Revista Biociencias
ARTÍCULO DE REVISIÓN

Evidencia ovicida de *Trichoderma* spp. y *Beauveria bassiana* sobre *Rhipicephalus microplus*

Ovicidal evidence of Trichoderma *spp. and* Beauveria bassiana *on* Rhipicephalus microplus

Samy Lizeth Rivas Garatejo[1], Ruth Páez Díaz[2], María José Jiménez Arias[3]

Recibido: 6 de octubre de 2026

Resumen

Objetivo. Analizar los mecanismos de acción, la actividad biológica y las perspectivas de aplicación de *Trichoderma* spp. y *Beauveria bassiana* como alternativas de control biológico de *Rhipicephalus microplus*, garrapata de importancia en la producción bovina cuyo control químico se ve limitado por la resistencia a los acaricidas. **Metodología.** Revisión narrativa con enfoque cualitativo de la literatura publicada entre 1996 y 2026 en PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO y Google Scholar, sobre la biología y epidemiología de *R. microplus*, la resistencia a los acaricidas, las alternativas de control y la actividad de los hongos entomopatógenos, con énfasis en *B. bassiana* y *Trichoderma* spp. **Resultados.** *B. bassiana* presenta mayor respaldo experimental, con efectos sobre la mortalidad, la reproducción, el desarrollo y la eclosión en diferentes fases de *R. microplus*. En *Trichoderma* spp. se identificó potencial asociado a enzimas hidrolíticas, metabolitos secundarios y mecanismos de antagonismo, aunque la evidencia específica sobre los huevos es limitada. **Conclusión.** El control de *R. microplus* requiere un enfoque integrado. *B. bassiana* constituye la alternativa con mayor evidencia disponible, mientras que *Trichoderma* spp. es una opción prometedora que exige estudios específicos sobre actividad ovicida, cepas, mecanismos y condiciones de aplicación.

Palabras clave: Control biológico; Hongo; Parasitología; Control de plagas; Ganado vacuno; Plaguicida.

1 **Samy Lizeth Rivas Garatejo.** Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, Colombia. · Correo electrónico: srivas@universidadmayor.edu.co · ORCID: https://orcid.org/0009-0007-5177-323X

2 **Ruth Páez Díaz.** Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, Colombia. · Correo electrónico: rpaezd@universidadmayor.edu.co · ORCID: https://orcid.org/0009-0009-8104-5449

3 **María José Jiménez Arias.** Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, Colombia. · Correo electrónico: mariajjimenez@universidadmayor.edu.co · ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9666-3583

Abstract

Objective. To analyze the mechanisms of action, biological activity and application prospects of *Trichoderma* spp. and *Beauveria bassiana* as biological control alternatives against *Rhipicephalus microplus*, a tick of importance in cattle production whose chemical control is limited by acaricide resistance. **Methodology.** Narrative review with a qualitative approach of the literature published between 1996 and 2026 in PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO and Google Scholar on the biology and epidemiology of *R. microplus*, acaricide resistance, control alternatives and the activity of entomopathogenic fungi, with emphasis on *B. bassiana* and *Trichoderma* spp. **Results.** *B. bassiana* has stronger experimental support, with effects on mortality, reproduction, development and hatching across different stages of *R. microplus*. *Trichoderma* spp. showed potential associated with hydrolytic enzymes, secondary metabolites and antagonistic mechanisms, although specific evidence on eggs remains limited. **Conclusion.** Control of *R. microplus* requires an integrated approach. *B.*

bassiana is the alternative with the most available evidence, whereas *Trichoderma* spp. is a promising option that requires specific studies on ovicidal activity, strains, mechanisms and application conditions.

Keywords: Biological control; Fungi; Parasitology; Pest control; Cattle; Pesticides.

Introducción

La garrapata común del ganado, *Rhipicephalus microplus*, se encuentra ampliamente distribuida en América del Sur, además, es considerada una de las principales ectoparasitosis que afectan al ganado bovino, siendo responsable de importantes pérdidas en la producción ganadera (1).

Esta representa un problema de importancia en los animales de producción, debido a las lesiones que ocasiona durante la alimentación, la pérdida de sangre y las complicaciones que pueden presentarse como consecuencia de las picaduras. Estas lesiones pueden favorecer la aparición de infecciones bacterianas oportunistas y facilitar el desarrollo de miasis por la presencia de larvas de moscas, lo que hace necesario mantener las poblaciones de esta garrapata bajo control para reducir su impacto sobre la salud y productividad de los animales. En este contexto, los acaricidas comerciales han sido una de las principales herramientas utilizadas para disminuir las infestaciones; sin embargo, su uso frecuente o inadecuado ha favorecido la aparición de poblaciones de *R. microplus* resistentes, disminuyendo la eficacia de los tratamientos y haciendo cada vez más difícil su control. A esta situación se suma la presencia de residuos de estos productos en alimentos como la leche y la carne, lo que ha generado un interés por encontrar alternativas que permitan disminuir la dependencia del control químico y lograr un manejo más sostenible de este ectoparásito (2). Diversos estudios han demostrado que esta resistencia puede originarse por modificaciones en los sitios de acción de los compuestos químicos o por el incremento de mecanismos de detoxificación que reducen su efecto. Entre sus productos también se encuentra el amitraz, un acaricida del grupo de las formamidinas utilizado ampliamente para el control de garrapatas. Su acción se relaciona principalmente con la interacción con receptores asociados a octopamina y tiramina, neurotransmisores implicados en la regulación de diferentes procesos fisiológicos del artrópodo (3) (27).Por lo anterior, se ha hecho necesaria la búsqueda de nuevas alternativas que permitan controlar el aumento de poblaciones resistentes a los acaricidas sintéticos, entre estas estrategias se encuentra el desarrollo y comercialización de formulaciones biopesticidas basadas en hongos entomopatógenos como ingredientes activos, conocidas como micopesticidas, los cuales representan una alternativa potencial para complementar las estrategias convencionales de manejo de las garrapatas (4).

Los hongos son los más seleccionados para el biocontrol debido a su capacidad de infectar diferentes organismos, propagación eficiente, facilidad de cultivo y mínimo impacto ambiental. Además, los hongos poseen un espectro de hospederos más amplio, lo cual les permite infectar plagas que residen tanto en la superficie como en el suelo (4). En los últimos años, se ha reportado el potencial como agente de biocontrol de *Trichoderma* spp en la agricultura, demostrando características favorables para prevenir enfermedades y plagas que afectan a varias plantas, además, el interés en *Trichoderma* spp ha aumentado debido a la diversidad de mecanismos mediante los cuales puede interactuar con otros organismos. Entre ellos se encuentran la producción de metabolitos con actividad inhibitoria, la competencia por nutrientes y espacio, así como procesos de micoparasitismo que le permiten afectar el desarrollo de otros microorganismos. Por el contrario, se han evaluado cepas del género *Beauveria bassiana* contra garrapatas debido a su virulencia, mecanismo de infección, mortalidad en adultos y larvas, por alterar la eclosión de los huevos y generar cambios en el metabolismo lipídico de su hospedador. Sin embargo, estos microorganismos muestran un comportamiento impredecible debido a que su actividad se reduce al aplicarse en el campo, por lo que su adaptación a las condiciones ambientales es un factor determinante en su patogenicidad y virulencia.

