

ESTRATEGIAS EN EL CONTROL DE *Haemonchus contortus*: ALTERNATIVAS A LOS ANTIHELMÍNTICOS

STRATEGIES FOR CONTROLLING *Haemonchus contortus*: ALTERNATIVES TO ANTHELMINTHICS

Segovia-Rodríguez S.J.¹; Aguilar-Marcelino, L.²; Hernández-Marín, J.A.^{3*}.

¹*Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, km 9 carretera Irapuato-Silao, ExHda. El Copal, C.P. 36500, Irapuato, Gto., México.*

²*Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, INIFAP, km 11 Carretera Federal Cuernavaca-Cuatla, C.P. 62550, Jiutepec, Estado de Morelos, México.*

³*Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, km 9 carretera Irapuato-Silao, ExHacienda El Copal, C.P. 36500, Irapuato, Gto., México.*

* E-mail (*Autor de correspondencia): jahmarin@ugto.mx

Fecha de envío: 14, mayo, 2025

Fecha de publicación: 20, julio, 2025

Resumen:

El control de *Haemonchus contortus*, un nematodo gastrointestinal que afecta a pequeños rumiantes enfrenta desafíos debido a la resistencia a los antihelmínticos convencionales. Esta revisión describe estrategias para su manejo. Las vacunas basadas en antígenos son eficaces pero tienen limitaciones logísticas. Las lectinas fúngicas, que modulan la respuesta inmune, son una alternativa complementaria. El control con hongos nematófagos y probióticos reduce la carga parasitaria. El manejo de pastoreo rotacional minimiza la dependencia de antihelmínticos. La selección genética de razas resistentes, basada en marcadores fenotípicos y genómicos, mejora el control de parásitos. El uso de extractos de plantas tiene efectos ovicidas y larvicidas. El uso de nanopartículas y liposomas, mejora la administración de agentes antiparasitarios. Las partículas de óxido de cobre, complementan los tratamientos tradicionales. Integrar estas estrategias en un enfoque holístico puede ofrecer soluciones sostenibles para el control del nematodo.

Palabras clave: Resistencia antihelmíntica, control biológico, nanotecnología, pequeños rumiantes.

Abstract:

The control of *Haemonchus contortus*, a gastrointestinal nematode that affects small ruminants, faces challenges due to resistance to conventional anthelmintics. This review describes strategies for its management. Antigen-based vaccines are effective but have logistical limitations. Fungal lectins, which modulate the immune response, are a complementary alternative. Control with nematophagous fungi and probiotics reduces parasitic load. Rotational grazing management minimizes dependence on anthelmintics. Genetic selection of resistant breeds, based on phenotypic and genomic markers, improves parasite control. The use of plant extracts has ovicidal and larvicidal effects. The use of nanoparticles and liposomes improves the administration of antiparasitic agents. Copper oxide particles complement traditional treatments. Integrating these strategies into a holistic approach can offer sustainable solutions for nematode control.

Keywords: Anthelmintic resistance, biological control, nanotechnology, small ruminants.

INTRODUCCIÓN

El control de *Haemonchus contortus*, un nematodo gastrointestinal altamente patógeno que afecta a los pequeños rumiantes a escala mundial, ha sido durante mucho tiempo un desafío crítico para los productores ganaderos, lo que provocó un llamado urgente para estrategias de manejo alternativas (Tchétan et al., 2022) . En las últimas décadas, los antihelmínticos convencionales han dominado los protocolos de tratamiento; sin embargo, su uso extensivo ha llevado a una resistencia generalizada a los medicamentos, lo que compromete su eficacia y pone en peligro el bienestar animal (Soliman et al., 2024). Los investigadores han recurrido cada vez más a metodologías innovadoras que abarcan el aislamiento de productos naturales, formulaciones nanotecnológicas y enfoques integrados basados en la inmunidad (Helal et al., 2022) . Estas alternativas emergentes brindan vías prometedoras para interrumpir el ciclo de vida del parásito y ayudan a mitigar las cargas ambientales y económicas asociadas con los residuos químicos (Tchétan et al., 2022)

Los antihelmínticos químicos tradicionales, ampliamente utilizados durante décadas, se ven cada vez más obstaculizados por la aparición de resistencia a múltiples fármacos en las poblaciones de *H. contortus*, lo que subraya la necesidad apremiante de intervenciones alternativas (Tchétan et al., 2022).

