMS, 2020). En ese sentido, tanto en los Estados Unidos de América, como en Latino América se han reportado brotes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs), muchas de estas asociadas al consumo de productos elaborados con leche cruda (Merchán *et al.*, 2018). También se documentó que el consumo de esos alimentos causa el 96% de las ETAs y 45 veces más hospitalizaciones que por consumir productos lácteos elaborados con leche pasteurizada. Por lo tanto, si continúa el consumo de alimentos elaborados con leche cruda, la tasa de ETAs también incrementará (Costard *et al.*, 2017). Los quesos elaborados con leche sin pasteurizar son reconocidos en todo el mundo por sus características sensoriales especiales, aunque también son posible fuente de transmisión de diferentes enfermedades (Rysha *et al.*, 2014). En nuestro país, con la finalidad de evitar el riesgo sanitario, la Norma Oficial Mexicana (NOM-243-SSA1-2010) define al



queso como un producto elaborado con leche estandarizada y pasteurizada de vaca u otras especies; además, establece las buenas prácticas de higiene durante el proceso de elaboración, así como los límites microbiológicos permitidos en el producto. Sin embargo, en México aproximadamente el 25% de la leche producida es utilizada por granjeros o microempresarios para producir de forma artesanal quesos como el fresco, la panela y adobera con leche cruda y sin implementar buenas prácticas de higiene (González *et al.*, 2016). En ese sentido, la falta de control sanitario no garantiza la inocuidad de los quesos, lo cual genera riesgos de contaminación con bacterias patógenas y la transmisión de ETAs al consumidor (Kandasamy *et al.*, 2020; FAO, 2024). La producción de quesos en Nayarit se hace con leche sin pasteurizar y la autoridad gubernamental no exige el cumplimiento de la normativa oficial, además no existen reportes científicos sobre la calidad microbiológica de los quesos consumidos. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad microbiológica de tres tipos de queso de mayor demanda en Tepic, Nayarit, México.

MATERIAL Y MÉTODOS

Recolección de muestras

Se hizo un muestreo aleatorio de quesos artesanales (fresco, panela y adobera) entre los meses de mayo a octubre en tres mercados (Juan Escutia, Morelos y de abastos) de Tepic, Nayarit, México. En cada uno de los mercados se seleccionaron tres expendios al azar, además de otras cinco cremerías distribuidas en la ciudad y así sumar 14 puntos de venta donde se colectaron las muestras. Se obtuvieron porciones de 250 g de queso de cada variedad y punto de venta y se colocaron en bolsas de plástico estériles, se conservaron en hielo y fueron llevadas inmediatamente al Laboratorio de Microbiología del Centro de Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit, donde se mantuvieron a 4 °C durante un tiempo máximo de 24 h para su análisis.

Preparación de la muestra y análisis microbiológico

Se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en su respectiva bolsa de plástico estéril. Enseguida se añadieron 90 ml de solución de fosfatos (pH 7.0); la mezcla se homogenizó durante 3 min y a partir de la primera dilución (10^{-1}) se realizaron las diluciones seriadas correspondientes según la Norma Oficial Mexicana (NOM-110-SSA1-1994). La cuenta viable de microorganismos se realizó con la técnica de vertido en placa, para lo cual se utilizaron los medios de cultivo: agar para métodos estándar (mesófilos aerobios totales), agar PDA (hongos y levaduras), Agar Baird Parker (*Staphylococcus aureus*), agar Salmonella Shigella (*Salmonella* spp.), agar RBV (rojo bilis violeta) para coliformes totales y fecales, agar MRS (Man Rogosa y Sharpe) para bacterias lácticas y agar Löwenstein - Jensen para micobacterias. De cada una de las diluciones seleccionadas se tomó 1 ml y se colocó en el centro de la superficie del medio de cultivo en cajas de Petri por triplicado. Enseguida la alícuota se extendió homogéneamente por toda la superficie del medio de



cultivo con una varilla de vidrio esterilizada, inmediatamente las placas se incubaron en forma invertida durante 48 h a 37°C (mesófilos aerobios totales, hongos y levaduras, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., bacterias lácticas y micobacterias) y a 44°C (coliformes totales y fecales). Una vez alcanzado el tiempo de incubación se hizo el conteo en las placas que presentaron de 30 a 300 colonias y se registraron como unidades formadoras de colonias (ufc/g). Además, se detectó la presencia o ausencia de micobacterias en los quesos.

Análisis estadístico

Todas las mediciones (cuentas microbiológicas) de las tres variedades de queso obtenidas de los 14 puntos de venta se hicieron por triplicado y los resultados se expresan como el rango, la media y desviación estándar. Además, la carga de cada tipo de microorganismo en las tres variedades de queso se analizó mediante ANDEVA para un diseño completamente al azar y la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). El análisis se realizó con el programa Statistica 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La microbiota presente en los quesos depende de muchos factores como son la fuente de leche (vaca u oveja, etc.), pasteurización, el manejo y ambiente de producción; así como el añejamiento y distribución; sin embargo, los quesos elaborados con leche sin pasteurizar pueden ser portadores de bacterias patógenas (Trmčić *et al.*, 2016). Las cuentas viables de mesófilos aeróbicos totales de las tres variedades de queso obtenidas en los 14 puntos de venta fueron de 1.6×10^3 a 1.9×10^7 ufc/g y el valor más bajo y el más alto correspondió al queso fresco y panela, respectivamente (Tabla 1). Esos valores concuerdan con lo reportado para quesos de pasta dura y semidura (Spoerry-Serrano *et al.*, 2018), así como en quesos fresco y adobera (Vázquez *et al.*, 2018; Soria *et al.*, 2019), elaborados con leche sin pasteurizar. Las cuentas de bacterias ácido lácticas (BAL) fueron de 2.8×10^2 a 2.5×10^7 ufc/g y predominaron en el queso adobera (Tabla 1), debido muy probablemente a que este tipo de queso es madurado ligeramente (González *et al.*, 2016). En ese sentido, se ha reportado la importancia de las BAL en la fermentación de los quesos, debido a que contribuyen al desarrollo del sabor, aroma, textura, composición nutrimental, diversas propiedades funcionales y la vida de anaquel (Li *et al.*, 2020; Reuben *et al.*, 2023). En base a la norma oficial mexicana los quesos frescos y madurados deben presentar una carga máxima de mohos y levaduras de 500 ufc/g. El contenido de esos microorganismos en los quesos analizados fue alto con valores entre 0 y 2.4×10^6 ufc/g (Tabla 1) y el 90.47 % de las muestras rebasaron el valor estipulado oficialmente. Esos resultados son desfavorables ya que la carga excesiva de mohos y levaduras perjudica la apariencia exterior, genera mal olor y produce metabolitos secundarios tóxicos en los quesos (Kandasamy *et al.*, 2020).



Tabla 1. Mesófilos aeróbicos totales, BAL, mohos y levaduras (ufc/g)* en tres variedades de queso de diferentes puntos de venta de Tepic, Nayarit, México

Variedad de queso	P.V.	Mesófilos aeróbicos totales	BAL	Mohos y levaduras
Fresco	1	$2.6 \times 10^5 \pm 6.9 \times 10^4$	$1.1 \times 10^6 \pm 4.9 \times 10^4$	$8.2 \times 10^4 \pm 2.7 \times 10^4$
	2	$8.3 \times 10^5 \pm 3.0 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6 \pm 1.3 \times 10^5$	0
	3	$6.1 \times 10^6 \pm 2.1 \times 10^6$	$7.0 \times 10^6 \pm 2.5 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6 \pm 5.9 \times 10^5$
	4	$4.1 \times 10^5 \pm 9.2 \times 10^4$	$2.3 \times 10^5 \pm 8.4 \times 10^4$	$2.2 \times 10^5 \pm 2.4 \times 10^4$
	5	$2.3 \times 10^5 \pm 4.3 \times 10^4$	$5.5 \times 10^5 \pm 7.0 \times 10^4$	$3.2 \times 10^5 \pm 8.9 \times 10^4$
	6	$3.7 \times 10^6 \pm 8.9 \times 10^5$	$1.6 \times 10^6 \pm 1.7 \times 10^5$	$2.1 \times 10^5 \pm 3.6 \times 10^4$
	7	$4.9 \times 10^5 \pm 1.1 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5 \pm 3.1 \times 10^4$	$3.0 \times 10^5 \pm 1.8 \times 10^5$
	8	$1.2 \times 10^5 \pm 2.0 \times 10^5$	$2.1 \times 10^5 \pm 3.0 \times 10^4$	$1.9 \times 10^4 \pm 2.3 \times 10^3$
	9	$1.2 \times 10^4 \pm 9.2 \times 10^3$	$1.3 \times 10^4 \pm 2.1 \times 10^4$	$4.5 \times 10^3 \pm 1.7 \times 10^3$
	10	$9.4 \times 10^5 \pm 3.8 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6 \pm 2.5 \times 10^5$	$5.6 \times 10^5 \pm 1.1 \times 10^5$
	11	$1.6 \times 10^7 \pm 2.6 \times 10^6$	$2.7 \times 10^3 \pm 2.7 \times 10^2$	$2.2 \times 10^4 \pm 5.6 \times 10^4$
	12	$1.6 \times 10^4 \pm 5.2 \times 10^3$	$7.7 \times 10^3 \pm 4.0 \times 10^3$	$2.7 \times 10^3 \pm 1.8 \times 10^3$
	13	$1.9 \times 10^6 \pm 4.6 \times 10^5$	$7.3 \times 10^4 \pm 6.3 \times 10^4$	$1.7 \times 10^5 \pm 9.5 \times 10^4$
	14	$1.6 \times 10^3 \pm 9.6 \times 10^2$	$2.8 \times 10^2 \pm 6.6 \times 10^1$	0
Panela	1	$1.1 \times 10^6 \pm 2.8 \times 10^5$	$6.7 \times 10^6 \pm 2.9 \times 10^6$	$4.3 \times 10^4 \pm 8.3 \times 10^3$
	2	$1.0 \times 10^6 \pm 6.6 \times 10^5$	$1.6 \times 10^7 \pm 5.1 \times 10^6$	$7.1 \times 10^5 \pm 3.7 \times 10^5$
	3	$3.6 \times 10^6 \pm 4.2 \times 10^5$	$9.6 \times 10^6 \pm 1.2 \times 10^7$	$9.3 \times 10^4 \pm 5.2 \times 10^3$
	4	$1.7 \times 10^6 \pm 1.2 \times 10^6$	$3.7 \times 10^5 \pm 5.5 \times 10^4$	$8.3 \times 10^4 \pm 3.9 \times 10^4$
	5	$6.5 \times 10^6 \pm 7.4 \times 10^6$	$3.2 \times 10^6 \pm 4.8 \times 10^5$	$4.7 \times 10^5 \pm 1.5 \times 10^5$



	6	$6.2 \times 10^6 \pm 1.1 \times 10^6$	$2.4 \times 10^7 \pm 2.3 \times 10^6$	$7.5 \times 10^4 \pm 3.1 \times 10^4$
	7	$8.1 \times 10^6 \pm 9.4 \times 10^6$	$5.1 \times 10^6 \pm 2.2 \times 10^6$	$2.8 \times 10^5 \pm 5.2 \times 10^4$
	8	$1.9 \times 10^7 \pm 6.7 \times 10^5$	$1.6 \times 10^7 \pm 9.3 \times 10^5$	$2.4 \times 10^6 \pm 3.5 \times 10^4$
	9	$1.2 \times 10^7 \pm 6.6 \times 10^5$	$1.1 \times 10^7 \pm 9.9 \times 10^6$	$2.5 \times 10^5 \pm 2.0 \times 10^5$
	10	$2.0 \times 10^6 \pm 1.6 \times 10^6$	$3.5 \times 10^6 \pm 3.4 \times 10^6$	$7.1 \times 10^5 \pm 2.6 \times 10^5$
	11	$5.5 \times 10^6 \pm 3.0 \times 10^6$	$2.4 \times 10^7 \pm 1.5 \times 10^6$	$5.2 \times 10^5 \pm 1.1 \times 10^5$
	12	$1.2 \times 10^6 \pm 2.1 \times 10^5$	$8.5 \times 10^6 \pm 8.6 \times 10^6$	$4.2 \times 10^5 \pm 1.4 \times 10^5$
	13	$3.1 \times 10^6 \pm 1.5 \times 10^6$	$2.2 \times 10^6 \pm 3.3 \times 10^5$	$4.0 \times 10^5 \pm 2.9 \times 10^5$
	14	$8.2 \times 10^6 \pm 1.5 \times 10^6$	$1.5 \times 10^7 \pm 1.1 \times 10^6$	$1.6 \times 10^6 \pm 1.4 \times 10^5$
Adobera	1	$6.7 \times 10^2 \pm 1.2 \times 10^3$	$6.8 \times 10^3 \pm 2.8 \times 10^3$	$4.5 \times 10^4 \pm 4.8 \times 10^4$
	2	$4.0 \times 10^5 \pm 1.3 \times 10^5$	$7.6 \times 10^5 \pm 1.1 \times 10^5$	$4.2 \times 10^4 \pm 5.9 \times 10^3$
	3	$6.1 \times 10^6 \pm 3.1 \times 10^5$	$1.2 \times 10^7 \pm 7.8 \times 10^5$	$3.5 \times 10^5 \pm 2.7 \times 10^4$
	4	$1.3 \times 10^6 \pm 3.5 \times 10^5$	$1.6 \times 10^6 \pm 1.4 \times 10^5$	$3.4 \times 10^5 \pm 4.9 \times 10^4$
	5	$6.7 \times 10^3 \pm 5.8 \times 10^3$	$6.7 \times 10^2 \pm 5.8 \times 10^2$	$6.7 \times 10^1 \pm 1.2 \times 10^2$
	6	$9.9 \times 10^6 \pm 6.7 \times 10^6$	$2.5 \times 10^7 \pm 7.8 \times 10^2$	$5.6 \times 10^3 \pm 3.2 \times 10^3$
	7	$3.7 \times 10^5 \pm 2.0 \times 10^5$	$3.0 \times 10^5 \pm 2.2 \times 10^5$	0
	8	$4.4 \times 10^6 \pm 1.5 \times 10^6$	$1.3 \times 10^7 \pm 1.9 \times 10^6$	$9.0 \times 10^4 \pm 1.6 \times 10^4$
	9	$1.6 \times 10^7 \pm 1.4 \times 10^7$	$1.6 \times 10^7 \pm 5.7 \times 10^6$	$8.2 \times 10^5 \pm 1.0 \times 10^5$
	10	$2.6 \times 10^5 \pm 9.9 \times 10^4$	$6.4 \times 10^4 \pm 8.8 \times 10^2$	$1.7 \times 10^4 \pm 1.3 \times 10^4$
	11	$2.9 \times 10^5 \pm 5.6 \times 10^4$	$8.7 \times 10^4 \pm 1.1 \times 10^4$	$2.2 \times 10^4 \pm 1.6 \times 10^4$
	12	$8.9 \times 10^6 \pm 1.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^7 \pm 4.3 \times 10^6$	$6.3 \times 10^5 \pm 5.4 \times 10^5$
	13	$1.5 \times 10^5 \pm 1.7 \times 10^5$	$1.4 \times 10^4 \pm 9.7 \times 10^3$	$2.2 \times 10^4 \pm 1.4 \times 10^4$



14 $2.4 \times 10^7 \pm 4.5 \times 10^5$ $2.4 \times 10^7 \pm 6.1 \times 10^5$ $1.2 \times 10^5 \pm 2.2 \times 10^4$

* Valores promedio \pm desviación estándar, obtenidos en cada punto de venta, (n=3).
 P.V. = Punto de venta.
 BAL = Bacterias ácido lácticas.

Si los procedimientos de elaboración de quesos no son higiénicos, el producto se convierte en un alimento de riesgo que puede causar ETAs. En ese sentido, los microorganismos de mayor riesgo son *Escherichia coli* y otros coliformes fecales, capaces de causar disentería (Ramirez *et al.*, 2024). El 80.95 % de las muestras de quesos analizadas presentaron coliformes totales en un rango de 3.3×10^0 a 6.7×10^5 ufc/g (Tabla 2). De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-243-SSA1-2010), el valor permitido de coliformes totales en queso es ≤ 100 ufc/g; el cual fue registrado únicamente en 33.33 % de las muestras analizadas. Además, se encontraron coliformes fecales en 43% , 93 % y 43 % de las muestras de queso fresco, panela y adobera; respectivamente, con un rango de 1.7×10^1 a 2.2×10^5 ufc/g y no hubo presencia de esos microorganismos en 40.47 % del total de las muestras. La presencia y alto contenido de coliformes en los quesos analizados concuerda con lo reportado por Fernandes-Silva *et al.* (2022) y Ramirez *et al.* (2024) para quesos frescos; además, demuestran la carencia de buenas prácticas de higiene en la cadena de producción y comercialización de los quesos para asegurar la salud del consumidor.