Además, se ha descrito que algunos hongos entomopatógenos son más susceptibles a factores abióticos, en particular la temperatura y la radiación ultravioleta (6). En este contexto, la presente revisión tiene como objetivo analizar el potencial de *Trichoderma spp.* Y *B. bassiana* como agentes de control biológico de *R. microplus*, mediante la revisión de su actividad biológica, mecanismos de acción y efectos sobre las diferentes fases del ciclo de la garrapata, con énfasis en la actividad ovicida, así como de los factores que condicionan su aplicación, entre ellos la selección de cepas, las condiciones ambientales y las estrategias de formulación, en el contexto de la búsqueda de alternativas sostenibles al control químico.

Metodología

El presente estudio corresponde a una revisión narrativa, desarrollada bajo un enfoque cualitativo. La búsqueda bibliográfica se efectuó en las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO y Google Scholar, considerando publicaciones disponibles entre 1996 y 2026. Se utilizaron términos de búsqueda en español e inglés relacionados con Rhipicephalus microplus, "cattle tick", "entomopathogenic fungi", Beauveria bassiana, Trichoderma spp., "biological control", "acaricidal activity", "ovicidal activity", "acaricide resistance", "tick control" y "formulation". Los términos fueron combinados mediante los operadores booleanos AND y OR, de acuerdo con el tema específico de búsqueda. Entre las principales combinaciones empleadas se incluyeron: *(R. microplus and biological control), (R. microplus and Beauveria bassiana), (Rhipicephalus microplus and Trichoderma), (cattle tick and entomopathogenic fungi), (Rhipicephalus microplus and acaricide resistance) y (Rhipicephalus microplus and ovicidal activity*). Así mismo, se consultaron artículos científicos indexados y publicados principalmente en revistas de parasitología, entomología, microbiología, micología, medicina veterinaria y control biológico, incluyendo *Pathogens*, Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária, *Medical and Veterinary Entomology, Biological* Control, Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, *Parasites & Vectors, Ticks and Tick-Borne Diseases, Frontiers in Veterinary Science, Frontiers in Fungal Biology, Plants, International Journal of Molecular Sciences, Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports, Insects y Frontiers in Cellular and Infection Microbiology.* Se consideraron publicaciones en español, inglés y portugués. Además, se priorizaron estudios con información experimental o científica directamente relacionada con los objetivos de la revisión. Se excluyeron documentos duplicados, publicaciones sin relación directa con el tema, estudios cuyo contenido no permitiera sustentar los aspectos analizados y trabajos que no presentaran información suficiente sobre la temática de interés. La información seleccionada se organizó de acuerdo con los principales aspectos abordados en la revisión: características y ciclo biológico de *R. microplus*, importancia de la fase no parasitaria, resistencia a acaricidas, alternativas de control, mecanismos de acción de los hongos entomopatógenos, actividad sobre las diferentes fases de la garrapata, actividad ovicida y factores que pueden condicionar su aplicación, como la selección de cepas, las condiciones ambientales y las estrategias de formulación. Finalmente, la información fue analizada de manera comparativa para identificar el nivel de evidencia para *Trichoderma* spp. *Y B. bassiana*, sus principales limitaciones y las perspectivas de aplicación dentro de un enfoque de control integrado.

Garrapatas

Las garrapatas son artrópodos hematófagos obligados, y en las regiones tropicales su presencia es especialmente importante por las condiciones ambientales que las favorecen. Pertenecen a la clase *Arachnida* y al orden *Acari*, y se dividen en dos familias: las *Ixodidae* o garrapatas duras, y las *Argasidae* o garrapatas blandas. Entre las duras destacan géneros como *Dermacentor, Haemaphysalis, Hyalomma, Ixodes y Rhipicephalus* entre las blandas, Argas y Ornithodoros son los más relevantes.

Su importancia también radica en su capacidad para actuar como vectores de diferentes agentes infecciosos como bacterias, protozoos y virus que afectan tanto a los animales como al ser humano, convirtiéndolas en un problema relevante desde el punto de vista veterinario y de salud pública. (7) (8)

Las garrapatas blandas (*Argasidae)* presentan características morfológicas y ecológicas que las diferencian de las garrapatas duras (*Ixodidae)*. Las garrapatas blandas carecen de escudo dorsal y presentan un tegumento flexible y coriáceo. Además, la mayoría de las garrapatas blandas presentan un comportamiento nidícola, por lo que permanecen en nidos, madrigueras, cuevas u otros refugios asociados con sus hospederos, en lugar de realizar una búsqueda del hospedero sobre la vegetación. (9) (10)

Otra diferencia importante corresponde a su alimentación, que generalmente es mucho más rápida que la de las garrapatas duras. Mientras que las garrapatas duras pueden permanecer alimentándose durante varios días, las garrapatas blandas suelen completar la alimentación en periodos cortos y posteriormente regresar a sus refugios. En particular, *Ornithodoros hermsi* presentan períodos de alimentación de aproximadamente 15 a 90 minutos, comportamiento que contribuye a que su parasitismo pueda pasar inadvertido (11).

Debido a este comportamiento y a su asociación con refugios de pequeños mamíferos, las interacciones con los hospederos pueden ser difíciles de detectar. No obstante, algunas especies de *Argasidae* también pueden alimentarse accidentalmente de la sangre de seres humanos cuando estos entran en contacto con los ambientes donde se encuentran las garrapatas y sus hospederos (12).

Rhipicephalus microplus

R. microplus es una garrapata hematófaga de gran importancia económica y sanitaria para la ganadería en regiones tropicales y subtropicales. Además de actuar como vector de los agentes causantes de la babesiosis bovina, principalmente *Babesia bovis* y *Babesia bigemina*, y de la anaplasmosis bovina, causada por *Anaplasma marginale*, su infestación puede generar importantes pérdidas para la producción y productividad ganadera. Estas pérdidas se relacionan con el daño ocasionado en la piel de los animales, la disminución del consumo de alimento, las alteraciones metabólicas y digestivas, y la reducción de la ganancia de peso y del rendimiento productivo. A esto se suman los costos asociados con los tratamientos y las medidas de control, lo que convierte a *R. microplus* en una de las garrapatas de mayor impacto económico sobre la producción bovina y lechera en América Latina y Australia (13,14). En Colombia, la presencia de *R. microplus* se ha reportado en diferentes regiones del país, especialmente en aquellas con condiciones cálidas y húmedas que favorecen su desarrollo, reproducción y supervivencia (13). Esta distribución representa una preocupación para la producción ganadera, debido a que las condiciones ambientales de gran parte del territorio pueden favorecer la persistencia de las poblaciones de esta garrapata. En un contexto más amplio, se estima que más del 80 % de la población bovina mundial se encuentra expuesta a infestaciones por garrapatas, lo que evidencia la magnitud de este problema para la producción pecuaria. Por eso mismo, las pérdidas económicas asociadas a este ectoparásito son considerables, por ejemplo: se ha estimado que en Brasil superan los 3,24 mil millones de dólares anuales, mientras que en México alcanzan aproximadamente 573,61 millones de dólares por año. A esta problemática se suma el aumento de resistencia a los acaricidas, fenómeno reportado desde 1937 y actualmente distribuido en numerosos países. La aparición de poblaciones resistentes ha reducido la eficacia de los métodos químicos convencionales, dificultando el control de la garrapata y aumentando la necesidad de implementar estrategias más viables y sostenibles para su manejo. (14)