En los últimos años, la investigación se ha centrado en diversas estrategias como: estrategias inmunológicas, control biológico, manejo de pastoreo y tratamientos selectivos, mejoramiento y elección genética, fitoterapia y metabolitos vegetales, biotecnología y nanotecnología (Pava et al., 2024; Herrera-Quevedo et al., 2025). Por lo anterior, la presente revisión de literatura tiene como objetivo revisar de forma crítica los reportes científicos de las principales estrategias innovadoras en el control de *H. contortus* como alternativas o complementos a los antihelmínticos convencionales.

ALTERNATIVAS A LOS ANTIHELMÍNTICOS

Se presenta un panorama de las principales alternativas al uso de antihelmínticos convencionales para el control de *H. contortus*, agrupadas en siete enfoques complementarios: (1) estrategias inmunológicas; (2) control biológico, basado en hongos nematófagos y formulaciones paraprobiticas; (3) manejo de pastoreo y tratamientos selectivos; (4) selección genética de razas resistentes; (5) fitoterapia y metabolitos vegetales; (6) biotecnología y nanotecnología, y (7) alternativas químicas no convencionales, destacando el uso de partículas de óxido de cobre (Figura 1). Cada uno ofrece mecanismos diferentes para interrumpir el ciclo de vida del parásito y, al combinarse en un manejo integrado, puede contribuir de manera más sostenible y efectiva a la salud de los pequeños rumiantes.

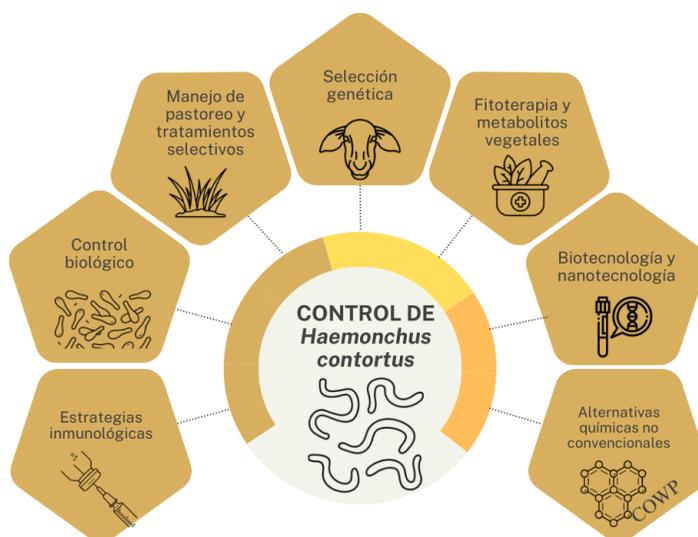


Figura 1. Principales alternativas al uso de antihelmínticos para el control de *H. contortus*.

Figure 1. Main alternatives to the use of anthelmintics for the control of *H. contortus*.

1. Estrategias inmunológicas

1.1. Vacunas basadas en antígenos

Las vacunas contra *H. contortus*, como Barbervax, basadas en antígenos nativos del intestino (H-gal-GP y H11) de parásitos adultos, han demostrado eficacia en el control de la hemoncosis en el ganado. Sin embargo, su uso está limitado por la disponibilidad global, la necesidad de administraciones repetidas y problemas logísticos en regiones con recursos limitados (Zaragoza-Vera et al., 2022; Palevich et al., 2023).

Las vacunas recombinantes ofrecen la clara ventaja de contar con procesos de producción estandarizados en comparación con las basadas en moléculas nativas, lo que mejora la estabilidad y la escalabilidad (Wang et al., 2022). Los antígenos recombinantes han llevado a la prueba preclínica de varios candidatos prometedores destinados a mejorar el rendimiento de la vacuna. demostraron que la inmunización con un antígeno recombinante de *H. contortus* (rHc8) resultó en una reducción significativa tanto en la eliminación de huevos (70%) como en las cargas de gusanos (55%) en cabras infectadas. De manera similar, Wen et al. (2022) identificaron antígenos recombinantes adicionales (rHc-TPS y Hc-HAP) que provocaron respuestas inmunitarias específicas, donde las proteínas recombinantes fueron reconocidas por el sistema inmunitario del huésped, y sus patrones de expresión en los tejidos del parásito fueron comparables a los de los antígenos utilizados en Barbervax.

Las lectinas fúngicas pueden modular la respuesta inmune gracias a sus propiedades selectivas de unión a carbohidratos. Ante el aumento de infecciones fúngicas y la resistencia a antifúngicos, las estrategias inmunomoduladoras son alternativas complementarias a las terapias tradicionales. Es crucial investigar las vías mecanísticas de lectinas como CCL2, CGL2, AAL y MOA para desarrollar nuevos enfoques terapéuticos (Maldonado et al., 2022; Jug et al., 2024; Farago et al., 2024).



