

KAHUN

Revista Científica
Facultad de Medicina Veterinaria
y Zootecnia

Vol.3
Oct 2026
ISSN 3028 6697



SANMARTÍN
Fundación Universitaria

Directivos

Consejo Superior

Presidente

María Juliana Araujo Oñate

Miembros externos

Carlos Eugenio Solarte Portilla

Alejandro Olaya Dávila

Óscar Manco López

Alejandro De La Torre Sanclemente

Representante de los profesores

Yuranis Del Carmen De La Hoz Pantoja

Representante de los estudiantes

Andrés Felipe Márquez Acosta

Representante de los egresados

Hans Diederichs Quirós

Rector y Representante Legal

Juan Santiago Correa Restrepo

Vicerrectorías

Vicerrector Académico

Andrés Franco Herrera

Vicerrectora Financiera y Administrativa

María Fernanda Juliao Ferreira

Secretario General

Alejandro Suárez Parada

Facultad de Medicina Veterinaria

Decano Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Jhensus Elías Carvajal Gómez

Coordinador de Investigación

Angel Andrés Arias Vigoya

Comité Editorial

Área Ciencias Animales y Ambientales

Deivis Suárez Rivero

Ingeniero Agrónomo de la Universidad Agraria de La Habana, con Maestría en Biología Vegetal y énfasis en Biología Vegetal de la Universidad de La Habana; Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo de la Universidad Nacional de Costa Rica

Área Medicina Veterinaria

Angelica Maria Castellanos Sánchez

VMD., MSc. PhD. FUSM Docente Investigador Tiempo Completo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Sede Cali

Shirley Andrea Florez Rodriguez

Medica Veterinaria y Zootecnista. MSc en Reproducción Animal Universidad de São Paulo, Brasil. Maestría en Reproducción Animal. Universidad de São Paulo, Brasil.

Comité Científico

Carlos Alberto Martínez Niño

Zootecnista UNAL, MSc en producción animal con énfasis en genética cuantitativa. Master of Statistics. PhD en genética-es-tadística.

Rodrigo Morchón Garcia

Licenciado en Ciencias Biológicas y Doctor en Biología por la Universidad de Salamanca. Profesor Titular del Área de Parasi-tología y responsable del grupo de investigación Enfermeda-des Zoonósicas y Una Sola Salud de la Universidad de Sala-manca. Vice-presidente de la European Society of Dirofilariosis and Angiostrongylosis, y miembro colaborador de instituciones y grupos de investigación en España, Italia, Grecia, Serbia, Co-lombia, México y miembro de la American Heartworm Society.

Jesus Albeto Cardozo

Medico Veterinario y Zootecnista, MSc en Zootecnia Produc-ción y Nutrición Rumiantes) de la Universidad Estadual de Ma-ringá, Brasil, Doctorado en Zootecnia (Producción y Nutrición Rumiantes) de la Universidad Estadual de Maringá, Brasil.

Paola Daniela Torres Salas

Medico Veterinario Zootecnista, Esp Clinica Medica de peque-ños Animales UBA, MSc, (Est) PhD.



KAHUN

Número de volumen: 3

Periodicidad: Anual

Formato: Digital

ISSN: 3028-6697

Año: 2026

Actualización de Cubierta

Carlos Mario Castellanos Chaves

Diagramación

Carlos Mario Castellanos Chaves

URL de la publicación

Las opiniones y contenidos reflejados en los artículos de esta publicación no necesariamente reflejan la posición de la Fundación Universitaria San Martín por lo que son responsabilidad exclusiva de los autores que aportaron su conocimiento para el desarrollo de esta edición.

Dirección de Investigación y Extensión

Carrera 18 # 80-75

Bogotá D.C., Colombia.

PBX: 4322671

Correo electrónico de la revista:

revistaveterinaria@sanmartin.edu.co

CONTENIDO



Carta Editorial

Evolución del bienestar animal y la ética en la práctica veterinaria contemporánea.

01

1

Investigación

Incidencia de parásitos gastrointestinales en tortugas marinas *Caretta caretta* y *Eretmochelys imbricata* ex situ en el acuario de Mundo Marino, Santa Marta, (Colombia)

02

4

Casos Clínicos

Ácido hipocloroso en el tratamiento de pododermatitis en *Equus asinus*: reporte de caso

03

23

Revision de literatura

04

Acupuntura veterinaria y su impacto en el bienestar y la calidad de vida de los pacientes y sus cuidadores: una revisión de literatura

33

Elementos bioquímicos que intervienen en el flujo de la información genética: una revisión a los elementos básicos para la asignatura de Bioquímica Veterinaria

66

Evolución del bienestar animal y la ética en la práctica veterinaria contemporánea.

Evolution of animal welfare and ethics in contemporary veterinary practice

Carvajal-Gómez, Jhensus Elías, Ph.D.
Decano Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Fundación Universitaria San Martín.
Mail: jhensus.carvajal@sanmartin.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2272-5526>

López Cañizares, Deibys José, Ph.D.
Director de Programa Medicina Veterinaria y Zootecnia – Sede Puerto
Colombia.
Fundación Universitaria San Martín.
Mail: deibys.lopez@sanmartin.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3812-7085>

Palabras clave: bienestar animal; ética veterinaria; bioética; angustia moral; resiliencia moral; formación veterinaria.

Keywords: animal welfare; veterinary ethics; bioethics; moral distress; moral resilience; veterinary education.

La medicina veterinaria y la zootecnia contemporáneas atraviesan una transformación científica y ética. Durante mucho tiempo, buena parte de la práctica profesional se orientó al control de las enfermedades y a la mejora de los sistemas productivos. En la actualidad, el reconocimiento de la sintiencia animal y la creciente atención social al bienestar de los animales nos plantean el reto de armonizar, de manera responsable, los intereses humanos con las necesidades y el bienestar animal (1).

Esta transformación también ha modificado la manera de evaluar y promover la calidad de vida de los animales. Durante décadas, las Cinco Libertades constituyeron un marco de referencia para identificar y reducir distintas formas de sufrimiento. Posteriormente, el Modelo de los Cinco Dominios amplió esta perspectiva al considerar la nutrición, el entorno físico, la salud y las interacciones conductuales, así como su influencia en el estado mental o afectivo del animal. El modelo también reconoce la importancia de las interacciones entre humanos y animales. Desde esta perspectiva, la evaluación del bienestar no debe limitarse a prevenir experiencias negativas; también debe procurar oportunidades para que los animales experimenten estados positivos y tengan una vida que merezca ser vivida (2).

Asumir esta responsabilidad ética implica considerar tanto a los animales de compañía —que en muchos hogares ocupan un lugar importante en la vida familiar— como a los animales destinados a la producción, cuyo bienestar está sujeto a exigencias sociales, éticas y normativas cada vez mayores (6). Sin embargo, estos compromisos pueden entrar en tensión con las condiciones prácticas y económicas de la atención veterinaria. En ese contexto puede aparecer la angustia moral (“moral distress”): una situación en la que el profesional reconoce cuál sería la actuación éticamente adecuada, pero encuentra barreras que le impiden llevarla a cabo. Entre ellas pueden estar las limitaciones económicas de los tutores, las políticas institucionales o las solicitudes de eutanasia que no responden a una necesidad clínica o de bienestar claramente justificada (3, 4).

La exposición persistente a estos conflictos no debe considerarse una consecuencia inevitable del ejercicio profesional. La distancia entre el criterio ético del médico veterinario y las decisiones que finalmente puede tomar, puede contribuir a la fatiga por compasión y al desgaste profesional (“burnout”), y afectar su bienestar psicológico (5). Reconocer esta problemática es un paso necesario para promover entornos laborales que permitan deliberar sobre los dilemas éticos, solicitar apoyo y tomar decisiones responsables sin desatender la salud de quienes cuidan de los animales.

Las instituciones de educación superior que forman médicos veterinarios y zootecnistas tienen un papel decisivo frente a este desafío. La formación profesional no debería concentrarse exclusivamente en las competencias clínicas y productivas; también debe integrar la bioética y las humanidades veterinarias de manera transversal. Esto supone ofrecer al estudiantado herramientas para analizar dilemas, argumentar decisiones, comunicarse con tutores y equipos de trabajo, y reconocer los factores emocionales y organizacionales que intervienen en la práctica. El desarrollo de la resiliencia moral, acompañado de espacios de reflexión y apoyo institucional, puede contribuir a afrontar estos conflictos de forma más consciente y sostenible (3).

El futuro de la profesión exige, además de competencia médica y conocimientos sobre los sistemas productivos, un compromiso explícito con la defensa del bienestar animal. Formar profesionales capaces de deliberar con criterio, actuar con integridad y reconocer los límites de su contexto de trabajo fortalece tanto la calidad de la atención como la sostenibilidad humana de la profesión. Desde la academia, este compromiso implica promover una medicina veterinaria y una zootecnia que articulen el conocimiento científico, la responsabilidad ética y el bienestar integral de los animales.

Referencias

1. Abbott S. Veterinary Ethics: Balancing Animal Welfare and Human Interests in Practice. *Res Rev J Vet Sci.* 2026;10(1):1-3.
2. Mellor DJ, Beausoleil NJ, Littlewood KE, McLean AN, McGreevy PD, Jones B, et al. The 2020 Five Domains Model: Including Human–Animal Interactions in Assessments of Animal Welfare. *Animals.* 2020;10(10):1870.
3. Kjeldsen MB. Moral distress, resilience and human spirituality in the veterinary clinic. *Front Vet Sci.* 2026;13:1922787.
4. Jameton A, Moses L, Malowney T, Boyd JW. Ethical conflict and moral distress in veterinary practice: A survey of North American veterinarians. *J Vet Intern Med.* 2018;32(6):2115-2122.
5. Palumbo H, et al. A call to action: Ameliorating moral distress among veterinarians. *Can Vet J.* 2025;66(2):196-205.
6. Shevchenko M. Welfare of farm animals as an ethical component of the professional activity of a veterinarian. *Sci Mess LNU Vet Med Biotech.* 2025;27(120):56-62.



01

Investigación

**Incidencia de parásitos gastrointestinales en tortugas marinas
Caretta caretta y *Eretmochelys imbricata* ex situ en el acuario
de Mundo Marino, Santa Marta, (Colombia)**

Incidence of gastrointestinal parasites in *Caretta caretta* and
Eretmochelys imbricata maintained ex situ at Mundo Marino
Aquarium, Santa Marta (Colombia)

Noelia Katherine Tapiero Cárdenas
Fundación Universitaria San Martín
Correo electrónico: 20411201010@est.sanmartin.edu.co
ORCID (0009-0007-4513-7069)

Ángel Alfonso Rodríguez Petit
Fundación Universitaria San Martín
Correo electrónico: angel.rodriguez@sanmartin.edu.co
ORCID (0000-0002-6252-5625)

Shirley Hermelinda Céspedes Polo:
Fundación Universitaria San Martín
Correo electrónico: shirley.cespedes@sanmartin.edu.co

Dave Wehdeking Hernández
Fundación Zoológica de Cali
Correo electrónico: wehdeking@gmail.com
ORCID (0009-0000-9335-4630)

Resumen

Este estudio evaluó la presencia de parásitos gastrointestinales en 12 tortugas marinas de las especies *Caretta caretta* y *Eretmochelys imbricata* mantenidas ex situ en el Acuario Mundo Marino, Santa Marta, Colombia. Se realizaron tres jornadas de muestreo (abril y octubre de 2022 y mayo de 2023), procesando 36 muestras fecales mediante la técnica de Ritchie. Se identificaron larvas tipo I compatibles con nematodos del género *Anisakis* y estructuras morfológicamente compatibles con *Entamoeba* spp., así como quistes posteriores a la desparasitación preventiva. Los hallazgos evidencian la presencia de formas parasitarias activas y latentes durante el proceso de rehabilitación, lo que resalta la necesidad de incorporar evaluaciones sanitarias sistemáticas y establecer protocolos clínicos previos a la liberación. La implementación de monitoreos sanitarios integrales fortalecerá los programas de conservación y reducirá el riesgo de transmisión de patógenos a poblaciones silvestres.

Palabras clave: tortugas marinas, parásitos gastrointestinales, coproparasitología, rehabilitación, *Anisakis*, *Entamoeba*.

Abstract:

This study evaluated the presence of gastrointestinal parasites in 12 sea turtles (*Caretta caretta* and *Eretmochelys imbricata*) maintained ex situ at Mundo Marino Aquarium, Santa Marta, Colombia. Three sampling periods were conducted (April and October 2022, and May 2023), and 36 fecal samples were processed using the Ritchie concentration technique. Type I larvae compatible with nematodes of the genus *Anisakis* and structures morphologically compatible with *Entamoeba* spp. were identified, along with residual cysts following preventive deworming. These findings demonstrate the presence of active and latent parasitic forms during the rehabilitation process and highlight the importance of incorporating routine health assessments and establishing pre-release clinical protocols. The implementation of comprehensive health monitoring programs will strengthen conservation efforts and reduce the risk of pathogen transmission to wild populations.

Keywords: sea turtles, gastrointestinal parasites, coproparasitological analysis, rehabilitation, *Anisakis*, *Entamoeba*.

Introducción

Las tortugas marinas constituyen uno de los grupos de reptiles más antiguos que aún habitan los océanos del planeta y desempeñan un papel fundamental en el equilibrio ecológico de los ecosistemas marinos. Estas especies participan activamente en procesos ecológicos como el control de poblaciones de invertebrados, la dinámica de pastos marinos y el transporte de nutrientes entre ambientes costeros y oceánicos. Sin embargo, durante las últimas décadas, las poblaciones de tortugas marinas se han visto afectadas a nivel mundial por múltiples presiones antropogénicas, entre ellas la captura incidental en pesquerías, el aprovechamiento ilegal, la degradación y fragmentación de hábitats costeros, así como la competencia por recursos marinos. Estas amenazas han generado disminuciones poblacionales significativas y han llevado a que varias especies se encuentren actualmente clasificadas en distintas categorías de amenaza según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)¹⁻³. En el marco internacional, la regulación del comercio y la protección de las tortugas marinas se encuentra respaldada por instrumentos como la Convención sobre el Comercio Internacional de

Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)⁴.

Si bien los programas de incubación y cría asistida han demostrado altos porcentajes de éxito biológico en términos de eclosión y supervivencia temprana, el componente veterinario clínico aún presenta limitaciones en muchos centros de manejo. Con frecuencia, los criterios de liberación se fundamentan principalmente en parámetros morfométricos como peso, largo curvo de caparazón y ancho, además de la evaluación general de la condición corporal, sin incluir una valoración médica integral que incluya exámenes clínicos y diagnósticos complementarios^{5,6}. Sin embargo, las guías internacionales de buenas prácticas recomiendan la implementación de protocolos diagnósticos sistemáticos que incluyen exámenes hematológicos, hemoparasitológicos y coproparasitológicos, como parte de la evaluación sanitaria previa a la liberación^{6,7}. Estudios recientes han demostrado que el parasitismo en tortugas marinas puede asociarse con alteraciones hematológicas, inmunológicas y genotóxicas, lo que refuerza la necesidad de evaluaciones clínicas integrales durante los procesos de rescate y rehabilitación⁸.

Aunque los procedimientos de evaluación sanitaria y monitoreo parasitológico forman parte de las prácticas rutinarias en zoológicos y acuarios con programas consolidados de manejo de reptiles^{5,9}, los estudios específicos enfocados en tortugas marinas sometidas a procesos de rehabilitación aún son relativamente escasos, especialmente en el contexto latinoamericano. La mayoría de los protocolos veterinarios aplicados en centros de rescate se han desarrollado a partir de experiencias en otras especies de reptiles o en instituciones con mayores recursos técnicos, lo que evidencia la necesidad de generar información científica regional que permita adaptar estos procedimientos a las condiciones ecológicas y sanitarias propias de cada área geográfica.

Diversas investigaciones han documentado la presencia de helmintos y protozoarios gastrointestinales en tortugas marinas tanto en poblaciones de vida libre como en individuos mantenidos temporalmente en centros de rehabilitación^{8,10,11}. Estos parásitos pueden formar parte de la fauna parasitaria natural de los ecosistemas marinos y su transmisión generalmente ocurre a través de complejas interacciones ecológicas

que involucran diferentes hospedadores intermediarios y paraténicos dentro de las redes

tróficas marinas. Entre los grupos parasitarios más frecuentemente reportados en tortugas marinas se encuentran nematodos, trematodos, cestodos y diversos protozoarios intestinales, los cuales pueden ser adquiridos principalmente mediante la ingestión de presas infectadas o por exposición a ambientes acuáticos contaminados.

En este contexto, el estudio de las comunidades parasitarias en tortugas marinas adquiere relevancia tanto desde el punto de vista clínico como ecológico. Desde la perspectiva veterinaria, la identificación de parásitos gastrointestinales permite evaluar el estado sanitario de los individuos, detectar infecciones subclínicas y establecer tratamientos adecuados durante los procesos de rehabilitación. Desde la perspectiva ecológica, la presencia de determinados parásitos puede reflejar condiciones ambientales específicas del ecosistema marino, incluyendo cambios en la disponibilidad de presas, alteraciones en las redes tróficas o procesos de contaminación ambiental^{12,13}.

Por esta razón, el monitoreo parasitológico sistemático se ha convertido en una herramienta importante dentro de los programas de manejo y conservación de tortugas

marinas. La incorporación de evidencia científica derivada de estudios coproparasitológicos permite establecer lineamientos de manejo sanitario más robustos, facilitar la evaluación del estado de salud de los individuos rescatados y garantizar que los animales liberados al medio natural se encuentren en condiciones adecuadas para su supervivencia. En tal sentido, la generación de información científica sobre la presencia y dinámica de parásitos en tortugas marinas en rehabilitación resulta fundamental para fortalecer los programas de conservación y manejo de tortugas marinas amenazadas^{5,6}.

Métodos

En el estudio se procesaron 36 muestras obtenidas de las especies *Caretta caretta* y *Eretmochelys imbricata*, mantenidas ex situ en procesos de rescate y rehabilitación en el Acuario Mundo Marino, Santa Marta, Caribe colombiano. Se realizó un seguimiento longitudinal a 12 tortugas seleccionadas aleatoriamente, las cuales conformaron el mismo grupo evaluado durante tres jornadas de muestreo realizadas en abril y octubre de 2022 y mayo de 2023. El diseño del estudio fue observacional, descriptivo y prospectivo, enfocado en la evaluación coproparasitológica seriada como herramienta diagnóstica

complementaria dentro del protocolo clínico de rehabilitación, en concordancia con lineamientos internacionales para el manejo sanitario de tortugas marinas en cautiverio^{6,7}.

La inclusión de los individuos se restringió a tortugas juveniles pequeñas (1-3 meses) y medianas (3-12 meses) que formaban parte del programa activo de rehabilitación. Se excluyeron ejemplares destinados a exhibición permanente y aquellos mayores de cinco años, con el fin de reducir variabilidad fisiológica asociada a edad y estado reproductivo. Estos criterios se alinean con recomendaciones clínicas para evaluación y seguimiento de reptiles en centros especializados^{5,9}.

Las condiciones de mantenimiento cumplieron con los lineamientos internacionales para el cuidado de tortugas marinas en instalaciones autorizadas de rehabilitación y conservación ex situ. Los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, salinidad, oxigenación y calidad microbiológica) se mantuvieron dentro de rangos compatibles con las necesidades fisiológicas de especies de la familia Cheloniidae, conforme a guías técnicas especializadas⁷. El fotoperiodo se ajustó a

condiciones naturales estacionales con el fin de garantizar ciclos adecuados de luz y oscuridad para evitar alteraciones fisiológicas y comportamentales^{6,7}. Se implementaron protocolos de cuarentena inicial, evaluación clínica integral y medidas estrictas de bioseguridad para prevenir la transmisión cruzada de agentes infecciosos, de acuerdo con los estándares establecidos para centros de rehabilitación⁶.

El estudio se enmarcó dentro de principios de conservación ex situ y bienestar animal reconocidos internacionalmente. Las actividades diagnósticas no interfirieron con los tiempos de recuperación ni con la eventual liberación de los ejemplares aptos, en concordancia con las directrices de manejo responsable de especies amenazadas y regulaciones internacionales^{6,4}. Asimismo, el manejo institucional se alineó con estrategias globales que promueven la integración entre conservación in situ y ex situ, educación ambiental y sostenibilidad en acuarios¹⁴.

Para el análisis coproparasitológico se recolectaron muestras fecales mediante sonda cloacal estéril, con el fin de minimizar la manipulación y el estrés del individuo, de acuerdo con las recomendaciones de medicina clínica en reptiles^{5,9}. Cada procedimiento se realizó por personal capacitado, aplicando

técnicas de contención física segura para evitar lesiones y respuestas fisiológicas adversas. Las muestras fueron depositadas en frascos estériles con formol al 10% como fijador, rotuladas individualmente y procesadas en laboratorio bajo condiciones controladas. Se empleó la técnica de concentración por formalina-éter de Ritchie, ampliamente utilizada para la recuperación eficiente de huevos, larvas y quistes de helmintos y protozoarios en muestras fecales^{9,15,16,17,18}. Tras descartar el sobrenadante, el sedimento fue examinado microscópicamente a aumentos de 40x y 100x para la identificación morfológica de estructuras parasitarias compatibles con endoparásitos gastrointestinales. En total se procesaron 36 muestras, correspondientes a tres muestreos seriados por individuo.

Se priorizó un enfoque no invasivo, éticamente responsable y coherente con los objetivos de rehabilitación, evitando procedimientos que pudieran comprometer el estado fisiológico de los individuos^{19,20}. El estudio se desarrolló bajo el marco normativo aplicable a especies listadas en convenios internacionales de protección y comercio regulado⁴, y se aseguró que todas las actividades se realizaran con fines estrictamente científicos, de manejo sanitario y de

Resultados

Se procesaron 36 muestras fecales correspondientes a 12 tortugas marinas de las especies *C. caretta* y *E. imbricata*.