Importancia epidemiológica de la fase no parasitaria

La fase no parasitaria de *R. microplus* comprende procesos como la preoviposición, la oviposición, la incubación de los huevos y la supervivencia de las larvas, los cuales son determinantes para la continuidad del ciclo y la cantidad de individuos que posteriormente pueden alcanzar al hospedero. El desarrollo de estas etapas depende en gran medida de las condiciones ambientales, especialmente de la temperatura, la humedad y la precipitación, que pueden favorecer o limitar la supervivencia y el desarrollo de la garrapata. En este sentido, se ha observado que la viabilidad de las hembras ingurgitadas y de los huevos se favo-

rece con humedades relativas ≥70 % y temperaturas entre 20 y 35 °C, mientras que el incremento de la temperatura puede acelerar el desarrollo de la fase no parasitaria y favorecer un mayor número de generaciones al año. Esta relación con las condiciones ambientales se ha evidenciado en diferentes regiones tropicales: en una región de Brasil se estimaron hasta cinco generaciones anuales (16), mientras que en un área de influencia amazónica *R. microplus* logró completar esta fase durante todos los meses del año, alcanzando hasta seis generaciones anuales (14). Además, la supervivencia máxima de las larvas en campo fue de aproximadamente 58 días, mientras que bajo condiciones controladas alcanzó cerca de 95 días; así mismo, la eclosión de los huevos fue de 77,0 % durante la época seca y 80,2 % durante la época lluviosa. Estos resultados muestran que las condiciones ambientales pueden modificar directamente la duración de la fase no parasitaria y, por lo tanto, la dinámica poblacional de la garrapata (16). Esta relación también tiene importancia epidemiológica, debido a que las variaciones ambientales pueden favorecer o limitar la presencia de *R. microplus* y modificar el riesgo de enfermedades como babesiosis y anaplasmosis; por ejemplo, en Brasil se considera que una seroprevalencia de ≥75 % frente a estos hemoparásitos indica estabilidad enzoótica, mientras que valores entre 12 y 75 % se relacionan con situaciones de inestabilidad y mayor posibilidad de presentación de brotes (17).

Control biológico

Consiste en el uso de organismos vivos o de sus productos para reducir las poblaciones de plagas y parásitos de interés sanitario o económico. En el caso de *R. microplus*, esta estrategia ha surgido frente al uso intensivo de acaricidas químicos, especialmente debido al desarrollo de poblaciones resistentes y a las preocupaciones con los residuos químicos y el impacto ambiental (19).

Los hongos entomopatógenos han mostrado resultados favorables por su capacidad para afectar diferentes etapas de su ciclo de vida, incluyendo huevos, larvas y adultos. Especies como *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium lecanii* han demostrado potencial para disminuir la supervivencia y reproducción de las garrapatas. (18), (19).

Por otro lado, la vacunación es una de las estrategias para el control de *R. microplus,* esta conlleva de beneficios donde se encuentra la ausencia de residuos en carne y leche, la reducción de la contaminación ambiental y un menor riesgo para la salud humana y animal. La búsqueda de antígenos vacunales contra *R. microplus* ha evolucionado desde los primeros ensayos de inmunización con extractos crudos de tejido de garrapata en la década de 1930 (20), hasta el desarrollo de antígenos recombinantes como Bm86, base de las vacunas comerciales TickGARD y Gavac.

Durante la década de 1990, se desarrollaron las vacunas TickGARD en Australia y Gavac en Cuba, a partir de la glicoproteína recombinante Bm86, localizada en el intestino de *R. microplus.* Estas vacunas demostraron que era posible reducir las infestaciones mediante la estimulación de la respuesta inmune del hospedador (20).

Tras la vacunación, el bovino produce anticuerpos específicos que son ingeridos por la garrapata durante la alimentación sanguínea; estos anticuerpos se unen a las células intestinales del parásito, provocando daños en sus tejidos, alteraciones metabólicas y una disminución de su capacidad de alimentación, supervivencia y reproducción, donde, se reduce el número de garrapatas que completan su desarrollo, así como la producción y viabilidad de los huevos (21).

Sin embargo, estas vacunas comerciales tienen limitaciones debido a las variaciones de secuencia en la proteína objetivo entre las diferentes cepas de garrapatas. Por lo tanto, en años recientes, la investigación se ha orientado hacia la identificación de nuevos antígenos y el desarrollo de vacunas de segunda generación con mayor eficacia y cobertura (21). Por otro lado, Se realizó una investigación donde se evaluó la respuesta inmune de una vacuna candidata basada en fagos contra *R. microplus,* los fagos pueden utilizarse para transportar y exponer antígenos de la garrapata al sistema inmunitario del hospedador. En estas vacunas, fragmentos antigénicos derivados de proteínas como Bm86 son expresados en la superficie del fago,

permitiendo que el sistema inmune los reconozca y genere una respuesta específica. Tras la vacunación, los anticuerpos producidos son ingeridos por la garrapata durante la alimentación y actúan sobre estructuras internas esenciales, especialmente las células del intestino medio, provocando alteraciones fisiológicas que reducen la alimentación, la fertilidad y la producción de huevos (22).

Entre las alternativas comerciales disponibles en Latinoamérica se encuentra Go-Tick, una vacuna desarrollada en Colombia para el control de *R. microplus*. Esta busca reducir la dependencia de los baños garrapaticidas y otros tratamientos químicos convencionales, contribuyendo a la producción de carne y leche libres de residuos acaricidas. Según la información técnica proporcionada por el fabricante, los ensayos de tolerancia no evidenciaron eventos adversos severos en los animales vacunados (23).

Perspectiva *One Health* en el control de *Rhipicephalus microplus*

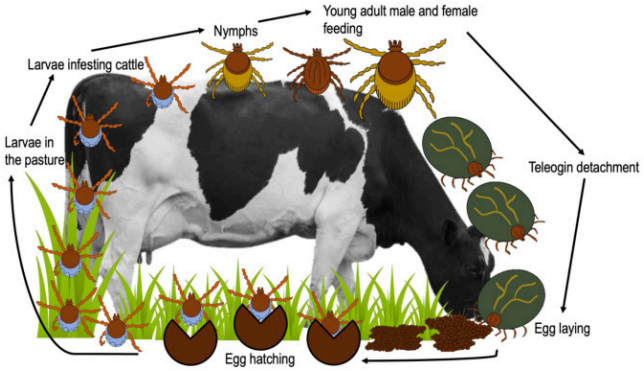
Desde una perspectiva de One Health, el impacto de *R. microplus* sobre la producción bovina debe entenderse a partir de la interacción entre la salud animal, las condiciones ambientales y las prácticas de manejo utilizadas para su control. La infestación por esta garrapata no solo ocasiona pérdidas productivas y favorece la transmisión de agentes patógenos, sino que también ha llevado a una dependencia de los tratamientos acaricidas para reducir sus poblaciones. Sin embargo, el uso frecuente de estos productos puede favorecer manifestación de poblaciones resistentes y aumentar la preocupación por la presencia de residuos químicos y sus posibles efectos sobre el ambiente (24,25). Por esta razón, comprender la dinámica de *R. microplus* requiere considerar de manera conjunta aspectos ecológicos, epidemiológicos y productivos, ya que su manejo no puede limitarse únicamente a la eliminación del ectoparásito. Desde este enfoque, adquiere importancia la búsqueda de alternativas que puedan integrarse a estrategias de control más amplias, especialmente aquellas que sean compatibles con las condiciones ambientales y productivas de las regiones donde se encuentra *R. microplus* (26).