1.2 Moduladores del sistema inmune

Las lectinas fúngicas de *Coprinopsis cinerea*, *Aleuria aurantia* (AAL) y *Marasmius oreades* (MOA), son reconocidas por sus propiedades inmunomoduladoras debido a su capacidad para interactuar con moléculas glicosiladas en la superficie celular. Estas interacciones pueden influir en la señalización inflamatoria, la adhesión celular y el reconocimiento de patógenos, modulando la respuesta inmunitaria (Maldonado et al., 2022).

MOA puede interferir con la adhesión de patógenos a las superficies epiteliales, reduciendo la capacidad de patógenos como *Campylobacter jejuni* para adherirse e invadir. Al unirse a los carbohidratos en las células diana, MOA modula el reconocimiento del huésped y las respuestas inmunitarias, lo cual es crucial para frenar la colonización y diseminación de patógenos (Jug et al., 2024). AAL se utiliza para evaluar patrones de glicosilación en células inmunitarias, afectando la activación celular y la liberación de citocinas (Farago et al., 2024).

2. Control biológico

2.1 Hongos nematófagos

Los hongos nematófagos, como *Duddingtonia flagrans* y varias especies del género *Arthrobotrys*, son fundamentales en el control biológico de *H. contortus*. *D. flagrans* ha sido ampliamente estudiado por su capacidad para producir clamidosporas, lo que le permite sobrevivir en diversas condiciones ambientales y persistir en pasturas. Este hongo depreda larvas infectivas de nematodos mediante acciones enzimáticas y mecánicas (Fernández et al., 2023; Wang et al., 2023).

Especies de *Arthrobotrys*, como *A. oligospora* y *A. musiformis*, destacan por sus propiedades nematocidas. Utilizan redes adhesivas o anillos constrictores para capturar nematodos y secretan productos nematocidas extracelulares (PCE) que facilitan la eliminación de las larvas objetivo, mejorando su eficacia de control sobre *H. contortus* (Colinas-Picazo et al., 2024).

Investigaciones sugieren que el uso combinado de estos hongos puede generar efectos sinérgicos contra los nematodos parásitos. Estudios han demostrado que la asociación entre *D. flagrans* y otros hongos de biocontrol, como los del género

Arthrotrys, aumenta la eficiencia de la depredación y mejora los resultados en la reducción de las poblaciones de *H. contortus* en pasturas (Carmo et al., 2025).

2.2. Paraprobióticos y probióticos

El control de *H. contortus* mediante intervenciones microbianas se ha centrado especialmente *Saccharomyces boulardii*, que ha demostrado efectos inmunomoduladores en ovejas. La suplementación con este probiótico reduce la prolificidad de *H. contortus* al modular la respuesta inmunitaria del huésped, disminuyendo la fecundidad y la carga parasitaria (Pinto et al., 2022).

En contraste, no encuentro existe evidencia directa sobre el uso de paraprobióticos (células microbianas no viables o extractos celulares) para el control de *H. contortus*. Aunque los paraprobióticos se han analizado en otros contextos parasitológicos por sus propiedades antiinflamatorias e inmunomoduladoras, la literatura carece de investigaciones específicas sobre su uso contra este parásito. Por lo tanto, *S. boulardii* sigue siendo el principal candidato probiótico.

3. Manejo de pastoreo y tratamientos selectivos

3.1 Rotación de pastos y manejo intensivo

El control de *H. contortus* en pequeños rumiantes puede lograrse mediante prácticas estratégicas de manejo del pastoreo, como el pastoreo rotacional y el pastoreo cero. El pastoreo rotacional divide la pastura en secciones y mueve periódicamente a los animales, permitiendo que las pasturas descansen y reduciendo la supervivencia de las larvas infecciosas debido a condiciones climáticas desfavorables. Además, mantiene refugios de parásitos no expuestos a medicamentos, retrasando la resistencia a los antihelmínticos (Cook, 2023).

Por otro lado, el pastoreo cero implica confinar a los animales y proporcionarles forraje cosechado, eliminando la exposición a pasturas contaminadas y reduciendo la presión de reinfección. Este enfoque es eficaz cuando el control ambiental es difícil y reduce la dependencia de antihelmínticos.