En la primera jornada de muestreo (abril de 2022) se evidenció una baja viabilidad en las muestras, posiblemente asociada al tiempo de conservación previo al análisis. Sin embargo, se identificó la presencia de una larva tipo I (Figura 1) compatible con nematodos del género *Anisakis*²¹.



Figura 1. Larva tipo I compatible con nematodos del género *Anisakis* spp.²¹

Durante la segunda jornada (octubre de 2022), se confirmó nuevamente la presencia de una larva tipo I (Figura 2) y se observó una estructura compatible con *Entamoeba* spp. (Figura 3), lo que evidencia la coexistencia de formas parasitarias de origen helmíntico y protozoario.



Figura 2. Larva tipo I.

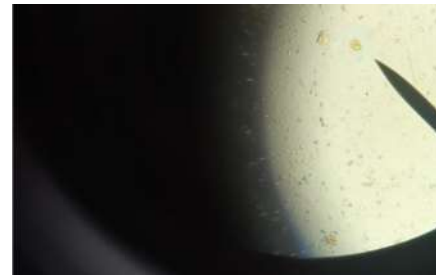


Figura 3. Estructura compatible con *Entamoeba* spp.

En la tercera jornada (mayo de 2023), realizada previo a la liberación de los individuos rehabilitados, se detectaron únicamente quistes (Figura 4) sin presencia de larvas. Este hallazgo se asoció a la desparasitación preventiva practicada semanas antes del muestreo, la cual reduce la carga parasitaria activa. Los quistes corresponden a estadios de resistencia, capaces de persistir en el ambiente o en el hospedador hasta encontrar condiciones favorables o un órgano diana adecuado.

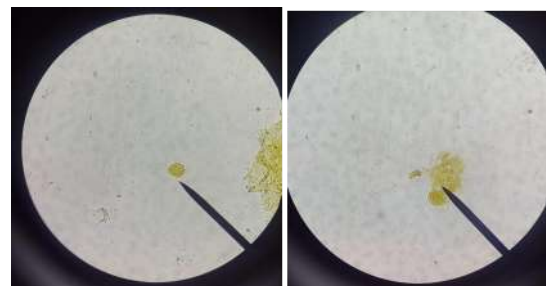


Figura 4. Quistes parasitarios sin presencia de larvas.

Discusión

Los resultados obtenidos a partir del análisis de 36 muestras fecales correspondientes a 12 tortugas marinas evidencian la presencia de parásitos gastrointestinales en individuos en proceso de rehabilitación, lo que confirma la importancia de realizar evaluaciones parasitológicas rutinarias durante su manejo *ex situ*^{6,7,19}. La baja viabilidad observada en algunas muestras de la primera jornada podría estar relacionada con el tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis coproparasitológico, factor que puede afectar la preservación de estructuras parasitarias y reducir la sensibilidad diagnóstica^{15,16,17}.

La detección de larvas tipo I compatibles con *Anisakis* spp. concuerda con reportes en tortugas marinas del Atlántico y Mediterráneo^{8,10,22} donde se ha documentado la transmisión de nematodos a través del consumo de presas infectadas o la exposición a ambientes marinos influenciados por actividades pesqueras^{21,23}. Estos helmintos forman parte de ciclos de vida complejos que involucran crustáceos, peces y cefalópodos como hospedadores intermediarios o paraténicos, facilitando su incorporación en la dieta de

vertebrados marinos superiores. En este contexto, las tortugas marinas actúan generalmente como hospedadores paraténicos o accidentales, por lo que la presencia del parásito no implica necesariamente el desarrollo de enfermedad clínica en individuos inmunocompetentes^{9,18}.

No obstante, desde el punto de vista fisiopatológico, las infecciones por nematodos gastrointestinales pueden generar alteraciones digestivas importantes, incluyendo inflamación de la mucosa intestinal, alteraciones en la motilidad y disminución en la eficiencia de absorción de nutrientes^{5,9,20}. Estas alteraciones pueden traducirse clínicamente en pérdida de peso, condición corporal deficiente, debilidad general y retraso en los procesos de recuperación, especialmente en individuos en rehabilitación. La interferencia en la absorción de nutrientes resulta particularmente relevante en tortugas marinas, ya que su recuperación depende en gran medida de la restauración de reservas energéticas y del adecuado funcionamiento del sistema digestivo.

El impacto de estas infecciones se vuelve aún más significativo en individuos juveniles, debilitados o con condiciones clínicas preexistentes, en los

cuales incluso cargas parasitarias bajas pueden tener efectos fisiológicos importantes debido a un sistema inmunológico inmaduro o comprometido. En este sentido, el parasitismo no sólo actúa como un agente patógeno directo, sino también como un factor que puede agravar estados de desnutrición, comprometer la respuesta inmunitaria y aumentar la susceptibilidad a infecciones secundarias^{5,9}.

Adicionalmente, se ha evidenciado que las infecciones parasitarias pueden inducir alteraciones hematológicas e inmunológicas en tortugas marinas rescatadas, incluyendo anemia, leucocitosis, eosinofilia y modificaciones en los perfiles inmunitarios⁸. Estas respuestas reflejan la interacción dinámica entre el hospedador y el parásito, y pueden influir directamente en la capacidad del individuo para recuperarse y adaptarse nuevamente a su ambiente natural. En condiciones de rehabilitación, donde muchos individuos ingresan con antecedentes de estrés, trauma, contaminación o desnutrición, estas alteraciones pueden prolongar el tiempo de recuperación y afectar el éxito de la liberación.

En cuanto a la relevancia del hallazgo de *Anisakis* spp., es importante destacar su importancia zoonótica, ya que este género incluye especies

capaces de causar anisakiasis en humanos tras el consumo de pescado crudo o insuficientemente cocido. Esta enfermedad puede manifestarse con cuadros gastrointestinales agudos y reacciones alérgicas asociadas a la penetración de larvas en la mucosa digestiva. Aunque las tortugas marinas no participan directamente en la transmisión hacia el ser humano, su papel dentro de las redes tróficas marinas refleja la amplia distribución ecológica de estos nematodos y su circulación en los ecosistemas oceánicos²⁴. Por lo tanto, su detección en tortugas marinas constituye un indicador indirecto de la presencia de este parásito en el ambiente marino.

Sin embargo, es importante aclarar que, en tortugas marinas clínicamente sanas, la presencia de larvas de *Anisakis* spp. no necesariamente implica un impacto patológico significativo, precisamente por su rol como hospedadores paraténicos. El efecto clínico dependerá en gran medida de factores como la carga parasitaria, la localización de las larvas y, especialmente, el estado inmunológico del hospedador^{5,9}. En individuos con un sistema inmune competente, estas infecciones pueden cursar de manera subclínica, mientras que en animales debilitados o en condiciones de estrés fisiológico pueden contribuir al deterioro de la salud general^{18,18}.

En este contexto, la implementación de evaluaciones sanitarias integrales que incluyan análisis coproparasitológicos, hematológicos e inmunológicos resulta fundamental para optimizar los procesos de rehabilitación. Este enfoque permite detectar infecciones subclínicas, mejorar la toma de decisiones clínicas y garantizar que los individuos sean liberados en condiciones adecuadas de salud^{6,7,19}.

La identificación de *Entamoeba* spp. reviste importancia clínica y epidemiológica. Aunque esta especie se asocia principalmente con hospedadores mamíferos, se ha documentado la presencia de especies del género *Entamoeba* en reptiles mantenidos en cautiverio, incluyendo casos de amebiasis en instituciones zoológicas, lo que evidencia la susceptibilidad de estos hospedadores a protozoarios del género²⁵. La presencia de estos protozoarios en reptiles marinos puede estar relacionada con condiciones ambientales específicas del sistema de mantenimiento, la calidad del agua o la manipulación de alimentos dentro de las instalaciones^{25,26,27}.

Además, se ha señalado la necesidad de métodos diagnósticos específicos para diferenciar especies como *E. invadens* de *E. histolytica*, debido a posibles reacciones

cruzadas en pruebas inmunológicas²⁸. Esta diferenciación resulta relevante desde el punto de vista epidemiológico, ya que algunas especies del género presentan mayor patogenicidad en reptiles y pueden generar cuadros clínicos más severos. La utilización de técnicas moleculares o inmunológicas avanzadas ha sido recomendada por diversos autores para mejorar la precisión diagnóstica en estudios parasitológicos de reptiles.

El hallazgo de estructuras compatibles con *Entamoeba* sugiere posibles vías de transmisión indirecta por contaminación ambiental o por manipulación de alimentos y utensilios, lo que resalta la necesidad de protocolos estrictos de bioseguridad^{12,26,27}. Diversos estudios han documentado que los protozoarios intestinales pueden persistir en ambientes acuáticos mediante la formación de quistes resistentes, capaces de sobrevivir durante largos períodos en condiciones ambientales adversas. Estos quistes pueden ser ingeridos accidentalmente por los animales a través del agua o de superficies contaminadas, facilitando la transmisión dentro de instalaciones donde varios individuos comparten el mismo sistema acuático.

Investigaciones recientes han evidenciado la presencia de helmintos y protozoarios en tortugas marinas tanto en vida libre como en centros de rescate, resaltando la necesidad de monitoreo parasitológico continuo para evaluar su impacto potencial sobre la salud, el éxito reproductivo y la dinámica poblacional²¹. Desde una perspectiva ecológica, los parásitos también pueden actuar como indicadores biológicos de cambios en el ambiente marino, incluyendo contaminación, alteraciones en las redes tróficas o cambios en la disponibilidad de presas^{12,13}.

El hallazgo exclusivo de quistes en la última jornada, posterior a la desparasitación preventiva, indica una reducción efectiva de las formas activas de los parásitos^{29,30}, aunque persiste la posibilidad de resistencia o reinfección ambiental. Este resultado sugiere que los tratamientos antiparasitarios aplicados fueron capaces de disminuir la carga parasitaria activa presente en el tracto gastrointestinal de los individuos evaluados. No obstante, la presencia de quistes demuestra que algunos estadios parasitarios pueden persistir en el organismo o en el ambiente incluso después del tratamiento farmacológico.

Esto concuerda con evidencia de que los conteos de parásitos

en heces posteriores a tratamientos antiparasitarios constituyen una herramienta útil para evaluar la eficacia terapéutica y detectar posibles resistencias o persistencia del parásito^{29,30}. El monitoreo coproparasitológico seriado permite comparar la presencia de estructuras parasitarias antes y después de la administración de fármacos, facilitando una evaluación objetiva del tratamiento y la identificación de posibles reinfecciones^{15,16}. En medicina veterinaria, este tipo de seguimiento es fundamental para la toma de decisiones clínicas, el ajuste de protocolos terapéuticos y prevención del desarrollo de resistencia antiparasitaria^{27,29}.

En este contexto, la incorporación de exámenes coproparasitológicos, junto con hemogramas y pruebas clínicas, debe consolidarse como parte del protocolo médico estándar en programas de conservación y rehabilitación de tortugas marinas en Colombia. La implementación de evaluaciones sanitarias integrales permite detectar infecciones subclínicas que podrían pasar desapercibidas durante evaluaciones físicas rutinarias. Además, estos procedimientos contribuyen a garantizar que los individuos liberados al medio natural se encuentren en condiciones

óptimas de salud^{6,7,19}.

Dichos procedimientos no sólo garantizan la salud individual de los ejemplares rehabilitados, sino que también previenen la introducción de agentes patógenos a poblaciones silvestres, fortaleciendo la sostenibilidad y efectividad de las estrategias de conservación¹³. La liberación de animales sin evaluaciones sanitarias adecuadas podría representar un riesgo epidemiológico para poblaciones naturales, especialmente en especies que ya enfrentan múltiples amenazas ambientales.

A pesar de la información obtenida, el presente estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. En primer lugar, el tamaño de muestra fue limitado, lo que restringe la posibilidad de extrapolar los hallazgos a todas las poblaciones de tortugas marinas presentes en la región del Caribe colombiano. Estudios con un mayor número de individuos permitirían obtener una caracterización más completa de la diversidad parasitaria presente en tortugas marinas^{11,19}.

Sin embargo, es importante considerar que, en investigaciones realizadas con fauna silvestre, particularmente con especies amenazadas o en programas de rehabilitación, el

tamaño de muestra suele estar condicionado por factores éticos, logísticos y de bienestar animal. En muchos casos, los estudios no pueden incluir grandes cantidades de individuos, ya que el manejo excesivo de animales silvestres puede generar estrés fisiológico, aumentar el riesgo de lesiones o interferir con los procesos de recuperación en individuos rescatados. Por esta razón, numerosos estudios en medicina de la conservación utilizan submuestras representativas de una población específica, seleccionadas a partir de los individuos disponibles dentro de centros de rescate o programas de manejo^{11,19}.

En el caso de las tortugas marinas en rehabilitación, el número de individuos evaluados depende generalmente de los animales que ingresan a los centros de rescate durante un periodo determinado, así como de las condiciones clínicas que permiten su manipulación para la toma de muestras. Además, debido a su estatus de conservación y a las regulaciones que protegen a estas especies, los protocolos de investigación suelen priorizar procedimientos mínimamente invasivos y limitar la frecuencia de manipulación de los animales. En este contexto, el uso de muestras relativamente pequeñas constituye una

práctica común en estudios de fauna silvestre y permite obtener información valiosa sobre el estado sanitario de poblaciones locales sin comprometer el bienestar de los individuos evaluados^{6,7,19}.

A pesar de estas limitaciones, los estudios basados en poblaciones manejadas en centros de rehabilitación representan una oportunidad importante para generar información científica sobre la salud de especies marinas amenazadas. Estos entornos permiten realizar evaluaciones clínicas y diagnósticas que en muchos casos serían difíciles de implementar en individuos de vida libre. Por lo tanto, aunque el tamaño de muestra sea reducido, los resultados obtenidos pueden aportar información relevante para comprender la presencia de parásitos en tortugas marinas y contribuir al desarrollo de protocolos sanitarios que fortalezcan los programas de rehabilitación y conservación^{7,19}.

Asimismo, la identificación parasitaria se basó principalmente en características morfológicas observadas mediante técnicas coproparasitológicas convencionales^{15,17}. Estas metodologías continúan siendo herramientas ampliamente utilizadas en el diagnóstico parasitológico, especialmente en estudios de fauna silvestre, ya que

permiten la identificación preliminar de estructuras parasitarias como larvas, huevos o quistes a partir de rasgos morfológicos y morfométricos característicos observables al microscopio. En el presente estudio, la identificación de larvas tipo I compatibles con nematodos del género *Anisakis* y de estructuras compatibles con protozoarios del género *Entamoeba* se realizó con base en la morfología de las estructuras observadas, considerando características como forma, tamaño, presencia de cápsulas o membranas y otros rasgos diagnósticos descritos en la literatura parasitológica.

Diversos estudios han documentado que las tortugas marinas pueden albergar una amplia diversidad de parásitos gastrointestinales^{12,18}, incluyendo nematodos, trematodos, cestodos y protozoarios intestinales, los cuales pueden ser detectados mediante análisis coproparasitológicos convencionales. En particular, la presencia de nematodos pertenecientes a la familia *Anisakidae* ha sido reportada en diferentes vertebrados marinos que participan en complejas redes tróficas oceánicas, incluyendo reptiles marinos. Estos parásitos suelen incorporarse al hospedador a través de la ingestión de presas

infectadas, como peces o invertebrados marinos que actúan como hospedadores intermediarios o paraténicos. De manera similar, especies del género *Entamoeba* han sido reportadas en reptiles mantenidos en cautiverio, donde pueden detectarse mediante la observación de quistes o trofozoítos en muestras fecales.

Aunque las técnicas morfológicas permiten establecer una identificación preliminar basada en la evidencia observada, es importante reconocer que algunos grupos parasitarios presentan características microscópicas similares entre especies, lo que puede dificultar su diferenciación taxonómica precisa. Desde este punto de vista, la incorporación de técnicas moleculares, como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), podría permitir una identificación más específica de las especies parasitarias

involucradas²¹, así como una mejor comprensión de su epidemiología, diversidad genética y dinámica de transmisión dentro de los ecosistemas marinos.

Otra limitación importante corresponde a la naturaleza transversal del estudio, ya que las muestras fueron obtenidas en momentos específicos durante el proceso de

rehabilitación. Este tipo de diseño permite identificar la presencia de parásitos en un periodo determinado, pero no necesariamente refleja con precisión la dinámica temporal de las infecciones parasitarias en los individuos evaluados. En organismos marinos, la carga parasitaria puede variar en función de diversos factores, como el estado fisiológico del hospedador, las condiciones ambientales, la disponibilidad de presas infectadas y la respuesta inmunológica frente a los parásitos. En consecuencia, estudios longitudinales que incluyan un seguimiento prolongado de los individuos permitirían evaluar con mayor detalle la evolución de las infecciones parasitarias a lo largo del tiempo, así como la respuesta a los tratamientos antiparasitarios aplicados durante los procesos de rehabilitación^{10,11}.

Diversas investigaciones han señalado que el monitoreo sanitario continuo en tortugas marinas rescatadas puede proporcionar información valiosa sobre la evolución clínica de los individuos y sobre la relación entre el parasitismo, el estado fisiológico y el éxito de los procesos de recuperación^{8,10,11}. En particular, el seguimiento seriado mediante análisis coproparasitológicos y evaluaciones clínicas permite detectar cambios en la carga

parasitaria, identificar posibles reinfecciones y evaluar la eficacia de las intervenciones veterinarias implementadas en centros de rescate. Este tipo de aproximación resulta especialmente relevante en programas de conservación, donde la liberación de individuos rehabilitados debe basarse en una evaluación sanitaria rigurosa que minimice el riesgo de introducir patógenos o parásitos en poblaciones silvestres^{5,7}.

No obstante, a pesar de estas limitaciones metodológicas, los resultados obtenidos aportan información relevante sobre la presencia de parásitos gastrointestinales en tortugas marinas mantenidas en rehabilitación en el Caribe colombiano. La información disponible sobre la diversidad parasitaria en estas especies dentro de la región sigue siendo limitada, especialmente en contextos de manejo ex situ. En este sentido, estudios como el presente contribuyen a ampliar el conocimiento sobre los agentes parasitarios que pueden afectar a tortugas marinas en procesos de rescate y rehabilitación, proporcionando evidencia científica que puede ser utilizada para fortalecer los protocolos veterinarios y mejorar las estrategias de manejo sanitario en programas de conservación^{7,10}.

Además, la generación de datos sobre la presencia de parásitos en tortugas marinas rescatadas no solo tiene implicaciones clínicas, sino también ecológicas y epidemiológicas, ya que estos organismos forman parte de complejas interacciones dentro de los ecosistemas marinos. La identificación de parásitos asociados a estas especies puede aportar información relevante sobre las redes tróficas, las condiciones ambientales y los posibles factores de riesgo que influyen en la salud de las poblaciones marinas. Por lo tanto, aunque el presente estudio se basa en un número limitado de individuos y en un periodo de observación específico, los hallazgos obtenidos representan un aporte significativo para la comprensión del parasitismo en tortugas marinas en el Caribe colombiano y constituyen una base importante para futuras investigaciones que profundicen en la dinámica parasitaria y su relación con los procesos de rehabilitación y conservación de especies amenazadas^{10,11}.

Conclusión

El presente estudio permitió identificar la presencia de parásitos gastrointestinales en tortugas marinas *Caretta caretta* y *Eretmochelys imbricata* en proceso de rehabilitación, destacando la

detección de *Anisakis* spp. y estructuras compatibles con *Entamoeba*. Estos hallazgos confirman que el parasitismo constituye un componente frecuente en la biología de las tortugas marinas, aunque su impacto clínico puede intensificarse en individuos debilitados o sometidos a condiciones de estrés.

Los resultados evidencian que las infecciones parasitarias pueden afectar el estado digestivo, nutricional e inmunológico de las tortugas, incluyendo potencialmente en su proceso de recuperación y en el éxito de su liberación. En este aspecto, el monitoreo sanitario continuo se consolida como una herramienta clave para la detección temprana, el control de infecciones y la evaluación de la respuesta a los tratamientos^{7,10}.

Asimismo, la detección de *Anisakis* spp. resalta su valor como indicador de la dinámica parasitaria en los ecosistemas marinos, mientras que la presencia de protozoarios como *Entamoeba* evidencia la necesidad de fortalecer las condiciones de bioseguridad en los sistemas de rehabilitación^{6,19}.

En conjunto, la implementación de protocolos veterinarios integrales, basados en evaluaciones clínicas y coproparasitológicas

sistemáticas, permitirá optimizar los procesos de rehabilitación, reducir riesgos sanitarios y garantizar liberaciones seguras. De esta manera, se contribuye no solo al bienestar de los individuos tratados, sino también a la conservación efectiva de las poblaciones silvestres de tortugas marinas en el Caribe colombiano.

Agradecimientos

Se expresa agradecimiento al Acuario Mundo Marino, Santa Marta, por el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación. También se agradece a quienes contribuyeron a la realización del proyecto.

Referencias

1. Casale P, Tucker AD, Mazaris AD. *Caretta caretta*. The IUCN Red List of Threatened Species; 2017. doi:10.2305/IUCN.UK.2017-2.R LTS.T3897A119333622.en.
2. Mortimer JA, Donnelly M. *Eretmochelys imbricata*. The IUCN Red List of Threatened Species; 2008. doi:10.2305/IUCN.UK.2008.RL TS.T8005A12881238.en.
3. Seminoff JA, et al. Marine turtles and IUCN Red Listing: a review of the process, pitfalls, and novel assessment approaches. *J Exp Mar Biol Ecol*. 2008;356(1-2):52-68. doi:10.1016/j.jembe.2007.12.007.

4. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES). CoP16 Doc. 59. 2013. <https://cites.org/sites/default/files/eng/cop/16/doc/E-CoP16-59.pdf>.
5. Divers SJ, Mader DR, Read MA, editors. Mader's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery. 4th ed. St. Louis: Elsevier; 2022.
6. U.S. Fish and Wildlife Service. Standard conditions for care and maintenance of captive sea turtles. 2019.
7. European Association of Zoos and Aquaria (EAZA) Best practice guidelines for sea turtles (Cheloniidae). Amsterdam: EAZA; 2021. doi:10.61024/BPGSeaTurtlesEN
8. Marangi M, et al. Parasitological investigation and potential effects of parasitism on hematological, genotoxic and immune parameters in free ranging sea turtles rescued along the Southern Adriatic coast (Eastern Mediterranean Sea). (2024). doi:10.1016/j.marpolbul.2024.117274.
9. Jacobson ER, Garner MM, editors. Infectious Diseases and Pathology of Reptiles: Color Atlas and Text. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2020. doi:10.1201/9780429155567.
10. Lockley EC, Fouda L, Correia SM, et al. Long-term survey of sea turtles (*Caretta caretta*) reveals correlations between parasite infection, feeding ecology, reproductive success and population dynamics. Sci Rep. 2020;10:18569. doi:10.1038/s41598-020-75498-4.
11. Rosyadi I, Astuti RRUNW, Sofyantoro F, Siregar AR, Mafie E, Putri WA. Research trends analysis of veterinary clinical parasitology worldwide. Int J Vet Sci. 2025. doi:10.47278/journal.ijvs/2025.012.
12. Barata RA, et al. Survey of parasites in sea turtles rescued off the coast of Santa Catarina and Paraná, Brazil (2020–2022) and their relationship with marine pollution. Mar Pollut Bull. 2024;117:190. doi:10.1016/j.marpolbul.2024.116190.
13. López Vega B, Hurtado-Pampín C, de la Cruz-Modino R. Analysis of the protocols for action against strandings of sea turtles and their evolution in rehabilitation on Tenerife Island (Canary Islands, Spain). Ecologies. 2025;6:9. doi:10.3390/ecologies6010009.
14. World Association of Zoos and Aquariums (WAZA). Cambiando la marea: una estrategia global de acuarios para la conservación y sostenibilidad. Gland: WAZA; 2009. https://www.waza.org/wp-content/uploads/2024/02/AquariumStrategySpanish_compressed.pdf

15. Soares FA. A historical review of the techniques of recovery of parasites for stool examination. *Rev Soc Bras Med Trop*. 2020;53:e20190493. doi:10.1590/0037-8682-0493-2019.
16. Pulido-Medellin MO, Lopez Buitrago HA, Bulla-Castañeda DM, et al. Diagnosis of Gastrointestinal Parasites in Bovines of the Department of Boyacá, Colombia. *Revistacientífica*. 2022;(44):272-281. doi:10.14483/23448350.18500.
17. Anécimo R, Tonani K, Fregonesi B, et al. Adaptation of Ritchie's Method for Parasites Diagnosing with Minimization of Chemical Products. *Interdisciplinary perspectives on infectious diseases*. 2012;2012:409757. doi:10.1155/2012/409757.
18. Marangi M, Carlino P, Profico C, et al. First multicenter coprological survey on helminth parasite communities of free-living loggerhead sea turtles *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) from the Adriatic Sea and Northern Ionian Sea. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 2020;11:207-212. doi:10.1016/j.ijppaw.2020.02.006.
19. Diggins R, Burrie R, Ariel E, et al. A review of welfare indicators for sea turtles undergoing rehabilitation, with emphasis on environmental enrichment. *Anim Welf*. 2022;31(2):219–230. doi:10.7120/09627286.31.2.006.
20. Escobedo-Bonilla CM, Quiros-Rojas N, Rudín-Salazar E, et al. Rehabilitation of marine turtles and welfare improvement by application of environmental enrichment strategies. *Animals (Basel)*. 2022;12(3):282. doi:10.3390/ani12030282.
21. Godínez González C. Desarrollo y evaluación de técnicas de PCR en tiempo real para la detección y cuantificación de *Anisakis* (Nematoda, Anisakidae) en pescado y productos procesados [tesis doctoral]. Barcelona: Universitat de Barcelona; 2020. doi:10.803/668796
22. Marchiori E, et al. An extensive survey on helminth community of *Caretta caretta* in the Northern Adriatic Sea. *Sci Rep*. 2025. doi:10.1038/s41598-025-15272-6.
23. Oros M, Barčák D, Antolová D, Fecková M, Scholz T. Zoonotic marine nematode infection of fish products in landlocked country, Slovakia. *Emerg Infect Dis*. 2023;29(12):2578–2580. doi:10.3201/eid2912.230674.
24. Shamsi S, Barton DP. A critical review of anisakidosis cases occurring globally. *Parasitol Res*. 2023;122(8):1733-1745. doi:10.1007/s00436-023-07881-9.

25. McFarland A, Conley KJ, Seimon TA, Sykes JM. A retrospective analysis of amoebiasis in reptiles in a zoological institution. *J Zoo Wildl Med.* 2021;52(1):232-240. doi:10.1638/2020-0148.
26. Candan C, Karatepe M, Karatepe B. *Entamoeba histolytica* in different water sources of Niğde Province of Turkey. *Acta Parasitol.* 2024;69(3):1517-1521. doi:10.1007/s11686-024-00886-z.
27. Bourli P, Vafae Eslahi A, Tzoraki O, Karanis P. Waterborne transmission of protozoan parasites: A review of worldwide outbreaks – An update 2017–2022. *J Water Health.* 2023;21(10):1421-1447. doi:10.2166/wh.2023.094.
28. Brewer LA, Denver M, Whitney M, Eichinger DJ. Analysis of commercial *Entamoeba histolytica* ELISA kits for the detection of *Entamoeba invadens* in reptiles. *J Zoo Wildl Med.* 2008;39(3):493-495. doi:10.1638/2007-0182.1.
29. Fissiha W. Anthelmintic resistance and its mechanism: a review. *J Parasit Dis.* 2021; 45(4):741-756. doi:10.2147/IDR.S332378.
30. Lenartovicz-Boeira V. Mass treatment does not reduce the prevalence of intestinal parasites. *RSD J.* 2021;10(2). doi:10.33448/rsd-v10i11.19524



02

Casos Clínicos

Ácido hipocloroso en el tratamiento de pododermatitis en Equus asinus: reporte de caso

Hypochlorous acid in the treatment of pododermatitis in Equus asinus: a case report

García Rojas, Darwin Antonio¹
<https://orcid.org/0000-0002-9749-0055>

Campos Arenas, Lisbeth²
<https://orcid.org/0000-0002-5493-2589>

Terraza Martínez, Ricci¹
<https://orcid.org/0000-0001-8693-1276>

Pimienta Charry, Aleida Judith²
<https://orcid.org/0000-0002-8482-8635>

Torres Castro Hair Cediel³
<https://orcid.org/0009-0004-8024-9603>

Romero Cárdenas, Elkin Orlando¹
<https://orcid.org/0000-0002-1062-3354>

Martín Fertig, Harald Michael³
<https://orcid.org/0009-0005-0695-8337>

Acero-Plazas, Víctor Manuel^{4,5,6}
<https://orcid.org/0000-0002-3202-7086>

¹Instituto Universitario de la Paz, Grupo de investigación PROCA, Barrancabermeja Santander.

²Instituto Universitario de la Paz, Grupo de investigación CIDICA, Barrancabermeja Santander.

³Laboratorios LT S.A.S., Heidelberg, Alemania, Vetisure®, Medellín, Colombia.

⁴Grupo de Investigación de Producción y Salud en Medicina Veterinaria y Zootecnia (PROSAVEZ), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Fundación Universitaria San Martín (FUSM), Bogotá, Colombia.

⁵Comité de Medicina Tropical, Zoonosis y Medicina del Viajero de la Asociación Colombiana de Infectología (ACIN), Bogotá, Colombia.

⁶Asociación Nacional de Médicos Veterinarios de Colombia (AMEVEC), Bogotá, Colombia.

Autor de correspondencia:
victor.acero@sanmartin.edu.co

Resumen

El ácido hipocloroso en agua electrolizada es una sustancia natural que ha sido utilizada para la regeneración de tejidos en animales y humanos, de manera inocua y con un espectro amplio. El objetivo de este reporte de caso es describir el efecto del ácido hipocloroso en el tratamiento de pododermatitis infecciosa en un équido. Se presenta un paciente *Equus asinus* con una lesión en un miembro. El paciente es valorado en el Centro de Investigaciones Santa Lucía, Universidad de la Paz (Barrancabermeja, Santander). El animal es mantenido en un potrero de zona baja inundable y presenta cojera marcada en el miembro anterior derecho, con lesión crónica en la muralla del casco. El examen revela exudado purulento en el rodete coronario, desprendimiento de la muralla y presencia de tejido necrótico en la suela y la línea alba, compatible con un proceso infeccioso activo. El cultivo bacteriológico identificó cocos Gram positivos en racimos irregulares, catalasa y coagulasa positivos, compatibles con *Staphylococcus* spp., con resistencia a trimetoprim-sulfa y ciprofloxacina, y sensibilidad a amoxicilina-clavulanato, cefradina, tetraciclina y penicilina G. El tratamiento instaurado incluyó la administración local y sistémica de Vetisure® (ácido hipocloroso en agua electrolizada, 450 ppm), aplicado tópicamente y por vía intravenosa durante cinco días. No se observaron efectos adversos. El seguimiento clínico evidenció mejoría progresiva, con resolución de la secreción purulenta, disminución del dolor y desaparición del mal olor. Este caso confirma la eficacia y seguridad del ácido hipocloroso obtenido por electrólisis como recurso terapéutico veterinario en lesiones podales infectadas, destacando su perfil de seguridad y la ausencia de resistencia antimicrobiana.

Palabras claves: pododermatitis, herida, ácido hipocloroso, desinfectante, bactericida.

Abstract

Hypochlorous acid in electrolyzed water is a natural substance that has been used safely and effectively for tissue regeneration in both animals and humans, with a broad spectrum of activity. The objective of this case report is to describe the effect of hypochlorous acid in the treatment of infectious pododermatitis in an equid. An *Equus asinus* patient presenting with a limb lesion was evaluated at the Santa Lucía Research Center, Universidad de la Paz (Barrancabermeja, Santander, Colombia). The animal was maintained on pasture in a low-lying flood-prone area and exhibited marked lameness of the right forelimb, associated with a chronic lesion of the hoof wall. Clinical examination revealed purulent exudate at the coronary band, separation of the hoof wall, and the presence of necrotic tissue in the sole and white line, consistent with an active infectious process. Bacteriological culture identified Gram-positive cocci arranged in irregular clusters, catalase- and coagulase-positive,

compatible with *Staphylococcus* spp. The isolate exhibited resistance to trimethoprim-sulfamethoxazole and ciprofloxacin and susceptibility to amoxicillin-clavulanate, cephadrine, tetracycline, and penicillin G. Treatment consisted of local and systemic administration of Vetisure® (hypochlorous acid in electrolyzed water, 450 ppm), applied topically and intravenously for five days. No adverse effects were observed. Clinical follow-up demonstrated progressive improvement, characterized by resolution of purulent discharge, reduction of pain, and disappearance of malodor. This case confirms the efficacy and safety of electrolytically generated hypochlorous acid as a therapeutic veterinary resource for the management of infected hoof lesions, highlighting its favorable safety profile and the absence of antimicrobial resistance.

Keywords: Pododermatitis, wound, hypochlorous acid, disinfectant, bactericidal

Introducción

El casco de los équidos crece durante toda la vida del animal y sus estructuras están adaptadas para soportar determinados niveles de desgaste, resistir el peso corporal y protegerse del medio ambiente. Las patologías que afectan los cascos comprometen principalmente los miembros anteriores, ya que estos son responsables de sobrellevar más del 60 % del peso vivo del animal¹. Las lesiones locomotoras son responsables de la gran mayoría de las consultas en medicina veterinaria en grandes animales. Un gran porcentaje de esas lesiones puede referirse a la laminitis, la cual es una enfermedad común dentro de la medicina equina y se considera una de las principales patologías responsables de causar claudicación en los caballos. También conocida como pododermatitis aséptica difusa, la laminitis es una enfermedad inflamatoria que afecta los cascos de los caballos, con diversos mecanismos que pueden conducir a la degeneración

laminar y, si no se diagnostica o no se maneja de manera oportuna y efectiva, puede progresar a estados crónicos y comprometer gravemente la calidad de vida del equino y su utilidad zootécnica. La identificación temprana, el diagnóstico preciso y la implementación de un protocolo terapéutico integral son pilares para la recuperación de la salud podal².

A pesar de contar con un aparato locomotor reforzado y adaptado a diversos tipos de terreno, los équidos están expuestos a ciertas enfermedades que afectan las estructuras de sus miembros. Entre ellas, destaca la pododermatitis séptica. Debido a su proximidad al suelo, las heridas en los cascos se contaminan fácilmente con heces y otros elementos del medio ambiente. Si el animal no recibe tratamiento inmediato, esta contaminación puede evolucionar hacia una infección y provocar el desprendimiento de las láminas epidérmicas y

dérmicas del casco. Esta situación puede dar lugar a complicaciones graves, como la infección de las láminas expuestas, la fractura o pérdida parcial de la falange distal, así como la inflamación de la articulación interfalángica distal y de las estructuras adyacentes³.

La línea blanca es la zona de unión en el casco y su compromiso permite la entrada de patógenos que pueden propagarse hacia las estructuras internas del pie del caballo, incluidas la suela y el rodete coronario. El daño en la suela y las lagunas de la ranilla con presencia de tejido necrótico son indicativos de una infección bacteriana profunda que puede estar asociada con abscesos o fístulas que drenan hacia el rodete coronario⁴.

La incorporación a la práctica de la medicina veterinaria de nuevos medicamentos eficaces y seguros constituye una de las tareas prioritarias de la farmacología moderna. En la actualidad, el desarrollo de fármacos para la prevención y el tratamiento de enfermedades representa uno de los problemas médico-biológicos y veterinarios más importantes y relevantes. El ácido hipocloroso es un compuesto de bajo peso molecular, portador ideal de oxígeno activo, capaz de atravesar libremente las membranas celulares y, en consecuencia, oxidar toxinas presentes no solo en la sangre, sino también en los tejidos. La

actividad farmacológica de estas soluciones está determinada por el oxígeno liberado en estado activo⁵. Algunos estudios determinaron que las soluciones de ácido hipocloroso obtenidas mediante electrólisis son de muy baja toxicidad. La dosis letal media (DL50) no pudo ser determinada. El hecho de que el ácido hipocloroso se produzca de forma natural por los neutrófilos durante la fase final de la fagocitosis confirma que la solución obtenida es poco tóxica, ambientalmente segura e incapaz de provocar efectos adversos ni consecuencias tardías en el organismo de los animales^{6,7}.

Se ha evidenciado que, al utilizar el ácido hipocloroso por vía intramamaria en el tratamiento contra la mastitis subclínica en bovinos, se reduce de manera considerable el conteo de células somáticas, empleando 20 y 30 ml, evidenciándose la capacidad antiinflamatoria de esta sustancia, además de controlar la acumulación de queratinocitos y fibroblastos en el área de inflamación^{8, 9}. Algunos estudios detallan que el ácido hipocloroso es un compuesto de amplio espectro antimicrobiano, con acción rápida y alta eficacia; se ha demostrado su efectividad contra bacterias multirresistentes al ser expuestas por un periodo de 30 segundos. Además, favorece la regeneración de tejidos sin alterar la respuesta inmune local en los tejidos tratados. Es muy seguro, ya que no existe evidencia de

posible resistencia, no es irritante y no causa mancha en los tejidos. Por otro lado, estudios realizados en lavados uterinos en bovinos demostraron que el uso de ácido hipocloroso disuelto en agua hidrolizada para el tratamiento de la endometritis bovina posparto tiene acción bacteriostática y bactericida; además, favorece la cicatrización de los tejidos y reduce el tiempo de recuperación⁹.

Este reporte de caso se centra en la presentación clínica, el diagnóstico y el abordaje terapéutico de un asno reproductor que manifiesta una pododermatitis séptica crónica en el miembro anterior derecho, caracterizada por un extenso daño en la muralla, la suela y la línea blanca del casco. A través de este análisis se busca ilustrar los desafíos inherentes al manejo de estas patologías complejas y la importancia de un enfoque multidisciplinario que integre conocimientos de podología, medicina veterinaria y cuidado animal.

Presentación del caso

En el Centro de Investigaciones Santa Lucía, Universidad de la Paz, Barrancabermeja, Santander, se presenta a consulta un asno (*Equus asinus*) macho entero utilizado como reproductor con una edad de 14,6 años. El animal se encuentra bajo un sistema de manejo en potrero en zona baja inundable. El animal pertenece al Instituto Universitario de La Paz

del núcleo académico e investigativo.

Anamnesis

El paciente muestra una cojera marcada en el miembro anterior derecho, con lesión en la muralla del casco de aproximadamente un año de evolución. Quince días antes de la consulta, se le administró penicilina benzatínica de seis millones de unidades como tratamiento y curaciones diarias mediante aspersión con sulfato de cobre y formol al 5 %. El animal permanecía en el potrero.

Examen semiológico y hallazgos clínicos

El paciente presenta cojera en el miembro anterior derecho y una lesión en la muralla del casco. A la exploración semiológica, la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la temperatura se encuentran en rangos normales. Al examen físico se observa, en el miembro anterior derecho, exudado purulento a nivel del rodete coronario con desprendimiento aparente del casco en la zona medial, lo cual indica un proceso inflamatorio e infeccioso activo en la banda coronaria donde se origina el crecimiento del casco. Se evidencia pérdida de la continuidad de la muralla a nivel de las pinzas (la parte frontal del casco) y del casco en general (2 cm de ancho x 10 cm de largo).

Esta lesión expone la estructura de la línea blanca, lo que sugiere una deslamelación significativa y

la posible invasión de agentes patógenos en tejidos más profundos. A nivel palmar, se aprecian lesiones en la suela, las lagunas laterales y central de la ranilla, así como una lesión en la línea alba y presencia de tejido necrótico en la suela y la línea alba. Además, se percibe mal olor asociado a las lesiones (Figura 1), característica que podría ser indicativa de un proceso infeccioso bacteriano, probablemente anaerobio.



Figura 1. Vista frontal del casco. Se aprecia el desprendimiento del casco a nivel del rodete coronario (A) y pérdida de continuidad de la muralla (B). Vista plantar del casco. Nótese la lesión a nivel de la suela (C) y la línea alba (D). Fuente: Centro de Investigaciones Santa Lucía, Universidad de la Paz, 2025.

Exámenes paraclínicos

Cultivo y antibiograma: en un laboratorio clínico veterinario se realizó un cultivo bacteriológico a partir de una muestra obtenida mediante hisopado del sitio de la lesión, en el rodete coronario, donde se evidenciaba la salida de material purulento. Los cultivos se realizaron en agar nutritivo y agar sangre de cordero al 5 % (Figura 2) y tinción de Gram.



Figura 2. Cultivo en agar sangre de cordero 5 %. Resultados del antibiograma. Se evidencia la resistencia y sensibilidad en los diferentes sensibilizadores. Fuente: LACLIVET, 2025.

El resultado arrojó bacterias con morfología esférica agrupadas en racimos irregulares Gram positivas (≥ 100.000 UFC), catalasa y coagulasa positivos compatibles con *Staphylococcus* spp. Además, se realizó un antibiograma, el cual arrojó que las bacterias presentes en la muestra de exudado poseen resistencia a los siguientes antibióticos: trimetoprim-sulfa (SXT 25 μ g) y ciprofloxacina (CIP 5 μ g). Asimismo, se evidenció sensibilidad a: amoxicilina-clavulanato (AML 10 μ g), cefradina (CE 30 μ g), tetraciclina (TE 30 μ g) con y penicilina G (P 10 UI).

Diagnóstico

Se concluyó que el diagnóstico final fue pododermatitis de origen bacteriano, causada por bacterias Gram positivas, compatibles con *Staphylococcus* spp.

Tratamiento

En primer lugar, se pasó el animal a estabulación y se realizó la tricotomía (rasurado) en el rodete coronario. Posteriormente, se instauró el tratamiento con

Vetisure® (ácido hipocloroso en agua electrolizada a 450 ppm). De forma local, se llevó a cabo una curación diaria previa limpieza con solución salina y se aplicó directamente el Vetisure® con un espray sobre la zona afectada, tanto en la suela como en la muralla del casco. El acceso venoso se efectuó mediante técnica aséptica. Luego, se disolvieron 100 ml (0,045 ml de ácido hipocloroso) de Vetisure® en 500 ml de suero fisiológico. Se administraron dos bolsas en 24 horas a razón de tres gotas (0,1 ml) por segundo; se aplicaba una bolsa y se esperaba alrededor de 15 a 20 min antes de iniciar la segunda. Esta dosis se aplicó durante cinco días. El animal no presentó reacciones adversas ni efectos colaterales. Se monitorearon la frecuencia cardíaca, respiratoria, temperatura, apetito y consumo de agua ad libitum.

Tras el tratamiento, se evidenció de manera macroscópica mejoría de las lesiones compatibles con pododermatitis. Asimismo, se determinó la ausencia de secreción purulenta, disminución del dolor y reducción del mal olor (Figura 3).



Figura 3. Apariencia del casco después de cinco días de tratamiento. Nótese la recuperación del tejido y la mejoría en la zona del rodete coronario. Fuente: Centro de Investigaciones Santa Lucía, Universidad de la Paz, 2025.

Discusión

El diagnóstico final se aproxima a una pododermatitis séptica crónica con necrosis tisular. Las infecciones bacterianas, particularmente por anaerobios, son frecuentes en lesiones profundas del casco y, a menudo, cursan con la producción de exudado purulento y mal olor¹⁰, similar a lo reportado en este paciente. El uso del ácido hipocloroso ha sido reportado en múltiples estudios en humanos y animales. Particularmente, en pequeños animales, existen reportes en Colombia sobre su uso en casos clínicos de heridas crónicas, incluso asociadas con bacterias resistentes, así como en la recuperación de heridas quirúrgicas^{11,12}. En grandes animales, se ha utilizado y probado en distintos casos clínicos de heridas, abscesos y lesiones, tales como el piogranuloma en la cerneja de una yegua, la mastitis y la onfalitis en terneros, entre otros^{13,14}. Estos reportes demuestran su eficacia en diversos tipos de lesiones, de manera similar a lo evidenciado en el presente caso.