Ciclo de vida de *Rhipicephalus microplus*

R. microplus es una garrapata de un solo hospedador donde su ciclo consiste en huevo, larva, ninfa y adulto donde tras alimentarse sobre el bovino, la hembra teleogina se desprende del hospedador y deposita miles de huevos en el ambiente, donde ocurre el desarrollo embrionario y la posterior eclosión de las larvas (imagen 1) (29). La fase no parasitaria, que incluye la oviposición, incubación y eclosión de los huevos, determina la cantidad de larvas disponibles para iniciar nuevas infestaciones (16).

La etapa de huevo representa un objetivo estratégico para los programas de control debido a que una sola hembra puede producir una cantidad masiva de huevos. Por ello, la reducción de la viabilidad embrionaria o de la tasa de eclosión puede disminuir significativamente nuevas generaciones de garrapatas en el ambiente (29).

Figura 1. Ciclo de vida de *Rhipicephalus microplus*



Nota. Tomado de Alonso-Díaz y Fernández-Salas (29).

Morfología de los huevos de *R. microplus*

Los huevos de *R. microplus* presentan estructuras que favorecen su supervivencia en el ambiente, especialmente frente a condiciones naturales como lo es el suelo. Una de sus principales características es la presencia de una capa superficial de cera, la cual es depositada por las hembras teleoginas durante el proceso de oviposición. Esta sustancia es secretada por una glándula especializada denominada órgano de Gené (29).

Durante la puesta, la hembra recubre cada huevo con esta capa superficial, la cual cumple una función

de protección contra la desecación, permitiendo mantener la humedad interna incluso en condiciones ambientales desfavorables. Por otro lado, esta capa actúa como una barrera biológica frente a microorganismos, ya que contiene compuestos con actividad antimicrobiana (30).

La cera que recubre los huevos de *R. microplus* ha mostrado capacidad para inhibir la formación de biopelículas bacterianas, lo que evidencia propiedades antimicrobianas asociadas con esta cubierta superficial (30). Además de las barreras estructurales del huevo, se han identificado componentes asociados con su protección y desarrollo. En huevos de *R. microplus* se ha demostrado la presencia de factores con actividad antimicrobiana, entre ellos la microplusina, un péptido antimicrobiano cuya expresión varía durante la ovogénesis y la embriogénesis (31). Por otra parte, la vitelina constituye una importante reserva nutricional para el desarrollo embrionario, y diferentes enzimas proteolíticas participan en su degradación durante este proceso (15). Sin embargo, la evidencia aportada por estos estudios no permite establecer que dichos componentes constituyan mecanismos específicos de defensa frente a la infección por *Trichoderma* spp. o *Beauveria bassiana.*

Durante el desarrollo embrionario de *R. microplus*, las reservas acumuladas en el huevo son esenciales para sostener los requerimientos metabólicos del embrión (28)(32). La vitelina constituye una de las principales reservas nutricionales y su degradación ocurre de manera regulada durante el desarrollo. Además, el metabolismo de componentes derivados de la ingesta sanguínea, como el grupo hemo, requiere mecanismos que limiten el daño oxidativo asociado con su acumulación (15). La embriogénesis de *R. microplus* se desarrolla aproximadamente durante 21–22 días, periodo en el que ocurren cambios morfológicos y moleculares progresivos hasta la formación del organismo previo a la eclosión (32). Además, los análisis transcriptómicos y proteómicos de *R. microplus* han evidenciado variaciones en la expresión molecular asociadas con las diferentes etapas de desarrollo de la garrapata (28)

Resistencia de *Rhipicephalus microplus* a los acaricidas

La resistencia a los acaricidas constituye una de las principales limitaciones para el control de *R. microplus*, debido a que el uso frecuente de estos compuestos puede favorecer la supervivencia y propagación de poblaciones resistentes. Los acaricidas empleados para el control de *R. microplus* pertenecen a diferentes grupos químicos y actúan sobre blancos moleculares específicos de la garrapata. Entre ellos se encuentran los piretroides, cuyo principal sitio de acción son los canales de sodio dependientes de voltaje; los organofosforados y carbamatos, que inhiben la acetilcolinesterasa; las lactonas macrocíclicas y los fenilpirazoles, que actúan sobre canales de cloro regulados por GABA y glutamato; y las amidinas, como el amitraz, cuya acción se relaciona con receptores asociados a octopamina y tiramina (33,34). La exposición continua a estos compuestos puede favorecer la selección de poblaciones menos susceptibles, mediante modificaciones en los sitios de acción, aumento de los procesos de detoxificación o disminución de la penetración del acaricida. Por lo tanto, se ha documentado en diferentes regiones productoras de ganado una reducción progresiva de la eficacia de algunas de las herramientas utilizadas para el control de la garrapata (35,36). Una revisión sistemática y metaanálisis que incluyó 88 artículos y 3939 poblaciones de garrapatas encontró evidencia de resistencia a acaricidas en el 57,6 % de las poblaciones evaluadas; específicamente para *R. microplus*, la proporción alcanzó el 66,2 %. Estos resultados muestran que la resistencia es un fenómeno ampliamente distribuido, aunque su frecuencia puede variar según la región geográfica, el compuesto utilizado y el método empleado para su detección (35).