3.2 Tratamiento selectivo (TST)

El método FAMACHA es esencial en el manejo integrado de parásitos en pequeños rumiantes. Este enfoque minimiza el uso de antihelmínticos y controla eficazmente las infecciones parasitarias en rebaños donde *H. contortus* es predominante. Este método evalúa clínicamente la anemia observando el color de la mucosa ocular, permitiendo identificar y tratar solo a los animales más afectados (Rodrigues et al., 2023; Selvam, 2022). Esto ayuda a mantener refugios parasitarios, cruciales para retrasar la resistencia a los antihelmínticos al reducir la presión selectiva sobre la población parasitaria (Niciura y Sanches, 2024).

Además, TST y FAMACHA pueden integrarse con otras estrategias de manejo, como el pastoreo rotacional y la cría selectiva, formando un enfoque integral para el control de parásitos. Identificar animales con altos niveles de anemia permite seleccionar aquellos con resistencia genética a *H. contortus*, mejorando la sostenibilidad a largo plazo de las prácticas de manejo de rebaños (Selvam, 2022; Rodrigues et al., 2023).

4. Selección genética

En ovinos, se aprovecha la variabilidad en los rasgos de resistencia del huésped. Estudios han demostrado que el recuento de huevos fecales (FEC) y el volumen celular empaquetado (PCV) son indicadores de resistencia y pueden usarse como marcadores fenotípicos para seleccionar individuos resistentes (Niciura et al., 2022; Selvam, 2022).

Los estudios de asociación de todo el genoma (GWAS) han identificado regiones genómicas y genes candidatos asociados con la resistencia a parásitos. En ovinos Morada Nova, se han observado asociaciones significativas entre el perfil genético y una reducción en FEC, vinculando la selección genética con un mejor control de parásitos (Niciura et al., 2022).

La selección genética se refuerza con marcadores moleculares, como las variantes del número de copias (CNV) en genes relacionados con el sistema inmunitario, que confieren resistencia a *H. contortus* (Estrada-Reyes et al., 2022). Estos marcadores, incluidos genes como CCL1, CCL2 y NOS2, son herramientas

eficaces para la selección asistida por marcadores y proporcionan información sobre los mecanismos biológicos que median la respuesta inmunitaria del huésped (Estrada-Reyes et al., 2022).

Al dirigirse a estos determinantes genéticos, los criadores de ovinos pueden mejorar la resistencia sin comprometer otros rasgos de producción, beneficiando la salud y productividad animal. La selección genética reduce la dependencia de antihelmínticos químicos, que han contribuido a la resistencia antihelmíntica en parásitos (Niciura et al., 2022; Estrada-Reyes et al., 2022). Seleccionar ovinos naturalmente resistentes disminuye la carga parasitaria, la incidencia de enfermedades y las pérdidas económicas asociadas con la hemoncosis. (Selvam, 2022).

5. Fitoterapia y metabolitos vegetales

La aplicación de extractos vegetales se perfila como una estrategia innovadora y sostenible para el control de agentes biológicos. Estos son obtenidos de especies vegetales seleccionadas y contienen una diversidad de metabolitos secundarios como ácidos fenólicos, flavonoides, sesquiterpenos, taninos y alcaloides cuya actividad biológica ha sido objeto de múltiples estudios recientes (Hernández-Ruiz et al., 2024).

Investigaciones *in vitro* e *in vivo* han demostrado que dichos compuestos ejercen efectos ovicidas, larvicidas y adulticidas sobre *H. contortus*, interfiriendo en procesos biológicos críticos del parásito y reduciendo su capacidad de reproducción (Olmedo-Juárez et al., 2022; Sagheb, 2023; Pava et al., 2024). Además, se ha documentado que la acción de estos metabolitos refuerza las defensas inmunitarias del hospedador, favoreciendo tanto las respuestas innatas como las adaptativas, lo que contribuye a un control más eficiente de la carga parasitaria (Komáromyová et al., 2022). De este modo, los extractos vegetales ofrecen una alternativa de bajo impacto ambiental frente a los tratamientos convencionales y abren nuevas perspectivas para el manejo integrado de parásitos.



Plantas como *Pithecellobium dulce* contienen ácidos fenólicos y flavonoides con efectos ovicidas significativos (Olmedo-Juárez et al., 2022). El extracto metanólico de *Astragalus effusus* inhibe la eclosión de huevos *in vitro* (Sagheb, 2023). *Artemisia cina* afecta tanto a huevos como a larvas L3, gracias a la acción sinérgica de las lactonas sesquiterpénicas (Pava et al., 2024).

Plantas ricas en taninos condensados, como *Medicago sativa* L., inhiben la eclosión de huevos y el desarrollo larvario, modificando la estructura cuticular del parásito (Kandil et al., 2023). *Syzygium aromaticum* contiene eugenol, que interfiere con la eclosión de los huevos (Carrillo-Morales et al., 2023).