Asimismo, se ha utilizado en infecciones intrauterinas mediante tres lavados cada 24

horas en vacas con endometritis posparto. En los animales tratados, se observó una disminución de la inflamación y la infección, así como una involución uterina más rápida⁹. Además, se reportó una alta eficacia en presencia de secreciones purulentas, similar a la evidenciada en este caso.

La eficacia contra *Staphylococcus* spp. ha sido reportada desde años atrás, incluso frente a otros agentes, tales como *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *B. subtilis* y *C. albicans*. Además, esta sustancia exhibe efectos bactericidas, esporicidas y fungicidas marcados, así como una actividad multifuncional y prolongada contra diversas bacterias y hongos, y es segura para el medio ambiente⁵. La administración de esta sustancia debe considerarse bajo criterio médico veterinario. Algunos estudios reportan la eficacia del ácido hipocloroso (en agua electrolizada, no de forma química) en felinos, por ejemplo: al 20 % en solución salina; al 0,9 %, pero directamente en la vejiga, por ejemplo¹⁵. Asimismo, existen reportes de su utilización en cavidades, como el peritoneo, en modelos animales¹⁶. Sin embargo, se deben adoptar todas las precauciones necesarias y monitorear al paciente durante su administración, además de emplear solo soluciones estériles y técnicas asépticas.

Conclusiones

El ácido hipocloroso en agua electrolizada es una sustancia eficaz en lesiones y heridas infectadas, no genera ningún tipo de resistencia y no se evidenciaron efectos colaterales o secundarios en el caso clínico.

El uso de HOCl, obtenido por electrólisis, como recurso veterinario es eficaz, ya que posee un alto perfil de seguridad y un índice terapéutico favorable.

Recomendaciones

En pacientes con heridas complicadas como la del caso clínico puede ser más eficaz aumentar la frecuencia de la terapia (2 a 4 veces al día).

En la aplicación intravenosa no exceder las 3 gotas/seg de solución (18 ml por minuto), ya que, a 4 gotas por minuto (24 ml/min), se evidenciaron alteraciones en el animal, como salida de líquido por los ollares, intranquilidad y flebitis a las 24 horas en el sitio de inyección.

Conflicto de intereses

Ninguno.

Referencias

1. Dobler GH, de Oliveira HS, Almeida MR. Relato de caso: tratamiento de ferida perforante no dígito de equino. *ArqVet.* 2023; 26(1cont):83-98. <https://doi.org/10.25110/arqv-et.v26i1cont-007>

2. de Carvalho DC. Laminite aguda em um equino: Relato de caso. PUBVET. 2024, 18(7):e1626 <https://doi.org/10.31533/pubvet.v18n07e1626>
3. Reis L de SA, Campebell R de C, Câmara ACL, Neto ART, de Castro MB, Wilson TM, et al. Avulsão parcial de casco em equino com crescimento laminar em aparente fluxo ascendente. Rev. Acad. Ciênc. Anim. 2018;16(1):1-10. <https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/23794>
4. O'Grady SE, Burns TD. White line disease: A review (1998–2018). Equine Vet Educ. 2021;33: 102-112. <https://doi.org/10.1111/eve.13201>
5. Brezvyn OM, Kotsiumbas IY, Hyrenko DV, Luk'yanenko TV, Shmychkova OB, Dmitrikova LV, et al. Study of the antimicrobial action and disinfecting properties of the hypochloritic acid solution obtained by the electrolysis method. SMLNUVMB. 2024;26(114):124-31. <https://nvlvet.com.ua/index.php/journal/article/view/5159>
6. Brezvyn OM, Kotsiumbas IY, Velichenko OB, Shmychkova OB, Luk'yanenko TV, Girenko DV, et al. Pharmacological evaluation and preclinical studies of hypochlorous acid solution. Ukr J Vet Agric Sci. 2023;6(2):8-13. [10.32718/ujvas6-2.02](https://doi.org/10.32718/ujvas6-2.02)
7. Brezvyn O, Kotsiumbas I, Hyrenko D, Lukianenko T, Shmychkova O, Dmitrikova L, et al. Development of methods for controlling the quality of hypochlorous acid solution obtained by electrochemical synthesis. Sci Messenger LNU Vet Med Biotechnol Ser Vet Sci. 2023;25(111):43-47. [10.32718/nvlvet11107](https://doi.org/10.32718/nvlvet11107)
8. Rubio Rubio FL. Eficacia del uso de Ácido Hipocloroso para el Tratamiento de Mastitis Subclínica Bovina en la Finca “Mi Salvación” del Municipio de Becerril, Departamento del Cesar. Trabajo de grado. Universidad de Santander. Valledupar, Cesar. 2025. <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstream/s/b6b922fa-ead6-4b97-a7c8-8fcdcdfa3752/content>
9. Lozada Salcedo EE, Fuentes Lagla AF, Rosero PeñaHerrera MA, Aragadvay Yungan RG, Campoverde Crespo VP, Barbecho Quinche PB, Acero Plazas VM, Fertig HMM. Ensayo sobre lavados intrauterinos. Efecto del ácido hipocloroso en agua electrolizada como inhibidor de bacterias causantes de endometritis bovina posparto.

- Infortambo Andina. 2020;140:44-6.
10. Belknap JK, Black SJ. Sepsis-related laminitis. *Equine Vet J*. 2012;44(6):738-40. [10.1111/j.2042-3306.2012.00668.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2012.00668.x)
 11. Acero V, Fertig H. El Ácido Hipocloroso como tratamiento alternativo, innovador y natural de heridas en Medicina Veterinaria: casos exitosos. *Revista ACOVEZ*. 2015; 44(3): 23-25
 12. Acero Plazas VM, Martínez Méndez PP, Martínez Padua PP, Martínez Padua IR, Ramírez Castaño HJ, Caballero Giraldo LD. El ácido hipocloroso como regenerador de tejidos: reporte de caso en medicina veterinaria. *Rev Colomb Cienc Pecu*. 2017;30(Supl).
 13. Marín Camacho J, Acero Plazas VM, Martín Fertig HM. El ácido hipocloroso como tratamiento alternativo en la cicatrización de heridas en animales. *Rev Colomb Cienc Pecu*. 2017;30(Supl).
 14. Acero Plazas VM, Fertig HM, Ramírez Rodríguez JJ. El ácido hipocloroso en agua súper electrolizada como agente cicatrizante en medicina veterinaria: presentación de dos casos clínicos. *Rev Colomb Cienc Pecu*. 2019;32(Supl):S1-S7.
 15. Elmacı S, Bayendur SH, Acar A. Effectiveness of hypochlorous acid in cats with bacterial cystitis. *Vet Sci Pract*. 2024;18(3):107-111. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3631964>
 16. Ball RL, Garg G, Vazquez JS, Day A, Moffatt LT, Robson MC, Shupp JW. Hypochlorous Acid Solution Is Safe for Intracavitary Lavage: Examination in a Rodent Model. *Eplasty*. 2021 Jan 9;21:e1. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7802432/pdf/eplasty21e01.pdf>



03

Revision de literatura

Acupuntura veterinaria y su impacto en el bienestar y la calidad de vida de los pacientes y sus cuidadores: una revisión de literatura

Veterinary acupuncture and its impact on the well-being and quality of life of patients and their caregivers: a literature review.

Liliana Paola Rincón Rozo

Médico veterinario zootecnista. Directora Animal Jing

Autora de correspondencia: lilipaorincon@gmail.com;

lilipaorincon@yahoo.es

<https://orcid.org/0009-0004-9099-2871>

Resumen

La acupuntura veterinaria ha ganado reconocimiento como herramienta terapéutica complementaria para el tratamiento y manejo de condiciones crónicas en animales de compañía. No obstante, su repercusión en el bienestar del cuidador humano, mediada por el vínculo humano-animal, representa todavía un área poco estudiada. Esta revisión narrativa, basada en 84 referencias, de las cuales el 77,4 % corresponde a publicaciones de los últimos cinco años, extraídas de PubMed, ScienceDirect y Google Scholar, incluyó artículos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis y reportes de caso en inglés, español y portugués, con el objetivo de analizar el impacto de la acupuntura sobre la calidad de vida de los pacientes veterinarios y sus cuidadores. Los resultados muestran mejoras significativas en movilidad, reducción del dolor y preservación funcional en diversas patologías clínicas, neurológicas y musculoesqueléticas. Esta evolución clínica repercute positivamente en el cuidador y disminuye su carga emocional, el estrés físico y los gastos económicos, al mismo tiempo que consolida el vínculo afectivo. La evidencia científica en Latinoamérica es limitada, pero muestra una clara tendencia creciente. En conclusión, la acupuntura veterinaria, integrada en protocolos multimodales, constituye una intervención de doble beneficio que optimiza el bienestar del paciente y alivia al cuidador, lo que demuestra que tratar adecuadamente al animal es también cuidar a quien lo cuida.

Palabras clave: acupuntura veterinaria, bienestar animal, calidad de vida, vínculo humano-animal.

Abstract

Veterinary acupuncture has gained recognition as a complementary therapeutic tool in the management of chronic conditions in companion animals, and its potential impact on the well-being of human caregivers through the human-animal bond represents a dimension that remains underexplored in the scientific literature. This narrative review was conducted through searches in PubMed, ScienceDirect and Google Scholar, including original articles, systematic reviews, meta-analyses and case reports in English, Spanish and Portuguese, with 84 references of which 77.4 % correspond to publications from the last five years. Acupuncture demonstrated improvements in mobility, pain reduction and preservation of functionality across various chronic, neurological and musculoskeletal conditions, with documented impact on patient quality of life across multiple dimensions. The clinical improvement of the animal directly impacts the human caregiver, reducing emotional, physical and economic burden while strengthening the human-animal bond. Evidence in the Latin American context is limited but growing. Veterinary acupuncture integrated into multimodal protocols represents a dual-benefit intervention, for the patient and for the caregiver, where caring well for the animal is also, inevitably, caring for those who care for them.

Keywords: veterinary acupuncture, animal welfare, quality of life, human-animal bond.

Introducción

En las últimas décadas, la medicina veterinaria ha incorporado de manera creciente técnicas complementarias e integrativas, entre las cuales la acupuntura destaca como una herramienta alternativa en el

manejo de diversas condiciones clínicas^{1,2}. Paralelamente, el concepto de bienestar animal ha evolucionado desde la mera ausencia de enfermedad hasta incluir dimensiones físicas, emocionales y conductuales³⁻⁵, mientras que la calidad de vida

se ha consolidado como un indicador clave para evaluar el impacto de las intervenciones terapéuticas en la funcionalidad, el confort y el comportamiento del paciente^{6,7}.

No obstante, el abordaje clínico en medicina veterinaria no involucra únicamente al animal como paciente, sino también a su cuidador, quien desempeña un papel fundamental en el manejo, la recuperación y el seguimiento. En especial, cuando los pacientes padecen enfermedades crónicas limitantes, los cuidadores experimentan una carga física y emocional que afecta su propia calidad de vida, incluyendo alteraciones en sus rutinas, descanso y bienestar general⁸⁻¹⁰. Por ello, resulta relevante analizar la acupuntura no solo como una herramienta terapéutica dirigida al paciente, sino como una intervención con potencial impacto sobre el vínculo humano-animal^{11,12}. La mejoría de la condición clínica del paciente podría traducirse en una disminución de la carga del cuidador, lo que favorece el bienestar y la calidad de vida de ambos¹³⁻¹⁵.

El presente artículo tiene

como objetivo analizar la evidencia científica disponible sobre el impacto de la acupuntura en el bienestar y la calidad de vida de los pacientes veterinarios y sus cuidadores a través de una revisión de la literatura.

Metodología

Se realizó una revisión narrativa de la literatura mediante una búsqueda bibliográfica en PubMed, ScienceDirect y Google Scholar. Para ello, se utilizaron combinaciones de palabras clave en inglés, español y portugués: "veterinary acupuncture", "animal welfare", "quality of life", "pain management", "human-animal bond" y "caregiver burden" con operadores booleanos. Se incluyeron artículos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, revisiones narrativas y reportes de casos relacionados con la acupuntura veterinaria, el bienestar y la calidad de vida animal, y la carga del cuidador. Se priorizaron publicaciones entre 2021 y 2026 (77,4 % del total), sin excluir referencias fundacionales anteriores. Se excluyeron resúmenes de

congresos y artículos sin acceso al texto completo. Los hallazgos se organizaron en cinco categorías temáticas: acupuntura veterinaria, bienestar y calidad de vida animal, efectos de la acupuntura en la recuperación de la calidad de vida animal, vínculo humano-animal e impacto en el cuidador. Se incluyeron 84 referencias.

Acupuntura

Historia y fundamentos filosóficos

La acupuntura es una práctica terapéutica originada en la medicina tradicional china con más de 2500 años de historia. Sus raíces se remontan al Neolítico, cuando los ancestros chinos utilizaban instrumentos de piedra para tratar enfermedades¹⁶. El término "acupuntura" fue acuñado alrededor de 1690 por el médico holandés Wilhelm Ten Rhijne¹⁷. El Canon interno del emperador amarillo, considerado el libro más antiguo y esencial de la medicina china, postuló que el cuerpo está constituido por dos aspectos opuestos e interdependientes, el yin y el yang, cuyo equilibrio determina la salud y cuya

ruptura origina la enfermedad. La teoría de los cinco elementos explica las relaciones fisiológicas y patológicas entre los órganos internos y concibe al paciente como una totalidad orgánica inseparable de su entorno natural¹⁷. El concepto central es el Qi, energía vital que fluye a través de vías definidas denominadas meridianos, cuya estimulación mediante agujas permite restaurar el equilibrio del organismo^{1,16}.

Acupuntura veterinaria

La medicina tradicional china veterinaria tiene igualmente una historia milenaria, que comenzó a desarrollarse cuando los antiguos pueblos intentaron comprender las enfermedades de los animales domésticos mediante el ensayo y el error. Aunque en China su uso se concentraba en especies agropecuarias como bovinos, porcinos y equinos, en la sociedad occidental moderna y, particularmente, en Latinoamérica, los perros y gatos ocupan un lugar cada vez más relevante en la investigación y la práctica clínica, en respuesta al creciente rol de estas especies como animales de

compañía^{1,18,19}.

Una característica notable de la respuesta animal a la acupuntura es su rapidez; los animales responden a la estimulación más rápidamente que los seres humanos, posiblemente debido a la ausencia de bloqueos psicológicos²⁰. Esta respuesta más directa representa, además, una ventaja metodológica importante: dado que los animales no pueden ser sugestionados por expectativas de efecto terapéutico, la eficacia documentada en la práctica veterinaria constituye un argumento sólido a favor del método y descartaría el efecto placebo como explicación de los resultados²¹.



Figura 1. Sesión de acupuntura y moxibustión en paciente canino. Fuente: archivo personal. Choachí, Colombia, febrero 2026.

Mecanismo de acción

Los mecanismos de acción de la acupuntura son multimodales y operan en tres niveles interconectados: local, espinal y supraespinal²². La alta densidad de terminaciones nerviosas, mastocitos y vasos sanguíneos en los puntos de acupuntura explicaría por qué la inserción de la aguja desencadena una amplia cascada de respuestas bioquímicas²³. Desde una perspectiva de biología de sistemas, esta amplitud de acción se explica porque la acupuntura modula simultáneamente redes proteómicas, metabolómicas y genómicas, lo que produce efectos en múltiples sistemas orgánicos con una sola intervención²⁴.

A nivel local, la inserción de la aguja produce vasodilatación, aumento del flujo sanguíneo, relajación muscular y modulación de la respuesta inmunológica²⁵. A nivel espinal, el estímulo propioceptivo generado bloquea la transmisión del dolor, reduciendo la hiperalgesia y la alodinia en pacientes con dolor crónico y neuropático^{25,26}. A nivel supraespinal, activa las

vías descendentes inhibitorias del dolor, lo que provoca la liberación de β -endorfina, dinorfinas, serotonina, encefalinas, norepinefrina y dopamina, péptidos opioides y efectos inmunomoduladores que amplían el espectro de acción más allá del control del dolor convencional²⁷, con efectos analgésicos que pueden prolongarse hasta por un año en algunos casos. Además, la acupuntura ejerce efectos neuroprotectores documentados en modelos animales, en los que ha demostrado que puede inhibir el estrés oxidativo, la neuroinflamación y la apoptosis celular, aumentar la plasticidad sináptica y generar cambios estructurales reales en el tejido neuronal²⁸.

Los puntos de acupuntura en animales tienen acción sobre los sistemas esquelético, endócrino, neurológico, linfático, circulatorio, inmunológico y visceral, con efectos similares a los documentados en humanos². La eficacia está modulada por la frecuencia de las sesiones y la individualización del protocolo, ya que los regímenes adaptados a cada paciente producen resultados

superiores a los protocolos fijos estandarizados²⁹. No obstante, la generación de evidencia de alta calidad sigue siendo un desafío metodológico reconocido, que requiere diseños rigurosos adaptados a la complejidad de esta intervención³⁰.

Indicaciones clínicas

La acupuntura veterinaria tiene un amplio espectro de aplicación clínica, reconocida oficialmente como terapia importante por la American Veterinary Medical Association (AVMA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS)². Su uso abarca condiciones musculoesqueléticas, neurológicas, gastrointestinales, respiratorias, dermatológicas, otológicas, cardiovasculares, inmunomediadas y conductuales³¹⁻³³.

La evidencia revisada documenta una mejoría en la movilidad y una reducción del uso de antiinflamatorios en osteoartritis²², recuperación funcional en enfermedad de disco intervertebral^{26,33}, recuperación neurológica en secuelas por cinomosis²⁷, restauración del equilibrio

autonómico en colapso traqueal y resultados prometedores en otología veterinaria³⁵. En modelos animales ha mostrado efectos antidepresivos y ansiolíticos³⁶, y en especies de producción la acupuntura auricular ha demostrado reducir el estrés del transporte en terneros y minipigs^{37,38}.

Se confirma que la acupuntura produce sus mayores efectos cuando el desenlace evaluado es calidad de vida, dolor o función física^{39,40}, con sesiones de alta frecuencia y en combinación con laserterapia, ozonoterapia, moxibustión y fisioterapia, con resultados superiores y efectos que pueden mantenerse hasta 24 semanas después del tratamiento^{41,42}.

Preferencia y aceptación clínica

Más del 90 % de los propietarios que optan por tratamientos de acupuntura reportan satisfacción con los resultados²¹, ya que representa una alternativa terapéutica valiosa para pacientes cuyo dolor es difícil de controlar con analgésicos convencionales, especialmente cuando el temor a sus efectos

secundarios limita su uso, siendo particularmente relevante en oncología⁴³.

La acupuntura es ampliamente aceptada como tratamiento seguro cuando es realizada por un veterinario calificado, con una tasa de eventos adversos inferior a la documentada en medicina humana y efectos secundarios mínimos. Entre estos, la incomodidad temporal en los sitios de inserción es la más habitual¹⁶. Suele elegirse en casos sin respuesta a tratamientos convencionales, gracias a su carácter no invasivo y su compatibilidad con otras terapias^{29,31}.

A diferencia de la medicina humana, en la que el paciente expresa directamente su preferencia, en veterinaria son los cuidadores quienes evalúan, deciden y perciben los beneficios del tratamiento^{2,44}. La creciente demanda de tutores que buscan tratamientos más naturales y holísticos para sus mascotas refleja una dimensión humana del cuidado veterinario que justifica analizar el impacto de la acupuntura no solo sobre el paciente animal, sino también sobre quien lo cuida⁴⁴.

Bienestar animal y calidad de vida

Bienestar animal

El bienestar animal es una característica propia del individuo, y no algo que se le otorgue; refleja su estado frente a los intentos de adaptarse al ambiente e incorpora sus necesidades físicas, emocionales y sociales^{4,45}. Su estudio ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, desde un enfoque centrado únicamente en la prevención del maltrato hasta una comprensión integral que reconoce al animal como un ser sintiente con experiencias subjetivas propias^{4,46}.

Para evaluar el bienestar se han desarrollado marcos normativos ampliamente aceptados. Las Cinco Libertades, adoptadas por la Asociación Mundial de Médicos Veterinarios, establecen las condiciones mínimas que debe tener todo animal: estar libre de hambre y sed, de incomodidad, de dolor y enfermedad, poder expresar su comportamiento normal y estar libre de miedo y

sufrimiento emocional^{3,47}.

Los Cinco Dominios, propuestos por Mellor y Reid, complementan este marco al evaluar no solo la ausencia de lo negativo, sino también la promoción activa de experiencias positivas en cinco categorías: nutrición, entorno, salud, comportamiento y estado mental. Este último adquiere especial importancia como integrador de todos los demás dominios⁴⁸.

Los animales son seres sintientes con una vida emocional y cognitiva compleja, que abarca desde percepciones básicas como el dolor y el miedo, hasta estados elaborados como la alegría, el altruismo y la conciencia de sí mismos. Reconocer esta dimensión subjetiva fundamenta la necesidad de evaluar su bienestar de manera integral, considerando tanto el sufrimiento físico como el emocional³. La Tabla 1 (adaptada de la literatura) ilustra los diferentes niveles de expresión emocional y cognitiva en animales, desde percepciones básicas hasta conciencia compleja, con implicaciones directas para el bienestar³.