Esta problemática también ha sido evidenciada mediante estudios de campo. En poblaciones de *R. microplus* procedentes de Brasil y Sudáfrica se identificó resistencia frente a diferentes acaricidas, entre ellos clorfenvinfos, fipronil, deltametrina, amitraz e ivermectina, además de multirresistencia a dos o más clases químicas en una proporción importante de los aislamientos evaluados. La frecuencia de resistencia

presentó variaciones entre regiones y se relacionó con los antecedentes de uso de acaricidas, lo que respalda la importancia de la selección de estos productos en la aparición y mantenimiento de poblaciones resistentes (36). Un ejemplo de esta situación se observa en dos poblaciones de *R. microplus* del noreste de México, en las que la susceptibilidad a los piretroides fue evaluada mediante la prueba de paquete larvario (*Larval Packet Test*). En este ensayo, la mortalidad de las larvas expuestas a flumetrina, deltametrina y cipermetrina fue inferior al 5 %, evidenciando una marcada disminución de la susceptibilidad frente a estos compuestos. A su vez, mediante PCR alelo-específica se detectó el alelo mutante asociado con la mutación *kdr* T2134A en el 75 % y 100 % de los grupos analizados, respectivamente (37). Estos hallazgos relacionan la disminución de la susceptibilidad observada con alteraciones en el sitio de acción de los piretroides. Este mecanismo se conoce como resistencia de derribo (*knockdown resistance, kdr*) y se relaciona con cambios en el canal de sodio dependiente de voltaje que pueden modificar la interacción del piretroide con su sitio de acción. *En R. microplus* se han descrito diferentes sustituciones en este canal, entre ellas C190A y T2134A, las cuales se han asociado con fenotipos de resistencia a piretroides (38,39). Sin embargo, la modificación del sitio diana no constituye el único mecanismo involucrado. La garrapata también puede desarrollar resistencia metabólica mediante un aumento de las vías de detoxificación, en las que participan enzimas como los citocromos P450, las esterasas y las glutatión-S-transferasas, capaces de reducir la cantidad efectiva del acaricida que alcanza su sitio de acción (5). En el caso del amitraz, una amidina ampliamente utilizada para el control de garrapatas, la resistencia también puede involucrar más de un mecanismo. En poblaciones resistentes de *R. microplus* se han descrito modificaciones en receptores relacionados con octopamina y tiramina, además de la participación de procesos de detoxificación asociados con citocromos P450 (27). Por tanto, la resistencia de *R. microplus* frente a los acaricidas no responde necesariamente a un único mecanismo, sino que puede involucrar diferentes alteraciones moleculares y metabólicas, cuya participación depende del grupo químico utilizado y de las características de la población expuesta.

La presencia de resistencia frente a diferentes grupos químicos, junto con la aparición de poblaciones multirresistentes y la diversidad de mecanismos involucrados, dificulta mantener el control de *R. microplus* mediante el uso continuado de los mismos principios activos. En este contexto, resulta necesario diversificar las estrategias de manejo e incorporar herramientas complementarias que permitan reducir la dependencia de los acaricidas convencionales (19,25). Entre estas alternativas, el control biológico mediante hongos constituye una línea de interés, por el potencial de especies como *Trichoderma* spp. y *B. bassiana*, cuyas características biológicas justifican su estudio frente a diferentes estadios de *R. microplus.*

Trichoderma spp.

Las especies de *Trichoderma* spp. pertenecen a la familia *Hypocreaceae*, caracterizado por ser un hongo filamentoso que se distribuye ampliamente en distintos tipos de ambientes, aunque prevalece en sustratos ricos en materia orgánica en descomposición.

La caracterización morfológica de *Trichoderma* spp. presenta hifas vegetativas hialinas, lisas y septadas, a partir de las cuales se desarrollan conidióforos ramificados que sostienen las fiálides. Estas pueden presentar formas variables, desde cilíndricas hasta subglobosas, y producen abundantes conidios, y de forma ovalada, globosa o elipsoidal. Durante la conidiación, las colonias pueden presentar inicialmente una coloración blanca y posteriormente adquirir tonalidades amarillentas o verde-azuladas. Estas características, junto con la velocidad de crecimiento, la apariencia de la colonia, los conidióforos, fiálides y conidios, han sido empleados tradicionalmente para la identificación de *Trichoderma* spp. (40)(41). El crecimiento y la actividad biológica de *Trichoderma* spp. están condicionados por factores ambientales y por las características propias de cada cepa. Se ha descrito tolerancia a diferentes condiciones de temperatura, aunque la actividad saprofítica puede alcanzar una mayor expresión entre 15 y 21 °C y la producción de determinados metabo-

litos puede variar de acuerdo con la cepa y las condiciones de crecimiento. Desde el punto de vista de su utilización como agente de control biológico, también resulta relevante su capacidad de multiplicarse sobre diferentes sustratos y de conservar su viabilidad bajo condiciones de almacenamiento adecuadas (42). Estas características han favorecido el estudio de *Trichoderma* spp. principalmente como agente de control biológico en el ámbito agrícola (42).

Parte de este interés se relaciona con los mecanismos de antagonismo descritos para el género, entre los que se encuentran la competencia por espacio y nutrientes, el micoparasitismo y la producción de enzimas hidrolíticas y metabolitos secundarios (46). Esta distinción resulta importante al analizar su posible aplicación frente a la garrapata, ya que es necesario diferenciar los mecanismos generales conocidos para el género de aquellos para los cuales existe evidencia experimental específica en *R. microplus.*

Dentro de los productos derivados de su metabolismo, *Trichoderma* spp. puede producir una amplia diversidad de metabolitos secundarios, entre ellos peptaiboles, péptidos no ribosomales, terpenos volátiles y no volátiles, pironas, sideróforos y compuestos nitrogenados. Se han descrito alrededor de 373 moléculas diferentes, cuyas funciones biológicas pueden variar y, en muchos casos, todavía no se encuentran completamente establecidas. Estos metabolitos participan en diferentes interacciones de *Trichoderma* con microorganismos, plantas, insectos y otros organismos (43). Algunos ejemplos se presentan en la Tabla 1; no obstante, las actividades allí descritas corresponden a los sistemas biológicos en los que cada compuesto ha sido estudiado (43).

Entre los compuestos incluidos en la tabla 1, el β-cariofileno resulta de interés debido a que también se ha identificado como componente de aceites esenciales evaluados experimentalmente frente a *R. microplus*. En el aceite esencial de *Copaifera officinalis* representó el 21,1 % de la composición, mientras que en *Piper nigrum* se ha reportado en una proporción del 26,2 %. Los aceites evaluados mostraron efectos acaricidas y alteraciones de parámetros reproductivos de *R. microplus* (44,45). Sin embargo, debido a que se utilizaron mezclas constituidas por múltiples compuestos, estos resultados no permiten atribuir específicamente al β-cariofileno los efectos observados. Por tanto, su presencia tanto entre los metabolitos descritos para *Trichoderma* spp. como en matrices vegetales con actividad frente a la garrapata representa únicamente un antecedente de interés que requiere evaluación experimental específica (43–45).

Tabla 1. Compuestos bioactivos de *Trichoderma* spp. y sus efectos descritos en la literatura, con posible relevancia frente a *Rhipicephalus microplus*

Categoría química	Compuesto	Efecto
Heterocíclico de nitrógeno	Ácido harziánico	Metabolito antimicrobiano y regulador del crecimiento vegetal
Dicetopiperazina/NRP	Gliotoxina	Actividad antiviral, antibacteriana, fungistática y propiedades inmunosupresoras
Sesquiterpeno	Ácido heptelidico(ácido koningico)	Actividad potencial contra el parásito de la malaria humana, *Plasmodium falciparum*
Sesquiterpeno	β-cariofileno	Atrae a los nematodos que se alimentan de larvas de insectos
Tricoteceno	Trichodermina	Inhibe los pasos de elongación y terminación en la síntesis de proteínas
Alcohol	1-octen-3-ol	Induce la conidiación y respuestas de defensa a través del ácido acetilsalicílico
Enzimas hidrolíticas	Quitinasas	Enzimas hidrolíticas de la pared celular fúngica

Nota. Elaboración propia a partir de la literatura consultada (43). Los efectos y mecanismos indicados corresponden a actividades descritas para los respectivos compuestos en otros contextos biológicos y/o en interacciones planta-Trichoderma. Estos efectos no deben interpretarse como evidencia experimental de actividad específica frente a R. microplus, salvo cuando se indique expresamente.