Las plantas bioactivas no solo tienen efectos antihelmínticos directos, sino que también pueden estimular la inmunidad del huésped. Por ejemplo, el uso de *Onobrychis viciifolia* en la dieta de ovinos reduce la carga parasitaria y mejora la respuesta de anticuerpos (Komáromyová et al., 2022; Komáromyová et al., 2025). Esta acción dual respalda su inclusión en estrategias integradas de control parasitario (Soliman et al., 2024).

6. Biotecnología y nanotecnología

6.1 Nanopartículas

Se han investigado nanoformulaciones inorgánicas y orgánicas para la administración eficaz de agentes antiparasitarios.

Las nanoformulaciones inorgánicas, como las basadas en óxidos metálicos y nanopartículas metálicas, han mostrado actividad antihelmíntica significativa. Suteky y Dwatmadji (2023) demostraron que las nanopartículas de plata (AgNP) sintetizadas con extractos vegetales pueden reducir la motilidad de *H. contortus* adulto, sugiriendo que estas nanopartículas interfieren con la fisiología del parásito. Además, las nanopartículas inorgánicas pueden generar especies reactivas de oxígeno y disrumpir la membrana del parásito, optimizando las interacciones y superando la resistencia (Suteky y Dwatmadji, 2023).

En el ámbito orgánico, los liposomas y nanopartículas poliméricas son biocompatibles y mejoran la solubilidad y estabilidad de los fármacos. Aunque no hay evidencia directa de su aplicación contra *H. contortus*, estudios en otras áreas terapéuticas justifican su posible uso. Dado que, los liposomas y portadores

poliméricos pueden lograr administración dirigida y liberación controlada, esenciales para mejorar la eficacia de los agentes antihelmínticos (Hendy et al., 2022; Bezelya et al., 2023).

Los métodos emergentes para crear nanocompuestos híbridos orgánico-inorgánicos combinan las propiedades beneficiosas de ambas formulaciones. Estudios sobre plantillas de copolímeros de bloque de injerto mixto (Xue et al., 2023) y reacciones hidrotermales supercríticas (Adschiri et al., 2023) muestran que los nanocompuestos pueden fabricarse con morfologías y funcionalidades controladas. Aunque estos estudios no se centran directamente en *H. contortus*, ofrecen información crucial sobre técnicas de fabricación que pueden facilitar la producción de nanoformulaciones eficaces, fusionando los beneficios antiparasitarios de las nanopartículas inorgánicas con la eficiencia de administración de los portadores orgánicos.

6.2 ARN de interferencia (ARNi)

La supresión génica mediada por iARN puede alterar funciones biológicas esenciales en este nematodo parásito. Yang et al. (2023) demostraron que la inhibición del gen transportador del hemo HRG-1 en *H. contortus* detiene el desarrollo y provoca fenotipos letales en larvas infecciosas, que solo pueden ser parcialmente rescatadas con hemo exógeno. Esto subraya la acción indispensable de este transportador y valida la focalización basada en iARN como un enfoque terapéutico prometedor.

El silenciar el gen de la subunidad $\beta 5$ del proteasoma Hc-pbs-5 mediante inmersión en ARN bicatenario (ARNdc) reduce su transcripción y disminuye la progresión de los estadios larvarios desde L3 exvainadas (xL3) hasta larvas de cuarto estadio (L4) (He et al. 2023).

Los avances y limitaciones de la investigación de iARN en *H. contortus*. Aunque el iARN ha sido una herramienta poderosa para identificar posibles dianas terapéuticas, aún existen desafíos para optimizar los métodos de administración y asegurar el silenciamiento génico consistente en las diferentes etapas de vida del parásito (Hou et al., 2023).

7. Alternativas químicas no convencionales

7.1. Partículas de óxido de cobre (COWP):

Mecanísticamente, la administración de COWP libera iones de cobre en el abomaso, creando un ambiente desfavorable para la supervivencia y reproducción de los nematodos (Needleman et al., 2022; Geniac et al., 2024). Este enfoque complementa los medicamentos tradicionales, reduciendo la dependencia de antihelmínticos químicos y limitando la propagación de cepas resistentes de *H. contortus*.

Needleman et al. (2022) realizaron un ensayo clínico doble ciego en alpacas adultas, mostrando que la administración de COWP disminuye significativamente el recuento de huevos de nematodos gastrointestinales fecales. Los iones de cobre liberados en el tracto gastrointestinal tienen un efecto perjudicial sobre los nematodos, aplicable a otros rumiantes afectados por *H. contortus*.