Tabla 1. Expresiones emocionales y cognitivas de la sensibilidad animal con implicaciones para el bienestar

Nivel	Emoción	Cognición	Ejemplo
Percepción (nivel básico)	Dolor y miedo	Evitación	Tras ser golpeado con un palo, aprende a temerles a objetos similares
	Hambre y sed	Selección de alimentos	Evalúa, huele, prueba y decide lo que le gusta
	Comodidad	Construcción de nidos	Una perra gestante empieza a preparar su espacio seguro
Formulación mental (nivel medio)	Curiosidad y seguridad	Interpretar señales sociales simples	Lee la postura, el tono, la expresión, también si otro perro quiere jugar o atacar
	Ansiedad y depresión		
Conciencia (nivel complejo)	Placer, alegría, dolor	Reconocer señales sociales complejas	Entiende jerarquías, relaciones entre terceros
	Comportamiento afiliativo	Conciencia del “yo”	Sabe que existe como individuo separado de los demás, algunos animales se reconocen en el espejo
	Altruismo y compasión	Engaño	Puede fingir para obtener un beneficio. Entiende que puede manipular
	ión		

Fuente: adaptado de Webster J., 2022.

Calidad de vida

Aunque bienestar y calidad de vida se usan frecuentemente como sinónimos, no son equivalentes. El bienestar se refiere al estado actual del animal, mientras que la calidad de vida abarca todos los aspectos de su vida que la mejoran o la empeoran a lo largo del tiempo⁴⁹. La calidad de vida trasciende la ausencia de enfermedad e incluye sentimientos positivos y negativos, aptitud física y la capacidad de existir y comportarse de manera acorde a su naturaleza⁶. En veterinaria, dado que el animal no puede expresar directamente cómo se siente, el cuidador se convierte en el informante indirecto indispensable^{7,50}.

La calidad de vida en animales puede evaluarse a partir de los mismos dominios propuestos por la OMS para humanos, adaptados a las características de cada especie, reconociendo que los animales experimentan dimensiones físicas, psicológicas, sociales y ambientales de bienestar comparables a las humanas⁶. La Tabla 2 resume los aspectos aplicables de la calidad de vida según la OMS adaptados a

animales, incluyendo salud física, salud psicológica, independencia, relaciones sociales y ambiente.

Tabla 2. Aspectos de la calidad de vida aplicables a los animales según la OMS

Dominio	Aplicables en animales
Salud física	Energía
	Dolor
	Descanso
Salud psicológica	Sentimientos positivos y negativos
	Aprendizaje, concentración
Independencia	Movilidad y actividades diarias
	Dependencia de ayudas médicas
Relaciones sociales	Vínculos con personas y otros animales
	Apoyo social
Ambiente	Seguridad física y protección
	Entorno físico (contaminación, ruido, clima)
	Entorno doméstico Participación en actividades recreativas

Fuente: adaptado de Mullan S., 2015.

Las herramientas de evaluación de calidad de vida permiten no solo tomar decisiones al final de la vida, sino detectar afecciones tempranamente, monitorear cambios a lo largo del tiempo y medir la respuesta a intervenciones médicas, lo que las hace directamente relevantes para evaluar el impacto de la acupuntura⁵¹. Un avance conceptual importante es el marco de Calidad de Vida Familiar, que reconoce que la calidad de vida del animal y la del cuidador son inseparables: cuando el animal pierde la capacidad de interactuar, jugar y compartir actividades con su familia, la calidad de vida familiar se deteriora simultáneamente, y el estrés de presenciar el sufrimiento del animal genera angustia directa e inmediata en el cuidador⁵².

Efectos de la acupuntura en la recuperación de la calidad de vida animal

El dolor no es únicamente una experiencia sensorial; afecta gravemente la salud física y provoca disfunción fisiológica, pero también compromete profundamente el bienestar

mental y el funcionamiento social del paciente, lo que afecta significativamente su calidad de vida en todas sus dimensiones⁴⁰. Los perros con dolor crónico muestran diferencias importantes frente a perros sanos en movilidad, interacciones sociales, rutina diaria y frecuencia de miedos y ansiedades, pero no en la condición corporal visible, lo que evidencia que el dolor compromete principalmente dimensiones funcionales y emocionales antes que físicas. Un perro con dolor deja de comer con apetito, deja de jugar, se aleja de su familia, responde con miedo o agresividad ante estímulos que antes toleraba, y pierde la capacidad de expresar su comportamiento natural¹³.

Lo que la acupuntura hace, en múltiples condiciones documentadas, es revertir ese proceso y mejorar su calidad de vida: volver a caminar, volver a comer, volver a relacionarse, volver a ser él mismo. En enfermedad de disco intervertebral, la recuperación funcional permitió recuperar actividades cotidianas^{26,53}; en síndrome de

disfunción cognitiva canina, mejoró la interacción social y redujo comportamientos compulsivos desde la tercera sesión⁵⁴; en secuelas neurológicas por cinomosis, restauró la locomoción independiente de un paciente tras más de un año de paraparesia²⁷; en colapso traqueal, los propietarios reportaron una reducción del 77 % en las puntuaciones de tos³⁴; y, en oncología y cuidados paliativos, redujo el dolor y los efectos secundarios de los opioides al mejorar la calidad de vida en múltiples dimensiones⁵⁵⁻⁵⁷.

Metodológicamente, una revisión sistemática con metaanálisis confirmó una disminución media de casi un punto en la escala de dolor de 0 a 10⁴⁰. En caballos de carreras se documentó reducción de la ansiedad, mejor tolerancia al manejo y mejora del apetito, indicadores indirectos de menor dolor y mayor bienestar⁵⁹.

El “health span”, definido como el período de vida libre de enfermedad o discapacidad significativa, considera que el objetivo de las intervenciones terapéuticas no debe ser únicamente prolongar la vida, sino maximizar la calidad de esa

vida. La acupuntura tiene el potencial de extender ese “health span” al manejar el dolor crónico, mejorar la movilidad y preservar la funcionalidad del paciente veterinario⁶⁰; representa, además, una alternativa especialmente relevante en contextos latinoamericanos donde su costo frecuentemente es inferior al de los protocolos farmacológicos convencionales^{21,46}.

Lo que hace especialmente valioso este conjunto de evidencia es que la mejoría clínica del animal no pasa desapercibida: los propietarios la perciben, la reportan y la valoran. Los animales que reciben acupuntura exhiben reducción del estrés, menor ansiedad y mejora de problemas conductuales y sus cuidadores frecuentemente perciben el tratamiento como un regalo para su mascota^{2,21}. Esa percepción es el puente entre la mejoría clínica del paciente y el bienestar del cuidador.

Vínculo humano-animal

Las mascotas forman parte de la vida familiar cotidiana en más de la mitad de los hogares a nivel mundial, y un gran

porcentaje de los propietarios considera a su mascota un miembro de la familia⁶¹. Tener una mascota no es simplemente compartir un espacio con un animal, implica asumir el cuidado de un ser dependiente en una dinámica relacional comparable a la parental, en la que las características y emociones del cuidador impactan directamente el bienestar del animal y viceversa^{8,62}.

El vínculo humano-animal es un factor determinante de la prevalencia de familias multiespecie y se define como la relación dinámica y mutuamente beneficiosa entre personas y otros animales, influenciada por comportamientos esenciales para la salud y el bienestar de ambos. Este vínculo implica reconocimiento recíproco, continuidad, reciprocidad y promoción del bienestar mutuo⁶³.

Lo que hace especial este vínculo es su profundidad biológica. El contacto con la mascota activa vías neuroendocrinas que involucran oxitocina y vasopresina, las mismas moléculas que median el vínculo entre madres e hijos.

Asimismo, tanto las personas como sus perros experimentan aumentos en oxitocina mientras interactúan, lo que confirma que el vínculo es biológicamente bidireccional^{11,63}.

La interacción con mascotas activa la corteza frontal, favorece la regulación emocional y reduce las respuestas emocionales excesivas; además, regula el sistema nervioso autónomo, disminuye la frecuencia cardíaca y la presión arterial, y libera serotonina, dopamina y endorfinas⁶⁴. La interacción táctil, simplemente acariciar al animal, es uno de los mecanismos más potentes para activar estos cambios. A largo plazo, la tenencia de perros se ha asociado con menor riesgo cardiovascular y menor mortalidad por todas las causas¹². La compañía de una mascota puede aliviar la soledad, promover la actividad física, los sentimientos de afecto, la seguridad y mejorar la continuidad del sueño y la salud mental, con beneficios especialmente notables en personas vulnerables como adultos mayores, enfermos crónicos y pacientes psiquiátricos⁶⁵.

Los beneficios del vínculo humano-animal sobre la salud y el bienestar del cuidador son multidimensionales: en lo psicológico, las mascotas reducen el estrés, mejoran la salud mental, dan propósito y funcionan como presencia calmante ante la incertidumbre cotidiana; en lo psicosocial, ofrecen compañía, apoyo emocional y facilitan conexiones con otros humanos, lo cual minimiza el aislamiento; en lo físico, motivan el ejercicio y el tiempo al aire libre⁶⁶; en lo laboral, fomentan pausas y un mejor equilibrio entre el trabajo y la vida personal al convertir el cuidado del animal en un facilitador del autocuidado humano, en un proceso de reciprocidad en el que el bienestar de ambos se potencia mutuamente⁶⁷; y, para el vínculo mismo, los animales son percibidos como más felices, relajados y menos estresados cuando sus cuidadores están más presentes⁶¹.

La empatía hacia los animales, relativamente independiente de la empatía hacia los humanos, es precisamente lo que hace posible esa lectura emocional del estado del animal y se ha relacionado con mejores comportamientos de cuidado⁶⁸.

Con el tiempo, los propietarios se convierten en lectores activos del estado emocional de su mascota; cuando el animal mejora clínicamente, el dueño lo percibe, y esa percepción fortalece el vínculo y mejora su propio bienestar⁶⁹.

Pero la profundidad de ese vínculo tiene una consecuencia que no puede ignorarse: lo que le pasa al animal le pasa al cuidador. La salud mental del dueño no depende solo de tener una mascota, sino de la calidad de vida de esa mascota. Cuando el perro está bien, activo, feliz y conectado emocionalmente, el dueño también está mejor; esto no es solo una percepción subjetiva: puntuaciones más altas en la calidad de vida del perro se correlacionaron con menor depresión y ansiedad del dueño¹⁴.

Los problemas de salud del animal son consistentemente las variables más perjudiciales para el bienestar del propietario en todas sus dimensiones; cuanto más fuerte es el vínculo, mayor es el impacto negativo ante la enfermedad⁷⁰. Un mayor apego durante períodos de crisis puede asociarse paradójicamente con mayor

malestar psicológico, pues un vínculo muy fuerte refleja alta empatía y mayor vulnerabilidad emocional⁷¹. Cuando el animal padece una enfermedad crónica o terminal, los mismos lazos afectivos que generan bienestar se convierten en fuente de sufrimiento y, tras la muerte del animal, los propietarios experimentan un duelo frecuentemente no reconocido socialmente que dificulta su recuperación⁵⁷. Los efectos del vínculo sobre el bienestar del cuidador son, en definitiva, complejos: no es la tenencia per se lo que determina el bienestar, sino la calidad de la relación y el estado clínico del animal⁷².

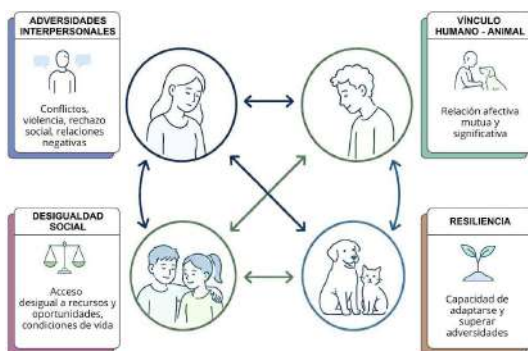


Figura 2. Dinámica relacional del vínculo humano-animal en familias multiespecie. Fuente: elaboración propia en Canva, 2026. Adaptada de Applebaum J.W., 2021.

La Figura 2 ilustra la naturaleza dinámica y recíproca del vínculo humano-animal en el contexto familiar y muestra cómo el cuidador adulto, los niños del hogar y el animal de compañía se influyen mutuamente de manera simultánea y continua^{11,12}. Cuatro dimensiones contextuales modulan la calidad del vínculo: las adversidades interpersonales pueden tanto debilitarlo como intensificarlo^{11,73}. Las desigualdades sociales (limitaciones económicas, barreras de acceso a la atención veterinaria, condiciones de vivienda precarias) condicionan la capacidad del cuidador para sostener ese vínculo⁶¹. La resiliencia, tanto del humano como del animal, determina la capacidad de adaptación ante la enfermedad o la adversidad⁷⁴.

Finalmente, el vínculo mismo es reconocido como un recurso activo para la salud cuya preservación tiene implicaciones directas sobre el bienestar de todos los integrantes del hogar⁷⁵. Desde la perspectiva de Una Salud, mejorar la atención veterinaria de condiciones crónicas, con la

acupuntura como una de las alternativas terapéuticas, tiene el potencial de mejorar simultáneamente el bienestar del animal y del cuidador y constituye una intervención de salud pública de doble beneficio^{61,75}.

Impacto en el cuidador

Aunque la carga del cuidador y su impacto sobre la calidad de vida han sido ampliamente estudiados en medicina humana, su abordaje en el ámbito veterinario es relativamente reciente y aún limitado. Sin embargo, la evidencia acumulada en los últimos años sugiere que cuidar a una mascota con enfermedad crónica genera consecuencias físicas, emocionales, económicas y sociales comparables a las documentadas en cuidadores de pacientes humanos dependientes^{9,56}.

El síndrome de carga del cuidador, descrito por Freudenberg en 1974, se define como el conjunto de dificultades físicas, emocionales, sociales y económicas que experimenta una persona que asume de

manera prolongada el cuidado de otro ser con enfermedad crónica, sin disponer de estrategias de afrontamiento suficientes, con manifestaciones que incluyen trastornos del sueño, irritabilidad, ansiedad, pérdida de energía y aislamiento progresivo⁷⁶. La percepción de carga incide negativamente en la recuperación del propio paciente y genera un ciclo bidireccional de deterioro mutuo que subraya la necesidad de intervenir simultáneamente sobre el paciente y sobre el cuidador⁷⁷. Esta realidad es extrapolable al contexto veterinario, en el que la magnitud de la carga depende de la severidad de la enfermedad, la duración del proceso y la intensidad del vínculo humano-animal⁷⁸.

La carga se manifiesta en múltiples dimensiones simultáneas. En la práctica, los cuidadores reportan reestructuración completa de rutinas diarias, administración de medicamentos en horarios estrictos, restricción de actividades sociales y laborales, interrupciones del sueño nocturno agravado por el malestar físico nocturno del animal, sumado a la rumiación

sobre pronósticos y gastos, y la hiperactivación del eje hipotalámico-hipofisario-suprarrenal que genera elevación sostenida del cortisol¹⁵; los costos económicos pueden generar pérdida de ingresos o poner en riesgo el empleo⁵².

En el plano emocional, los cuidadores experimentan ansiedad intensa ante la enfermedad y los procedimientos médicos, sensaciones de impotencia cuando los recursos son insuficientes, tristeza profunda al presenciar el sufrimiento de la mascota y remordimiento derivado de la percepción de responsabilidad personal sobre la enfermedad⁷⁸. Para algunos cuidadores, especialmente los adultos mayores, la responsabilidad de tener un animal puede representar una carga adicional que, paradójicamente, coexiste con los beneficios del vínculo y evidencia la naturaleza compleja y bidireccional de esta relación⁷⁹.

La investigación ha comenzado a desarrollar instrumentos específicos para medir esta carga en el contexto veterinario. El Canine

Caregiver Burden Assessment Tool es un instrumento diseñado específicamente para dueños de perros, con 24 ítems organizados en cuatro subescalas: impacto en la vida, vergüenza y frustración, dificultad para proveer cuidado y abrumamiento. Su aplicación ha mostrado que los dueños de perros enfermos presentan consistentemente mayor carga que los de perros sanos en todas las condiciones evaluadas¹⁰.

En Chile, se adaptó la escala de Zarit al contexto veterinario para medir el síndrome de carga del cuidador en propietarios de perros con trastornos de comportamiento. La mayoría presentó niveles bajos a medios de sobrecarga, con una naturaleza multidimensional que abarca no solo el estrés emocional, sino también las dimensiones físicas, sociales y económicas del cuidado⁸⁰. En Corea del Sur, un estudio con 766 propietarios encontró que casi la mitad reportó algún nivel de carga clínicamente significativa y que incluso los propietarios de mascotas sanas presentaron niveles de carga elevados. Estos resultados indican que la carga

no depende exclusivamente del estado de salud del animal, sino también de factores culturales y contextuales⁸¹.

Un hallazgo transversal en esta literatura es que, a mayor apego emocional al animal, mayor es la vulnerabilidad del cuidador ante la enfermedad. Los dueños de perros con enfermedades crónicas describieron la adaptación de múltiples aspectos de sus propias vidas a la capacidad reducida de su mascota y reportan una mayor carga del cuidador, angustia psicológica y menor calidad de vida en comparación con dueños de mascotas sanas⁸². Asimismo, experimentaron estrés, depresión y ansiedad comparables a la fatiga por compasión documentada en cuidadores de pacientes humanos terminales⁵⁷.

El envejecimiento del animal representa en sí mismo un factor de riesgo acumulativo para el cuidador: las enfermedades asociadas al envejecimiento generan un costo emocional y económico creciente, con un impacto adicional cuando la carga conduce a la decisión de eutanasia⁶⁰. Aunque la tenencia de mascotas puede promover

mayor satisfacción, mejor estado de ánimo y habilidades de afrontamiento, estos beneficios dependen directamente del estado de salud del animal y del tipo de interacciones establecidas. Los dueños que experimentaron la muerte de una mascota fueron significativamente menos felices y satisfechos en comparación con quienes no habían vivido esa pérdida⁶⁵.

La carga no es una experiencia unidimensional ni exclusivamente negativa. Cuidar a un perro que envejece y enferma es una experiencia paradójica en la que coexisten aspectos negativos y positivos: a mayor apego, mayor intensidad de las emociones, fortalecimiento del vínculo durante el proceso de cuidado, mayor sentido de propósito y sentimientos de reciprocidad y gratitud hacia el animal⁷⁴. Esta paradoja fue documentada durante la pandemia, donde los cuidadores preocupados por el bienestar o comportamiento de sus mascotas tenían más probabilidades de reportar angustia psicológica, pero quienes tenían baja resiliencia se beneficiaban especialmente de la presencia del animal como amortiguador emocional⁷³.

El perfil del cuidador es determinante para comprender su experiencia y adaptar la respuesta clínica. Se han identificado cuatro perfiles: los angustiados, que experimentan simultáneamente alta carga, duelo anticipatorio intenso y baja calidad de vida; los resilientes, que mantienen estrategias de afrontamiento adecuadas a pesar de la situación; los no angustiados, con bajos niveles en los tres constructos; y los afectados por otras influencias, cuya angustia está mediada por factores externos a la enfermedad del animal⁹. Cuando el propietario está sobrecargado, su estado emocional afecta directamente la adherencia al tratamiento y la relación con el equipo veterinario. Además, puede aumentar la necesidad de apoyo emocional y contribuir al estrés ocupacional del equipo clínico⁸¹.

La evidencia disponible sugiere que la mejoría clínica del paciente animal tiene un efecto directo sobre los hogares multiespecie. En condiciones neurológicas y musculoesqueléticas tratadas con acupuntura, los cuidadores percibieron una mejoría que alivió su propia carga

emocional⁸³. Cuando tras la acupuntura el animal recupera funcionalidad, locomoción independiente, mejor interacción social y reducción del dolor, las demandas físicas y emocionales disminuyen y se restauran las interacciones cotidianas beneficiosas para el propietario²⁷.

Elegir tratamientos menos invasivos como la acupuntura frente a procedimientos de alta complejidad refleja, además, una dimensión de carga del cuidador frecuentemente invisibilizada³³. En Ecuador, la mayoría de los tutores que utilizaron terapias complementarias, incluida la acupuntura, reportaron satisfacción con los resultados y mejora en la movilidad de su mascota. Estos hallazgos respaldan que la percepción de mejoría por parte del cuidador es real y medible⁸⁴.

Desde una perspectiva integrativa, el cuidador no puede seguir siendo invisible en la consulta veterinaria. La calidad de vida familiar influye en la mayoría de las decisiones relacionadas con el tratamiento; sin embargo, con frecuencia este aspecto se pasa por alto,

con efectos perjudiciales para los veterinarios, las familias y las mascotas⁵². El bienestar del cuidador y del paciente animal son interdependientes y deben abordarse de forma conjunta⁵⁶.

Discusión

La investigación en acupuntura veterinaria enfrenta aún desafíos importantes: gran parte de la evidencia disponible se basa en reportes de caso, estudios observacionales y diseños experimentales con tamaños de muestra limitados, con escasez de ensayos clínicos aleatorizados específicos para especies veterinarias²¹. Adicionalmente, la naturaleza individualizada de la acupuntura, que adapta la selección de puntos y la frecuencia del tratamiento a las características clínicas particulares de cada paciente, complejiza la construcción de protocolos rígidos comparables entre investigaciones³⁰. La heterogeneidad en protocolos, frecuencia de sesiones y resultados evaluados, sumada a la dependencia de la interpretación del cuidador y el criterio clínico veterinario para evaluar dolor y calidad de vida,

introduce componentes subjetivos difíciles de controlar completamente.

Pese a estas limitaciones, la evidencia presenta resultados consistentemente favorables en variables clínicamente relevantes y reporta mejoría funcional, reducción del dolor y disminución en el uso de fármacos analgésicos, especialmente cuando la acupuntura es incorporada como parte de un manejo multimodal⁴⁹. En este sentido, la acupuntura no debería interpretarse como una sustitución de la medicina convencional, sino como una herramienta complementaria capaz de ampliar las opciones terapéuticas disponibles para el paciente veterinario.

Además, la disponibilidad de herramientas validadas para evaluar calidad de vida y bienestar continúa siendo desigual entre especies. Mientras en perros existen múltiples instrumentos desarrollados y validados, en gatos la evidencia sigue siendo muy limitada, aspecto que dificulta la cuantificación objetiva de los efectos terapéuticos⁵¹. Esto implica la necesidad de desarrollar

escalas específicas, sensibles y adaptadas a las características conductuales y emocionales de cada especie.