A diferencia de esta evidencia indirecta relacionada con metabolitos, existe un antecedente experimental específico para *Trichoderma asperellum* se evaluaron extractos enzimáticos obtenidos después del cultivo del hongo con fuentes quitinosas, incluido material procedente de *R. microplus*, mostraron actividad sobre larvas y produjeron alteraciones estructurales observadas mediante microscopía electrónica (47). Estos resultados respaldan el potencial de las enzimas quitinolíticas de *T. asperellum* para el control de estadios larvarios de *R. microplus* sin embargo, no demuestran actividad ovicida ni permiten establecer que estos mecanismos actúen de la misma manera sobre los huevos.

Respuesta de *R. microplus* frente a *Trichoderma* spp. según el estadio de desarrollo

En un artículo se evaluó extractos enzimáticos obtenidos a partir de *Trichoderma asperellum*, cultivado utilizando diferentes fuentes de carbono y quitina, incluyendo estructuras quitinosas provenientes de *R. microplus*. Los extractos obtenidos fueron posteriormente evaluados mediante pruebas de biocontrol sobre larvas de la garrapata. Los resultados mostraron que algunos de los extractos presentaron mayor actividad frente a las larvas que el extracto obtenido utilizando quitina comercial. Además, mediante microscopía electrónica se observaron alteraciones en las estructuras de las larvas expuestas a los extractos, lo que permitió evidenciar el efecto de estos productos sobre el estadio larvario de *R. microplus* (47).

En un ensayo in vitro, Romero evaluó Trishok, una formulación comercial constituida por *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma virens*, frente a hembras adultas de *R. microplus* mediante una prueba de inmersión. La formulación produjo una mortalidad de 85,0 ± 2,0 % y presentó una concentración letal media (CL50) de 6,5 × 10^4 conidios/mL (48). Estos resultados demuestran actividad acaricida de la formulación sobre hembras adultas bajo condiciones in vitro; sin embargo, debido a que el producto contiene dos especies de *Trichoderma* spp., no es posible atribuir el efecto observado de manera independiente a *T. harzianum* o *T. virens*. Asimismo, este estudio no evaluó la exposición directa de huevos, por lo que sus resultados no constituyen evidencia de actividad ovicida.

Formulación y estabilidad de productos basados en *Trichoderma* spp.

La formulación constituye un aspecto relevante para preservar la viabilidad de *Trichoderma* spp. y favorecer el desarrollo de productos de control biológico. Un estudio evaluó, la microencapsulación de conidios de *Trichoderma asperellum* mediante secado por aspersión (spray drying) utilizando maltodextrina DE20 como material de pared; bajo las condiciones optimizadas del proceso, obtuvieron una viabilidad de 87,10 ± 1,16 % y una supervivencia de 85,78 ± 2,88 % (49). Por su parte, otro estudio, desarrolló micropartículas poliméricas de *Trichoderma harzianum* y se evaluó propiedades relacionadas con la protección del microorganismo y el mantenimiento de actividades enzimáticas de interés biológico, entre ellas la actividad quitinolítica y celulolítica (50). En conjunto, estos estudios muestran diferentes estrategias para la formulación de *Trichoderma* spp.; sin embargo, fueron desarrollados en contextos distintos al control de *R. microplus,* pero constituyen antecedentes que pueden orientar futuras investigaciones sobre su aplicación frente a *R. microplus.*

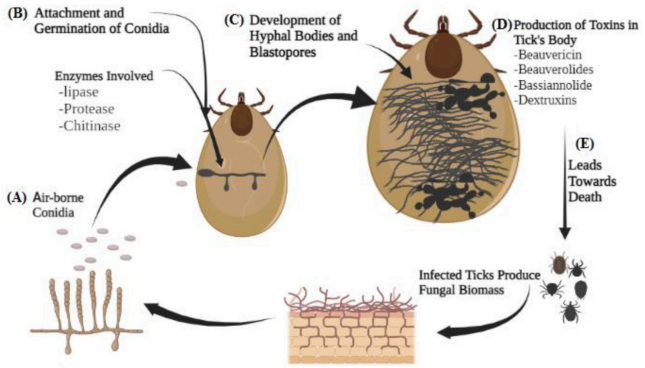
Beauveria bassiana

Es un hongo entomopatógeno, que pertenece al filo *Ascomycota*, clase *Sordariomycetes*, orden *Hypocreales* y familia *Cordycipitaceae* (51). Además, es ampliamente reconocido por su capacidad para infectar diversos artrópodos, incluidos insectos y ácaros; entre estos últimos, se ha demostrado experimentalmente su patogenicidad frente a *Tetranychus truncatus* (52). En *R. microplus*, también se ha documentado experimentalmente la infección por *B. bassiana*, con adhesión y germinación de los conidios sobre la superficie de la garrapata y posterior penetración de las hifas a través de la cutícula (54).

El proceso infectivo de *B.bassiana* comienza con la adhesión de los conidios a la superficie del hospedador y su posterior germinación. Por consiguiente, el hongo puede penetrar la barrera cuticular mediante

la acción conjunta de fuerzas mecánicas y enzimas hidrolíticas, entre ellas proteasas, quitinasas y lipasas. (imagen 2) Una vez superada la cutícula, el hongo invade los tejidos internos, donde continúa su desarrollo y puede producir metabolitos asociados con el proceso patogénico. Finalmente, después de la muerte del hospedador y bajo condiciones ambientales favorables, el hongo puede emerger, colonizar externamente el cadáver y producir nuevos conidios (51) (53). En *R. microplus*, se ha demostrado experimentalmente la adhesión y germinación de conidios de *B. bassiana* sobre la superficie de la garrapata, seguida de la penetración de las hifas a través de la cutícula, evidenciando su capacidad para establecer la infección en el hospedador (54). Esta capacidad de infección también se ha relacionado con efectos sobre diferentes etapas del ciclo biológico de la garrapata. Además de su actividad sobre larvas, ninfas y adultos, *B. bassiana* presenta actividad ovicida sobre los huevos de *R. microplus*, afectando parámetros asociados con su viabilidad y desarrollo. Entre los efectos descritos se encuentran la disminución del porcentaje de eclosión y el aumento del período de incubación y del período de eclosión; sin embargo, la magnitud de estas alteraciones puede variar de acuerdo con el aislamiento fúngico empleado y las condiciones experimentales (53,56).

Figura 2. Fases del parasitismo de *Beauveria bassiana*



Nota. Tomado de Rajput (53).