Tabla 2. Coliformes totales y fecales, *Salmonella* spp. y *Staphylococcus aureus* (ufc/g)* en tres variedades de queso de diferentes puntos de venta de Tepic, Nayarit, México

Variedad de queso	P.V.	Coliformes totales	Coliformes fecales	<i>Salmonella</i>	<i>S. aureus</i>
Fresco	1	$5.9 \times 10^1 \pm 7.5 \times 10^1$	0	$7.7 \times 10^1 \pm 3.8 \times 10^1$	$1.3 \times 10^6 \pm 5.1 \times 10^5$
	2	$1.1 \times 10^5 \pm 1.9 \times 10^5$	$2.9 \times 10^1 \pm 7.5 \times 10^0$	$2.4 \times 10^3 \pm 2.8 \times 10^2$	$2.8 \times 10^5 \pm 1.0 \times 10^5$
	3	$9.2 \times 10^4 \pm 1.4 \times 10^5$	$1.5 \times 10^4 \pm 4.7 \times 10^3$	$5.6 \times 10^4 \pm 2.8 \times 10^4$	$5.4 \times 10^6 \pm 6.2 \times 10^5$
	4	$1.8 \times 10^2 \pm 2.2 \times 10^2$	$2.7 \times 10^1 \pm 1.0 \times 10^1$	$2.3 \times 10^2 \pm 3.0 \times 10^2$	$2.9 \times 10^5 \pm 6.2 \times 10^4$
	5	0	0	$1.5 \times 10^3 \pm 6.8 \times 10^2$	$3.0 \times 10^3 \pm 3.0 \times 10^3$
	6	$3.1 \times 10^2 \pm 3.3 \times 10^2$	$1.7 \times 10^1 \pm 2.1 \times 10^1$	$1.1 \times 10^4 \pm 6.5 \times 10^3$	$2.8 \times 10^6 \pm 1.3 \times 10^6$
	7	$3.3 \times 10^0 \pm 5.8 \times 10^0$	0	0	$2.0 \times 10^5 \pm 1.0 \times 10^5$
	8	0	0	0	0



	9	0	0	$2.3 \times 10^2 \pm 2.4 \times 10^2$	$7.2 \times 10^3 \pm 4.9 \times 10^3$
	10	$3.3 \times 10^0 \pm 5.8 \times 10^0$	0	0	$4.2 \times 10^5 \pm 5.5 \times 10^5$
	11	$3.3 \times 10^0 \pm 5.8 \times 10^0$	0	$8.5 \times 10^2 \pm 3.2 \times 10^2$	$1.8 \times 10^5 \pm 1.8 \times 10^4$
	12	$5.4 \times 10^2 \pm 2.6 \times 10^2$	$2.5 \times 10^3 \pm 1.5 \times 10^3$	$1.4 \times 10^4 \pm 1.2 \times 10^4$	0
	13	$1.2 \times 10^2 \pm 1.6 \times 10^1$	$3.3 \times 10^0 \pm 5.8 \times 10^0$	$2.8 \times 10^1 \pm 3.3 \times 10^1$	$1.3 \times 10^6 \pm 2.4 \times 10^5$
	14	0	0	0	0
Panela	1	$6.7 \times 10^5 \pm 1.2 \times 10^6$	$1.1 \times 10^3 \pm 7.0 \times 10^1$	$6.3 \times 10^2 \pm 4.9 \times 10^2$	$6.6 \times 10^5 \pm 3.1 \times 10^5$
	2	$1.7 \times 10^5 \pm 7.4 \times 10^4$	$2.2 \times 10^5 \pm 3.0 \times 10^4$	$2.1 \times 10^5 \pm 3.5 \times 10^4$	$2.5 \times 10^6 \pm 3.7 \times 10^5$
	3	$9.2 \times 10^4 \pm 9.0 \times 10^4$	$2.8 \times 10^4 \pm 5.7 \times 10^3$	$4.5 \times 10^4 \pm 1.0 \times 10^4$	$4.6 \times 10^6 \pm 1.2 \times 10^6$
	4	$9.6 \times 10^1 \pm 4.2 \times 10^1$	0	$1.3 \times 10^4 \pm 1.6 \times 10^4$	$2.4 \times 10^5 \pm 6.5 \times 10^4$
	5	$2.9 \times 10^2 \pm 8.7 \times 10^0$	$1.3 \times 10^2 \pm 3.1 \times 10^1$	$2.8 \times 10^2 \pm 2.3 \times 10^2$	$1.4 \times 10^5 \pm 8.3 \times 10^4$
	6	$1.1 \times 10^4 \pm 5.1 \times 10^0$	$3.3 \times 10^3 \pm 1.1 \times 10^3$	$1.8 \times 10^4 \pm 1.3 \times 10^3$	$1.0 \times 10^7 \pm 3.7 \times 10^6$
	7	$4.0 \times 10^4 \pm 5.4 \times 10^3$	$1.6 \times 10^4 \pm 9.8 \times 10^2$	$4.5 \times 10^3 \pm 1.5 \times 10^3$	$2.4 \times 10^5 \pm 5.0 \times 10^4$
	8	$3.3 \times 10^4 \pm 2.4 \times 10^4$	$4.0 \times 10^3 \pm 9.8 \times 10^2$	$8.5 \times 10^3 \pm 1.3 \times 10^3$	$6.1 \times 10^4 \pm 1.2 \times 10^4$
	9	$2.4 \times 10^5 \pm 1.3 \times 10^4$	$3.5 \times 10^4 \pm 5.6 \times 10^3$	$2.8 \times 10^4 \pm 2.3 \times 10^4$	$1.9 \times 10^6 \pm 9.3 \times 10^5$
	10	$2.3 \times 10^3 \pm 5.2 \times 10^2$	$2.0 \times 10^3 \pm 6.1 \times 10^2$	$2.0 \times 10^3 \pm 5.1 \times 10^2$	$2.1 \times 10^4 \pm 1.6 \times 10^4$
	11	$3.9 \times 10^4 \pm 1.5 \times 10^4$	$6.6 \times 10^3 \pm 2.7 \times 10^3$	$5.4 \times 10^4 \pm 1.6 \times 10^4$	$1.0 \times 10^6 \pm 6.8 \times 10^5$
	12	$8.6 \times 10^3 \pm 3.0 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3 \pm 1.5 \times 10^3$	$1.2 \times 10^4 \pm 1.2 \times 10^4$	$8.2 \times 10^4 \pm 2.3 \times 10^4$
	13	$3.2 \times 10^3 \pm 3.4 \times 10^3$	$4.5 \times 10^2 \pm 2.7 \times 10^2$	$6.7 \times 10^0 \pm 5.8 \times 10^0$	$7.6 \times 10^5 \pm 3.4 \times 10^4$
	14	$4.1 \times 10^3 \pm 1.4 \times 10^3$	$4.8 \times 10^3 \pm 2.9 \times 10^2$	$3.9 \times 10^2 \pm 2.2 \times 10^2$	$6.8 \times 10^5 \pm 5.1 \times 10^5$
Adobera	1	$9.3 \times 10^1 \pm 1.6 \times 10^2$	0	$2.5 \times 10^3 \pm 5.1 \times 10^2$	$1.3 \times 10^4 \pm 1.8 \times 10^4$
	2	$3.1 \times 10^5 \pm 5.3 \times 10^5$	$2.4 \times 10^2 \pm 3.0 \times 10^2$	$1.1 \times 10^4 \pm 4.1 \times 10^2$	$3.3 \times 10^5 \pm 7.8 \times 10^4$



3	$3.3 \times 10^2 \pm 3.4 \times 10^2$	$3.4 \times 10^1 \pm 5.9 \times 10^1$	$2.8 \times 10^2 \pm 3.0 \times 10^2$	$3.4 \times 10^4 \pm 2.1 \times 10^4$
4	$1.1 \times 10^0 \pm 1.9 \times 10^0$	0	$8.8 \times 10^2 \pm 3.2 \times 10^2$	$9.8 \times 10^5 \pm 3.8 \times 10^5$
5	0	0	$3.8 \times 10^2 \pm 2.2 \times 10^2$	0
6	$3.3 \times 10^0 \pm 5.8 \times 10^0$	0	$1.4 \times 10^5 \pm 2.7 \times 10^4$	$4.0 \times 10^5 \pm 2.1 \times 10^5$
7	$5.8 \times 10^1 \pm 4.0 \times 10^1$	0	0	0
8	$2.2 \times 10^4 \pm 3.7 \times 10^3$	$4.0 \times 10^3 \pm 9.8 \times 10^2$	$1.2 \times 10^3 \pm 1.1 \times 10^3$	$3.2 \times 10^4 \pm 1.5 \times 10^4$
9	$7.3 \times 10^1 \pm 1.1 \times 10^2$	0	$2.0 \times 10^3 \pm 6.4 \times 10^1$	$3.6 \times 10^4 \pm 1.7 \times 10^4$
10	0	$3.9 \times 10^2 \pm 6.0 \times 10^2$	0	$1.0 \times 10^1 \pm 1.0 \times 10^1$
11	0	0	0	0
12	$2.6 \times 10^4 \pm 5.5 \times 10^2$	$4.8 \times 10^4 \pm 9.2 \times 10^3$	$6.3 \times 10^3 \pm 9.5 \times 10^2$	$3.6 \times 10^6 \pm 3.7 \times 10^6$
13	0	0	$1.0 \times 10^1 \pm 1.7 \times 10^1$	$1.8 \times 10^4 \pm 5.5 \times 10^3$
14	$6.2 \times 10^4 \pm 1.2 \times 10^4$	$1.2 \times 10^4 \pm 6.9 \times 10^3$	$1.6 \times 10^3 \pm 1.0 \times 10^3$	$6.9 \times 10^6 \pm 8.6 \times 10^5$

* Valores promedio \pm desviación estándar, obtenidos en cada punto de venta, (n=3).
 P.V. = Punto de venta.

La salmonelosis es una de las enfermedades de transmisión alimentaria más comunes y ampliamente extendidas, ya que afecta anualmente a decenas de millones de personas en todo el mundo y provoca más de cien mil defunciones ([Spoerry-Serrano et al., 2018](#); [Ehuwa et al., 2021](#)). El 83.3 % de las muestras analizadas estuvieron contaminadas con *Salmonella* (6.7×10^0 a 2.1×10^5 ufc/g) (Tabla 2). Estos resultados exceden a lo reportado por [Martínez et al. \(2013\)](#) quienes encontraron *Salmonella* spp. en 19 % de muestras de queso fresco, ausencia en varios tipos de quesos ([Spoerry-Serrano et al., 2018](#)) y un 3.3 % en muestras de queso adobera ([Soria et al., 2019](#)). La intoxicación alimentaria por *Staphylococcus* spp. es una de las ETAs más comunes como resultado de la presencia de enterotoxinas presentes en el alimento y no debido a la infección; sin embargo, un tercio de las cepas de *Staphylococcus aureus* producen enterotoxinas ([Rashky, 2018](#)). Según la Norma Oficial Mexicana ([NOM-243-SSA1-2010](#)) el valor máximo permitido de *Staphylococcus aureus* en quesos fresco y panela es de 1000 ufc/g. Al respecto, el 85.72 % de las muestras presentaron cuentas excedidas de *Staphylococcus aureus* en un rango de 1.1×10^1 a 1.1×10^7 ufc/g y solo tres muestras de queso fresco estuvieron libres de ese microorganismo patógeno (Tabla 2). La misma norma estipula que los quesos



madurados pueden presentar valores de *Staphylococcus aureus* ≤ 100 ufc/g, lo cual se cumplió solo en cuatro muestras de queso adobera que puede ser sometido a maduración (González *et al.*, 2016); sin embargo, solo tres muestras de queso fresco fueron libres del patógeno (Tabla 2). Estos resultados evidencian el riesgo de salud para el consumidor, ya que se han reportado brotes de infección asociados con el consumo de queso en los que predominaron como responsables *Salmonella* y *Staphylococcus aureus* (Little *et al.*, 2008). *Micobacterium bovis* es el agente etiológico de tuberculosis bovina y puede causar tuberculosis humana con síntomas clínicos indistinguibles de aquellos causados por *Micobacterium tuberculosis*; además, muchos casos de la llamada “TB zoonótica, *M. bovis*” en humanos son subestimados debido a la falta de reportes en países endémicos y capacidad limitada de laboratorios para el diagnóstico (Kanipe & Palmer, 2020; Mabe *et al.*, 2024). En ese sentido, la transmisión de tuberculosis zoonótica a los humanos se debe al consumo de alimentos contaminados, especialmente queso fresco no pasteurizado, o la utilización de leche cruda procedente de ganado infectado. (Cezar *et al.*, 2016; SAGARPA, 2016). La contaminación también puede ocurrir durante el proceso de elaboración del queso, distribución o venta, debido a malas prácticas de higiene. El 71 % de los quesos analizados mostraron presencia de micobacterias, lo cual hace posible la transmisión de tuberculosis, entre otras enfermedades para los consumidores (Lara *et al.*, 2024). En la Tabla 3 se presenta la carga microbiana promedio y la comparación estadística de mesófilos aeróbicos totales, BAL, mohos y levaduras de las tres variedades de queso obtenidos en los 14 puntos de venta.

Tabla 3. Cuentas de mesófilos aeróbicos totales, BAL, mohos y levaduras (ufc/g)* de quesos comercializados en Tepic, Nayarit, México

Variedad de queso	Mesófilos aeróbicos totales	BAL	Mohos y levaduras
Fresco	$2.2 \times 10^6 \pm 4.4 \times 10^6$ _b	$9.4 \times 10^5 \pm 1.8 \times 10^6$ _b	$2.6 \times 10^5 \pm 3.4 \times 10^5$ _b
Panela	$5.6 \times 10^6 \pm 5.7 \times 10^6$ _a	$1.0 \times 10^7 \pm 8.6 \times 10^6$ _a	$5.8 \times 10^5 \pm 6.7 \times 10^5$ _a
Adobera	$5.0 \times 10^6 \pm 7.8 \times 10^6$ _a	$7.4 \times 10^6 \pm 9.2 \times 10^6$ _a	$1.8 \times 10^5 \pm 2.8 \times 10^5$ _b

*Valores promedio \pm desviación estándar, obtenidos de los 14 puntos de venta y analizados por triplicado.
_{a,b}Valores con subíndice distinto en cada columna difirieron estadísticamente ($p \leq 0.05$).
 BAL = Bacterias ácido lácticas.

La carga de mesófilos aeróbicos totales fue estadísticamente igual en los quesos panela y adobera, pero superior al queso fresco ($p \leq 0.05$). Las cuentas de BAL mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) y fueron más altas en el queso panela y adobera; 1.0×10^7 ufc/g y 7.4×10^6 ufc/g, respectivamente (Tabla 3). Esos resultados pueden influir en la aceptación de los quesos por el consumidor, ya que las BAL se caracterizan por su



habilidad fermentativa para mejorar los atributos sensoriales, enriquecimiento de nutrientes y beneficios para la salud (Mathur *et al.*, 2020). Con respecto a los valores promedio de mohos y levaduras, las tres variedades de queso rebasaron el límite oficial y la panela mostró el valor más alto (5.8×10^5 ufc/g) ($p \leq 0.05$). Las cifras elevadas de mohos y levaduras reflejan mala calidad de los quesos; por lo tanto, también debe considerarse la posible presencia de micotoxinas en el producto (Soria *et al.*, 2019).

Las cuentas viables de coliformes totales fueron altas con un promedio de 4.47×10^4 ufc/g, sin existir diferencia significativa entre variedades de queso ($p \geq 0.05$) (Tabla 4). Por su parte, la carga de coliformes fecales fue diferente ($p \leq 0.05$) y el valor más alto (2.3×10^4 ufc/g) lo presentó el queso panela, debido muy probablemente a las malas prácticas de higiene durante la fase de producción (Gelen & Ceylan, 2020). Recientemente se reportó una prevalencia alta (42 %) de coliformes totales en quesos elaborados con leche cruda (Jinghui *et al.*, 2022), lo cual concuerda con nuestros hallazgos.

Tabla 4. Cuentas de coliformes totales y fecales, *Salmonella* spp. y *Staphylococcus aureus* (ufc/g)* de quesos comercializados en Tepic, Nayarit, México

Variedad de queso	Coliformes totales	Coliformes fecales	<i>Salmonella</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
Fresco	$1.0 \times 10^4 \pm 6.2 \times 10^4$ ^a	$1.3 \times 10^3 \pm 4.1 \times 10^3$ ^b	$6.3 \times 10^3 \pm 1.6 \times 10^4$ ^b	$8.8 \times 10^5 \pm 1.5 \times 10^6$ ^a
Panela	$9.4 \times 10^4 \pm 3.1 \times 10^5$ ^a	$2.3 \times 10^4 \pm 5.7 \times 10^4$ ^a	$2.8 \times 10^4 \pm 5.5 \times 10^4$ ^a	$1.6 \times 10^6 \pm 2.8 \times 10^6$ ^a
Adobera	$3.0 \times 10^4 \pm 1.4 \times 10^5$ ^a	$4.6 \times 10^3 \pm 1.3 \times 10^4$ ^b	$1.2 \times 10^4 \pm 3.7 \times 10^4$ ^a	$8.8 \times 10^5 \pm 2.1 \times 10^6$ ^a

*Valores promedio \pm desviación estándar, obtenidos de los 14 puntos de venta y analizados por triplicado.
^{a,b}Valores con subíndice distinto en cada columna difirieron estadísticamente ($p \leq 0.05$).

El género *Salmonella* es asociado comúnmente con desordenes gastrointestinales y es más frecuente en países subdesarrollados tales como México. Aunque son escasos los datos sobre enfermedades causados por el consumo de productos lácteos, hay reportes de brotes de salmonelosis ligadas al consumo de queso fresco (Torres-Vitela *et al.*, 2012). Los valores de *Salmonella* spp. fueron muy altos y diferentes entre variedades de queso, destaca la panela y el queso adobera con cargas de 2.8×10^4 ufc/g y 1.2×10^4 ufc/g, respectivamente (Tabla 4); por lo tanto, se incumplió rotundamente la Norma Oficial Mexicana (NOM-243-SSA1-2010) que establece la ausencia del microorganismo en 25 g de muestra. Esos resultados concuerdan con una incidencia de 34 % y 20 % de *Salmonella* spp. en quesos panela y adobera, respectivamente, reportado por Torres-Vitela *et al.* (2012). *Staphylococcus aureus* produce enterotoxinas que son termoestables y puede causar desde diarrea hasta una intoxicación severa cuando se ingiere leche cruda o sus derivados (Baran *et al.*, 2017). Las cuentas de *Staphylococcus aureus* en las



tres variedades de queso fueron iguales ($p \geq 0.05$) (Tabla 4); excedieron el valor de la normativa oficial mexicana y superaron lo reportado por Bastam *et al.* (2021). Las cargas elevadas de coliformes, *Salmonella* spp. y *Staphylococcus aureus* se deben muy probablemente al uso de leche cruda y condiciones higiénicas insuficientes durante la elaboración, almacenamiento, presentación y periodo de venta de los quesos analizados; por lo cual son de riesgo para la salud de los consumidores (FAO, 2009; NOM-243-SSA1-2010; OMS, 2022).

CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación demuestran que la calidad microbiológica e inocuidad de los quesos analizados provenientes de Tepic, Nayarit, México no es aceptable de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana y los estándares internacionales del Codex Alimentarius. Además, se puede afirmar que en los sistemas de producción y puntos de venta no se tiene control de calidad ni buenas prácticas higiénicas; por lo tanto, los quesos analizados evidencian un importante riesgo para la salud de los consumidores. Se recomienda implementar la pasteurización de la leche para elaborar los quesos y otras medidas sanitarias durante la comercialización; además, de acuerdo a los resultados de esta investigación se sugiere la supervisión oficial y el cumplimiento de la normativa para prevenir la transmisión potencial de enfermedades por el consumo de quesos contaminados en esta localidad.

AGRADECIMIENTO

Proyecto financiado con fondos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) México.

LITERATURA CITADA

BARAN A, Erdogan A, Turgut T, Adigüzel MC. 2017. A review of the presence of *Staphylococcus aureus* in cheese. *Turkish Journal of Nature and Science*. 6(2):100-105. ISSN: 2149-6366. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/384781>

BASTAM MM, Jalili M, Pakzad I, Maleki A, Ghafourian S. 2021. Pathogenic bacteria in cheese, raw and pasteurised milk. *Veterinary Medicine and Science*. 7:2445-2449. ISSN: 20531095. <https://doi.org/10.1002/vms3.604>

BENSAL V, Mishra SK. 2020. Reduced-sodium cheeses: Implications of reducing sodium chloride on cheese quality and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020:1-26. ISSN: 1541-4337. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12524>



CEZAR R, Silva NL, Borges JM, Santana V, Pinheiro JW. 2016. Detection of *Micobacterium bovis* in artesanal cheese in the satate of Pernambuco, Brazil. *International Journal of Micobacteriology*. 5(2016):269-272. ISSN: 2212-5531. https://journals.lww.com/ijmy/fulltext/2016/05030/Detection_of_Mycobacterium_bovis_in_artisanal.4.aspx

COSTARD S, Espejo L, Groenendaal H, Zagmutt FJ. 2017. Outbreak-Related disease burden associated with consumption of unpasteurized cow's milk and cheese, United States, 2009-2014. *Emerging Infectious Diseases*. 23(6):957-964. ISSN: 1080-6059. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5443421/>

EHUWA O, Jaiswal AK, Jaiswal S. 2021. *Salmonella*, food safety and food handling practices. *Foods*. 10(907):2-16. ISSN: 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods10050907>

FAO (Food and Agriculture Organization). 2009. *Code of hygienic practice for milk and milk products*. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXP_057e.pdf

FAO (Food and Agriculture Organization). 2024. *Portal lácteo, tipos y características, peligros para la salud*. <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/es/>

FERNANDES-SILVA L, Santos S, Almeida A, Da Silva E, De Souza C, Rodrigues I, Castilho D. 2022. Microbiological evaluation of industrialized and artisanal Minas fresh cheese commercialized in the Federal District, Brazil. *Food Science and Technology*. 42, e45221. ISSN: 2689-1816. <https://doi.org/10.1590/fst.45221>

GELEN SU, Ceylan ZG. 2020. The existence of enterococcus spp. in civyl cheese. *Turkish Journal of Agriculture – Food Sciende and Technolohy*. 8(12):2574-2576. ISSN: 2148-127X. <https://agrifoodscience.com/index.php/TURJAF/article/view/3727>

GONZÁLEZ AF, Yescas C, Ortíz AM, De la Rosa MA, Hernández A, Vallejo B. 2016. Invited review: Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science*. 99:3250-3262. ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10103>

JINGHUI Y, Jing G, Jianming G, Hengan W, En Z, Yingzheng L, Zhifei Ch, Shuqing L, Sun T. 2022. Characterization of bacteria and antibiotic resistance in commercially produced cheeses sold in China. *Journal of Food Protection*. 85(3):484-493. ISSN: 1944-9097. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X22067941?via%3Dihub>



KANDASAMY S, Park WS, Yoo J, Yun J, Kang HB, Seol K, Oh M, Sang JS. 2020. Characterization of fungal contamination sources for use in quality management of cheese production farms in Korea. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 33(6):1002-1011. ISSN: 1011-2367. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7206383/>

KANIPE C, Palmer MV. 2020. *Micobacterium bovis* and you: a comprehensive look at the bacteria, its similarities to *Micobacterium tuberculosis*, and its relationship with human disease. *Tuberculosis*. 1-28. ISSN: 1472-9792.
<https://doi.org/10.1016/j.tube.2020.102006>

LARA FA, Zúñiga S, Martínez P. 2024. Tuberculosis por *M. bovis* en humanos: una enfermedad desatendida. *Con Evidencia*. 2:18:1-4. ISSN: 3061-7286.
<https://doi.org/10.32870/ce.vi2.29>

LI J, Huang Q, Zheng X, Ge Z, Lin K, Zhang K, Chen Y, Wang B, Shi X. 2020. Investigation of the lactic acid bacteria in Kazak cheese and their contributions to cheese fermentation. *Frontiers in Microbiology*. 11(228):1-13. ISSN: 1664-302X.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00228>

LITTLE CL, Rhoades JR, Sagoo SK, Harris J, Greenwood M, Mithani V, Grant K, McLauchlin J. 2008. Microbiological quality of retail cheeses made from raw thermized or pasteurized milk in the UK. *Food Microbiology*. (25):304-312. ISSN: 0740-0020.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.10.007>

MABE L, Muthevuly M, Thekiso O, Suleman E. 2024. Accuracy of molecular diagnostic assays for detection of *Micobacterium bovis*: a systematic review and meta-analysis. *Preventive Veterinary Medicine*. 226:1-11. ISSN: 0167-5877.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016758772400076X>

MARTÍNEZ A, Villoch A, Ribot A, Ponce P. 2013. Evaluación de la calidad e inocuidad de quesos frescos artesanales de tres regiones de una provincia de Cuba. *Revista de salud animal*. 35(3):210-213. ISSN: 2253-570X. <http://scielo.sld.cu/pdf/ras/v35n3/ras11313.pdf>

MATHUR H, Baresford T, Cotter P. 2020. Health benefits of lactic acid bacteria (LAB) fermentates. *Nutrients*. 12(1679):1-16. ISSN: 2072-6643.
<https://doi.org/10.3390/nu12061679>



MERCHÁN NA, Pineda LM, Cárdenas AK, González NC, Otálora MC, Sánchez Y. 2018. Microorganismos comúnmente reportados como causantes de enfermedades transmitidas por el queso fresco en las Américas, 2007-2016. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 56:1-22. ISSN: 1561-3003.

<https://revepidemiologia.sld.cu/index.php/hie/article/view/171>

NORMA oficial mexicana, NOM-110-SSA1-1994, sobre preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Diario oficial de la Federación. México.

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4883170&fecha=16/10/1995#gsc.tab=0

NORMA oficial mexicana, NOM-243-SSA1-2010, sobre disposiciones y especificaciones sanitarias para leche y derivados lácteos. México.

<https://dof.gob.mx/normasOficiales/4156/salud2a/salud2a.htm>

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2020. *Inocuidad de los alimentos*. Pp. 1.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2022. *Codex Alimentarius*, General standar for cheese. Pp. 3.

https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B283-1978%252FCXS_283e.pdf

RAMIREZ AE, Montesdeoca JA, Torres SM, 2024. Determinación de *Coliformes spp* y *Escherichia coli* en quesos frescos del mercado 9 de Octubre, Cuenca Ecuador. *Tesla Revista Científica*. 4(1 e294):1-9. ISSN: 2796-9320.

<https://tesla.puertomaderoeditorial.com.ar/index.php/tesla/article/view/294>

RASHKY Z. 2018. Diseases caused by *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Medical and Health Research*. 4(11):65-67. ISSN: 2454-9142.

https://www.researchgate.net/profile/Zahra-Ghalehnoo-2/publication/330117501_Diseases_caused_by_Staphylococcus_aureus/links/5c2e73c3a6fdccd6b58f900f/Diseases-caused-by-Staphylococcus-aureus.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail

REUBEN RC, Langer D, Eisenhauer N, Jurburg SD. 2023. Universal drivers of cheese microbiomes. *Science*. 26(105744):1-15. ISSN: 1095-9203.

[https://www.cell.com/science/fulltext/S2589-0042\(22\)02017-X?uuid=uuid%3Ad97e6d62-e698-475c-bf78-006ce2774df8](https://www.cell.com/science/fulltext/S2589-0042(22)02017-X?uuid=uuid%3Ad97e6d62-e698-475c-bf78-006ce2774df8)



RYSHA A, Markov K, Frece J, Cvek D, Delas S. 2014. A survey of microbiological quality of Sharri, a hard mountain cheese from Kosovo. *International Journal of Dairy Technology*. 67(2):277-282. ISSN: 1471-0370. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12080>

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2016. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA): *Guía para el seguimiento epidemiológico de la tuberculosis bovina*. Pp. 4. México.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/915983/10_GUIADESEGUIMIENTOEPIDEMIOLOGICO09-07-2015.pdf

SORIA RJ, Yahuaca B, Cerna JF, Ortíz R, Domínguez KG, Pino R, Becerra C, Piña A. 2019. Calidad microbiológica de queso fresco y adobera de la región tierra caliente de Michoacán. *e-Gnosis*. (2):1-5. ISSN: 1665-5745.

<https://e-gnosis.udg.mx/index.php/inocuidad/article/view/197/149>

SPOERRY-SERRANO N, Zweifel C, Corti S, Sthepan R. 2018. Microbiological quality and presence of foodborne pathogens in raw milk cheeses and raw meat products marketed at the farm level in Switzerland. *Italian Journal of Food Safety*. 7(7337):110-115. ISSN: 2239-7132. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6036992/pdf/ijfs-7-2-7337.pdf>

TORRES-VITELA MR, Mendoza M, Castro J, Gómez CA, Garay LE, Navarro V, Villarruel A. 2012. Incidence of *Salmonella*, *Listeria Monocytogenes*, *Escherichia coli* 0157:H7 and Sthapilococcal enterotoxin in two types of mexican fresh cheeses. *Journal of food protection*. 75(1):79-84. ISSN: 0362-028X.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X2300443X>

TRMĀÍĆ A, Chauhan K, Kent DJ, Ralyea RD, Martin NH, Boor KJ Wiedmann M. 2016. Coliform detection in cheese is associated with specific cheese characteristics, but no association was found with pathogen detection. *Journal of Dairy Science*. 99:6105-6120. ISSN: 0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11112>

VÁZQUEZ V, Salhuana JG, Jiménez LA, Abanto LM. 2018. Evaluación de la calidad bacteriológica de quesos frescos en Cajamarca. *Ecología Aplicada*. 17(1):45-51. ISSN: 1726-2216. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v17n1/a05v17n1.pdf>

Errata Erratum

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 16:1-21. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.1>
Estudio de Caso. Recibido: 17/07/2024. Aceptado:10/02/2025. Publicado: 06/04/2025. Clave: e2024-40.
<https://www.youtube.com/watch?v=2TFB9Rujlu4>

Factores que afectan la densidad de *Vibrio parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón *Penaeus vannamei* en unidades de producción al Noroeste de México

Factors affecting the density of *Vibrio parahaemolyticus* in the hepatopancreas of shrimp *Penaeus vannamei* in production units in Northwest Mexico



Ramírez-Tirado Horacio ¹ID, Peraza-Gómez Viridiana^{1,2}ID, Velázquez-Abunader Iván³ID, Estrada-Perez Nallely²ID, Ruiz-Velazco Javier^{*1,2}ID

¹Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad académica de Agricultura. Programa de Doctorado en Ciencias del Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Xalisco, Nayarit, México. ²Universidad Autónoma de Nayarit. Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera. San Blas, Nayarit, México. ³Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida. Mérida, Yucatán, México. *Autor de correspondencia: Javier M.J. Ruiz-Velazco, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit, Bahía de Matanchén, Km 12, Carretera a los Cocos, CP. 63740. San Blas, Nayarit, México. E-mail: jhramirez6@gmail.com, viridiana.peraza@uan.edu.mx, jvelazquez@cinvestav.mx, nallely.estrada@uan.edu.mx, marcialj@uan.edu.mx

RESUMEN

El *Vibrio parahaemolyticus* actúa como patógeno oportunista y primario de las unidades de producción camaronícola, lo que ocasiona la Enfermedad de la Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND, por sus siglas en inglés) y la Enfermedad de las postlarvas de cristal (HLVD) mucho más virulenta que la cepa AHPND. Sin embargo, las variables que determinan la densidad de este patógeno en las unidades de producción no son todavía claras. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue determinar las variables físicas, químicas y biológicas que favorecen su desarrollo en el hepatopáncreas del camarón *Penaeus vannamei*, en el agua y en el sedimento de los estanques de cultivo. La investigación se realizó en granjas comerciales localizadas en la costa del noroeste de México. En cada granja se recolectaron muestras de agua, sedimento y camarón para análisis bacteriológico (siembra en placa con CHROMAgar *Vibrio*), calidad de agua (nitritos NO₂⁻, nitratos NO₃⁻, amonio NH₄⁺, fosfatos PO₄³⁻ y alcalinidad CaCO₃), materia orgánica y pH (en sedimento), así como mediciones de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH (en agua) y transparencia. Para analizar la asociación de las variables físicas, químicas y biológicas con la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón, se construyó un Modelo Lineal Generalizado (MLG). El modelo que mejor explicó los datos presentó una devianza explicada del 34.85%. El examen bacteriológico arrojó que la zona norte y la zona sur mostraron la mayor densidad promedio de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón. El modelo reveló un efecto significativo (P<0.05) en la densidad de *V. parahaemolyticus* en el agua y en el sedimento de los estanques de cultivo, ciclo de cultivo, oxígeno disuelto, salinidad, pH en el agua de cultivo, NH₄⁺ y alcalinidad. La evidencia encontrada del efecto de algunos de los factores sobre la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón sugieren un monitoreo constante para evitar densidades perjudiciales para la salud del camarón.

Palabras clave: granjas de camarón, variables ambientales, modelo lineal generalizado, *Vibrio parahaemolyticus*.



ABSTRACT

Vibrio parahaemolyticus acts as an opportunistic and primary pathogen in shrimp production units, causing Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) and the much more virulent postlarvae glass disease (HLVD) than the AHPND strain. However, the variables that determine the density of this pathogen in production units are not yet clear. For this reason, the aim of this study was to determine the physical, chemical and biological variables that favour its development in the hepatopancreas of *Penaeus vannamei* shrimp, in the water and sediment of culture ponds. The research was carried out in commercial farms located on the northwest coast of Mexico. At each farm, water, sediment and shrimp samples were collected for bacteriological analysis (CHROMAgar *Vibrio* plate seeding), water quality (nitrite NO₂⁻, nitrate NO₃⁻, ammonium NH₄⁺, phosphate PO₄³⁻ and alkalinity CaCO₃), organic matter and pH (in sediment), as well as measurements of salinity, temperature, dissolved oxygen, pH (in water) and transparency. To analyse the association of physical, chemical and biological variables with the density of *V. parahaemolyticus* in the shrimp hepatopancreas, a Generalised Linear Model (GLM) was constructed. The model that best explained the data had an explained variance of 34.85%. Bacteriological examination showed that the northern and southern zones showed the highest average density of *V. parahaemolyticus* in the shrimp hepatopancreas. The model revealed a significant effect ($P < 0.05$) on the density of *V. parahaemolyticus* in culture pond water and sediment, culture cycle, dissolved oxygen, salinity, pH in culture water, NH₄⁺ and alkalinity. The evidence found for the effect of some of the factors on the density of *V. parahaemolyticus* in the shrimp hepatopancreas suggests constant monitoring to avoid densities detrimental to shrimp health.

Keywords: shrimp farms, environmental variables, generalised linear model, *Vibrio parahaemolyticus*.

INTRODUCCIÓN

La bacteria *Vibrio parahaemolyticus* habita en ambientes marinos costeros y zonas estuarinas (Cariani *et al.*, 2012); se encuentra libre en suspensión o asociada a partículas suspendidas, como: sedimento (Heitmann *et al.*, 2005), plancton (Turner *et al.*, 2013), peces (Aliaga *et al.*, 2010), moluscos bivalvos (Rodríguez-Camacho *et al.*, 2014) y crustáceos. En estos últimos, suele alojarse en el exoesqueleto de los camarones debido a que la quitina es utilizada por la bacteria como nutriente (Dulanto, 2013).

De acuerdo con los principales factores que influyen en la ocurrencia y distribución de *V. parahaemolyticus* en el agua de mar son la temperatura, salinidad, disponibilidad de nutrientes y las fluctuaciones en la concentración de plancton (Hernández-Ayón *et al.*, 2003; Tantillo *et al.*, 2004). Por lo que un desequilibrio en los factores físicos, químicos y biológicos puede ocasionar la proliferación de *V. parahaemolyticus* el cual es una bacteria patógena oportunista, anaerobia facultativa, Gram negativa, responsable de causar altas mortalidades (Cañigral-Cárcel, 2011). Una de las enfermedades causantes por *V. parahaemolyticus* es la enfermedad de la necrosis hepatopancreática aguda (AHPND), la cual se ha registrado en el continente asiático y en diversas especies de camarones, tal es el caso de *Penaeus monodon*; los primeros brotes de esta especie se registraron en el año 2009 en el sur de China, causando mortalidades masivas de hasta el 100 % en los cultivos (Kumar *et al.*, 2021). Otra enfermedad altamente letal causada por *Vibrio* (HLVD, por sus siglas en inglés), conocida como “enfermedad de



las postlarvas de vidrio” (GPD) o “enfermedad de las postlarvas translúcidas” (TPD), tuvo su primera aparición en 2019 y el agente causal ha sido identificado como cepas virulentas de *V. parahaemolyticus* (Vp_{HLVD}) (Zou *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2023). La infección por Vp_{HLVD} daña gravemente el túbulo del hepatopáncreas y el epitelio del intestino medio de los camarones infectados, provocando una mortalidad aguda y masiva en las postlarvas de camarón. Aunque tanto la HLVD como la AHPND son causadas por vibrios y comparten signos clínicos similares, la Vp_{HLVD} es mucho más virulenta que la Vp_{AHPND} (Yang *et al.*, 2023).