Geniac et al. (2024) investigaron los efectos de COWP en corderos Katahdin, demostrando que la suplementación con COWP reduce la carga parasitaria y mejora el rendimiento del crecimiento. La reducción en los marcadores de infección indica que COWP ataca eficazmente a los parásitos, incluido *H. contortus*. Este estudio sugiere el uso de COWP como parte de una estrategia integrada de gestión de parásitos, especialmente ante la resistencia a los antihelmínticos convencionales.

CONCLUSIÓN

El control de *Haemonchus contortus*, un nematodo gastrointestinal que afecta a pequeños rumiantes enfrenta desafíos debido a la resistencia a los antihelmínticos convencionales. Las vacunas basadas en antígenos nativos y recombinantes han mostrado eficacia, aunque con limitaciones logísticas. Las lectinas fúngicas modulan la respuesta inmune y representan una alternativa complementaria. El control biológico mediante hongos nematófagos y probióticos como *Saccharomyces boulardii* reduce la carga parasitaria. El pastoreo rotacional y el método FAMACHA ofrecen enfoques sostenibles para minimizar la dependencia de antihelmínticos. La selección genética de razas resistentes, basada en marcadores fenotípicos y genómicos, mejora el control de parásitos y

reduce la necesidad de tratamientos químicos. La fitoterapia, utilizando extractos de plantas con compuestos bioactivos, proporciona efectos ovicidas y larvicidas. La nanotecnología, con nanopartículas y liposomas, mejora la administración y eficacia de agentes antiparasitarios. Las alternativas químicas no convencionales, como las partículas de óxido de cobre, complementan los tratamientos tradicionales y limitan la propagación de cepas resistentes.

LITERATURA CITADA

- Adschiri, T., Takami, S., Umetsu, M., Ohara, S., Naka, T., Minami, K., ... & Yoko, A. (2023). Supercritical hydrothermal reactions for material synthesis. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 96(2), 133-147. <https://doi.org/10.1246/bcsj.20220295>
- Bezelya, A., Küçüktürkmen, B., & Bozkır, A. (2023). Microfluidic devices for precision nanoparticle production. *Micro*, 3(4), 822-866. <https://doi.org/10.3390/micro3040058>
- Carmo, T., Fonseca, J., Braga, F., Paz-Silva, A., Soutello, R., & Araújo, J. (2025). Exploring the use of helminthophagous fungi in the control of helminthoses in horses: a review. *Animals*, 15(6), 864.
- Carrillo-Morales, M., Wong-Villarreal, A., Aguilar-Marcelino, L., Castaneda-Ramirez, G., Pineda-Alegria, J., & Hernandez-Nunez, E. (2023). Chemical composition and antifungal and nematicidal activities of the hexanic and methanolic extracts of *syzygium aromaticum*. *Scienceasia*, 49(1), 124.
- Colinas-Picazo, A., Mendoza-de Gives, P., Pérez-Anzúrez, G., Gutiérrez-Medina, E., Bautista-García, G. A., Delgado-Núñez, E. J., & Olmedo-Juárez, A. (2024). Assessing the *In Vitro* Individual and Combined Effect of *Arthrobotrys oligospora* and *A. musiformis* (Orbiliates) Liquid Culture Filtrates against Infective Larvae of the Sheep Blood-Feeding Nematode *Haemonchus contortus* (Trichostrongylidae). *Pathogens*, 13(6), 498.
- Cook, M. (2023). Winning strategies against hemonchus. American Association of Bovine Practitioners Conference Proceedings, 94-97.
- Estrada-Reyes, Z., Ogunade, I., Pech-Cervantes, A., & Terrill, T. (2022). Copy number variant-based genome wide association study reveals immune-related genes associated with parasite resistance in a heritage sheep breed from the United States. *Parasite Immunology*, 44(11). <https://doi.org/10.1111/pim.12943>
- Farago, A., Zvara, Á., Tizslavicz, L., Hunyadi-Gulyás, É., Darula, Z., Hegedüs, Z., ... & Szebeni, G. (2024). Lectin-based immunophenotyping and whole proteomic profiling of ct-26 colon carcinoma murine model. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(7), 4022.
- Fernández, S., Zegbi, S., Sagües, F., Iglesias, L., Guerrero, I., & Saumell, C. (2023). Trapping behaviour of *Duddingtonia flagrans* against gastrointestinal