Se ha observado que la aplicación de suspensiones de conidios reduce aproximadamente en un 50 % el peso de la masa de huevos producida por las garrapatas tratadas en comparación con las que no. Además, la viabilidad de los huevos también disminuye considerablemente. Mientras que en las garrapatas del grupo control, aproximadamente el 89,2 % de los huevos logró eclosionar y dar origen a larvas, por otro lado, las tratadas con cepas silvestres de *B. bassiana* la tasa de eclosión disminuyó a valores entre el 70,9 % y el 78,5 %. Como resultado, La reducción de la eclosión de los huevos, junto con los efectos del hongo sobre la supervivencia y reproducción de las garrapatas, se asociaron con porcentajes de control de 56,1 % y 58,7 % para las cepas correspondientes (54). Asimismo, se ha demostrado que cuando el hongo logra ingresar al interior del organismo de la garrapata y superar la protección de la cutícula, su efecto es mucho mayor. En ensayos experimentales donde se inocularon 8.000 o más conidios por garrapata, los individuos murieron en menos de 48 horas y no llegaron a poner huevos, lo que impidió completamente la producción de descendencia (54).

Limitaciones y aplicaciones en campo de *Beauveria bassiana*

Una de las principales limitaciones de *Beauveria bassiana* para su aplicación como agente de control biológico está relacionada con su sensibilidad a las condiciones ambientales. Factores como las temperaturas elevadas, la baja humedad y la radiación ultravioleta pueden reducir su actividad biológica y, por tanto, afectar su eficacia como agente de control. En particular, se ha descrito que el crecimiento óptimo de *B.bassiana* se encuentra aproximadamente entre 25 y 28 °C, mientras que algunos aislamientos presentan una actividad considerablemente menor a temperaturas superiores y pueden no sobrevivir a 34 °C. Estas condiciones representan una dificultad para su utilización en ambientes donde existen fluctuaciones térmicas o condiciones poco favorables para la germinación y desarrollo del hongo (55). Además, la estabilidad y dispersión de los conidios durante el almacenamiento y la aplicación también constituyen limitaciones importantes, debido a que la exposición a temperatura y radiación UV puede comprometer su viabilidad. Por ello, se han evaluado estrategias de formulación, como la microencapsulación, que permiten mejorar la estabilidad de los conidios frente a estos factores y favorecer su dispersión en medios acuosos (58). Otra limitación corresponde a la variabilidad en la respuesta frente

al hongo, ya que la susceptibilidad puede depender tanto de la cepa utilizada como del hospedador y de las condiciones en las que se desarrolla la interacción. En estudios con garrapatas se ha observado que las cepas nativas pueden presentar una mayor virulencia, lo que evidencia que la selección del aislamiento constituye un factor importante para obtener una respuesta biológica adecuada (57).

Por otro lado, *B. bassiana* presenta potencial para ser aplicada como agente de control biológico mediante formulaciones al manejo de diferentes plagas agrícolas. Su aplicación puede realizarse a través de soluciones que contienen conidios del hongo, y una de las estrategias estudiadas para mejorar su utilización en campo es la encapsulación con materiales biodegradables. Estas formulaciones permiten mejorar la estabilidad de los conidios frente a factores ambientales como la temperatura y la radiación ultravioleta, además de favorecer su dispersión en medios acuosos. En particular, las formulaciones obtenidas mediante secado por aspersión y gelificación iónica mantuvieron la viabilidad y virulencia del hongo y alcanzaron hasta un 90 % de mortalidad en *Spodoptera cosmioides*, lo que demuestra el potencial de estas tecnologías para facilitar la aplicación de *B. bassiana* en condiciones de control de plagas (58).

En La Guajira, Colombia *B. bassiana*, fue aplicada semanalmente durante cinco semanas a bovinos infestados naturalmente, mediante una suspensión de 1×10^6 conidios/mL. La reducción de la infestación aumentó progresivamente con las aplicaciones, alcanzando un 84,8 % en la quinta semana y una efectividad corregida del 96,8 %. Estos resultados evidencian el potencial de B. bassiana para ser aplicada directamente sobre bovinos como alternativa biológica para el control de R. microplus, especialmente cuando las condiciones ambientales favorecen la actividad del hongo (59).

Un estudio desarrollado en Ecuador con la cepa *B. bassiana* sensu lato INIAP L3B3 mostró actividad frente a diferentes etapas de *R. microplus* en bovinos naturalmente infestados, las aplicaciones repetidas de una formulación experimental del hongo redujeron progresivamente la infestación, observándose un efecto relativo comparable al tratamiento con una mezcla comercial de etión y cipermetrina, particularmente después de la segunda reaplicación. En condiciones de invernadero, la misma cepa presentó actividad frente a huevos de R. microplus, alcanzando una eficacia ovicida del 20 % a una concentración de $7{,}42 \times 10^7$ conidios/mL; este efecto varió según la concentración y las condiciones del sustrato. Además, ensayos in vitro mostraron un efecto sinérgico al combinar los conidios de INIAP L3B3 con cipermetrina y etión, aunque los autores señalan que esta interacción todavía requiere confirmación mediante ensayos de campo (60).

Discusión

La evidencia en esta revisión permite establecer que el potencial de los hongos como agentes de control biológico de *R. microplus* no depende exclusivamente de su capacidad para producir mortalidad, sino también de sus efectos sobre procesos como la reproducción, la oviposición y la eclosión. Estos efectos son relevantes porque pueden disminuir la población y contribuir al control de la garrapata aun cuando la mortalidad de los adultos no sea completa. En este contexto, *Trichoderma* spp. y *Beauveria bassiana* presentan mecanismos de acción diferentes y niveles de evidencia distintos frente a *R. microplus*, por lo que su potencial debe analizarse considerando la etapa del ciclo biológico evaluada y el tipo de efecto observado (4,29,51,53).

En la literatura revisada, *B. bassiana* presenta un mayor número de estudios frente a *R. microplus* que *Trichoderma* spp. Su proceso infectivo comprende la adhesión de los conidios a la superficie del hospedador, su germinación y la posterior penetración mediante mecanismos mecánicos y enzimáticos, seguida de la colonización de los tejidos (4,51,53). Además de la mortalidad, los estudios frente a *R. microplus* han evaluado efectos sobre parámetros reproductivos, entre ellos el peso de la masa de huevos, la eficiencia reproductiva y el porcentaje de eclosión. Estas variables permiten valorar efectos del tratamiento que no se limitan exclusivamente a la mortalidad de la garrapata (29,53).