En México, no hay evidencias de aparición de infección por HLVD, pero se tiene conocimiento que los primeros brotes de la AHPND se presentaron durante el 2013, afectando la producción de los cultivos de *Penaeus vannamei* en la región noreste principalmente en los Estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit (Galaviz-Silva *et al.*, 2021), estimando pérdidas de hasta el 65%, en aproximadamente 1,500 granjas de cultivo con una extensión de 92,962 ha (Nunan *et al.*, 2014). Adicionalmente, es importante señalar que el tiempo de generación del *Vibrio* es entre 10 y 12 minutos beneficiado por la disponibilidad de nutrientes en su entorno y temperaturas cálidas ($> 35^{\circ}\text{C}$), salinidades bajas (< 8 UPS) y pH alcalino (> 7.5) (Zamora-Pantoja *et al.*, 2005). Por lo tanto, algunos autores mencionan que los factores anteriormente señalados serían los principales causantes del incremento de la ocurrencia y distribución de este patógeno en el agua de mar (Hernández-Ayón *et al.*, 2003; Tantillo *et al.*, 2004). De acuerdo con Lai *et al.* (2015), esta enfermedad se presenta cuando los camarones se encuentran bajo condiciones de estrés, o cuando su sistema inmune está deprimido, causando importantes pérdidas económicas a la industria camaronícola. Cabe destacar que las cepas de *V. parahaemolyticus* que causan AHPND en México muestran diferencias genéticas con las cepas asiáticas y han desarrollado resistencia a antibióticos de uso común como la oxitetraciclina y la sulfacloropiridazina-trimetoprima (Galaviz-Silva *et al.*, 2021). Estos hallazgos resaltan la importancia de monitorear y manejar las poblaciones de *Vibrio* en la acuicultura de camarón.

A 14 años de la aparición del AHPND a nivel mundial, esta enfermedad continúa afectando a la industria del cultivo de camarón. A pesar de ello, no existen reportes de investigaciones *in situ* que confirmen las condiciones que favorecen el desarrollo de este microorganismo, tampoco usando un Modelo Lineal Generalizado (MLG). Aún así se han hecho predicciones e identificado correlaciones de la abundancia de especies de *Vibrio* utilizando el modelo paramétrico de regresión lineal (LRM) y el modelo binomial negativo (NBM), así como el modelo semiparamétrico aditivo generalizado (GAM) (Dequito *et al.*, 2022). Los únicos trabajos que han analizado el efecto del AHPND en los cultivos comerciales de camarón son los de Estrada-Pérez *et al.* (2019) y Estrada Pérez *et al.* (2020) con modelos de regresión múltiple con un modelo de stock y un modelo bioeconómico respectivamente. En el presente estudio, se evaluaron



las diferentes variables físicas, químicas y biológicas que pudieran estar contribuyendo en el incremento de las densidades de este patógeno en el hepatopáncreas de los camarones *Penaeus vannamei*, cultivados en unidades de producción localizadas al noroeste de México. Además se determinó la asociación de variables físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua costeros en la línea de costa al noroeste de México y del agua de los estanques de cultivo de las granjas camaroneras con el incremento de la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón *Penaeus vannamei*, utilizando como herramienta de análisis los Modelos Lineales Generalizados (Nelder & Wedderburn, 1972). Lo anterior con la finalidad de que se generen bases científicas acerca del comportamiento *V. parahaemolyticus* en los estanques de cultivo de camarón, misma que contribuirá a la toma de decisiones por parte del productor para el control y manejo del patógeno en sus instalaciones de cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Recolecta de muestras y medición de variables ambientales

Se obtuvo una base de datos de cuerpos de agua costeros, así como en granjas de camarón ubicados al Noroeste de México, específicamente sobre la línea de costa del Estado de Sinaloa (Figura 1) durante el 2017 en el que se efectuaron diez muestreos en 26 granjas de cultivo en el primer ciclo (febrero-junio) y 18 en el segundo (julio-noviembre). Las zonas de muestreo fueron zona norte: Ahome y Guasave, zona centro norte: Angostura y Navolato, zona centro: Eldorado y Cospita, zona centro sur: Elota y zona sur: Mazatlán. Durante los primeros 30 días de cultivo los muestreos se realizaron semanalmente, por considerarse como la etapa crítica (Hong *et al.*, 2016), posteriormente, los muestreos se realizaron cada dos semanas.

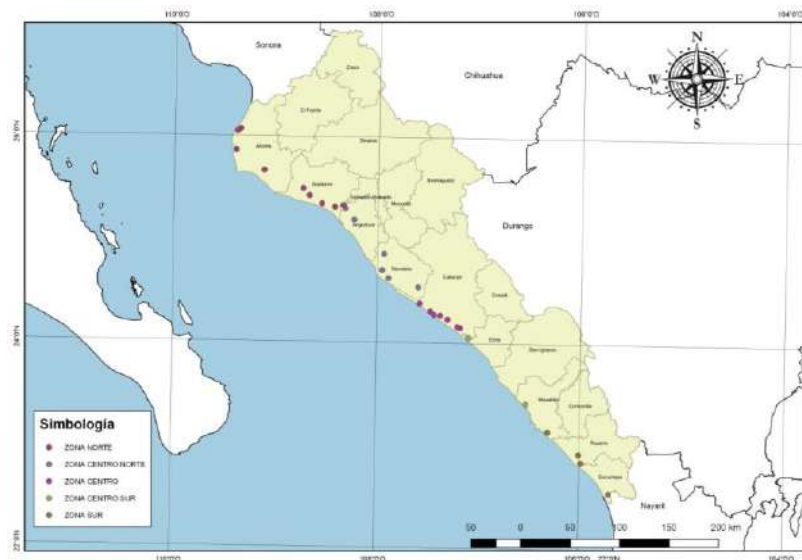


Figura 1. Área de estudio y puntos de muestreo



Las muestras de organismos, agua y sedimento de cada una de las unidades de producción acuícola fueron obtenidas de un estanque seleccionado aleatoriamente en la compuerta de entrada y salida. Para las muestras de organismos se seleccionaron 15 camarones con trastornos de comportamiento alimentario y alteraciones fisiológicas (Soto-Rodríguez *et al.*, 2010). Para el análisis en fresco y bacteriológico, los camarones se mantuvieron vivos y se depositaron en hieleras con agua del estanque para ser trasladados al laboratorio del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa (CESASIN) donde fueron procesados. Las muestras de agua se tomaron entre los 20 cm por debajo de la superficie y 20 cm por encima del fondo. Para el análisis bacteriológico, las muestras se trasladaron al laboratorio antes mencionado, utilizando para el cultivo bacteriano placas de CHROMagar *Vibrio* para posteriormente cuantificar y expresar los resultados en unidades de volumen (UFC/ml) o masa (UFC/g) (Soto-Rodríguez *et al.*, 2015). Las muestras de sedimento para análisis de materia orgánica y pHs del estanque en cultivo se recogieron con una sonda para sedimento. La materia orgánica (MO) se evaluó de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 a través del método de Walkley & Black (1934) mediante la oxidación del carbono orgánico (CO). En cada muestreo se registraron datos de salinidad (S), temperatura (T, °C), oxígeno (OD, mg L⁻¹) y pH empleando un refractómetro de mano marca VITAL SINE SR6, un oxímetro marca YSI-55-12 y un potenciómetro marca YSI pH 10A respectivamente, y la transparencia (Tp, cm) con un disco de Secchi.

Las concentraciones de nitritos (NO₂⁻), nitratos (NO₃⁻), amonio (NH₄⁺) y fosfatos (PO₄³⁻) se realizaron a partir de los procedimientos descritos en el manual de análisis de agua sobre los kits LYSA, basados en el principio de Strickland & Parsons (1972). La alcalinidad (Alc) se midió por el método colorimétrico descrito por Hanna, utilizando un colorímetro manual HI755.

Modelo lineal generalizado y análisis estadístico

Para realizar un análisis exploratorio de los datos, se obtuvieron las medidas de tendencia central de las variables fisicoquímicas, nutrientes, materia orgánica, pH del sedimento y bacteriología (Figura 2). Con el objetivo de determinar la asociación entre las diferentes variables con respecto a la densidad de *V. parahaemolyticus* (UFC/g) en el hepatopáncreas del camarón, se ajustaron Modelos Lineales Generalizados (GLM) (Nelder & Wedderburn, 1972) utilizando la paquetería base del lenguaje de programación R Core Team 2021.

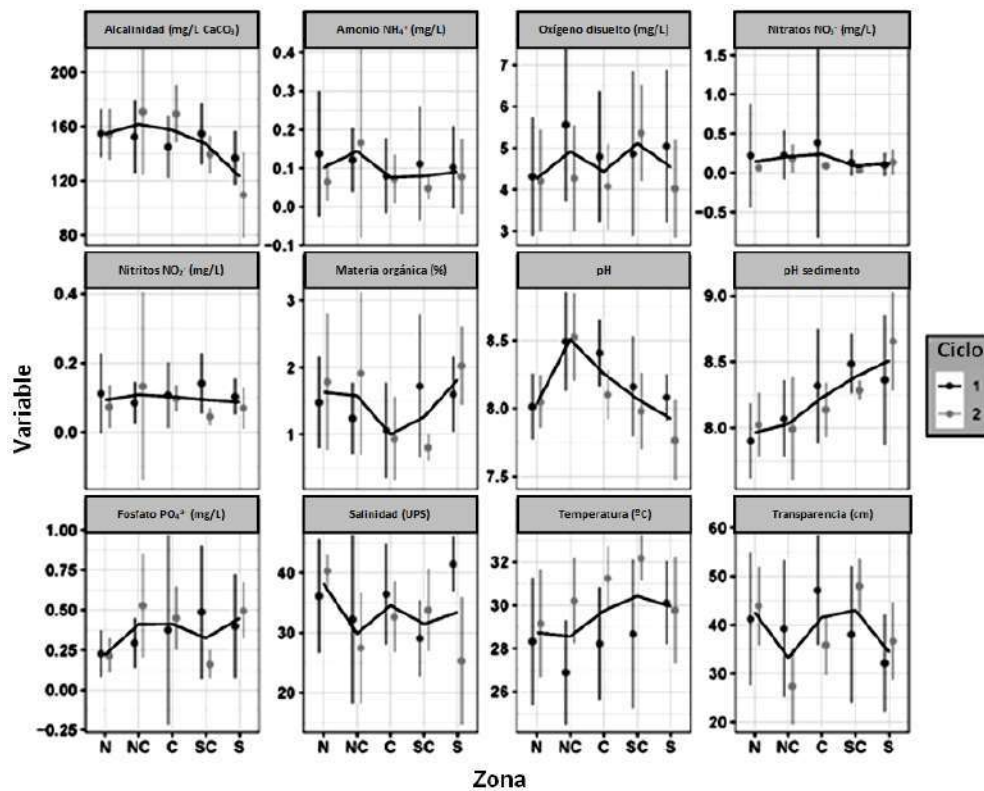


Figura 2. Promedio \pm desviación estándar por zona y ciclo de cultivo de las variables fisicoquímicas y biológicas en las granjas de camarón en la región noroeste de México. N = Norte, NC = Norte Central, C = Central, SC = Sur Central y S = Sur. La línea negra marca la media entre ciclos de cultivo.

Para construir los MLG se establecieron como variables explicativas la T, OD, S, pH, Tp, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Alc, MO, pHs, mes de cultivo y densidad de *V. parahaemolyticus* (UFC/ml) en cuerpos de agua costeros y de los estanques de cultivo conforme a la Tabla 1. Debido a que todas las variables explicativas fueron cuantitativas, se le añadió al modelo un efecto cuadrático (polinomio de segundo grado), con la finalidad de mejorar el ajuste de las variables, intentando explicar de mejor manera la tendencia de los datos observados, lo cual fue evaluada previamente mediante un análisis exploratorio (Sokal & Rohlf, 1986). Debido a que los valores de UFC/g en hepatopáncreas, solo pueden ser valores iguales o mayores que cero, se asumió una distribución Gamma en el error del modelo, utilizando como variable de respuesta el valor de $x + 1$ para eliminar los ceros. Para asumir una distribución Gamma, se utilizó una función de enlace inversa ($\eta = 1/\mu$). La selección del modelo para las variables explicativas más relevantes, se utilizó el proceso de stepwise usando el criterio de Akaike como factor de selección (AIC), eligiendo como el mejor modelo, aquel que presentó el menor valor de AIC (Anderson & Burnham, 2002).



Tabla 1. Variables explicativas que se utilizaron para el Modelo Lineal Generalizado

Variables	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo I-II
	Febrero-Junio	Julio-Diciembre	Febrero-Diciembre
Promedio \pm DE			
Físico-químicas del agua			
Temperatura (°C)	28.3 \pm 2.8	30.2 \pm 2.2	29.0 \pm 2.8
Oxígeno (mg/L)	4.8 \pm 1.7	4.2 \pm 1.2	4.6 \pm 1.6
Salinidad (UPS)	35.6 \pm 10.0	31.8 \pm 9.2	34.2 \pm 9.9
pH	8.2 \pm 0.3	8.1 \pm 0.4	8.2 \pm 0.4
Transparencia (cm)	40.9 \pm 13.4	36.2 \pm 9.9	34.2 \pm 12.5
Nutrientes del agua (mg/L)			
Nitratos (NO ₃ ⁻)	0.242 \pm 0.74	0.118 \pm 0.125	0.197 \pm 0.592
Amonio (NH ₄ ⁺)	0.112 \pm 0.139	0.098 \pm 0.149	0.107 \pm 0.143
Nitritos (NO ₂ ⁻)	0.107 \pm 0.091	0.094 \pm 0.154	0.102 \pm 0.118
Fosfatos (PO ₄ ⁻³)	0.324 \pm 0.371	0.406 \pm 0.256	0.354 \pm 0.335
Alcalinidad	149 \pm 22	154 \pm 38	151 \pm 29
Sedimento			
MO (%)	1.4 \pm 0.7	1.6 \pm 1.0	1.5 \pm 0.8
pH	8.17 \pm 0.41	8.19 \pm 0.38	8.19 \pm 0.40
Hepatopáncreas (UFC/g)			
Densidad de <i>V. parahaemolyticus</i>	46102.9 \pm 265988.73	13543.8 \pm 54802.76	33786.1 \pm 212785.82
Bacteriología (UFC/ml) (UFC/g)			
Agua-cuerpos	104.58 \pm 781.87	102.46 \pm 246.12	103.80 \pm 639.82
Sedimento-cuerpos	8256.34 \pm 52608.30	12383 \pm 35684.82	9765.47 \pm 47131.54
Agua-estanques	47.44 \pm 136.50	87.86 \pm 391.54	62.22 \pm 260.86
Sedimento-estanques	1931.99 \pm 5508.59	2856.38 \pm 7218.00	2270.04 \pm 6197.39

Nota: MO, materia orgánica.

RESULTADOS

Bacteriología

Con relación a la presencia de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas de los camarones, se observó que, en la zona norte del Estado, se encontró la mayor densidad de *V. parahaemolyticus* en ambos ciclos de producción (Figura 3a), conforme los muestreos se dirigieron al sur del Estado, se observa una clara tendencia a disminuir la concentración de *V. parahaemolyticus*. También se pudo observar que, en la zona norte central, hubo mayor concentración de bacterias durante el mes de octubre y solo durante el segundo ciclo de producción (Figura 3b), en la zona central y sur del estado destaca el mes de septiembre (Figura 3c y d); y para el caso de la zona sur central el mes de noviembre (Figura 3e).

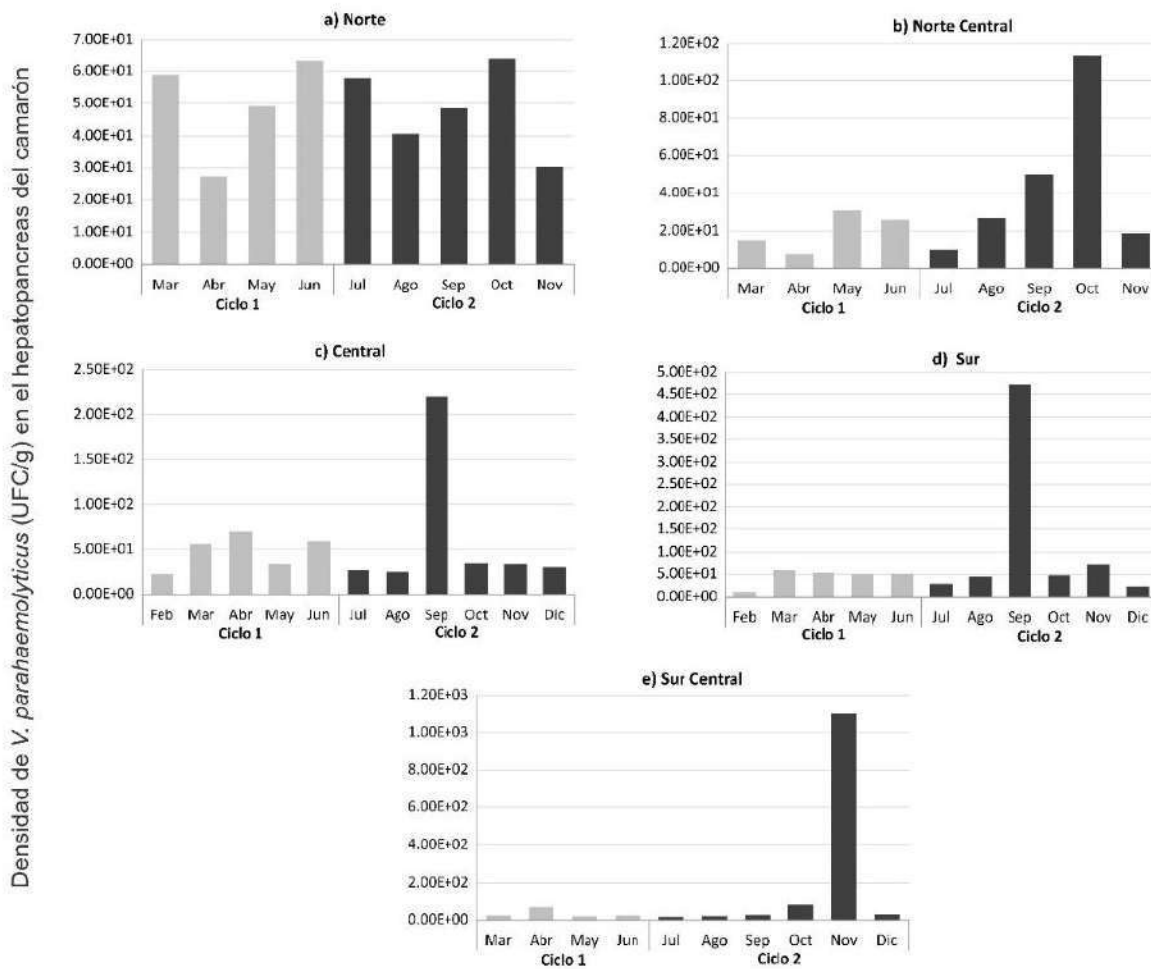


Figura 3. Comportamiento de la densidad de *V. parahaemolyticus* (UFC/g) en estanques de cultivo de granjas en diferentes zonas. Zona norte a: Ahome y Guasave, zona centro norte b: Angostura y Navolato, zona centro c: El dorado y Cospita, zona sur d: Elota y zona centro sur e: Mazatlán.