Uno de los hallazgos más importantes de esta revisión es la naturaleza bidireccional del vínculo humano-animal. La mejoría clínica del paciente veterinario impacta tanto al animal como al cuidador y disminuye parcialmente la carga emocional, física y económica asociada al cuidado de enfermedades crónicas. En este contexto, la acupuntura podría representar una intervención de doble beneficio, capaz de favorecer simultáneamente el bienestar del paciente y la calidad de vida del tutor al aumentar, además, la probabilidad de que el propietario cumpla con los regímenes de tratamiento⁸⁵. Este enfoque resulta especialmente relevante desde el paradigma de Una Salud, en el que la salud humana y animal son comprendidas como dimensiones interdependientes⁷⁵.

Desde una perspectiva latinoamericana, si bien la evidencia disponible aún es limitada, los estudios

regionales muestran una percepción positiva de los tutores hacia las terapias integrativas y una aceptación progresiva de la acupuntura dentro de la práctica clínica veterinaria⁸⁴. Se requieren estudios longitudinales, ensayos clínicos controlados y herramientas validadas para medir calidad de vida familiar que evalúen simultáneamente variables clínicas del paciente animal y psicosociales del cuidador.

En conclusión, la acupuntura veterinaria tiene el potencial de mejorar la calidad de vida del paciente animal y, a través del fortalecimiento del vínculo humano-animal, contribuir al bienestar del cuidador humano. Su integración dentro de protocolos multimodales representa una aproximación terapéutica más amplia, centrada no solo en la enfermedad, sino en la experiencia compartida de cuidado entre humanos y animales. En esa reciprocidad reside el verdadero alcance de una medicina integrativa que sitúa el vínculo en el centro de la atención.

Referencias

1. Smith CL, Reddy B, Wolf CM, et al. The State of 21st Century Acupuncture in the United States. *J Pain Res.* 2024;17:3329-3354. doi:10.2147/JPR.S469491
2. Oliveira NJF de, Martins EIS, Crocomo LF, Rodrigues AO, Mendes MT, Silveira E da. The efficacy of acupuncture in animals – Part 1 Veterinary medicine use, historical background, theoretical foundations, techniques and tools, points and meridians and physiological mechanisms of acupuncture in animals. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research.* 2024;7(4):e74371. doi:10.34188/bjaerv7n4-048
3. Webster J. Animal Welfare. University of Bristol School of Veterinary Science Bristol Centre for Animal Behaviour and Welfare Science. Published online 2022. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/>
4. Broom DM. Bienestar animal. In *etología aplicada: fundamento científico del comportamiento y bienestar animal*. Universidad Autónoma de México. Published online 2024.
5. Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA). Bienestar animal: un bien vital para un mundo más sostenible. OMSA. Published online 2024. doi:doi.org/10.20506/woah.3445.L
6. Mullan S. Assessment of quality of life in veterinary practice: developing tools for companion animal carers and veterinarians. *Veterinary Medicine: Research and Reports.* Published online May 2015:203. doi:10.2147/vmrr.s62079
7. Fulmer AE, Laven LJ, Hill KE. Quality of Life Measurement in Dogs and Cats: A Scoping Review of Generic Tools. *Animals.* 2022;12(3). doi:10.3390/ani12030400

8. Christiansen SB, Kristensen AT, Sandøe P, Lassen J. Looking after chronically ill dogs: Impacts on the caregiver's life. *Anthrozoos*. 2013;26(4):519-533. doi:10.2752/175303713X13795775536174
9. Spitznagel MB, Anderson JR, Marchitelli B, Sislak MD, Bibbo J, Carlson MD. Owner quality of life, caregiver burden and anticipatory grief: How they differ, why it matters. *Veterinary Record*. 2021;188(9):no. doi:10.1002/vetr.74
10. Spitznagel MB, Martin J, Knudsen E, Albers A, Gober M. Development and psychometric validation of a canine caregiver burden assessment tool. *Human-Animal Interactions*. Published online December 10, 2025. doi:10.1079/hai.2025.0052
11. Applebaum JW, MacLean EL, McDonald SE. Love, fear, and the human-animal bond: On adversity and multispecies relationships. *Compr Psychoneuroendocrinol*. 2021;7. doi:10.1016/j.cpnec.2021.100071
12. Gee NR, Rodriguez KE, Fine AH, Trammell JP. Dogs Supporting Human Health and Well-Being: A Biopsychosocial Approach. *Front Vet Sci*. 2021;8. doi:10.3389/fvets.2021.630465
13. Malkani R, Paramasivam S, Wolfensohn S. How does chronic pain impact the lives of dogs: an investigation of factors that are associated with pain using the Animal Welfare Assessment Grid. *Front Vet Sci*. 2024;11. doi:10.3389/fvets.2024.1374858
14. Hawkins RD, Ellis A, Robinson C. Exploring the connection between pet attachment and owner mental health: The roles of owner-pet compatibility, perceived pet welfare, and behavioral issues. *PLoS One*. 2025;20(10 October). doi:10.1371/journal.pone.0314893

15. Tang Y, Zhu N, Jin M, et al. Pet ownership, pet-related characteristics, and sleep quality among older adults in China: a nationwide cross-sectional study. *Front Vet Sci.* 2026;12. doi:10.3389/fvets.2025.1721332
16. Susanne Rodekohr. Bases filosóficas de la acupuntura veterinaria. imagen veterinaria. Published online 2005.
17. Jingfeng C. A historical overview of traditional Chinese medicine and ancient Chinese medical ethics. *ethik in der medizin.* Published online 1998.
18. Dragomir MF, Pestean CP, Melega I, Danciu CG, Purdoiu RC, Oana L. Current aspects regarding the clinical relevance of electroacupuncture in dogs with spinal cord injury: A literature review. *Animals.* MDPI AG. 2021;11(1):1-9. doi:10.3390/ani11010219
19. Matter T, Teixeira MM. Utilização da acupuntura na Medicina Veterinária direcionada a pequenos animais (caninos). *Research, Society and Development.* 2025;14(11):e65141149998. doi:10.33448/rsd-v14i11.49998
20. Casasola M. En Acupuntura D. La Acupuntura en Veterinaria. *Naturamedicatrix.* 1994;34:1993-1994.
21. Oliveira NJF de, Martins EIS, Crocomo LF, Rodrigues AO, Mendes MT, Silveira E da. The efficacy of acupuncture in animals – Part 2 Considerations about indications, comparative studies, safety and adverse effects, legal regulations and integration with other complementary therapies. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research.* 2024;7(4):e74372. doi:10.34188/bjaerv7n4-049
22. Pye C, Clark N, Bruniges N, Peffers M, Comerford E. Current evidence for non-pharmaceutical, non-surgical treatments of canine osteoarthritis.

- Journal of Small Animal Practice. John Wiley and Sons Inc. 2024;65(1):3-23. doi:10.1111/jsap.13670
23. Xie H, Preast V. Xie's veterinary acupuncture. blackwell publishing. Published online 2007.
24. Zhang A, Sun H, Yan G, Cheng W, Wang X. Systems biology approach opens door to essence of acupuncture. Complement Ther Med. 2013;21(3):253-259. doi:10.1016/j.ctim.2013.03.002
25. Nascimento Rodrigues Q, Porto dos Santos M, Alves da Silva V, Farias Larangeira D, Carneiro de Araújo Machado M, Da Silva Cavalcante Ak. Uso da acupuntura no controle da dor em cães. REMUNOM. 2026;13(08):1-26. doi:10.66104/g9pqtg91
26. Silva NEOF, Luna SPL, Joaquim JGF, Coutinho HD, Possebon FS. Article Effect of Acupuncture on Pain and Quality of Life in Canine Neurological and Musculoskeletal Diseases. Vol 58. 2017.
27. Morote PT. Uso da acupuntura como terapia complementar no tratamento de sequela neurológica por cinomose em cão: relato de caso. Revista ft. 2026;30(157):01-07. doi:10.69849/skk9rv96
28. Wen Q, Hong X, He K, Liu B, Li M. Can acupuncture reverse oxidative stress and neuroinflammatory damage in animal models of vascular dementia?: A preclinical systematic review and meta-analysis. Medicine (United States). 2023;102(23). doi:10.1097/MD.00000000000033989
29. Wen-cui Xiu W juan GQZL jun SX yu HT yu MZLY qing Z& X hong J. Factors and Their Impact on Treatment Effect of Acupuncture in Different Outcomes: A Meta-Regression of Acupuncture Randomized Controlled Trials. Chinese Journal of Integrative Medicine. Published online 2024.

30. MacPherson H. Evidence-Based Acupuncture? a Challenge Ahead. *Asian Medicine*, 1(1), 147-161. Published online 2005.
31. Güçlü Gülanber E. The Clinical Effectiveness and Application of Veterinary Acupuncture. Vol 3. 2008.
32. Gómez Vizcaíno DA. La acupuntura como tratamiento coadyuvante para lesiones neurológicas producidas por enfermedad del disco intervertebral en caninos domésticos (*Canis Lupus Familiaris*). Universidad De Ciencias Aplicadas Y Ambientales (U.D.C.A); 2023.
33. Borges RL, Reichert BB, Silva TR de O da, Wilges CH de M. Associação da laserterapia e acupuntura no tratamento da doença do disco intervertebral em um canino: Relato de caso. *Research, Society and Development*. 2024;13(10):e18131046980 doi:10.33448/rsd-v13i10.46980
34. Chueainta P, Punyapornwithaya V, Tangjitjaroen W, Pongkan W, Boonyapakorn C. Acupuncture Improves Heart Rate Variability, Oxidative Stress Level, Exercise Tolerance, and Quality of Life in Tracheal Collapse Dogs. *Vet Sci*. 2022;9(2). doi:10.3390/vetsci9020088
35. Dos Santos EVF, De Souza Neto MF, Miranda Neto PAD, et al. Uso da acupuntura em otologia veterinária: revisão bibliográfica. *ARACÊ*. 2025;7(11):e9637. doi:10.56238/arev7n11-033
36. Kwon S, Lee B, Yeom M, et al. Modulatory effects of acupuncture on murine depression-like behavior following chronic systemic inflammation. *Brain Res*. 2012;1472:149-160. doi:10.1016/j.brainres.2012.07.009
37. Sato S, Kanno C, Hoshi Y, et al. HACCP-compatible ear acupuncture using biodegradable starch-based needles mitigates transport-induced physiological and

- oxidative stress in calves. *Vet World*. 2026;19(1):380-388. doi:10.14202/vetworld.2026.380-388
38. Ijiri M, Akioka K, Kitano T, et al. Acupuncture Treatment Improves Transport Stress in Microminipigs Through the Acupoint in Ears. *In Vivo* (Brooklyn). 2023;37(5):2100-2104. doi:10.21873/invivo.13307
39. Gang WJ, Xiu WC, Shi LJ, et al. Factors Associated with the Magnitude Of acUpuncture treatment effectS (FAMOUS): a meta-epidemiological study of acupuncture randomised controlled trials. *BMJ Open*. 2022;12(8). doi:10.1136/bmjopen-2021-060237
40. Guo L, Jia T, Yang Y, Feng H, Jiang P. Efficacy and safety of buccal acupuncture for pain management: A systematic review and meta-analysis. *Complement Ther Med*. 2025;95. doi:10.1016/j.ctim.2025.103297
41. Sun R, Wu L, Sun Y. Immunological studies on acupuncture and moxibustion treatment of rheumatoid arthritis: A review. *Medicine (United States)*. Lippincott Williams and Wilkins. 2024;103(2):E36875. doi:10.1097/MD.00000000000036875
42. Wu X, Cheng K, Xu C, et al. Mechanism of Acupuncture and Moxibustion on Chronic Prostatitis/Chronic Pelvic Pain Syndrome: A Narrative Review of Animal Studies. *Pain Res Manag*. Hindawi Limited. 2021;2021. doi:10.1155/2021/2678242
43. Liou KT, Trevino KM, Meghani SH, et al. Fear of analgesic side effects predicts preference for acupuncture: a cross-sectional study of cancer patients with pain in the USA. *Supportive Care in Cancer*. 2021;29(1):427-435. doi:10.1007/s00520-020-05504-y

44. Vieira GA, Schlemper SRM. Revisão Integrativa Sobre a Pesquisa Experimental Em Acupuntura Veterinária No Brasil (Integrative Review on Experimental Research in Veterinary Acupuncture in Brazil). 2025.
45. Broom DM. Animal welfare: concepts and measurement. Cambridge University. Published online 1991.
46. Lima Gonçalves B, Vianna LR, Andrade C de C. Bem-estar animal e medicinas integrativas. Pubvet. 2022;16(13). doi:10.31533/pubvet.v16nsupl.a1301.1-5
47. dagonetti AM, Stornelli MA. Bienestar animal en animales de compañía. Veterinaria Cuyana. Published online 2013.
48. Mellor DJ, Reid CSW. Concepts of animal well-being and predicting the impact of procedures on experimental animals. wellbeing international. Published online 1994. <https://www.wellbeinginternationalstudiesrepository.org/exprawel>
49. Monteiro BP, Lascelles BDX, Murrell J, Robertson S, Steagall PVM, Wright B. 2022 WSAVA guidelines for the recognition, assessment and treatment of pain. Journal of Small Animal Practice. 2023;64(4):177-254. doi:10.1111/jsap.13566
50. Strand EB, Scoresby K, Walker H, et al. Life with pets study: lower income veterinary clients' perception of pets' quality of life. Front Vet Sci. 2024;11. doi:10.3389/fvets.2024.1422359
51. Doit H, Dean RS, Duz M, Brennan ML. A systematic review of the quality of life assessment tools for cats in the published literature. Veterinary Journal. 2021;272. doi:10.1016/j.tvjl.2021.105658
52. Brown CR, Edwards S, Kenney E, et al. Family Quality of Life: pet owners and veterinarians working together to reach the best outcomes. J Am Vet Med Assoc. 2023;261(8):1238-1243.

- doi:10.2460/javma.23.01.0016
53. Alberto J, Mayo B. Revisión Sistemática de Literatura: Uso de La Acupuntura Como Estrategia de Manejo Terapéutico En Pacientes Caninos Con Procesos de Enfermedades Degenerativas Vertebrales. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y Universidad Cooperativa de Colombia; 2025.
 54. Cidral LO, Martins S, Santos T, et al. Uso Da Acupuntura Na Síndrome Da Disfunção Cognitiva Canina-Relato de Caso Use of Acupuncture in Canine Cognitive Dysfunction Syndrome-Case Report. Vol 21. 2023.
 55. Yan Z, MuRong Z, Huo B, et al. Acupuncture as a Complementary Therapy for Cancer-Induced Bone Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. Frontiers in Pain Research. Frontiers MediaS.A. 2022;3. doi:10.3389/fpain.2022.925013
 56. da Costa JM, Barroso TG, Prata JC. Research priorities in veterinary palliative care. Veterinary Journal. Bailliere Tindall Ltd. 2024;306. doi:10.1016/j.tvjl.2024.106184
 57. Costa JM da, Prata JC, Queiroga F, Barroso T. One health considerations in veterinary palliative medicine. Vet Anim Sci. 2026;32. doi:10.1016/j.vas.2026.100611
 58. Purnama MTE, Fikri F, Çalışkan H, Wicaksono AP. Efficacy of acupuncture in racehorses: A review. Open Vet J. 2025;15(10):4789-4796. doi:10.5455/OVJ.2025.v15.i10.1
 59. McKenzie BA, Chen F, LaCroix-Fralish ML. The phenotype of aging in the dog: how aging impacts the health and well-being of dogs and

- their caregivers. *J Am Vet Med Assoc.* 2022;260(9):963-970. doi:10.2460/javma.22.02.0088
60. Aguirre Siliezar K, Patel S, Chande R, et al. Utilizing the Human Animal Bond to Promote Preventive Care Engagement in Underserved Communities: A Descriptive Study of 2 U.S. One Health Clinics. *J Prim Care Community Health.* 2025;16. doi:10.1177/21501319251369270
61. Finka LR, Ward J, Farnworth MJ, Mills DS. Owner personality and the wellbeing of their cats share parallels with the parent-child relationship. *PLoS One.* 2019;14(2). doi:10.1371/journal.pone.0211862
62. Rauktis ME, Hoy-Gerlach J, Sewall CJR, Lee H, Bickel L. Preliminary Findings of a Ten-Item Scale to Assess the Commitment of Low-Income Owners to Their Companion Animals. *Anthrozoos.* 2021;34(1):109-126. doi:10.1080/08927936.2021.1878682
63. Liu H, Lin J, Lin W. Cognitive mechanisms and neurological foundations of companion animals' role in enhancing human psychological well-being. *Front Psychol. Frontiers Media SA.* 2024;15. doi:10.3389/fpsyg.2024.1354220
64. Martins CF, Soares JP, Cortinhas A, et al. Pet's influence on humans' daily physical activity and mental health: a meta-analysis. *Front Public Health. Frontiers Media S.A.* 2023;11. doi:10.3389/fpubh.2023.1196199
65. Justiniane JJ, Ambrad ZR, Comiling D, et al. A Dog is a Man's Best Friend: Experiences of Dog Owners in Poblacion Nabunturan. *Psychology and Education: A Multidisciplinary Journal.* 2025;35(6):692-705. doi:10.70838/pemj.350608
66. McGlacken R, Ashall V. (Self-)caring with companion animals: a qualitative

- exploration of how companion animals shape everyday practices of rest and relaxation. *Int J Qual Stud Health Well-being*. 2026;21(1). doi:10.1080/17482631.2025.2606862
67. Barklam EB, Felisberti FM. The Influence of Pet Owners' Empathy on Perceptions of Dog and Cat Distress Vocalizations and Caregiving Behaviors. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2026;29(1):95-109. doi:10.1080/10888705.2024.2427673
68. Pickersgill O, Mills DS, Guo K. Owners' Beliefs regarding the Emotional Capabilities of Their Dogs and Cats. *Animals*. 2023;13(5). doi:10.3390/ani13050820
69. Barcelos AM, Kargas N, Maltby J, Hall S, Assheton P, Mills DS. Theoretical foundations to the impact of dog-related activities on human hedonic well-being, life satisfaction and eudaimonic well-being. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(23). doi:10.3390/ijerph182312382
70. Bennetts SK, Crawford SB, Howell TJ, et al. Parent and child mental health during COVID-19 in Australia: The role of pet attachment. *PLoS One*. 2022;17(7 July). doi:10.1371/journal.pone.0271687
71. Scoresby KJ, Strand EB, Ng Z, et al. Pet ownership and quality of life: A systematic review of the literature. *Vet Sci. MDPI*. 2021;8(12). doi:10.3390/vetsci8120332
72. Brooks SK, Greenberg N. The Well-Being of Companion Animal Caregivers and Their Companion Animals during the COVID-19 Pandemic: Scoping Review. *Animals. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. 2023;13(20). doi:10.3390/ani13203294
73. Kogan LR, Wallace JE, Hellyer PW,

- Carr ECJ. Canine Caregivers: Paradoxical Challenges and Rewards. *Animals*. 2022;12(9). doi:10.3390/ani12091074
74. Hoy-Gerlach J, Townsend L. Reimagining Healthcare: Human-Animal Bond Support as a Primary, Secondary, and Tertiary Public Health Intervention. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(7). doi:10.3390/ijerph20075272
75. Moreno Reyes AJ, García Bernal E, Castillo Sánchez Y. El rol que no descansa: análisis ocupacional sobre la sobrecarga en mujeres cuidadoras familiares. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. Published online 2026.
76. Zambrano Cruz A, Cardona C. Síndrome de carga del cuidador. *Rev Colomb Psiquiatr*. 2007;XXXVI,. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=80615418005>
77. Zhang Q, Wang H, Zhao X, Wu Y. The Complex Dynamics of Caring for Ailing Pets Among Older Adults: A Qualitative Study. *Anthrozoos*. 2025;38(6):1087-1106. doi:10.1080/08927936.2025.2551435
78. de Albuquerque NS, Klain IS, Machado LS, de Lara Machado W, Moret-Tatay C, Quarti Irigaray T. Pet Ownership, Depression, Anxiety, Well-Being, and Cognitive Functioning in Older Adults: Cross-Sectional Study. *JMIR Form Res*. 2026;10. doi:10.2196/76289
79. Barrios CL, Gornall V, Bustos-López C, Cirac R, Calvo P. Creation and Validation of a Tool for Evaluating Caregiver Burnout Syndrome in Owners of Dogs (*Canis lupus familiaris*) Diagnosed with Behavior Disorders. *Animals*. 2022;12(9). doi:10.3390/ani12091185
80. Joo S, Park H, Chun MS. Pet caregiver burden in South Korea: key influences and the implications for veterinarians. *BMC*

- Vet Res. 2025;21(1).
doi:10.1186/s12917-025-04787-9
81. Belshaw Z, Dean R, Asher L. "you can be blind because of loving them so much": The impact on owners in the United Kingdom of living with a dog with osteoarthritis. BMC Vet Res. 2020;16(1). doi:10.1186/s12917-020-02404-5
82. Linares-Roake J, VPL, RC, CE& BA. Crippling Multispecies Care: Explorations of Disability, Ableism, and Speciesism in Multispecies Homes. Disabil Stud Q. Published online March 2, 2026. doi:10.18061/dsq.6029
83. Cevallos Cáceres DM, Cordero Álava MJ, Salazar Mazamba M de L, Amador Sacoto CA. Percepciones de tutores de perros sobre la eficacia de la acupuntura y la fisioterapia en problemas de movilidad, Ecuador. ECOAgropecuaria Revista Científica Ecológica
- Agropecuaria. 2025;4(1). doi:10.53591/224ty570
84. Kidd JR. Alternative Medicines for the Geriatric Veterinary Patient. Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice. 2012;42(4):809-822 . doi:10.1016/j.cvsm.2012.04.009

Elementos bioquímicos que intervienen en el flujo de la información genética: una revisión a los elementos básicos para la asignatura de Bioquímica Veterinaria

Biochemical elements involved in the flow of genetic information: A review of the fundamentals for the veterinary biochemistry course.