- nematodes of cattle under year-round grazing conditions. *Pathogens*, 12(3), 401.
- Geniac, V., Wright, L., Greiner, S., Bowdridge, S., & Weaver, A. (2024). Effect of copper oxide wire particles on parasitism and growth in Katahdin lambs divergently selected for fecal egg count estimated breeding value. *Journal of Animal Science*, 102(Supplement_1), 89-90.
- He, L., Zhang, H., Di, W., Li, F., Wang, C., Yang, X., ... & Hu, M. (2023). A proteasomal $\beta 5$ subunit of *Haemonchus contortus* with a role in the growth, development and life span. *Parasites & Vectors*, 16(1).
- Helal, M., Abd-ElGawad, A., Kandil, O., Khalifa, M., Morrison, A., Bartley, D., ... & Elsheikha, H. (2022). Microfluidic-based formulation of essential oils-loaded chitosan coated PLGA particles enhances their bioavailability and nematocidal activity. *Pharmaceutics*, 14(10), 2030.
- Hendy, D., Amouzougan, E., Young, I., Bachelder, E., & Ainslie, K. (2022). Nano/microparticle formulations for universal influenza vaccines. *The Aaps Journal*, 24(1).
- Hernández-Ruiz, J., Mireles-Arriaga, A. I., Aguilar-Marcelino, L., Hernández-Marín, J. A., & Huerta-Arredondo, I. A. (2024). Sustainable strategies: integration of essential oils in ruminant nutrition. In: Zafar MA, Abbas RZ, Imran M, Tahir S and Qamar W (eds), *Complementary and Alternative Medicine: Essential oils*. Unique Scientific Publishers, Faisalabad, Pakistan, pp: 63-70. <https://doi.org/10.47278/book.CAM/2024.173>
- Herrera-Quevedo, K. I., Torres-Acosta, J. F. J., Sánchez, J. E., & Aguilar-Marcelino, L. (2025). Oportunidades comerciales basadas en la innovación: modelo para la vinculación de patentes del sector agropecuario. *Revista Ciencia e Innovación Agroalimentaria de la Universidad de Guanajuato*, 6(1), 44-55.
- Hou, B., Ying, H., Buyin, B., & Hasi, S. (2023). Research progress and limitation analysis of RNA interference in *Haemonchus contortus* in China. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1079676>
- Jug, B., Pogačar, M., Sterniša, M., Tumpej, T., Karničar, K., Türk, V., ... & Klančnik, A. (2024). Modulation of *Campylobacter jejuni* adhesion to biotic model surfaces by fungal lectins and protease inhibitors. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1391758>
- Kandil, O., Shalaby, H., Hendawy, S., Abdelfattah, M., Sedky, D., Hassan, N., ... & Mahmoud, A. (2023). *In vitro* and *in vivo* anthelmintic efficacy of condensed tannins extracted from the seeds of alfalfa (*Medicago sativa* L.) against *Haemonchus contortus* infection. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 37(1), 229-237. <https://doi.org/10.33899/ijvs.2022.133537.2247>
- Komáromyová, M., Barčák, D., Königová, A., Dolinská, M., & Várady, M. (2022). Does *in vitro* and *in vivo* exposure to medicinal herbs cause structural cuticular changes in *Haemonchus contortus*? *Helminthologia*, 59(3), 265-274. <https://doi.org/10.2478/helm-2022-0023>
- Komáromyová, M., Petrič, D., Demčáková, K., Moazes-Lesko, M., Čobanová, K., Babják, M., ... & Várady, M. (2025). Insights into the role of bioactive plants