Asociación de las variables físicas, químicas y biológicas con la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón

El efecto significativo ($P < 0.05$) del OD, S, pH del agua de cultivo, NO_3^- , NH_4^+ , Alc, MO, pHs, mes de cultivo y densidad de *V. parahaemolyticus* (UFC/ml) en cuerpos de agua costeros y de los estanques de cultivo explicó el fenómeno de la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón con una devianza nula de 5895.2, una devianza residual de 3840.2 y una devianza explicada de 34.85% (Tabla 2).



Tabla 2. Análisis estadístico de las variables físicas, químicas y biológicas que favorecen la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón *Penaeus vannamei*

Variable	Coefficiente	Error	Valor <i>t</i>	P
	Estimado	Estándar		
(Intercepto)	-5.2964	7.7347	-0.6847	0.4940
UFC en agua				
(Cuerpos de Agua)	0.0016	0.0011	1.4304	0.1537
UFC en Agua (Granja)	-1.01E-05	1.94E-06	-5.1911	4.05E-07
UFC en Sedimento (Granja)	-1.33E-08	3.41E-09	-3.9066	0.0001
Ciclo: 2	-1.7144	0.6305	-2.7191	0.0069
Mes: abril	-3.6409	3.8923	-0.9354	0.3503
Mes: mayo	-3.3051	3.8084	-0.8678	0.3862
Mes: junio	-4.1755	3.8211	-1.0927	0.2754
Mes: julio	-2.4848	3.8558	-0.6444	0.5198
Mes: agosto	-2.8677	3.8537	-0.7441	0.4574
Mes: septiembre	-4.1767	3.8496	-1.0849	0.2788
Mes: octubre	-2.7915	3.8384	-0.7272	0.4676
Mes: noviembre	-5.8335	3.9263	-1.4857	0.1384
Mes: diciembre	-7.2182	4.2012	-1.7181	0.0868
Oxígeno Disuelto (Granja)	-0.4408	0.1553	-2.8375	0.0048
Salinidad (Granja)	-0.0039	0.0019	-2.0667	0.0396
pH en Agua (Granja)	-0.1034	0.0394	-2.6204	0.0092
Materia Orgánica (Granja)	0.3915	0.2429	1.6116	0.1081
pH en Sedimento (Granja)	0.0667	0.0358	1.8622	0.0636
NH₄ en Agua (Granja)	4.4103	2.0688	2.1317	0.0339
NO ₃ en Agua (Granja)	-2.3772	1.3827	-1.7192	0.0866
Alcalinidad en Agua (Granja)	-0.0005	0.0001	-2.8160	0.0052

Variables en negritas P < 0.05

El modelo indicó que la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas se incrementa en la medida en que la concentración de bacterias encontradas en el agua de los cuerpos costeros aumenta (Figura 4). Una tendencia similar de la concentración de bacterias en los sedimentos y en el agua, mostraron que concentraciones intermedias aumentaron la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas, sin embargo, concentraciones mayores a valores intermedios, mostraron una disminución (Figura 4).

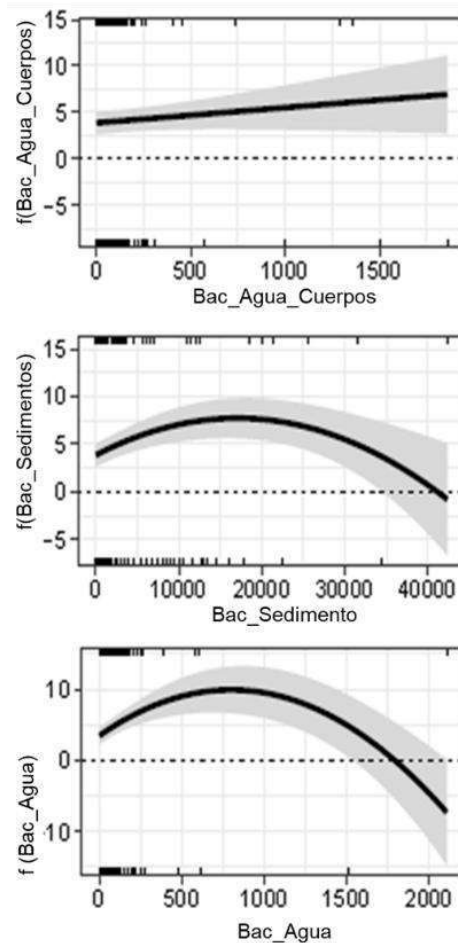


Figura 4. Efecto de la densidad (UFC/ml) de *V. parahaemolyticus* (Y) en agua de los cuerpos de agua costeros (a: X), en el sedimento de los estanques de (b: X) y en el agua de los estanques de cultivo (c: X)

En cuanto al ciclo de cultivo, el ciclo 1 favoreció mayormente la densidad de *V. parahaemolyticus* que el ciclo 2 (Figura 5a). De manera general, valores mayores del oxígeno disuelto, pH, Salinidad y los nitratos en el agua, la densidad de *V. parahaemolyticus* disminuyó (Figura 5b, c, d y h, respectivamente), contrario a lo que ocurrió con la materia orgánica, el pH del sedimento, la alcalinidad y el amonio, que mientras aumentaron sus valores, mayor densidad de *V. parahaemolyticus* se observó (Figuras 5e, f, g, e, i, respectivamente).

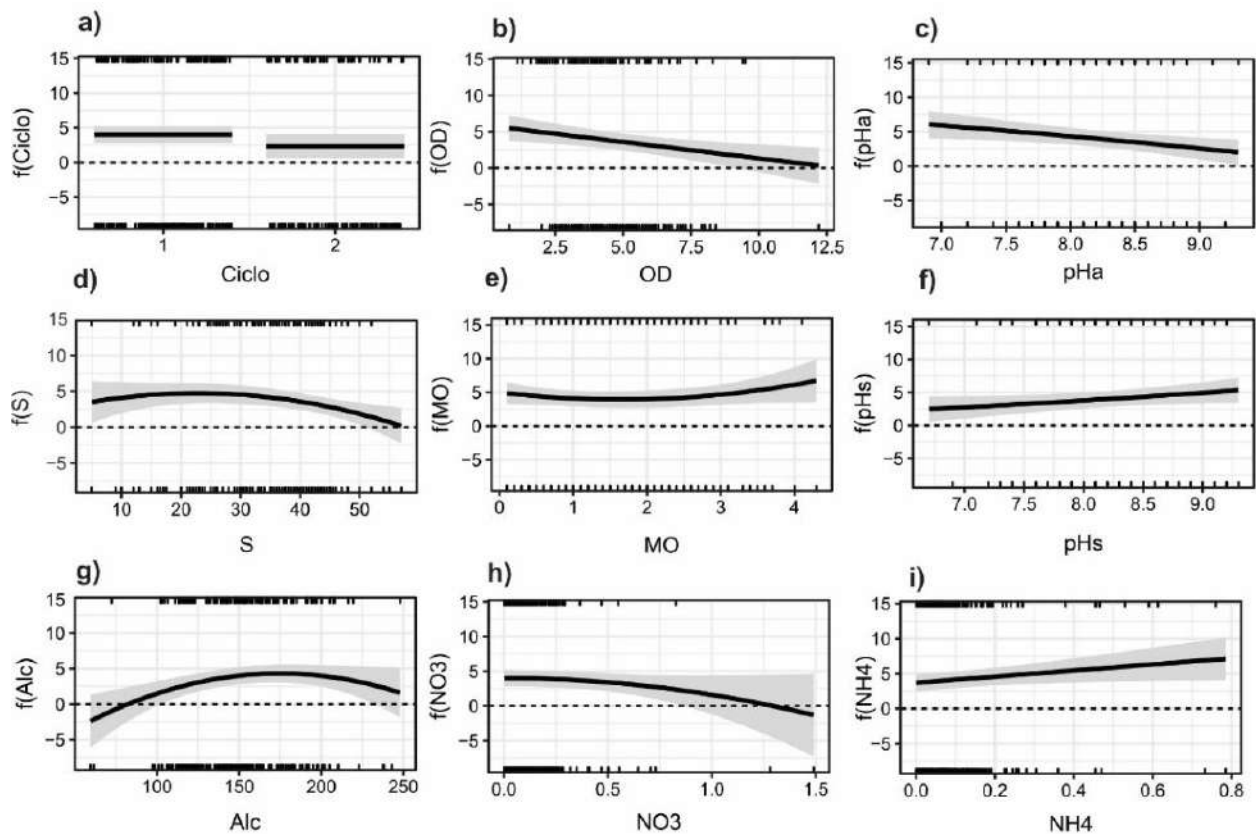


Figura 5. Influencia del ciclo de cultivo (a), oxígeno disuelto (mg/L) (b), pH en el agua (c), la salinidad (UPS) (d), materia orgánica (%) (e), pH de la materia orgánica de los estanques (f), alcalinidad (g), NO_3 (h) y NH_4 (i) sobre la densidad *V. parahaemolyticus* (UFC/g) en el hepatopáncreas de camarón f (Ciclo, OD, pHa, S, MO, pHs, Alc, NO_3 , NH_4)

DISCUSIÓN

Las variables ambientales juegan un papel fundamental en el desarrollo del camarón, debido a su condición fisiológica y a que todos los procesos bioquímicos tienen efectos directos en la tasa de consumo de alimento y de oxígeno disuelto, excreción de amonio y crecimiento (Ferreira *et al.*, 2011). En el presente estudio se observó para ambos ciclos de cultivo, promedios de temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, pH y transparencia dentro del intervalo óptimo para *P. vannamei* en cultivo, valores de acuerdo a los reportados por otros autores como la temperatura de 25 °C a 32 °C (Carbajal-Hernández *et al.*, 2011; Mateka *et al.*, 2015); oxígeno disuelto de 4 a 7 mg/L (Alpuche *et al.*, 2005); salinidad de 15 a 41 UPS (Pérez-Velázquez *et al.*, 2007; Rivas-Montaño *et al.*, 2018); pH de 6 a 9 (Carbajal-Hernández *et al.*, 2013) y transparencia de 17 a 45 cm (García-Sánchez *et al.*, 2018).



Los resultados del presente estudio mostraron que *V. parahaemolyticus* en agua de abastecimiento alcanzó máximos de $1.35E+04$ UFC/ml y; en la zona Sur hasta un máximo de $4.94E+03$ UFC/ml en agua de los estanques, por lo que presuntivamente el agua de abastecimiento funciona como un inóculo al ingresar al estanque de cultivo, como lo mencionan [Orellana de Granados & Ayala-Mestanza \(2017\)](#), estas bacterias muchas veces encuentran las condiciones para crecer por las combinaciones de múltiples factores como: las altas concentraciones de materia orgánica en los fondos, los suelos ácidos y la variación de los parámetros fisicoquímicos, entre otros. Esta proliferación de bacterias puede llegar a estar presentes en el hepatopáncreas y en la hemolinfa del camarón y ocasionar mortalidad ([Orellana de Granados & Ayala-Mestanza \(2017\)](#)). Esto es de esperarse ya que el agua de cultivo de camarón utilizada en Sinaloa, naturalmente presenta densidades de *Vibrio sp.* superiores a 10^5 UFC/ml ([Soto-Rodríguez et al., 2010](#)). Esta información es trascendental si se tiene en cuenta la enfermedad de la necrosis hepatopancreática aguda (AHPND), ya que también [Soto-Rodríguez et al. \(2015\)](#) mencionan que entre los múltiples factores que afectan la virulencia de *V. parahaemolyticus* se encuentra la densidad, pues encontraron que la cepa M09-04 ocasionó 93 % de mortalidad a una densidad de 10^5 UFC/ml. Con respecto a la concentración de bacterias del género *Vibrio* en el hepatopáncreas del camarón [Orellana de Granados & Ayala-Mestanza \(2017\)](#) registraron densidades de *Vibrio sp.* de $1.10E+03$ UFC/ml, presentando mortalidades de hasta 10 % en los primeros 30 días de cultivo. En este estudio se obtuvieron concentraciones superiores de *V. parahaemolyticus* de $3.00E+06$ UFC/g con mortalidades máximas del 81 %, evidenciando la repercusión de las concentraciones de *Vibrio sp.* en las mortalidades. Estos resultados concuerdan con [Soto-Rodríguez et al. \(2015\)](#) señalando que la virulencia de las cepas de *V. parahaemolyticus* depende de la dosis, siendo la densidad infectiva umbral de 10^4 UFC/ml; no observando mortalidad por debajo de esa densidad. De igual manera [Soto-Rodríguez et al. \(2010\)](#) estima niveles de referencia de una posible vibriosis a partir de camarones enfermos a un umbral de $1.40E+05$ UFC/g de *Vibrio sp.* en hepatopáncreas.

La supervivencia de *Vibrio spp.* en ambientes marinos depende de fuentes de carbono y energía, oxígeno disuelto, pH del agua, salinidad, temperatura e inanición ([Takemura et al., 2014](#)). En cuanto a las asociaciones de las variables fisicoquímicas, [Hung-Sung et al. \(2001\)](#) y [Nelapati et al. \(2012\)](#) mencionan que *V. parahaemolyticus* es un microorganismo que tiene la aptitud de vivir y desarrollarse en condiciones aerobias y anaerobias. Sin embargo, en el presente estudio se observó que en concentraciones superiores de 4.6 mg/L y cercanas a 12.5 mg/L de OD la densidad de *V. parahaemolyticus* disminuye considerablemente. Mientras que en concentraciones menores de 4.6 mg/L pero mayores que 2.5 mg/L de OD favorecen notablemente el incremento de la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón. Estos resultados son similares con los reportados por [Van Wyk et al. \(1999\)](#) quienes



sugieren que a partir de registros de 3 mg/L de OD o menores en el agua de cultivo, se deben realizar acciones correctivas para disminuir la densidad de *V. parahaemolyticus*.

Con respecto a la asociación con la salinidad, *V. parahaemolyticus* puede tolerar un amplio rango de salinidades, pero sus condiciones óptimas de crecimiento varían. En aguas tropicales, *V. parahaemolyticus* fue encontrado en salinidades entre 20-35 ppt, con mayores densidades a 20 ppt (Rivera *et al.*, 1989). Estudios experimentales mostraron una mejor adaptación a 10 y 20 UPS comparado con 39 y 60 UPS (Sami *et al.*, 2022); esto concuerda con los resultados de este estudio donde se observó que a salinidades superiores a 34.2 UPS y cercanas a 50 UPS la densidad del *V. parahaemolyticus* disminuyó y a salinidades de 10-34.2 UPS la densidad de la bacteria fue mayor. Soto-Rodriguez *et al.* (2019) mencionan que la toxina puede expresarse a diferentes salinidades y que el manejo de la salinidad en el cultivo de camarón puede ser un factor importante para controlar la infectividad de *V. parahaemolyticus*.

Referente al pH en el agua, es importante resaltar que estudios sobre el impacto de pH en la aparición de *Vibrio parahaemolyticus* en el hepatopáncreas de camarones de cultivo son escasos, por lo que es fundamental seguir con este tipo de exploraciones para aclarar la influencia de este parámetro en la dinámica de la densidad de *Vibrio parahaemolyticus*. Los resultados de la presente investigación indican que las densidades de *V. parahaemolyticus* (UFC/g) aumentaron cuando el pH fue menor que 8.2 y la más elevada densidad del *V. parahaemolyticus* se presentó en valores de 7.0. Mientras que cuando el pH es mayor de 8.2 la densidad de *Vibrio* disminuyó hasta un pH de 9.0 en el que se encontró la menor densidad. Estos resultados contrastan con las investigaciones de Mancilla (2005) quien indica que *V. parahaemolyticus* tiene la capacidad de crecer en un intervalo de pH de 4.8 a 11; con un óptimo de crecimiento de 7.5 a 8.8 (FAO/WHO, 2011; Jurquiza, 2014).

En cuanto a la concentración de materia orgánica, diversos autores establecen que puede tener un efecto directo sobre la salud de los organismos en cultivo, dado que es capaz de modular las poblaciones bacterianas y la producción de metabolitos anaeróbicos tóxicos que dañan al camarón (Avnimelech & Ritvo, 2003; Nimrat *et al.*, 2008). Merchán-Márquez (2017) establece que el porcentaje de materia orgánica óptimo en los suelos de los estanques de cultivo de camarón blanco es de 3 a 5%, ya que una acumulación excesiva de materia orgánica en los suelos, favorece la densidad de bacterias. Por otro lado, Díaz-Díaz & Arencibia-Carballo (1999), señalan que los valores de materia orgánica recomendados en el suelo del fondo de los estanques, es de 1.5% a 3%. En la presente investigación la concentración promedio de MO fue de 2%, concentración dentro del rango óptimo reportada por otros autores. Sin embargo, se observó que en concentraciones mayores que 2% y menores que 0.5%, la densidad de *V. parahaemolyticus* presente en el hepatopáncreas del camarón aumenta



considerablemente, lo que podría deberse a la presencia del nitrógeno orgánico procedente del alimento balanceado presente en el sedimento, el cual promueve la formación de nueva biomasa bacteriana a partir de la metabolización de la misma (Paez-Osuna & Alonso-Rodríguez, 2017), o bien que, cuando la concentración de materia orgánica en el suelo del fondo de los estanques es muy alta o se encuentra en exceso (>4%), habrá condiciones idóneas para el desarrollo microbiano, por lo que existirán elevadas concentraciones de bacterias principalmente del género *Vibrio* (Díaz-Díaz & Arencibia-Carballo 1999; Nimrat *et al.*, 2008).