Rosa Isabel Higuera Piedrahita

Laboratorio 3. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.

ORCID: [0000-0002-9231-1556](https://orcid.org/0000-0002-9231-1556)

Héctor Alejandro de la Cruz Cruz

Laboratorio 3. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.

ORCID: [0000-0002-9262-3111](https://orcid.org/0000-0002-9262-3111)

Manuel Andrés González Toimil

Jefe de la Unidad Pecuaria. Centro de Enseñanza Agropecuaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.

ORCID: [0009-0000-2946-3488](https://orcid.org/0009-0000-2946-3488)

María de los Ángeles Robles Mota

Laboratorio 3. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.

ORCID: [0009-0000-9817-4858](https://orcid.org/0009-0000-9817-4858)

Guillermo Reséndiz González

Laboratorio 3. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.

ORCID: [0000-0001-9652-1609](https://orcid.org/0000-0001-9652-1609)

Cynthia González Ruiz

Laboratorio 8. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.

ORCID: [0000-0001-8786-399X](https://orcid.org/0000-0001-8786-399X)

Iovanna Clarena Castellanos Londoño

Laboratorio. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia

ORCID: [0000-0003-0995-4145](https://orcid.org/0000-0003-0995-4145)

José Francisco Montiel Sosa

Laboratorio 18. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.

ORCID: [0000-0002-8250-9438](https://orcid.org/0000-0002-8250-9438)

Jorge Alfredo Cuéllar Ordaz

Laboratorio 3. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.

ORCID: [0000-0003-4657-0159](https://orcid.org/0000-0003-4657-0159)

Ana Elvia Sánchez Mendoza

Laboratorio 18. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, México.

ORCID: [0009-0002-4128-5850](https://orcid.org/0009-0002-4128-5850)

Autores de correspondencia: rositah_10@cuautitlan.unam.mx;
anasanchez12@cuautitlan.unam.mx

Resumen

El propósito de este trabajo es realizar una descripción actualizada de los elementos bioquímicos que intervienen en el flujo de la información genética, abarcando desde la replicación del ADN, tanto en células procariotas como eucariotas, hasta la transcripción del ADN, la síntesis de ADN, el procesamiento postranscripcional de los diversos tipos de ARN, el código genético, la activación de aminoácidos y la síntesis de proteínas (traducción del ARN). Asimismo, se mostrará una breve descripción del dogma central de la biología molecular. El contenido programático se acompaña de estrategias didácticas, como figuras y tablas, para mejorar la comprensión y diversificar la lectura.

Palabras clave: replicación, traducción, transcripción, ADN.

Abstract

The purpose of this work is to provide an updated description of the biochemical elements involved in the flow of genetic information, covering DNA replication in both prokaryotic and eukaryotic cells, DNA

transcription, DNA synthesis, post-transcriptional processing of various types of RNA, the genetic code, amino acid activation, and protein synthesis (RNA translation). Likewise, a brief description of the central dogma of molecular biology will be presented. The programmatic content to be developed will be accompanied by didactic strategies such as figures and tables.

Key words: Replication, traduction, transcription, DNA.

Introducción

El flujo de la información genética en las células sigue el principio conocido como el "dogma central" de la biología molecular, que establece que la información fluye de ADN a ARN a proteínas. Este flujo de información es análogo a un sistema informático y facilita la comprensión del procesamiento de la información biológica¹.

El modelo de ADN fue presentado originalmente por Watson y Crick, el cual está formado por dos hebras enrolladas una alrededor de la otra, dando una estructura helicoidal dextrógira. La orientación de las hebras es antiparalela. Las bases de nucleótidos de una hebra interactúan con las bases de nucleótidos de la otra, formando pares de bases. Estos últimos se mantienen unidos por enlaces de hidrógeno entre una purina y una pirimidina. En este sentido, la guanina forma tres enlaces de hidrógeno con la citosina y la adenina forma dos con la timina.

Materiales y métodos

Para la elaboración de la presente revisión, se adoptó una

metodología basada en la revisión bibliográfica sistemática de fuentes confiables y actualizadas, que incluyen libros especializados (publicados desde 2016 a la fecha y disponibles en la BiDi UNAM), artículos científicos obtenidos de bases de datos académicas (Scopus, ScienceDirect y Elsevier) y videos disponibles en YouTube, elaborados por las universidades de Harvard y Oxford. Se priorizó la consulta de literatura reciente para garantizar que la información presentada reflejara los avances más novedosos, así como la inclusión de imágenes, videos y esquemas de alta resolución. La información recolectada se analizó y se organizó de forma lógica, siguiendo como eje general el programa de la asignatura de Bioquímica para la licenciatura de MVZ, plan 2012². Se realizó una explicación general, con énfasis en puntos clave de los elementos bioquímicos que intervienen en el flujo de la información genética. Asimismo, se presentaron cuadros comparativos que facilitan la síntesis de la información.

Resultados

Replicación del ADN

La replicación del ADN es el proceso mediante el cual se duplica una molécula de ADN, es decir, se sintetiza una copia idéntica. Es un paso fundamental en el ciclo celular, ya que permite que las células hijas reciban una copia de la información genética de la célula madre³.

Replicación del ADN en procariotas

En el ciclo celular, cuando inicia la fase S y el ADN debe duplicarse, se activa un mecanismo de replicación en el que las hebras se separan e inmediatamente se genera una copia. Las hebras que se separan se consideran progenitoras y sirven como moldes para la síntesis de nuevas hebras. Esta estrategia se denomina “semiconservadora”³. El sitio donde se origina la replicación del ADN se denomina “origen de la replicación” (Figura 1).

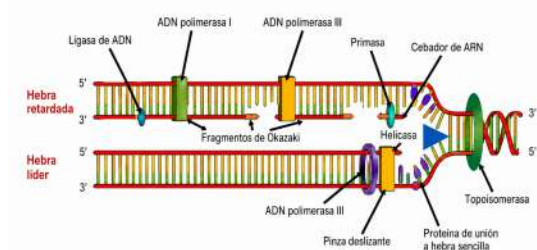


Figura 1. Replicación del ADN en procariotas. Adaptado de: OpenStax⁴.

En los individuos procariotas existe una proteína denominada “DnaA” que se fija a 20 a 30 moléculas al origen de replicación, facilitando el desenrollamiento que separa las hebras de ADN. Cuando las hebras están separadas, otra proteína denominada DnaB desenrolla la doble hélice utilizando moléculas de ATP. Asimismo, la DNA girasa ayuda en la separación de las hebras; de forma tal que, mientras la doble cadena se va desenrollando, las hebras separadas se van cubriendo por proteínas de fijación al ADN⁵.

La ADN primasa origina la formación de un complejo de primosoma. Este sintetiza oligonucleótidos de ARN cortos; es decir, menos de 10 pares de bases, complementarios a la hebra progenitora. Cuando el complejo está ensamblado, la ADN polimerasa III es una enzima que se encarga de replicar el ADN en procariotas como la *E. coli*, entre sus características poseen actividad exonucleasa de 3' a 5' correctora, lo que permite generar una copia exacta de la original⁶.

La replicación se lleva a cabo en ambas cadenas progenitoras con una leve variación. Una de las cadenas hijas se denominará “cadena líder o hebra conductora” y la segunda se llamará “hebra o cadena rezagada”. En la cadena líder, la replicación del ADN se lleva en sentido 5' a 3', generándose una cadena larga y continua, mientras que en la cadena

rezagada se forman fragmentos cortos, los cuales se llaman fragmentos de Okazaki (Figura 1). La DNA polimerasa III favorece la síntesis de fragmentos de Okazaki en los puntos donde están los cebadores de ARN. Al finalizar, los fragmentos de Okazaki se unen mediante la ADN polimerasa I, la cual es una exonucleasa, esta retira y sustituye nucleótidos a medida que avanza por la cadena de ADN molde. Esta misma enzima tiene la función de retirar el cebador de ARN y lo sustituye por ADN⁷. Finalmente, la enzima ligasa une los fragmentos de ADN de la hebra rezagada para formar una hebra continua (Figura 1)⁷.

Replicación del ADN en eucariontes

La replicación del ADN en los eucariontes está regulada por procesos muy rigurosos y meticulosos. Si bien el proceso es similar al de los procariontes, las células eucariotas tienen numerosos orígenes de replicación. Estos se activan cuando la célula entra en fase S del ciclo celular, lo que favorece la replicación del cromosoma⁸. Las células sintetizan una proteína denominada factor de licencia, que permite que el ADN se replique en un lugar específico, de tal forma que los orígenes de replicación puedan iniciar la replicación del ADN y, asimismo, limiten que el ADN se replique más de una vez por ciclo celular. Dentro de su mecanismo de acción, se puede describir que se acumulan en el núcleo durante G1 del ciclo celular, se unen al

origen de replicación de proteínas y son esenciales para recubrir el ADN con proteínas MCM (complejo de seis proteínas que controlan la replicación del ADN en las células eucariotas)⁸. La Figura 2 muestra una imagen ilustrativa de la replicación en eucariontes.

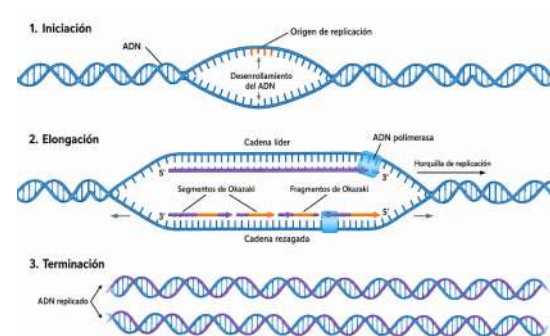


Figura 2. Replicación del ADN en eucariontes. Tomada de: ⁹.

A continuación, se muestra un cuadro comparativo de las principales diferencias en los procesos de replicación del ADN entre eucariontes y procariontes:

Tabla 1. Principales diferencias del proceso de replicación del ADN en procariotas y eucariotas

Cara cterí stica	Procariota s (ej. E. coli)	Eucariotas (ej. humanos)
Orga niza ción del ADN	ADN circular, sin histonas (nucleoide)	ADN lineal asociado a histonas (cromatina).
Oríg enes de repli cación	Único origen (oriC).	Múltiples orígenes (miles por cromosoma)

Velocidad de replicación	~500 nucleótidos/segundo.	~50 nucleótidos/segundo.
Tiempo de replicación	~40 minutos (genoma pequeño: ~4,6 Mb).	~8 horas (genoma grande: ~3,200 Mb).
Enzimas principales	ADN polimerasa III (elongación), ADN polimerasa I (reparación).	ADN polimerasa δ (hebra líder), ADN polimerasa α/ϵ (hebra rezagada).
Fragmentos de Okazaki	~1,000–2,000 nucleótidos.	~100–200 nucleótidos.
Procesamiento de extremos	No aplica (ADN circular).	Telomerasa extiende telómeros (evita acortamiento).
Regulación	Simple, vinculada al ciclo celular bacteriano.	Compleja, regulada por ciclinas y quinasas (ej. Cdk).
Estructuras involucradas	Horquilla de replicación única.	Burbujas de replicación múltiples.

Proteínas accesorias	Proteína SSB, helicasa, topoisomerasa II (girasa).	Proteínas de unión a hebra simple (RPA), helicadas, topoisomerasas I/II.
----------------------	--	--

Adaptado de: [Haz clic o pulse aquí para escribir texto.](#)^{3,5,6}

Transcripción del ADN

La transcripción es un proceso que implica la interacción de enzimas específicas y la hebra de DNA para producir una molécula de ARN. Este proceso se divide en tres etapas: 1) inicio, 2) elongación y 3) terminación.

Inicio de la transcripción

La primera etapa de la transcripción comienza con la interacción de la ARN polimerasa con el ADN en un punto específico. Es importante recordar que la mayoría del ADN genómico no codifica para proteínas, de modo que la generación del ARN deseado debe partir desde un punto específico asociado a secuencias específicas denominadas “promotoras” que están delante de la secuencia del gen que va a transcribirse.

Las células procariotas tienen promotores dentro de sus genes, que son abundantes en adenina y timina. Existen regiones comunes conservadas que están aproximadamente entre 10 nt y 35 nt en la cadena ascendente donde inicia la transcripción. A la secuencia de 10 nt se le conoce como la “caja TATA”. Esta caja TATA se une al factor de transcripción, que en procariotas

se denomina factor de transcripción procariota general, interacciona con la ARN polimerasa y la lleva al promotor^{7,10}.

En las células eucariotas, los promotores de la ADN polimerasa II presentan secuencias pequeñas y específicas denominadas secuencias de activación proximal (UAS), que tienen como función potenciar, reprimir y asociarse a la caja TATA y CAATT. Estas están distribuidas a lo largo de los nucleótidos, de forma tal que cada factor de transcripción reconoce las UAS y se une a ellas. Esto se considera la base de la expresión de genes^{5,11}. En la Tabla 2 se muestran diferencias importantes de la transcripción en células eucariotas y procariotas.

Tabla 2. Diferencias entre la transcripción del ADN en células eucariontes y procariontes

Característica	Procariotas (ej. E. coli)	Eucariotas (ej. Animales)
Ubicación	Al inicio (upstream) del sitio de transcripción.	Al inicio del sitio de inicio, pero con mayor variabilidad (pueden incluir enhancers lejanos).
Estructura típica	-10 (Pribnow)	TATA box: TATAAA

	box): TATAAT	(ubicada a ~-25 bp)
	-35: TTGACA	CAAT box: GGCCAATCT (a ~-80 bp)
		GC box: GGGCGG (en genes constitutivos o estructurales, también llamados housekeeping).
Conservación	Altamente conservadas en bacterias.	Menos conservadas; varían entre tejidos y genes.
Factores de transcripción	Sigma (σ): une la ARN polimerasa al promotor (ej. σ^{70} en E. coli).	TFIID (con TBP): Une la TATA box. Otros: TFIIA, TFIIIB, etc.
ARN polimerasa	Una sola (holoenzima con subunidad σ).	Tres tipos (Pol I, II, III). La Pol II transcribe genes codificantes de proteínas.
Regulación	Operones: múltiples genes bajo un solo promotor	Promotores individuales: cada gen tiene su propio promotor.

	(ej. lac operon).	Enhancers: secuencias reguladoras distantes (hasta 1 Mb).
--	-------------------	---

Adaptado de: ^{1,3,5,6}.

Elongación de la transcripción

En los procariotas, la elongación se considera el proceso por el cual se adicionan los nucleótidos individuales a la cadena de ARN que se está formando. Los nucleótidos (adenina (A), guanina (G), timina (T), citosina (C), uracilo (U)) se unen a un sitio de entrada de la ARN polimerasa; si el nucleótido que ingresa corresponde a la base nitrogenada en la cadena molde, este se transfiere al sitio activo de la polimerasa y forma un enlace fosfodiéster. Posteriormente, la ARN polimerasa se desplaza por la cadena molde de ADN. Este proceso realizado por la polimerasa, se le llama traslocación^{7,11}. Después de la traslocación, se añade otro nucleótido. Para que la elongación suceda, el ADN de doble hebra debe estar totalmente desenrollado, de forma que la ARN polimerasa pueda acceder fácilmente a la hebra molde. Las ADN topoisomerasas I y II son enzimas asociadas al complejo de transcripción y se desplazan por la cadena molde con la ARN polimerasa, separando las hebras de tal forma que estas sean de fácil acceso para la síntesis de ARN⁶.

En las células eucariotas, cuando la ARN polimerasa II inicia la transcripción, dos factores reguladores negativos, como lo son NELF y DSIF, toman a la polimerasa en posición de inicio. A la par, se forma un complejo ARN-proteína llamado P-TEFb, una enzima cinasa que fosforila las moléculas inhibitoras liberando a la ARN polimerasa para seguir con la síntesis de ARN^{12,13}.

Terminación de la transcripción

La ARN polimerasa termina la síntesis del ARN en el extremo 3'. En el caso de las células procariontes, la terminación se lleva a cabo por dos mecanismos:

5.3.1. Rho-dependiente: el transcrito de ARN codifica para una helicasa dependiente de ATP (rho), la cual desenrolla el transcrito de ARN del ADN, sigue a la ARN polimerasa y la desplaza deteniendo la transcripción¹⁴.

5.3.2. Rho-independiente: se forma la estructura en horquilla en la zona anterior de una secuencia de 6 a 8 residuos de uridina cerca del extremo 3' del transcrito. Esta horquilla aleja a la ARN polimerasa del molde de ADN, lo que favorece la terminación de la síntesis de ARN¹⁵.

En las células eucariotas, la ARN polimerasa I utiliza el factor de terminación 1 que se une al sitio de terminación de 18 nt, en sentido 3' de la secuencia del ARNr. Si esta unión se realiza, un factor de liberación permite que la polimerasa se libere del gen

del ARNr. La ARN polimerasa III utiliza un mecanismo similar al descrito en procariontes como rho-independiente. Finalmente, los productos de la ARN polimerasa II se procesan al instante eliminando el extremo 3' y se le añade una cola de poliadenosina llamada también cola poli A^{16,17}.

Procesamiento postranscripcional de los diversos tipos de ARN

El procesamiento postranscripcional del ARN es un conjunto de modificaciones que ocurren en el ARN después de la transcripción. Esto favorece la generación de ARN maduro y funcional. Estos procesos postranscripcionales ocurren en el núcleo. Esta estrategia permite que se produzcan diferentes proteínas a partir de un mismo gen y favorece la expresión y regulación del fenotipo¹⁸.

El ARN ribosomal (ARNr) y el ARN de transferencia (ARNt) se obtienen en forma de precursores, conocidos como pre-ARN, los cuales forman transcritos maduros. En el caso de células procariotas, el transcrito de ARNr 30-S posee regiones específicas (5' y 3' del transcrito), así como una copia de cada uno de los ARNr 23-S, 16-S y 5-S. Esta organización mantiene la proporción entre las subunidades ribosómicas grandes y las pequeñas. Los genes de ARNr poseen ARNt incrustados dentro del transcrito pre-ARNr. El transcrito de ARNr

debe procesarse para liberar los diversos ARN funcionales^{16,18}.

En procariotas, el procesamiento del pre-ARNr requiere varias enzimas, como las ribonucleasas (RNasas); entre ellas, la ribonucleasa III (RNasa III) corta el pre-ARNr en regiones de doble cadena ubicadas en los extremos del ARNr 16-S y 23-S liberando el ARNr del transcrito precursor. Después son procesados los extremos 5' y 3'. Mientras que en los eucariotas los transcritos de pre-ARNr de ARNr 45-S (~13,7 kb) incluyen una copia de los ARNr 18-S, 5,8-S y 28-S, esto lo realiza un complejo ribonucleoproteico denominado procesoma. En los humanos se ha determinado que, además del corte, se realizan 115 modificaciones con grupos metilo (2'-O-metilación) y 95 conversiones de uridina a pseudouridina (U→ψ)^{12,13,16,18}.

Respecto al procesamiento de los ARNt, se utilizan tres pasos: 1) RNasa P: corta el extremo 5' del pre-ARNt, 2) RNasa D: elimina nucleótidos extras del extremo 3', dejando la secuencia CCA invariante y 3) Empalme o splicing: algunos ARNt tienen intrones en el bucle del anticodón, que deben removerse^{12,13}.

Los ARNm de los eucariotas desarrollaron mecanismos para proteger los extremos, entre ellos:

1) capucha (5'-cap): es una estructura única compuesta por 7-metilguanosina, unida en orientación inversa al primer nucleótido del ARNm mediante

un enlace trifosfato 5'-5'. Esta enzima interactúa con la ARN polimerasa II, por lo que el cap se añade poco después de iniciarse la transcripción. 2) Extremo 3' con cola poliA: casi todos los ARNm eucariotas (excepto los ARNm de histonas) poseen una cola poliA añadida tras finalizar la transcripción. Esta cola de más de 250 nucleótidos es sintetizada por la poli(A) polimerasa usando ATP como sustrato (no está codificada en el ADN), esto favorece la estabilidad del ARNm.

El procesamiento postranscripcional del ARNm implica la eliminación de secuencias no codificantes llamadas intrones. Los exones se unen para formar un ARNm funcional; para ello, se encuentra el spliceosoma, que es un complejo multiproteico asociado a ARN nucleares pequeños (ARNsn). Estos últimos guían el posicionamiento de los grupos reactivos en el ARNm para remover intrones con precisión y empalmar (splicing) los exones correctamente. Se sabe que funcionan mediante apareamiento de bases con secuencias en los límites intrón-exón^{13,19,20}. En la Tabla 3 se describen las diferencias del procesamiento postranscripcional del ácido ribonucleico en eucariotas y procariotas.

Tabla 3. Diferencias del procesamiento postranscripcional del ácido ribonucleico en eucariotas y procariotas

Característica	Procariotas	Eucariotas
Estabilidad del ARNm	Vida media corta (minutos)	Vida media larga (horas/días)
Protección del 5'	Sin capucha	Capucha de 7-metilguanosina (5'-cap)
Protección del 3'	Sin poli(A)	Cola de poli(A) (> 250 nt)
Procesamiento	Transcripción + traducción acoplada	Splicing complejo (spliceosoma)

La eliminación de un intrón y la unión de dos exones ocurren en tres etapas. En la primera, U1 snARN se une al límite exón/intrón en el extremo 5' del intrón; luego U2 snARN se une a un nucleótido de adenosina clave. Posteriormente, se forma el complejo spliceosomal y la estructura de "lazo de vaquero"; el complejo U4/U5/U6 snARN se une cerca del sitio de empalme 5' y el intrón se pliega sobre sí mismo, alineando sus extremos para el corte. Finalmente, U6 snARN desplaza a U1 del ARNm.