- for lambs infected with *Haemonchus contortus* parasite. *Frontiers in Veterinary Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1566720>
- Maldonado, S., Dai, J., Dutta, O., Hurley, H., Singh, S., Gittens-Williams, L., ... & Fitzgerald-Bocarsly, P. (2022). Human plasmacytoid dendritic cells express c-type lectin receptors and attach and respond to aspergillus fumigatus. *The Journal of Immunology*, 209(4), 675-683.
- Needleman, A., Wright, M., Schaefer, J., Videla, R., & Lear, A. (2022). Copper oxide wire particles effective against gastrointestinal nematodes in adult alpacas during a randomized clinical trial. *American Journal of Veterinary Research*, 83(11).
- Niciura, S., Benavides, M., Okino, C., Ibelli, A., Minho, A., Esteves, S., ... & Chagas, A. (2022). Genome-wide association study for *Haemonchus contortus* resistance in Morada nova sheep. *Pathogens*, 11(8), 939.
- Niciura, S. C. M., & Sanches, G. M. (2024). Machine learning prediction of multiple anthelmintic resistance and gastrointestinal nematode control in sheep flocks. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 33(1), e019023.
- Olmedo-Juárez, A., Jimenez-Chino, A., Bugarin, A., Zamilpa, A., Gives, P., Villa-Mancera, A., ... & González-Cortázar, M. (2022). Phenolic acids and flavonoids from pithecellobium dulce (robx.) benth leaves exhibit ovicidal activity against *Haemonchus contortus*. *Plants*, 11(19), 2555.
- Palevich, N., Maclean, P., Carbone, V., Jáuregui, R., & Umair, S. (2023). Multi-omic profiling, structural characterization, and potent inhibitor screening of evasion-related proteins of a parasitic nematode, *Haemonchus contortus*, surviving vaccine treatment. *Biomedicines*, 11(2), 411.
- Pava, L., González-Cortázar, M., Zamilpa, A., Cuéllar-Ordaz, J., Cruz-Cruz, H., Higuera-Piedrahita, R., ... & López-Arellano, R. (2024). Bio-guided isolation of a new sesquiterpene from *Artemisia cina* with anthelmintic activity against *Haemonchus contortus* L3 infective larvae. *Plos One*, 19(6), e0305155.
- Pinto, N., Gaspar, E., Minho, A., Domingues, R., Moura, M., Varela, A., ... & Leite, F. (2022). Sheep immune-stimulated with saccharomyces boulardii show reduced prolificacy of *Haemonchus contortus*. *Parasite Immunology*, 44(12). <https://doi.org/10.1111/pim.12954>
- Rodrigues, G. R. D., Siqueira, M. T. S., dos Santos Silveira, N. C., da Silva, N. A. M., Júnior, G. D. L. M., Moraes, F. R., & Raineri, C. (2023). Relationship between FAMACHA© scores and zootechnical indicators of a sheep production system. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 60, e204811-e204811.
- Sagheb, E. (2023). Evaluating the effect of methanolic extract of *Astragalus effusus* plant on the hatching of eggs of *Haemonchus* species *in vitro*. *International Journal of Medical Parasitology and Epidemiology Sciences*, 4(1), 30-34.
- Selvam, R. (2022). Genetic parameter analysis of indicator traits of gastrointestinal nematode infection in sheep breeds. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 13(1), 17-21.

- Soliman, S., Salem, H., Ahmed, A., Abd-Elfattah, A., & El-Saadony, M. (2024). *Haemonchus contortus* infection of goats and the use of anthelmintic natural alternative: an updated review. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 75(2), 7201-7210. <https://doi.org/10.12681/jhvms.29905>
- Suteky, T. and Dwatmadji, D. (2023). The synthesis agnps of leaves *Melastoma malabathricum* extract reduce adult *Haemonchus contortus* motility assay. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 1913-1918. <https://doi.org/10.52711/0974-360x.2023.00314>
- Tchétan, E., Olounladé, P., Azando, E., Khaliq, H., Ortíz, S., Hounbèmè, A., ... & Quetin-Leclercq, J. (2022). Anthelmintic activity, cytotoxicity, and phytochemical screening of plants used to treat digestive parasitosis of small ruminants in Benin (west africa). *Animals*, 12(19), 2718.
- Wang, C., Liu, L., Wang, T., Liu, X., Peng, W., Srivastav, R., ... & Hu, M. (2022). H11-induced immunoprotection is predominantly linked to n-glycan moieties during *Haemonchus contortus* infection. *Frontiers in Immunology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1034820>
- Wen, Z., Aleem, M., Aimulajiang, K., Chen, C., Meng, L., Song, X., ... & Yan, R. (2022). The gt1-tps structural domain protein from *Haemonchus contortus* could be suppressive antigen of goat PBMCs. *Frontiers in Immunology*, 12.
- Xue, Y., Song, Q., Liu, Y., Smith, D., Li, W., & Zhong, M. (2023). Hierarchically structured nanocomposites via mixed-graft block copolymer templating: achieving controlled nanostructure and functionality. *Journal of the American Chemical Society*, 146(1), 567-577. <https://doi.org/10.1021/jacs.3c10297>
- Yang, Y., Zhou, J., Wu, F., Tong, D., Chen, X., Jiang, S., ... & Ma, G. (2023). Haem transporter HRG-1 is essential in the barber's pole worm and an intervention target candidate. *Plos Pathogens*, 19(1), e1011129.
- Zaragoza-Vera, M., González-Gardúño, R., Brito-Argáez, L., Aguilar-Caballero, A., Zaragoza-Vera, C., Arjona-Jiménez, G., ... & Torres-Chable, O. (2022). Identification of somatic proteins in *Haemonchus contortus* infective larvae (L3) and adults. *Helminthologia*, 59(2), 143-151.