La alcalinidad son ácidos bases como bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e hidróxido (OH^-) responsables de neutralizar el agua. Ferreira *et al.* (2011) mencionan que el nivel de alcalinidad en los estanques de cultivo no debe pasar de los 140 mg/L de CaCO_3 lo cual coincide con los resultados encontrados, ya que muestran que cuando el nivel de alcalinidad se encuentra entre los 150 y 200 mg/L, la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón es mayor, mientras que en niveles menores a 140 mg/L y mayores que 250 mg/L, la densidad de *V. parahaemolyticus* disminuye.

Con relación a los compuestos nitrogenados (NH_4^+), (NO_2^-) y (NO_3^-) Tseng & Chen (2004), establecen que concentraciones altas de estos compuestos afectan el sistema inmune del camarón, dejándolo susceptible a la proliferación de bacterias o provocando trastornos fisiológicos como la oxidación de la hemocianina en meta hemocianina. Camargo *et al.* (2005) mencionan que el intervalo óptimo de (NO_3^-) es de 0.4 a 1.3 mg/L, para (NO_2^-), Boyd (1995) sugiere que una concentración adecuada para el desarrollo del camarón es <0.23 mg/L. Sin embargo, los resultados muestran que en concentraciones mayores que 0.5 mg/L de NO_3^- la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón disminuye considerablemente, contrario a lo que ocurre con el NH_4^+ que la concentración de *V. parahaemolyticus* aumenta a mayor concentración de NH_4^+ . Este comportamiento es similar al reportado por Joseph *et al.* (1982) que establecen que la *V. parahaemolyticus*, no sobrevive en aguas con baja concentración de nutrientes; en tanto que Tantillo *et al.* (2004) informan que las sales de amonio constituyen la principal fuente de nitrógeno de *V. parahaemolyticus*, lo cual es coincidente con el presente estudio.

La predicción de la abundancia de presuntas especies de *Vibrio* puede ayudar a prevenir la aparición de enfermedades bacterianas, ya que esto proporciona información sobre cuándo y qué factores ambientales deben manejarse. Equito *et al.* (2022) utilizaron el modelo paramétrico de regresión lineal (LRM) y el modelo binomial negativo (NBM), así como el modelo semiparamétrico aditivo generalizado (GAM) para identificar correlaciones y predecir cambios en la abundancia de *Vibrio* con parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua en estanques de biofloc con *Penaeus vannamei*. Estos autores encontraron que la abundancia de presuntas especies de *Vibrio* estaba



altamente correlacionada con la alcalinidad, el pH y la densidad del fitoplancton. En el presente estudio, utilizando el modelo lineal generalizado (MLG) se mostró que a mayor salinidad, oxígeno disuelto, pH y nitratos en el agua la densidad de *Vibrio* disminuye (con valores fuera de los óptimos de *V. parahaemolyticus*), contrario a lo que se observó con los sedimentos, que a mayor pH, alcalinidad y amonio, aumentó la densidad de *Vibrio*; concluyendo que, al tener un incremento de concentración de bacterias en agua y sedimento, el modelo indicó un incremento en la concentración de bacterias en el hepatopáncreas del camarón. No obstante, Estrada-Pérez *et al.* (2019) y Estrada-Pérez *et al.* (2020) al utilizar un modelo estocástico de producción de camarón infectado por AHPND encontraron en el análisis de sensibilidad, que la mortalidad causada por la enfermedad, tiene una relación significativa con la salinidad y la transparencia del agua de los estanques. Estas diferencias en los resultados del presente trabajo, se deben a que no se consideró la enfermedad como tal, sino la densidad de bacterias de *V. parahaemolyticus*.

En esta investigación, la temperatura, transparencia y concentración de NO_2^- y PO_4^{3-} no exhibieron ningún efecto sobre la densidad de *V. parahaemolyticus* (UFC/g) en el hepatopáncreas del camarón. De acuerdo con el modelo que se utilizó, indirectamente se detectó que existe un 65.15% de factores que afectaron la densidad de *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón, sin embargo, en la presente investigación, no fue posible medir o considerar fenómenos naturales en el ambiente de cultivo o variables de manejo, por lo que se recomienda incluirlos en investigaciones futuras para incrementar la capacidad predictiva. Se concluye que el modelo Lineal Generalizado explicó de manera adecuada la asociación de diversos factores con la concentración *V. parahaemolyticus* en el hepatopáncreas del camarón y cuyos resultados, de manera general son coincidentes con lo publicado en la literatura. Además, los resultados sugieren un monitoreo y manejo constante y efectivo para mantener los cultivos de camarón en los valores recomendados, que imposibiliten el aumento de las cargas bacterianas a niveles que afecten la salud del camarón.

LITERATURA CITADA

- ALIAGA R, Miranda J, Zevallos J. 2010. Aislamiento e identificación de *Vibrio parahaemolyticus* O3:K6 en pescados y moluscos bivalvos procedentes de un mercado pesquero de Lima, Perú. *Revista Médica Herediana*. 21: 135-149. ISSN 1729-214X.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rmh/v21n3/v21n3ao4.pdf>
- ANDERSON DR, Burnham KP. 2002. Avoiding pitfalls when using information-theoretic methods. *The Journal of wildlife management*. 66(3):912–918.
<https://doi.org/10.2307/3803155>



ALPUCHE J, Pereyra A, Agundis C. 2005. Respuestas bioquímicas de camarones marinos a factores ambientales. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 6(5): 1-10. ISSN 1695-7504. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63617216008>

AVNIMELECH Y, Ritvo G. 2003. Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*. 220 (1-4): 549-567. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00641-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00641-5)

BOYD CE. 1995. Bottom soils, sediment and pond aquaculture. Springer Science & Business Media. Pp. 348. ISBN 978-1-4613-5720-9. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1785-6>

CAMARGO JA, Alonso A. Salamanca A 2005. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*. 58(9):1255-1267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.044>

CAÑIGRAL-CÁRCEL I. 2011. Desarrollo de métodos moleculares para la detección y caracterización de bacterias patógenas emergentes del género *Vibrio* en agua y alimentos. Tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Valencia. España. Pp. 297. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/11799>

CARBAJAL-HERNÁNDEZ JJ, Sánchez-Fernández LP, Villa-Vargas LA, Carrasco-Ochoa JA, Martínez-Trinidad JF. 2013. Water quality assessment in shrimp culture using an analytical hierarchical process. *Ecological Indicators*. 29: 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.017>

CARBAJAL-HERNÁNDEZ JJ, Sánchez-Fernández LP, Pogrebnyak O. 2011. Assessment and prediction of water quality in shrimp culture using signal processing techniques. *Aquacult Int*. 19:1083–1104. <https://doi.org/10.1007/s10499-011-9426-z>

CARIANI A, Piano A, Consolandi C, Severgnini M, Castiglioni B, Caredda G, Candela M, Serratore P, De Bellis G, Tinti F. 2012. Detection and characterization of pathogenic vibrios in shellfish by a Ligation Detection Reaction-Universal Array approach. *International journal of food microbiology*. 153 (3): 474-482. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.11.010>

DEQUITO AQD, Corre VJ, Abacan EJ. 2022. Generalised additive model improves estimates of *Vibrio* species abundance in *Penaeus vannamei* Boone, 1931 biofloc production system. *Asian Fisheries Science*. 35: 108-116. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2022.35.2.002>



DÍAZ-DÍAZ DG, Arencibia-Carballo. 1999. Carbón orgánico y manejo de suelos en los estanques de la estación camaronera Tunas de Zaza Cuba. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 33(1): 39-48.

<https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/190>

DULANTO GJR. 2013. Identificación rápida de especies del género *Vibrio* asociados con el cultivo de "langostino blanco" *Litopenaeus vannamei* por amplified ribosomal DNA restriction analysis (ARDRA). Tesis de Licenciatura. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Pp. 109. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/3432>

ESTRADA-PEREZ N, Ruiz-Velazco JM, Hernández-Llamas A. 2020. Economic risk scenarios for semi-intensive production of *Litopenaeus (Penaeus) vannamei* shrimp affected by acute hepatopancreatic necrosis disease. *Aquaculture Reports*. 18, e100442. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100442>

ESTRADA-PEREZ N, Ruiz-Velazco JMJ, Magallon-Barajas FJ, Campa-Cordova AI, Hernández-Llamas A. 2019. Dynamic stock model for analysing semi-intensive production of whiteleg shrimp *Litopenaeus (Penaeus) vannamei* affected by the acute hepatopancreatic necrosis disease: Assessment of disease severity indicators and relationships with pond water quality parameters. *Aquaculture*. 51(1):242-254.

<https://doi.org/10.1111/are.14370>

FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization). 2011. Risk assessment of *Vibrio parahaemolyticus* in seafood: Interpretative summary and Technical report. Microbiological Risk Assessment Series No. 16. Rome. Pp. 193. ISBN 978-92-5-106874-8 (FAO). ISBN 978-92-4-154817-5 (WHO). https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44566/9789241548175_eng.pdf?sequence=1

FERREIRA NC, Bonetti C, Seiffert WQ. 2011. Hydrological and water quality indices as management tools in marine shrimp culture. *Aquaculture*. 318 (3-4): 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.045>

GALAVIZ-SILVA L, Robles-Valdez A, Sánchez-Díaz R, Ibarra-Gamez JC, Gómez-Gil B, Molina-Garza ZJ. 2021. Cepas de *Vibrioparahaemolyticus* que causan necrosis hepatopancreática aguda en camarón cultivado de Sonora, México y su resistencia a antibióticos. *Hidrobiológica*. 31 (2): 111-123.

<https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2021v31n2/Galaviz>

GARCÍA-SÁNCHEZ S, Juárez-Agis A, Olivier-Salome B, Rivas-González M, Zeferino-Torres J. 2018. Variables fisicoquímicas ambientales que inciden en el cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei*, en Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 5(2): 135-155. ISSN: 2007-9559.

<https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/169/151>



HEITMANN G, Jofre M, Hormazabal O, Olea N, Vallebuonas S, Valdés H. 2005. Revisión y recomendaciones para el manejo de diarrea por *Vibrio parahaemolyticus*. *Revista Chilena de Infecciones*. 22(2): 131-140. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182005000200003>

HERNÁNDEZ-AYÓN JM, Zirino A, Marinone SG, Canino-Herrera R, Galindo-Bect MS. 2003. Relaciones pH-densidad en agua de mar. *Ciencias Marinas*. 29 (4): 497-508. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ciemar/v29n4/v29n4a12.pdf>

HONG X, Lu L, Xu D. 2016. Progress in research on acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND). *Aquaculture International*. 24:577-593. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9948-x>

HUNG-SUNG H, Fang-Hsu S, Kun-Chen C, Yuang-Ting Y, Liang-Chao Y. 2001. Relationships between disease outbreak in cultured tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and the composition of *Vibrio* communities in pond water and shrimp hepatopancreas during cultivation. *Aquaculture*. 192:101-110. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00458-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00458-0)

JOSEPH SW, Colwell RR, Kaper JB. 1982. *Vibrio Parahaemolyticus* and Related Halophilic Vibrios. *CRC Critical Reviews in Microbiology*. 10 (1): 77–124. <https://doi.org/10.3109/10408418209113506>

JURQUIZA V. 2014. Aislamiento, identificación y caracterización molecular de *Vibrio parahaemolyticus* en muestras de agua, sedimento y moluscos bivalvos de la costa Atlántica de Buenos Aires. Tesis de maestría, Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud, Universidad Nacional de San Martín. Mar del Plata, Argentina. Pp 109. https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/6828/Jurquiza_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

KUMAR V, Roy S, Behera BK, Bossier P, Das BK. 2021. Acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND): virulence, pathogenesis and mitigation strategies in shrimp aquaculture. *Toxins*. 13(8): e13080524. <https://doi.org/10.3390/toxins13080524>

LAI HC, Ng TH, Ando M, Lee CT, Chen IT, Chuang JC, Mavichak R, Chang SH, Yeh MD, Chiang YA, Takeyama H, Hamaguchi HO, Lo CF, Aoki T, Wang HC. 2015. Pathogenesis of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in shrimp. *Fish Shellfish Immunol*. 47:1006-1014. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.11.008>

MANCILLA E. 2005. Intoxicación por *Vibrio parahaemolyticus*. Cuadernos médico sociales, Chile. 45: 43-47. ISSN 0716-1336. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9510683>



MATEKA HA, Tamatamah R, Kyewalyanga M. 2015. Study on the Water Quality Parameters in Semi-Intensive Coastal Shrimp Culture System in Mafia Island, Tanzania. *Journal of Environment and Earth Science*. 5(1):142-150. ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225-0948 (Online). <https://core.ac.uk/download/pdf/234663985.pdf>

MERCHÁN MARQUEZ FR. 2017. Relación de la materia orgánica con la comunidad bacteriana en suelos de piscinas de cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Examen complejo). UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador. Pp. 24. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11353>

NELAPATI S, Nelapati K, Chinnam BK. 2012. *Vibrio parahaemolyticus*-An emerging foodborne pathogen-A Review. *Vet World*. 5(1):48-62. <https://doi.org/10.5455/vetworld.2012.48-62>

NELDER J, Wedderburn R. 1972. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society*. 135 (3): 370-384. <https://doi.org/10.2307/2344614>

NIMRAT S, Suksawat S, Maleeweach P, Vuthiphandchai V. 2008. Effect of different shrimp pond bottom soil treatments on the change of physical characteristics and pathogenic bacteria in pond bottom soil. *Aquaculture*. 285: e123129. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.020>

NUNAN L, Lightner D, Pantoja C, Gómez-Jiménez S. 2014. Detection of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in México. *Diseases of aquatic organisms*. 111:81-86. doi: <https://doi.org/10.3354/dao02776>

ORELLANA DE GRANADOS CM, Ayala-Mestanza OA. 2017. Incidencia de parásitos y bacterias del género vibrio en el cultivo de camarón marino desarrollados en cooperativas camaroneras del municipio de Jiquilisco, departamento de Usulután. *Revista tecnológica*. 10:27-30. ISSN: 2070-0458. <http://hdl.handle.net/10972/3020>

PÁEZ-OSUNA F, Alonso-Rodríguez R. 2017. Calidad de agua en la camaronicultura: importancia, efectos y manejo. El Colegio de Sinaloa. Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa, A.C, México. Pp. 146. ISBN: 9786077904175

PÉREZ-VELÁZQUEZ M, González-Félix ML, Jaimes-Bustamante F, Martínez-Córdova LR, Trujillo-Villalba DA. 2007. Investigation of the Effects of Salinity and Dietary Protein Level on Growth and Survival of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 38(4): 475-485. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00121.x>

RIVAS-MONTAÑO AM, Luis-Villaseñor IE, Piña-Valdez P, Gómez-Gil B, Lizárraga-Partida ML. 2018. Spatiotemporal distribution of *Vibrio parahaemolyticus* in relation to environmental parameters in a coastal lagoon on the Pacific coast of northwestern Mexico. *Ciencias Marinas*. 44(3): 141–153. <https://doi.org/10.7773/cm.v44i3.2772>



RIVERA S, Lugo T, Hazen TC. 1989. Autecology of *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus* in tropical waters. *Water Research*. 23(7): 923-931. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(89\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0043-1354(89)90018-3)

RODRÍGUEZ-CAMACHO JC, Méndez-Gómez E, Rivas-Montaña AM, Cortés-Ruiz JA. 2014. Evaluación de la presencia de *Vibrio parahaemolyticus* en camarón blanco (*Penaeus vannamei*) silvestre estuarino en el sur de Sinaloa y norte de Nayarit, mediante análisis microbiológico y PCR. *Revista Bio Ciencias*. 2(4): 282-292. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.02.04.06>

SAMI Z, Kaouthar M, Nadia C, Hedi BM. 2022. Effect of sunlight and salinity on the survival of pathogenic and non-pathogenic strains of *Vibrio parahaemolyticus* in water microcosms. *Water Environment Research*. 94(2): e10689. <https://doi.org/10.1002/wer.10689>

SOKAL RR, Rohlf FJ. 1986. Introducción a la Bioestadística. Barcelona: Editorial Reverté. España. Pp. 380. ISBN: 978-84291-18624.