A la par, suceden reacciones de transesterificación, en las que el grupo 2'-hidroxilo de la adenosina ataca el enlace fosfodiéster en el extremo 5' del intrón (en una guanosina), generando una estructura ramificada, en la que la adenosina queda unida a tres grupos fosfato (2', 3', 5'). Un

reordenamiento físico libera el complejo U4 snARN y sucede una segunda transesterificación, que une el extremo 3' del exón 1 con el extremo 5' del exón 2. El spliceosoma se desensambla, liberando la estructura de lazo, que es degradada y el ARNm maduro queda listo para su exportación al citoplasma^{12,19,20}.

Código genético y activación de aminoácidos

El código genético para la traducción está compuesto por cuatro nucleótidos: adenosina (A), citidina (C), guanosa (G) y uridina (U), que codificará una proteína que contiene hasta 20 aminoácidos. Para ello, se necesita una serie de tres nucleótidos en el ARNm llamada codón, la cual es específica para cada aminoácido. Cuando se consideran todas las combinaciones posibles de cuatro nucleótidos, de tres en tres, se obtienen 64 codones posibles. Tres codones se conocen como de terminación: UAA, UAG, UGA, indican el final de la síntesis de proteínas y no codifican para algún aminoácido^{12,21}.

Cabe resaltar que el código genético es degenerado, es decir, que más de un codón puede especificar un mismo aminoácido. En particular, el codón AUG (metionina) la codifica en cualquier lugar donde aparece en el ARN, pero también tiene una función única al definir el punto de inicio para la síntesis de proteínas en la mayoría de los ARNm²².

Síntesis de proteínas (traducción de ARN)

La traducción es el proceso mediante el cual la información codificada en un ARNm se traduce en la estructura primaria de una proteína. En la traducción, la información genética es expresada como una secuencia específica de nucleótidos en una molécula de ARN mensajero (ARNm) y se utiliza para dirigir la síntesis de una proteína. Luego, la proteína se pliega en una estructura secundaria, según la secuencia de los aminoácidos y, posteriormente, será enviada al retículo endoplásmico rugoso para culminar su estructura terciaria^{23,24}.

La traducción requiere tres componentes principales de ARN: 1) los ribosomas, que contienen ARN ribosómico (ARNr), 2) el ARN mensajero (ARNm) y 3) el ARN de transferencia (ARNt). Es en el ribosoma donde sucede la síntesis de proteínas. La información necesaria para llevar a cabo el proceso se encuentra en el ARNm. Los aminoácidos que se incorporarán a la proteína son unidos enzimáticamente a ARNt específicos mediante un proceso llamado "activación" o "carga"¹³. En este sentido, el ribosoma facilita la interacción entre el ARNm y las moléculas de ARNt cargadas, de modo que el aminoácido correcto se incorpore a la cadena polipeptídica en crecimiento.

La traducción del ARNm comienza cerca del extremo 5' de la plantilla y se mueve hacia el extremo 3' y las proteínas se sintetizan comenzando por su extremo amino-terminal. Por lo tanto, el extremo 5' del ARN codifica el extremo amino-terminal de la proteína, y el extremo 3' del ARN codifica el extremo carboxilo-terminal de la proteína^{13,24}.

El ribosoma posee tres sitios específicos donde se asocian las subunidades proteicas: el sitio A (aminoacil-ARNt): donde se posiciona un ARNt donador cargado con el aminoácido apropiado antes de que este se incorpore a la cadena polipeptídica en crecimiento; el sitio P (peptidil-ARNt): contiene un ARNt con el polipéptido recién sintetizado aún unido; y el sitio E (de salida): ocupado por el ARNt ya descargado (sin aminoácido), después de haberse formado el enlace peptídico y antes de salir del ribosoma. La formación del enlace peptídico ocurre entre los sitios A y P^{24,25}.

La enzima catalizadora del proceso es una peptidil transferasa, que forma un enlace peptídico entre el grupo amino del aminoácido en el sitio A y el extremo carboxilo del péptido naciente unido al ARNt en el sitio P. La pausa del ARNt descarboxilado en el sitio E antes de su salida es importante para mantener el marco de lectura y asegurar la fidelidad de la traducción. En el extremo 3' de la molécula de ARNt se crea el tallo

aceptor; en este punto, la enzima aminoacil-ARNt sintasa cataliza la adición de un aminoácido específico^{24,25,26}. El otro extremo de la "L" contiene el bucle anticodón, que interactúa con el ARNm. Este paso se puede reducir en dos pasos:

1. El grupo carboxilo del aminoácido es activado al reaccionar con ATP, formando un intermediario aminoacil-adenilato, que permanece unido al complejo de la sintasa.
2. En lugar de transferirse al grupo tiol de la coenzima A, como ocurre en la activación de ácidos grasos, el grupo aminoacilo se transfiere al hidroxilo 3' del ARNt.

El producto final se describe como un ARNt cargado, y en este punto está listo para unirse al sitio A del ribosoma, donde aportará su aminoácido a la cadena peptídica en crecimiento (en el sitio P). Existe una enzima sintasa única para cada uno de los 20 aminoácidos^{24,26}.

Proceso de síntesis de proteínas

La traducción se divide en tres pasos: inicio, elongación y terminación.

Inicio

Baynes y Dominiczak¹² describen que para el inicio de la síntesis de proteínas se coloca en el primer codón AUG (metionina) del ARNm. En las células eucariotas, la iniciación de la traducción depende de la interacción de alrededor de 12 factores de

iniciación llamados (eIFs), así como del ARNm y el ribosoma. Primero, se forma un complejo ternario entre el eIF-2, GTP y el ARNt iniciador de metionina (Met-ARNti), que se encarga de llevar el Met-ARNt al sitio A de la subunidad ribosomal pequeña de 40S²⁷. El complejo de preiniciación se ensambla sobre la subunidad 40S mediante la interacción del complejo ternario con los factores eIF-1, eIF-1A, eIF-3 y eIF-5. Este complejo de preiniciación es dirigido hacia el extremo 5' del ARNm por su interacción con el complejo eIF-4F, que está compuesto por la proteína eIF-4E, unida a la caperuza 7-metilguanosina, y otras proteínas eIF-4 relacionadas. Se localiza el codón AUG, ocurre una hidrólisis y se incorpora la subunidad grande de 60S del ribosoma, que queda preparado para la fase de elongación^{12,28}.

En células procariotas, el proceso involucra tres factores de iniciación (IF-1, IF-2 e IF-3), y el complejo de iniciación se forma justo arriba (5') de la región codificante, como resultado de la interacción entre el ARNr 16S de la subunidad pequeña y la secuencia Shine-Dalgarno del ARNm. La N-formil metionina (fMet), codificada por AUG, es el primer aminoácido en todas las proteínas bacterianas, en lugar de metionina¹².

Elongación

Cuando se completa la elongación inicia el proceso de traducción de la información del ARNm en una proteína funcional.

El ciclo de elongación inicia con la unión de un ARNt cargado al sitio A del ribosoma. En las células eucariotas, esta molécula de ARNt es llevada al ribosoma por la acción de un factor de elongación unido a GTP, llamado eEF-1A. Cuando el ARNt ha sido entregado al sitio A del ribosoma, la actividad peptidil transferasa del ribosoma cataliza la formación de un enlace peptídico entre el aminoácido en el sitio A y el aminoácido al final de la cadena peptídica en el sitio P^{13,28}. La cadena peptídica unida al ARNt queda entonces unida transitoriamente en el sitio A. Posteriormente, se forma el enlace peptídico entre cada aminoácido catalizado por la peptidil transferasa, el factor de elongación (eEF-2) desplaza al ribosoma un codón en sentido 3' del ARNm, el sitio A queda libre y permite recibir el siguiente ARNt. Cabe resaltar que los factores implicados en la etapa de elongación de la síntesis proteica son el blanco de algunos antibióticos^{27,28}.

Terminación

La terminación de la síntesis proteica, tanto en células eucariotas como bacterianas, se lleva a cabo en el sitio A del ribosoma alcanza uno de los codones de terminación del ARNm. Unas proteínas llamadas factores de liberación eucariotas (eRF) reconocen estos codones y provocan la liberación de la proteína que está unida al último ARNt en el sitio P. Este paso es dependiente de energía, catalizada por la hidrólisis de GTP,

la cual transfiere una molécula de agua al extremo de la proteína, permitiendo así su liberación del ARNt en el sitio P. Una vez que la nueva proteína ha sido liberada, las subunidades ribosómicas, el ARNt y el ARNm se disocian entre sí, preparando el sistema para la traducción de otro ARNm^{12,13,29}.

A continuación, la Tabla 4 muestra las diferencias más importantes de la traducción y síntesis de proteínas en eucariotas y procariotas.

Tabla 4. Diferencias entre la traducción y síntesis de proteínas eucariotas y procariotas

Característica	Procariotas (ej. E. coli)	Eucariotas (ej. Humanos)
Inicio de la traducción	- Secuencia Shine-Dalgarno (AGGAGG) en el ARNm, que se une al ARNr 16S del ribosoma.	- Capucha 5' (5'-cap) y estructura Kozak (ACCAUGG) alrededor del codón de inicio (AUG).
	- ARNm policistrónico: un mismo ARNm puede codificar múltiples proteínas.	- ARNm monocistrónico: cada ARNm codifica una sola proteína.

Ribosomas	- 70S (subunidades 50S + 30S).	- 80S (subunidades 60S + 40S).
	- Más pequeños y menos complejos.	- Contienen más proteínas y ARNr.
ARNt iniciador	- fMet-ARNt ^{<sup>Met</sup>} (transporta N-formilmetionina).	- Met-ARNt ^{<sup>Met</sup>} (transporta metionina sin formil).
Localización celular	- Ocurre en el citoplasma (sin núcleo).	- Ocurre en el citoplasma (tras exportación del ARNm desde el núcleo).
	- Transcripción y traducción son simultáneas.	- Transcripción y traducción están separadas en espacio y tiempo.
Factores de iniciación	- IF1, IF2, IF3 (similares, pero menos complejos).	- eIF1, eIF2, eIF3, eIF4, etc. (más numerosos y especializados).

Modificaciones postraduccionales	- Limitadas (ej.: plegamiento básico).	- Extensas: glucosilación, fosforilación, ubiquitinación, etc.
Regulación	- Principalmente nivel	- Múltiples niveles: splicing alternativo,
	transcripcional (operones).	estabilidad del ARNm, modificaciones de la cola poli(A).
Ejemplo de antibióticos que la afectan	- Tetraciclinas (bloquean la unión del ARNt al ribosoma).	- Cicloheximida (inhibe la peptidiltransferasa en eucariotas).
	- Eritromicina (une la subunidad 50S).	

Adaptado de: ^{27,28,29}.

Mecanismos de plegamiento proteico bajo estrés en el retículo endoplásmico

Para que una proteína recién sintetizada se vuelva funcionalmente activa, debe plegarse en una estructura tridimensional única (estructura secundaria y terciaria). Dado que un polipéptido puede adoptar múltiples conformaciones posibles, las proteínas requieren la ayuda de una clase especial de

proteínas llamadas chaperonas para alcanzar su conformación nativa correcta. Las chaperonas promueven el plegamiento correcto, el ensamblaje y la organización de proteínas, así como de estructuras macromoleculares como el nucleosoma y los complejos de transporte de electrones¹².

Las chaperonas previenen el mal plegamiento y la formación de agregados inespecíficos, facilitan el plegamiento correcto de proteínas recién sintetizadas mediante ciclos de unión y liberación del sustrato, regulados por la actividad ATPasa y proteínas cofactoras específicas³⁰. Dentro de las chaperonas se encuentran las proteínas de choque térmico (HSP), las cuales se expresan en respuesta a temperaturas elevadas, favorecen el replegamiento de proteínas desnaturalizadas por calor o por estrés físico o químico. Las proteínas mal plegadas detectadas son exportadas al citosol y degradadas en el proteasoma. El estrés del retículo endoplásmico se asocia al incremento de la actividad de las chaperonas, acumulando agregados protéicos o incluso induciendo la apoptosis celular³¹.

Destino celular de las proteínas: el rol clave de las modificaciones postraduccionales

Después de que las proteínas se pliegan correctamente en el retículo endoplásmico rugoso (RER) con ayuda de chaperonas, las proteínas son sometidas a modificaciones

postraduccionales clave que determinan su función y destino final^{32,33}. Entre ellas están:

1. Glicosilación: adición de oligosacáridos en residuos de asparagina (N-glicosilación) o serina/treonina (O-glicosilación), crucial para estabilidad, interacciones celulares y direccionamiento³³.
2. Formación de puentes disulfuro: catalizada por la enzima PDI (proteína disulfuro isomerasa), esencial para la estructura terciaria de proteínas secretoras (ej.: insulina)³³.
3. Proteólisis limitada: algunas proteínas (como el péptido señal) son eliminadas por peptidasas³³.

Una vez procesadas, las proteínas son empaquetadas en vesículas de transporte y enviadas al aparato de Golgi, donde se llevan a cabo modificaciones adicionales (ej.: sulfatación, fosforilación) y son clasificadas para su destino final: secreción (ej.: hormonas), membrana plasmática (ej.: receptores) u orgánulos específicos (ej.: lisosomas). Las proteínas mal plegadas son degradadas vía ERAD (proteasoma), mientras que el estrés prolongado activa la apoptosis. Este sistema asegura la homeostasis proteica y está alterado en enfermedades relacionadas al metabolismo como diabetes, obesidad y fibrosis quística^{32,33}.

Conclusión

El estudio de los elementos bioquímicos que intervienen en el flujo de la información genética, desde la replicación del ADN hasta la síntesis de proteínas, es fundamental para comprender los procesos moleculares que sustentan la vida. Estos mecanismos no solo explican cómo se transmite y expresa la información genética, sino que también tienen aplicaciones prácticas en áreas como la medicina, la biotecnología y la salud animal. Por ejemplo, el entendimiento de estos procesos ha permitido el desarrollo de tecnologías innovadoras, como las vacunas de ARNm, y técnicas diagnósticas como la PCR, que son esenciales en la medicina veterinaria moderna.

Agradecimiento y financiación

Al proyecto SECIHTI Fronteras CBF-2025-I-247 denominado: Evaluación del efecto antihelmíntico de nanopartículas biodegradables de Artemisia cina y Arthrobotrys oligospora y su efecto sobre biomarcadores enzimáticos asociados al estrés oxidante en el nematodo de rumiantes Haemonchus contortus.

Al proyecto COMECYT-CIKAS-FICDTEM-25-01 2 del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología denominado Actividad aditiva in vitro del

extracto n-hexánico de Artemisia cina y del hongo Arthrobotrys oligospora sobre larvas infectantes de Haemonchus contortus.

A la cátedra FESC-CI2428 denominado Potencial sinérgico in vitro de un extracto n-hexánico de Artemisia cina y de un filtrado líquido del hongo Duddingtonia flagrans contra estadios de vida libre de Haemonchus contortus.

Al proyecto PAPIIT-DGAPA denominado Efecto sinérgico del peruvín y del hongo Arthrobotrys oligospora sobre larvas infectantes de Haemonchus contortus.

Referencias

1. Reel PS, Reel S, Pearson E, Trucco E, Jefferson E. Using machine learning approaches for multi-omics data analysis: A review. *Biotechnol Adv.* 2021;49:107739. doi:10.1016/j.biotechadv.2021.107739.
2. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Programa de la asignatura de bioquímica [Internet]. Universidad Nacional Autónoma de México; 2011 [citado 7 oct 2026]. Disponible en: <https://www.cuautitlan.unam.mx/licenciaturas/mvz/descargas/semestre01/bioquimica.pdf>
3. Hoy MA. DNA, gene structure, and DNA replication. En: *Insect molecular genetics*: Elsevier; 2013. p. 3-36. doi:10.1016/B978-0-12-415874-0.00001-9.
4. OpenStax. 14.4: Replicación de ADN en procariotas [Internet]. LibreTexts Español; 2022 [citado 7 oct 2026]. Disponible en: [https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Biologia/Biologia_introductoria_y_general/Libro:_Biologia_General_\(OpenStax\)/3:_Genetica/14:_Estructura_y_función_del_ADN/14.4:_Replicación_de_ADN_en_procariotas](https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Biologia/Biologia_introductoria_y_general/Libro:_Biologia_General_(OpenStax)/3:_Genetica/14:_Estructura_y_función_del_ADN/14.4:_Replicación_de_ADN_en_procariotas)
5. Horwitz RJ. Basic concepts of molecular biology. *Immunol Allergy Clin North Am.* 1996;16(3):485-516. doi:10.1016/S0889-8561(05)70258-7.
6. Saxena S, Zou L. Hallmarks of DNA replication stress. *Mol Cell.* 2022;82(12):2298-2314. doi:10.1016/j.molcel.2022.05.004.
7. Summers WC. Central dogma of molecular biology. En: *Reference module in life sciences*. Elsevier; 2022. doi:10.1016/B978-0-12-822563-9.00002-0.
8. Loewith R. TORC1 signaling in budding yeast. En: Hall MN, Tamanoi F, editores. *The enzymes*. Vol. 27. 2010. p. 147-175. doi:10.1016/S1874-6047(10)27009-9.
9. National Human Genome Research Institute. Replicación de ADN [Internet]. National Human Genome Research Institute; 2026 [citado 7 oct 2026]. Disponible en: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Replicacion-de-ADN>

10. Jin X, Cheng AG, Chanin RB, Yu FB, Dimas A, Jasper M, et al. Comprehensive profiling of genomic invertons in defined gut microbial community reveals associations with intestinal colonization and surface adhesion. *Microbiome*. 2025;13:71. doi:10.1186/s40168-025-02052-7.
11. Ryczek N, Łyś A, Wanowska E, Kozłowska-Masłoń J, Makołowska I. Mechanism of expression regulation of head-to-head overlapping protein-coding genes INO80E and HIRIP3. *Commun Biol*. 2025;8:391. doi:10.1038/s42003-025-07815-4.
12. Baynes JW, Dominiczak MH. *Bioquímica médica*. 5.^a ed.: Elsevier; 2019.
13. Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Weil A. *Harper's illustrated biochemistry*. 31st ed. McGraw-Hill Education; 2018.
14. Ciampi MS. Rho-dependent terminators and transcription termination. *Microbiology (Reading)*. 2006;152(9):2515-2528. doi:10.1099/mic.0.28982-0.
15. Popoff MR, Geny B. Rho/Ras-GTPase-dependent and -independent activity of clostridial glucosylating toxins. *J Med Microbiol*. 2011;60(8):1057-1069. doi:10.1099/jmm.0.029314-0.
16. Shaban HA, Barth R, Bystricky K. Navigating the crowd: visualizing coordination between genome dynamics, structure, and transcription. *Genome Biol*. 2020;21:278. doi:10.1186/s13059-020-02185-y.
17. Studniarek C, Egloff S, Murphy S. Noncoding RNAs Set the Stage for RNA Polymerase II Transcription. *Trends Genet*. 2021;37(3):279-291. doi:10.1016/j.tig.2020.09.013.
18. Zhao BS, Roundtree IA, He C. Post-transcriptional gene regulation by mRNA modifications. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2017;18(1):31-42. doi:10.1038/nrm.2016.132.
19. Wahl MC, Will CL, Lührmann R. The Spliceosome: Design Principles of a Dynamic RNP Machine. *Cell*. 2009;136(4):701-718. doi:10.1016/j.cell.2009.02.009.
20. Will CL, Lührmann R. Spliceosome Structure and Function. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2011;3(7):a003707. doi:10.1101/cshperspect.a003707.
21. Manandhar M, Chun E, Romesberg FE. Genetic Code Expansion: Inception, Development, Commercialization. *J Am Chem Soc*. 2021;143(13):4859-4878. doi:10.1021/jacs.0c11938.
22. Jewel D, Chatterjee A. Rewriting the genetic code. *Science*. 2021;372(6546):1040-1041. doi:10.1126/science.abi9892.
23. Lorber B, Fischer F, Bailly M, Roy H, Kern D. Protein analysis by dynamic light scattering: Methods and techniques for students. *Biochem Mol Biol Educ*. 2012;40(6):372-382. doi:10.1002/bmb.20644.

24. Macé K, Giudice E, Gillet R. La synthèse des protéines par le ribosome. *Med Sci (Paris)*. 2015;31(3):282-290. doi:10.1051/medsci/20153103014.
25. Gillet R, Felden B. Lost in translation. *Med Sci (Paris)*. 2007;23(6-7):633-639. doi:10.1051/medsci/20072367633.
26. Goldberg ME. Le repliement des protéines: seconde traduction du message génétique. *Med Sci (Paris)*. 2005;21(6-7):563-568. doi:10.1051/medsci/2005216-7563.
27. Carvalho Barbosa C, Calhoun SH, Wieden HJ. Non-coding RNAs: what are we missing?. *Biochem Cell Biol*. 2020;98(1):23-30. doi:10.1139/bcb-2019-0037.
28. Komarova AV, Brocard M, Kean KM. The case for mRNA 5' and 3' end cross talk during translation in a eukaryotic cell. *Prog Nucleic Acid Res Mol Biol*. 2006;81:331-367. doi:10.1016/S0079-6603(06)81009-3.
29. Nelson D, Cox M. Lehninger. Principios de bioquímica. 7.^a ed.: Omega; 2019.
30. Basset CA, Cappello F, Rappa F, Lentini VL, Jurjus AR, Conway de Macario E, et al. Molecular chaperones in tumors of salivary glands. *J Mol Histol*. 2020;51(2):109-115. doi:10.1007/s10735-020-09871-y.
31. Heritz JA, Backe SJ, Mollapour M. Molecular chaperones: Guardians of tumor suppressor stability and function. *Oncotarget*. 2024;15:679-696. doi:10.18632/oncotarget.28653.
32. Braakman I, Hebert DN. Protein Folding in the Endoplasmic Reticulum. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2013;5(5):a013201. doi:10.1101/cshperspect.a013201.
33. Cecchini G. Function and Structure of Complex II of the Respiratory Chain. *Annu Rev Biochem*. 2003;72 (1):77-109. doi:10.1146/annurev.biochem.72.121801.161700.