SOTO-RODRÍGUEZ SA, Gómez-Gil B, Lozano R. 2010. Density of Vibrios in Hemolymph and Hepatopancreas of Diseased Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, from Northwestern Mexico. *Journal of the World Aquaculture Society*. (41): 76-83. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00335.x>

SOTO-RODRÍGUEZ SA, Gómez-Gil B, Lozano-Olvera R, Betancourt-Lozano M, Morales-Covarrubias MS. 2015. Field and experimental Evidence of *Vibrio parahaemolyticus* as the Causative Agent of Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease of Cultured Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in Northwestern México. *Appl Environ Microbiol*. 81(5):1689-1699. <https://doi.org/10.1128/AEM.03610-14>

SOTO-RODRIGUEZ SA, Lozano-Olvera R, Palacios-Gonzalez DA, Bolan-Mejia C, Rendon-Aguilar KG. 2019. Caracterización y condiciones de crecimiento de cepas de *Vibrio parahaemolyticus* con diferentes grados de virulencia que causan enfermedad de necrosis hepatopancreática aguda en *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 50(5):1002-1015. <https://doi.org/10.1111/jwas.12617>

STRICKLAND JDH, Parsons TR. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Second Edition, Bulletin. *Fisheries Research Board of Canada*. Ottawa, Canada. Pp. 310. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1791>

TAKEMURA AF, Chien DM and Polz MF. 2014. Associations and dynamics of Vibrionaceae in the environment, from the genus to the population level. *Frontiers in microbiology*. 5:38. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00038>



TANTILLO GM, Fontanarosa M, Di Pinto A, Musti M. 2004. Updated perspectives on emerging vibrios associated with human infections. *Letters in applied microbiology*. 39 (2): 117-126. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2004.01568.x>

TSENG IT, Chen JC. 2004. The immune response of white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its susceptibility to *Vibrio alginolyticus* under nitrite stress. *Fish and Shellfish Immunology*. 17: 325-333. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2004.04.010>

TURNER JW, Malayil L, Guadagnoli D, Cole D, Lipp EK. 2013. Detection of *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* and *Vibrio cholerae* with respect to seasonal fluctuations in temperature and plankton abundance. *Environmental Microbiology*. 16 (4):1019-1028. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12246>

VAN WYK P, Davis-Hodgkins M, Laramore R, Main KL, Mountain J, Scarpa J. 1999. *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Ft. Pierce, FL: Harbor Branch Oceanographic Institution. Pp. 128-138.

https://www.researchgate.net/publication/242621708_Farming_Marine_Shrimp_in_Recirculating_Fresh_Water_Systems

WALKLEY A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*. 37(1):29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Yang F, You Y, Lai Q, Xu L, Li F. 2023. *Vibrio parahaemolyticus* becomes highly virulent by producing Tc toxins. *Aquaculture*. 576: 739817. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739817>

ZAMORA-PANTOJA DR, Quiroz-Santiago C, Quiñonez-Ramírez EI. 2005. Un Enemigo Marino Silencioso *Vibrio parahaemolyticus*. 6(4):1-9. ISSN: 1067-6079. https://www.revista.unam.mx/vol.6/num4/art33/abr_art33.pdf

Zou Y, Xie G, Jia T, Xu T, Wang C, Wan X, Li Y, Luo K, Bian X, Wang X, Kong J, Zhang, Q. 2020. Determination of the infectious agent of translucent post-larva disease (TPD) in *Penaeus vannamei*. *Pathogens*. 9: 741. <https://doi.org/10.3390/pathogens9090741>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>



Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2025; 12:1-12. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2025.14>

Estudio de Caso. Recibido: 03/09/2023. Aceptado:13/10/2025. Publicado: 28/12/2025. Clave: e2023-35.

<https://www.youtube.com/watch?v=O1S0xpaUa4E>

Identificación de nematodos gastrointestinales en ganado bovino de las regiones Sierra de Amula y Costa Sur de Jalisco, México

Identification of bovine gastrointestinal nematodes in the Amula Mountain and South Coast of Jalisco, México

Chávez-Radillo Shasta¹ , Grifaldo-Alcántara Pedro² , Martínez-Martínez Ricardo² , Ponce-Covarrubias José³ , Macías-Cruz Ulises⁴ , Vicente-Pérez Ricardo^{*2} 



¹Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur. Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, México, ²Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Departamento de Producción Agrícola, México. ³Universidad Autónoma de Guerrero, Escuela Superior de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 3, México. ⁴Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, México. *Autor responsable y para correspondencia: Vicente-Pérez Ricardo, Avenida Independencia Nacional No. 151, Colonia Centro, C.P. 48900, Autlán de Navarro, Jalisco, México. E-mail: shasta.chavez@alumnos.udg.mx, pedro.grifaldo@academicos.udg.mx, ricardo.mmartinez@academicos.udg.mx, jlponce@uagro.mx, ulisesmacias1988@hotmail.com, vicete_ver@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue estimar la carga parasitaria media de huevos por gramo de heces (Hpg) e identificar los géneros de nematodos gastrointestinales bovinos (NGI) en la Sierra de Amula y Costa Sur, Jalisco. Se colectaron 92 muestras de heces en vacas adultas en 5 municipios del área estudiada. Se utilizó la técnica McMaster para estimar los Hpg, coprocultivo para colectar larvas L3 e identificar por morfología los géneros de NGI. Los Hpg fueron mayores ($P=0.0875$) en la Costa Sur. Se identificaron 5 géneros de NGI; *Ostertagia*, *Trichostrongylus*, *Haemonchus* y *Oesophagostomum* presentes en ambas regiones, y *Nematodirus* solamente en la Costa Sur. El porcentaje de vacas infectadas por los géneros *Trichostrongylus* (73.9 vs. 6.5%; $P=0.0001$) y *Oesophagostomum* (13.0 vs 2.2%; $P=0.049$) fue mayor en la Costa Sur. Contrariamente, *Haemonchus* fue mayor (13.0 vs. 2.2%; $P=0.049$) en Sierra de Amula. El genotipo cebú x europeo presentó menor ($P<0.05$) prevalencia de *Ostertagia* y *Trichostrongylus*. Predominó la infección simple ($P=0.0003$) y doble ($P=0.08$) en la Costa Sur que en Sierra de Amula. En conclusión, la mayor prevalencia de parásitos gastrointestinales fue en la Costa Sur comparado con la Sierra de Amula y que el genotipo cebú x europeo es más resistente a los nematodos gastrointestinales.

Palabras clave: nematodos, coprocultivo, parásitos gastrointestinales, McMaster.

ABSTRACT

The aim of this study was to estimate the mean parasite load of eggs per gram of feces (Epg) and to identify the genera of bovine gastrointestinal nematodes (GIN) in the Amula Mountain and South Coast, Jalisco. A total of 92 feces samples were collected from adult cows in 5 municipalities of the studied area. The McMaster technique was used to estimate the Epg, coproculture to hatch the eggs and identify the genera



of GIN. EPG was higher ($P=0.0875$) on the South Coast. 5 genera of NGI were identified; *Ostertagia*, *Trichostrongylus*, *Haemonchus* and *Oesophagostomum* present in both regions and *Nematodirus* only on the South Coast. The percentage of cows infected by the genera *Trichostrongylus* (73.9 vs. 6.5%; $P=0.0001$) and *Oesophagostomum* (13.0 vs. 2.2%; $P=0.049$) was higher on the South Coast. Conversely, *Haemonchus* was higher (13.0 vs. 2.2%; $P=0.049$) in Amula Mountain. The Zebu x European genotype presented a lower ($P<0.05$) prevalence of *Ostertagia* and *Trichostrongylus*. Simple ($P=0.0003$) and double ($P=0.08$) infestation prevailed on the South Coast than in Amula Mountain. In conclusion, the highest prevalence of gastrointestinal parasites was on the South Coast compared to Amula Mountain, and that the zebu x european genotype is more resistant to gastrointestinal nematodes.

Keywords: nematodes, coproculture, gastrointestinal parasites, McMaster.

INTRODUCCIÓN

Las parasitosis gastrointestinales es un problema al que se enfrenta la bovinocultura a nivel mundial, especialmente en regiones tropicales los animales infectados por nematodos gastrointestinales (NGI) enferman y disminuyen su productividad en el ganado bovino doble propósito (Soca *et al.*, 2005). En México, se estima que las pérdidas económicas asociadas a parásitos del ganado bovino rebasan los 1.4 billones de dólares anuales, donde los NGI generaron un impacto económico de 445.1 millones de dólares (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017). Además, los endoparásitos han generado resistencia al control químico, por lo cual es necesario diagnosticar constantemente la prevalencia en cada región para asegurar su control a través de la elección del desparasitante adecuado, para mejorar el desempeño productivo del ganado y evitar pérdidas económicas para los productores (Encalada *et al.*, 2008; Chávez-García *et al.*, 2020; Ortiz-Muñoz *et al.*, 2021). Los bovinos con parásitos gastrointestinales manifiestan pérdida de sangre y proteínas plasmáticas en el tracto intestinal, alteraciones del metabolismo de proteínas, reducción de minerales, diarreas, pérdida del apetito y anemia. En términos productivos se observa menor tasa de crecimiento y mayor mortalidad en animales jóvenes, mientras que en animales de producción se afecta la fecundidad, la producción de leche y carne (Domínguez *et al.*, 1993; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2001). Además, los animales con NGI se vuelven susceptibles al ataque de otros organismos causantes de enfermedades (Domínguez *et al.*, 1993).

La distribución y epidemiología de los endoparásitos está presidida por la ubicación geográfica de sus hospederos o las condiciones propicias para que el parásito se desarrolle; humedad por encima de 80% y temperaturas entre 15 y 30°C (Vázquez *et al.*, 2004; Liébano, 2011). Los principales géneros de NGI que se han descrito en algunas regiones cálidas de México destacan *Ostertagia*, *Haemonchus*, *Oesophagostomum*, *Trichostrongylus* y *Cooperia* (Fernández-Figueroa *et al.*, 2015; Figueroa-Antonio *et al.*, 2018; Munguía-Xóchihua *et al.*, 2019). En el Estado de Jalisco, Quiroz (2011) describió la prevalencia de algunos géneros de NGI a partir de informes realizados entre 1973 y 1997. En dicho trabajo se manifestó algunas variaciones en la distribución y prevalencia



en *Haemonchus*, *Cooperia*, *Trichostrongylus*, *Bunostomum*, *Strongyloides*, *Trichuris*, *Chabertia* y otros géneros entre áreas de climas templados y cálidos.

Por otro lado, los efectos del cambio climático, el calentamiento global y otros fenómenos meteorológicos han generado condiciones que favorecen mayor sobrevivencia de los NGI, además de provocar ascendencia de algunos de estos parásitos hacia regiones consideradas inhóspitas para su supervivencia (Okulewicz, 2017). Además, el uso casi exclusivo del tratamiento antihelmínticos a través de productos químicos como método de control ha generado que su eficacia se vea comprometida cada vez más por la resistencia de los NGI hacia estos compuestos (Encalada *et al.*, 2008; Vande *et al.*, 2018). El objetivo del presente estudio fue diagnosticar la presencia e identificar los principales géneros de NGI en ganado bovino pertenecientes a las regiones Sierra de Amula y Costa Sur de Jalisco.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en 6 ranchos de recría de ganado bovino doble propósito ubicados en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur del estado de Jalisco, México [Protocolo aprobado: oficio CCAGRO/051/2022 Comité de Titulación de la carrera de Ingeniero Agrónomo, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara]. La región Sierra de Amula tiene un clima templado subhúmedo, temperatura media anual de 20.9°C, con mínima de 9°C y máxima de 32.7°C. La precipitación media anual es de 914 mm (IIEG, 2022). En tanto, la región Costa Sur tiene clima cálido subhúmedo, con temperatura media anual de 24.9°C, temperatura mínima de 14.6°C y máxima de 35.5°C. La precipitación media anual es de 1,250 mm (IIEG, 2022).

Para el estudio fueron colectadas muestras de heces de 92 vacas adultas entre julio y septiembre de 2022 en dos regiones de Jalisco. En la región Sierra de Amula, se tomaron las muestras en los ranchos “Los Dátiles” ubicada en la localidad de San Miguel que pertenece al municipio de El Limón (n=16), “La Joya” ubicada en la localidad de Manzanillito en el municipio de Unión de Tula (n=13) y “El Estanco” de la localidad El Estanco municipio de Ejutla (n=17). Por su parte, en la región Costa Sur de Jalisco, se muestreo en los ranchos “La aviación” (n=11) y “El Establo” (n=14), ambos pertenecientes a La Huerta municipio de La Huerta; también se tomaron muestras en el rancho “3 hermanos” que se ubica en la Localidad de El Chico (n=21) en el municipio de Casimiro Castillo. En Tabla 1 se presenta la distribución y genotipo de vacas muestreadas en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur, Jalisco.

Las vacas del presente estudio contaban con 5.6 ± 1.1 unidades de condición corporal (CC; escala de 1 a 9, donde 1 = flaca y 9 = muy engrasada; Thomas & Bailey, 2021). Además, el último control parasitario fue mayor a 30 días con la aplicación de Ivermectina en ambas regiones de estudio, sólo uno de los ranchos combinó este tratamiento con Abamectina.



Tabla 1. Distribución y genotipo de vacas muestreadas en la Sierra de Amula y Costa Sur, Jalisco

Región	Municipio	Rancho	Genotipo			Total
			Cebú	Europeo	Cruza	
Sierra de Amula	El Limón	Los Dátiles	2	5	9	16
	Unión de Tula	La Joya	4	9	0	13
	Ejutla	El Estanco	1	16	0	17
Costa Sur	La Huerta	La Aviación	0	0	11	11
	La Huerta	El Establo	2	6	6	14
	Casimiro Castillo	3 Hermanos	8	12	1	21
Total			17	48	27	92

Las muestras de heces se tomaron directamente del recto de las vacas con guantes de látex estériles, los cuales se voltearon con las muestras, se cerraron e identificaron para transportarlas en hieleras de plástico a 4°C. Una vez en el Laboratorio de Bromatología del Centro Universitario de la Costa Sur, las muestras se mantuvieron a 4°C en un refrigerador para su posterior análisis en un periodo menor a 36 horas. Las muestras se procesaron mediante la técnica cualitativa de flotación, en solución saturada de NaCl, para observar la presencia huevos de helmintos en el microscopio y la cuantificación se realizó por la técnica de McMaster. Posteriormente, todas las muestras se sometieron a un coprocultivo en aserrín, diez días después se recolectaron las larvas siguiendo la técnica de Baermann. Las larvas recolectadas se fijaron en portaobjetos para observarlas en el microscopio con aumentos de 10x y 40x e identificar el género de los parásitos con base a las características morfológicas de la cola (Fiel *et al.*, 2011).

Variables de estudio

La carga parasitaria media de Hpg fue el número de huevos de nematodos gastrointestinales (NGI) en un gramo de heces. Se estimó la prevalencia de cada género identificado: (número de vacas con la presencia del género de NGI/Total de cabezas de ganado muestreadas) x 100. Adicionalmente, se determinó el tipo de infección (simple, doble y triple) = (número de vacas afectadas por uno, dos o tres géneros de NGI/ Total de vacas muestreadas) x 100.

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (SAS, 2013). Se analizó la asociación de los Hpg, la prevalencia de géneros de nematodos y el tipo de infección con las regiones de muestreo y el genotipo de las vacas. A la variable Hpg se le aplicó análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar, mientras a las variables expresadas en porcentaje se les aplicó análisis de Chi cuadrada. Se declaró diferencia estadística a un valor de $P \leq 0.05$ y tendencia cuando $P > 0.05$ y $P < 0.10$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La carga parasitaria media de Hpg fue similar ($P > 0.05$) en ambas regiones de estudio (104.0 ± 23.5 vs. 75.0 ± 29.5 Hpg; Tabla 2). El genotipo de la vaca tampoco afectó ($P > 0.05$) los Hpg. Acorde con Encalada-Mena *et al.* (2009) la intensidad de infección es baja



cuando se presenta entre 50-500 Hpg. Al respecto, [Munguía-Xóchihua et al. \(2019\)](#) mencionan que la baja intensidad de infección en animales adultos se asocia a la edad y al manejo sanitario preventivo.

Tabla 2. Carga parasitaria media \pm error estándar de huevos por gramo de heces en bovinos de la Costa Sur y Sierra de Amula Jalisco

Región			Genotipo			
Sierra de Amula	Costa Sur	Valor de P	Cebú	Europeo	Cruza	Valor de P
75.0 \pm 29.5	104.0 \pm 23.5	0.27	87.5 \pm 55.9	108.3 \pm 26.3	75.0 \pm 29.9	0.55

P=Probabilidad

En el estudio se identificaron 5 géneros de NGI en vacas adultas entre las dos regiones de estudio, Sierra de Amula y Costa Sur. Los géneros identificados en orden a su prevalencia fueron *Trichostrongylus*, *Ostertagia*, *Oesophagostomum* y *Haemonchus* presentes en ambas regiones, y el género *Nematodirus* solamente fue encontrado en la Costa Sur (Figura 1). Consistentemente con estos resultados algunos autores mencionan que los géneros con mayor frecuencia encontrados en bovinos jóvenes y adultos fueron *Haemonchus*, *Oesophagostomum*, *Trichostrongylus*, *Cooperia* y *Ostertagia*; en las dos regiones de occidente de México con clima templado subhúmedo ([Munguía-Xóchihua et al., 2019](#)). Estos géneros encontrados en el occidente se han reportado con alta prevalencia en otras regiones de México y el mundo con climas similares a los del presente estudio (cálido-húmedos; [Soca et al., 2005](#)).



Figura 1. Géneros de nematodos gastrointestinales identificado en bovinos en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur de Jalisco, México. A) *Ostertagia*, B) *Trichostrongylus*, C) *Nematodirus*, D) *Oesophagostomum*.



Respecto a la prevalencia de cada género de NGI identificado, se observó que el porcentaje de vacas infectadas por los géneros *Trichostrongylus* (73.9 vs. 6.5%; $P=0.0001$) y *Oesophagostomum* (13.0 vs 2.2%; $P=0.049$) fue mayor en la Costa Sur que en Sierra de Amula (Figura 2). Contrariamente, *Haemonchus* se presentó en mayor porcentaje (13.0 vs. 2.2%; $P=0.049$) en la Sierra de Amula respecto a la Costa Sur. No se encontró diferencia estadística para el porcentaje de vacas infectadas con los géneros *Ostertagia* (19.6 vs. 28.3%) y *Nematodirus* (4.3 vs. 0.0%) entre Costa Sur y Sierra de Amula. Por otro lado, las vacas de genotipo europeo (35.4%) presentaron la prevalencia más alta ($P= 0.0084$) del género *Ostertagia* (Figura 3); mientras en el cebú tuvo mayor incidencia del género *Trichostrongylus* ($P= 0.038$, 64.7%) en comparación a los genotipos europeo y a la crucea cebú x europeo (39.6 y 25.9%). La prevalencia de los géneros *Haemonchus*, *Oesophagostomum* y *Nematodirus* fue similar ($P>0.05$) en los tres genotipos de vacas.

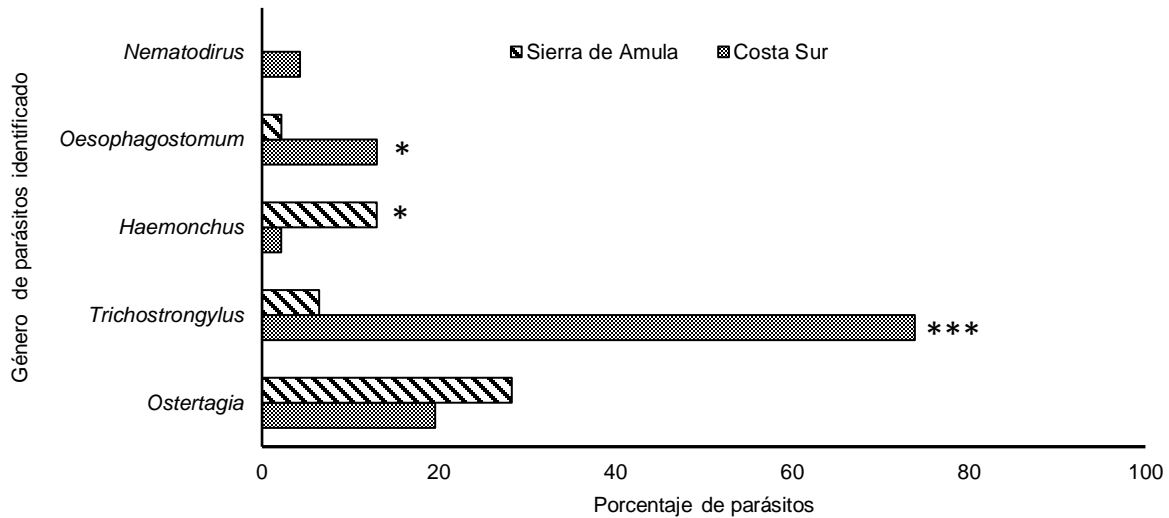


Figura 2. Prevalencia de géneros de nematodos gastrointestinales en bovinos en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur de Jalisco, México

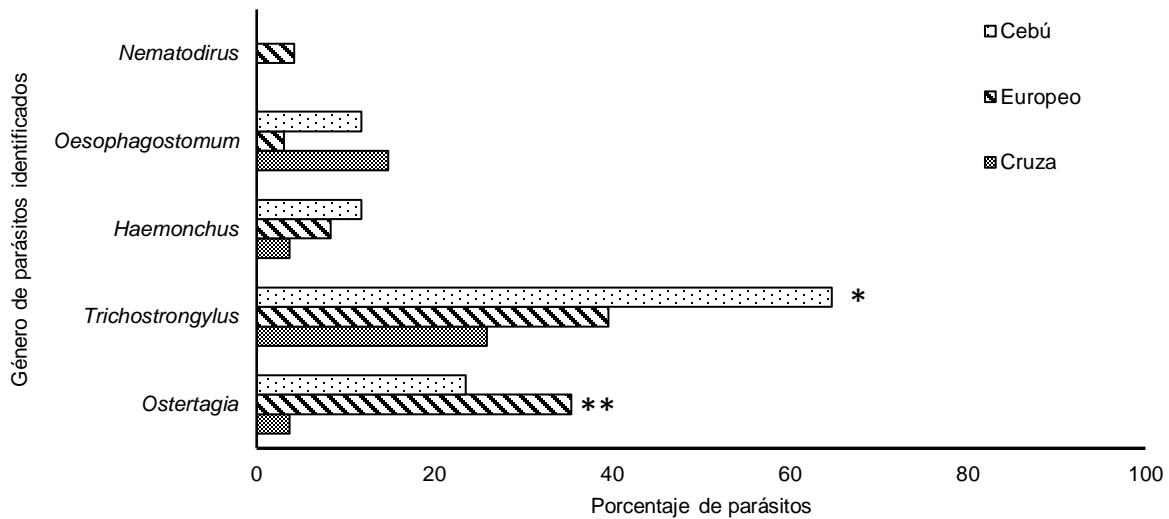


Figura 3. Prevalencia de géneros de nematodos gastrointestinales en bovinos de genotipo cebú, europeo y cruza en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur de Jalisco, México

Las infecciones por géneros de nematodos fueron de simples a triples. Se observó que predominó el tipo de infección simple, que fue mayor ($P=0.0003$) en Costa Sur que en Sierra de Amula. El tipo de infección doble presentó una tendencia ($P=0.08$) a ser mayor en la Costa que en Sierra de Amula, mientras el tipo de infección triple fue similar ($P=1.0$) en ambas regiones de estudio (Figura 4). En tanto, los genotipos cebú y europeo presentaron mayor infección doble ($P=0.03$) respecto a la cruza cebú x europeo que no presentó este tipo de infección.

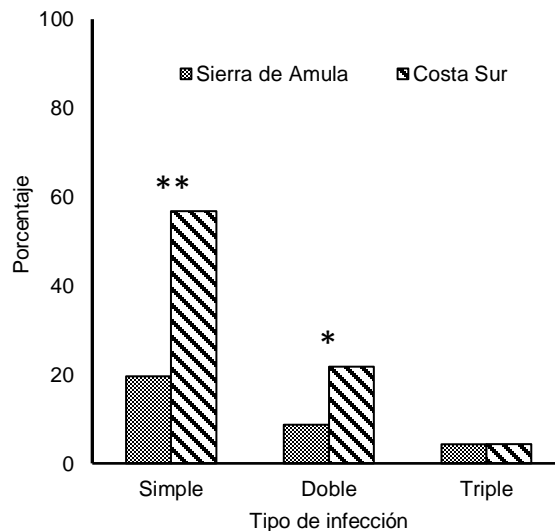


Figura 4. Tipo de infección por géneros de nematodos gastroentéricos en bovinos en la Sierra de Amula y Costa Sur, Jalisco

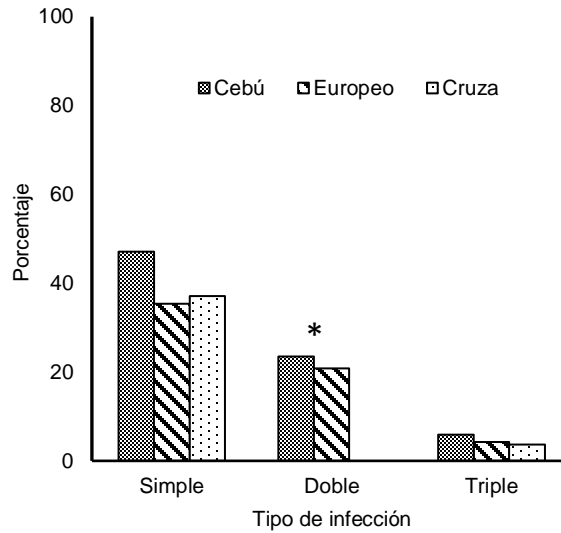


Figura 5. Tipo de infección por géneros de nematodos gastroentéricos en bovinos de genotipo cebú, europeo y cruza en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur de Jalisco, México

La hipótesis al inicio del estudio planteaba que se encontraría mayor prevalencia de NGI en bovinos en la región Costa Sur que en la región Sierra de Amula, Jalisco. Los resultados del presente estudio favorecen parcialmente dicha hipótesis, debido a que se observó mayor prevalencia de los géneros *Trichostrongylus* y *Oesophagostomum*, mayor frecuencia de infección simples y dobles, pero menor prevalencia del género *Haemonchus*.

La mayor frecuencia de infección de uno a dos géneros e incidencia de los géneros *Trichostrongylus* y *Oesophagostomum* en la Costa Sur pueden estar asociados a condiciones climáticas cálidas típicas de las zonas costeras. Consistentemente con estos resultados [Soca et al. \(2005\)](#) mencionaron que los géneros *Trichostrongylus* y *Oesophagostomum* desarrollan con mayor rapidez su ciclo biológico en climas calurosos y húmedos, aunque estos mismos autores indicaron que estos géneros de parásitos también pueden desarrollarse en climas fríos. En particular, *Haemonchus contortus* aunque tiene gran persistencia en distintos tipos de climas, las larvas infectivas tienen mayor probabilidad de supervivencia en meses posteriores a las lluvias ([Vázquez et al., 2004](#)). De acuerdo con [Soca et al., \(2005\)](#) la distribución de los PGI responde a preferencias climáticas, por ejemplo, *Ostertagia* y *Nematodirus* se adaptan mejor a climas fríos y se encuentran en zonas templadas. Los géneros *Haemonchus* y *Oesophagostomum* prefieren climas cálidos, mientras *Trichostrongylus* es capaz de completar su ciclo biológico de forma uniforme en cualquier tipo de clima. En este sentido, la preferencia climática de los propios parásitos explica en gran medida la distribución



que presentaron los parásitos en la región Sierra de Amula y Costa Sur con climas templado subhúmedo y cálido subhúmedo, respectivamente.

Acorde con Peña *et al.* (2000), los bovinos *Bos taurus* son más susceptibles a las infecciones por NGI comparado con cruza de *Bos indicus*. En el presente estudio, la mayor prevalencia del género *Ostertagia* en el ganado europeo (35.4%) y *Trichostrongylus* en el ganado cebú (64.7%), así como mayores infecciones de tipo doble tanto en el genotipo cebú (23.5%) y europeo (20.8%) indican que el ganado cruzado resultó ser más resistente a la infección por PGI. Al respecto, estudios establecen que el vigor híbrido del cruzamiento entre genotipos cebú y europeo favorece la resistencia a parásitos (Oliveira *et al.*, 2009). Además, algunas modificaciones en regiones del genoma generan resistencia a enfermedades y parásitos (García-Ruiz *et al.*, 2019). En un estudio realizado en una región tropical de Colombia se encontró relación entre la raza y la familia *Trichostrongylidae* a la cual pertenecen los géneros *Haemonchus*, *Ostertagia* y *Trichostrongylus* (Pulido-Medellin *et al.*, 2022).

CONCLUSIÓN

Se identificó la presencia de los géneros *Trichostrongylus*, *Ostertagia*, *Haemonchus* y *Oesophagostomum* en vacas en las regiones Sierra de Amula y Costa Sur, mientras que el género *Nematodirus* solo se encontró en la Costa Sur. En la Costa Sur se encontró mayor prevalencia de *Trichostrongylus* y *Oesophagostomum*, asimismo, infección de tipo simple y doble. Por su parte, la Sierra de Amula tuvo mayor prevalencia del género *Haemonchus*. Finalmente, se observó mayor prevalencia del género *Ostertagia* en ganado europeo y *Trichostrongylus* en ganado Cebú, además predominó la infección de tipo doble en ambos genotipos comparado con el ganado cruza cebú x europeo.

LITERATURA CITADA

CHÁVEZ-GARCÍA D, Acosta-Lozano N, García-Pluas R, Ortiz-Nacaza P, Andrade-Yucailla V. 2020. Identificación de parásitos gastrointestinales predominantes en bovinos de la Península de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*. 7(2):47-51. ISSN: 1390-7638. <https://doi.org/10.26423/rctu.v7i2.524>

DOMÍNGUEZ AJL, Rodríguez VRI, Honhold N. 1993. Epizootiología de los parásitos gastrointestinales en bovinos del estado de Yucatán. *Veterinaria México*. 24(3):189-193. ISSN: 0301-5092. <https://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-1993/vm933c.pdf>

ENCALADA MLA, López AME, Mendoza GP, Liébano HE, Vázquez PV, Vera YG. 2008. Primer informe en México sobre la presencia de resistencia a ivermectina en bovinos infectados naturalmente con nematodos gastrointestinales. *Veterinaria México*. 39(4): 423-428. ISSN: 0301-5092. <https://www.scielo.org.mx/pdf/vetmex/v39n4/v39n4a6.pdf>



ENCALADA-MENA LA, Corbala-Bermejo JA, Vargas-Magaña JJ, García-Ramírez MJ, Uicab-Brito L, Río-Rodríguez J. 2009. Prevalencia de nematodos gastroentéricos de becerros en sistemas de doble propósito del municipio de Escárcega, Campeche, México. *Agrociencia*. 43(6):569-576. ISSN: 1405-3195.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n6/v43n6a2.pdf>

FERNÁNDEZ-FIGUEROA A, Arieta-Román R, Graillet-Juárez E, Romero-Salas D, Romero-Figueroa M, Felipe-Ángel I. 2015. Prevalencia de nematodos gastroentéricos en bovinos de doble propósito en 10 ranchos de Hidalgotitlan Veracruz, México. *Abanico Veterinario*. 13-18. ISSN: 2448-6132. <https://www.scielo.org.mx/pdf/av/v5n2/2448-6132-av-5-02-00013.pdf>

FIEL CA, Steffan PE, Ferreyra, DA. 2011. Diagnóstico de las parasitosis más frecuentes de los rumiantes: Técnicas de diagnóstico e interpretación de resultados. Tandil: Abad Benjamín. Pp. 131. ISBN 978-987-33-1502-2.

<https://www.aavld.org.ar/publicaciones/Manual%20Diagnostico%20final.pdf>

FIGUEROA-ANTONIO A, Pineda-Rodríguez S, Godínez-Jaime F, Vargas-Álvarez D, Rodríguez-Bataz E. 2018. Parásitos gastrointestinales de ganado bovino y caprino en Quechultenango, Guerrero, México. *Agroproductividad*. 11(6):97-104. ISSN: 2594-0252.

<https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/438>

GARCÍA-RUIZ A, Ruíz-López FDJ, Alonso-Díaz M, Von-Son-de-Fernex E, Olazarán-Jenkins S, Vega-Murillo VE, López-Arellano ME. 2019. Estudio de asociación genómica para resistencia a *Cooperia punctata* en bovinos cruzados en el trópico subhúmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10(2):482-489. ISSN: 2007-1124.

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4759>

IIEG. 2022. Diagnóstico de la región Costa Sur. Instituto de información Estadística y Geográfica de Jalisco. 51 pág.

https://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/08_costa_sur_diagnostico.pdf

IIEG. 2022. Diagnóstico de la región Sierra de Amula. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. Pp. 50. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/08/07-Sierra-Amula-Diagn%C3%B3stico.pdf>

LIÉBANO HE. 2011. Ecología de las larvas de nematodos gastrointestinales de bovinos, ovinos y caprinos en: Quiroz RH, Figueroa CJA, Ibarra VF, López AME. Epidemiología de enfermedades parasitarias en animales domésticos. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 642. ISBN 978-607-00-4015-3.



MUNGUÍA-XÓCHIHUA J, Leal-Franco I, Muñoz-Cabrera J, Medina-Chu M, Reyna-Granados J, López-Castro P. 2019. Frecuencia de parásitos gastrointestinales en bovinos del sur de Sonora, México. *Abanico Veterinario*. 9:1-11. ISSN: 2448-6132. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2019.919>

OKULEWICZ A. 2017. The impact of global climate change on the spread of parasitic nematodes. *Annals of Parasitology*. 63(1):15-20. ISSN: 2299-0631. <https://doi.org/10.17420/ap6301.79>

OLIVEIRA MC, Alencar MM, Chagas AC, Giglioti R, Oliveira HN. 2009. Gastrointestinal nematode infection in beef cattle of different genetic groups in Brazil. *Veterinary Parasitology*. 166(3-4):249-254. ISSN: 0304-4017. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.09.006>

ORTIZ-MUÑOZ IY, Salinas-Ríos T, Pérez-León MI, Aquino-Cleto M, Rodríguez-Magadán HM, Hernández-Bautista J. 2022. Prevalencia de parásitos gastrointestinales en vacas lecheras de sistema de producción tipo familiar. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 8(II). ISSN: 2007-901X. <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2920>

PEÑA MT, Miller JE, Wyatt W, Kearney MT. 2000. Differences in susceptibility to gastrointestinal nematode infection between Angus and Brangus cattle in south Louisiana. *Veterinary Parasitology*. 89(1-2):51-61. ISSN: 0304-4017. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(99\)00229-0](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(99)00229-0)

PULIDO-MEDELLIN M, Lopez-Buitrago H, Bulla-Castañeda D, García-Corredor D, Díaz-Anaya A, Giraldo-Forero J, Higuera-Piedrahita R. 2022. Diagnosis of Gastrointestinal Parasites in Bovines of the Department of Boyacá, Colombia. *Revista Científica*. 44(2): 272-281. ISSN: 0124-2253. <https://doi.org/10.14483/23448350.18500>

QUIROZ, R. 2011. Epidemiología y control de nematodos gastrointestinales en bovinos con énfasis en México, en: Quiroz RH, Figueroa CJA, Ibarra VF, López AME. Epidemiología de enfermedades parasitarias en animales domésticos. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 642. ISBN 978-607-00-4015-3.

RODRÍGUEZ-VIVAS RI, Cob-Galera LA, Domínguez-Alpizar JL. 2001. Frecuencia de parásitos gastrointestinales en animales domésticos diagnosticados en Yucatán, México. *Revista Biomédica*. 12(1):19-25. ISSN: 2007-8447. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v12i1.253>



RODRÍGUEZ-VIVAS RI, Grisi L, Pérez LAA, Villela HS, Torres-Acosta JFJ, Fragoso Sánchez H, Romero SD, Rosario CR, Saldierna F, García CD. 2017. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8(1):61-74. ISSN: 2448-6698. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4305>

SOCA M, Roque E, Soca M. 2005. Epizootiología de los nematodos gastrointestinales de los bovinos jóvenes. *Pastos y Forrajes*. 28(3):175-185. ISSN: 0864-0394. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269121675001.pdf>

THOMAS J, Bailey E. 2021. Body condition scoring of beef cattle. Extension University of Missouri. Pp 8. <https://extension.missouri.edu/media/wysiwyg/Extensiondata/Pub/pdf/agguides/ansci/g02230.pdf>

VANDE VF, Charlier J, Claerebout E. 2018. Farmer behavior and gastrointestinal nematodes in ruminant livestock-uptake of sustainable control approaches. *Frontier in Veterinary Science*. 5:255. ISSN: 2297-1769. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00255>

VÁZQUEZ PVM, Flores CJ, Santiago VC, Herrera RD, Palacios FA, Liébano HE, Pelcastre OA. 2004. Frecuencia de nemátodos gastroentéricos en bovinos de tres áreas de clima subtropical húmedo de México. *Técnica Pecuaria en México*. 42(2):237-245. ISSN: 0040-1889. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61342209.pdf>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>