La evidencia disponible frente a *R. microplus* incluye estudios que han evaluado diferentes etapas del ciclo

biológico. Perinotto evaluó *B. bassiana* sensu lato y *Metarhizium anisopliae* sensu lato frente a hembras ingurgitadas, huevos y larvas de dos poblaciones de *R. microplus.* En las hembras tratadas se observaron diferencias en parámetros reproductivos entre las poblaciones, particularmente, en el período de preoviposición, el período de eclosión y el índice de producción de huevos. En los huevos tratados, el porcentaje de eclosión presentó valores entre 3,1 y 49,5 % en una población y entre 3,4 y 42,7 % en la otra. En las larvas, la mortalidad alcanzó entre 91,8 y 98,7 % en una población y entre 71,0 y 94,0 % en la otra. Estos resultados evidencian que los hongos entomopatógenos pueden afectar diferentes etapas de R. microplus y que la susceptibilidad al tratamiento puede variar entre poblaciones de la garrapata (61). Cuando una hembra ingurgitada es tratada con el hongo y posteriormente presenta una reducción en el peso de la masa de huevos, en la oviposición o en la eclosión de la progenie, estos resultados evidencian una alteración de los parámetros reproductivos de la hembra tratada, pero no permiten atribuir por sí solos un efecto directo del hongo sobre los huevos. En contraste, cuando los huevos son expuestos directamente al hongo y posteriormente se evalúa una reducción de la eclosión, el resultado proporciona evidencia específica de actividad sobre esta etapa del ciclo. Esta distinción es importante para interpretar adecuadamente los resultados de los estudios sobre control biológico de *R. microplus*, ya que los efectos reproductivos observados en hembras tratadas y los efectos derivados de la exposición directa de los huevos representan resultados biológicos diferentes (53, 61)

La eficacia de *B. bassiana* tampoco debe considerarse uniforme entre cepas, concentraciones o condiciones ambientales. La variabilidad entre aislados puede modificar la capacidad de germinación, penetración, producción de enzimas y síntesis de metabolitos, mientras que factores como la temperatura, humedad y radiación ultravioleta pueden afectar la persistencia de los conidios. Por ello, los resultados obtenidos in vitro no permiten deducir directamente su comportamiento en condiciones de campo y deben complementarse con estudios de formulación y estabilidad (51,53,55,57).

La formulación es un componente importante para el desarrollo de agentes de control biológico. En el caso de *B. bassiana,* las tecnologías de encapsulación y formulación buscan conservar la viabilidad de los conidios y mejorar su estabilidad durante la aplicación. La encapsulación en biopolímeros ha sido propuesta como una estrategia para mejorar las características microbiológicas de las formulaciones y favorecer su aplicación en programas de control biológico (58). Este aspecto también resulta relevante al considerar el desarrollo de formulaciones de *Trichoderma* spp., ya que la conservación de la viabilidad del microorganismo constituye un requisito previo para que una actividad biológica observada en laboratorio pueda trasladarse posteriormente a condiciones de aplicación (49,50).

En contraste con *B. bassiana*, la evidencia específica de *Trichoderma* spp. frente a *R. microplus* es más limitada. Sin embargo, esto no significa que su potencial deba descartarse. El género se caracteriza por producir enzimas hidrolíticas, metabolitos secundarios y otros compuestos que participan en diferentes interacciones biológicas. Entre las enzimas descritas para *Trichoderma* spp. se encuentran quitinasas, β-1,3-glucanasas, N-acetilglucosaminidasas y proteasas (43,46). La presencia de estas enzimas constituye una base para investigar su posible participación en interacciones con estructuras de artrópodos; sin embargo, su producción por el género no demuestra por sí sola actividad acaricida frente a *R. microplus.* La evidencia directa incluida en esta revisión muestra que *T. asperellum* presenta actividad enzimática frente a larvas de *R. microplus.* En el trabajo de Aguiar, extractos de enzimas quitinolíticas producidos por *T. asperellum* fueron evaluados frente a estructuras larvarias de la garrapata y se observaron alteraciones mediante microscopía electrónica. Estos resultados demuestran actividad frente a larvas, pero no constituyen evidencia directa de actividad ovicida (47).

Por otro lado, la actividad observada con formulaciones de *Trichoderma* spp. frente a garrapatas adultas también aporta información útil para interpretar este

potencial. Romero-Salas evaluó una formulación comercial constituida por cepas de *T. harzianum* y *T. virens* frente a *Amblyomma mixtum* y *R. microplus*, encontrando actividad acaricida en condiciones experimentales (48). Sin embargo, debido a que el producto contiene más de una especie de *Trichoderma* spp. y a que el ensayo se realizó principalmente sobre garrapatas adultas, estos resultados no permiten atribuir el efecto exclusivamente a una especie ni demostrar actividad ovicida frente a los huevos de *R. microplus.* Esta diferencia resulta importante porque la respuesta de una garrapata adulta no necesariamente permite predecir la respuesta de sus huevos. Por ello, sería necesario evaluar de manera específica la interacción del hongo con el huevo y determinar si existe germinación, adhesión, penetración o colonización, además de medir variables como la eclosión y la viabilidad embrionaria (48).

Otro aspecto que permite fortalecer la discusión sobre *Trichoderma* spp. es su capacidad para producir una amplia diversidad de metabolitos secundarios. En este grupo se han descrito peptaiboles, péptidos no ribosomales, terpenos, pironas, sideróforos y otros compuestos, cuya función puede variar de acuerdo con la especie y las condiciones en las que se desarrolla el microorganismo (43). Esta diversidad resulta relevante porque la actividad biológica de *Trichoderma* spp. probablemente no depende de un único mecanismo. En este sentido, una acción sobre *R. microplus* podría estar relacionada con la interacción entre enzimas, metabolitos y mecanismos de antagonismo, más que con un solo compuesto. Esta posibilidad también permite comprender por qué las características de la cepa y las condiciones de crecimiento pueden modificar el comportamiento biológico observado (40,43).

En este punto, el β-cariofileno permite establecer una conexión que resulta de interés para interpretar el potencial de *Trichoderma* spp. frente a *R. microplus*. Este sesquiterpeno ha sido identificado entre los compuestos volátiles producidos por diferentes especies y cepas de *Trichoderma* spp., aunque su presencia y abundancia pueden variar de acuerdo con el microorganismo y las condiciones de crecimiento (43). De manera independiente, Vinturelle evaluó aceites esenciales y observó efectos sobre parámetros relacionados con la reproducción y la oviposición de *R. microplus*, mientras que el β-cariofileno también ha sido identificado como componente de diferentes matrices vegetales con actividad biológica (44,45). Por tanto, la coincidencia de este compuesto en fuentes vegetales y en *Trichoderma* spp. resulta relevante, pero no permite atribuir directamente al β-cariofileno la actividad acaricida u ovicida del hongo. Más bien, plantea una posibilidad que debería comprobarse mediante la caracterización química de los metabolitos producidos por especies o cepas de *Trichoderma* spp. y mediante ensayos individuales de actividad frente a *R. microplus*. De esta manera, podría determinarse si el β-cariofileno participa en los efectos observados o si estos responden a la acción conjunta de diferentes metabolitos producidos por el hongo.

Esta precaución es especialmente importante porque la literatura sobre *Trichoderma* spp. muestra que la producción de metabolitos y enzimas puede variar entre especies y cepas, así como según las condiciones de crecimiento. Por ello, no todas las especies del género deben considerarse equivalentes en cuanto a su actividad biológica (40, 43). En el caso de *R. microplus*, esta variabilidad podría ser determinante para seleccionar aislamientos con mayor capacidad de afectar determinadas etapas del ciclo. En consecuencia, más que considerar simplemente a *Trichoderma* spp. como una categoría única, sería necesario establecer qué especie o cepa presenta la actividad de interés y qué características biológicas están asociadas con dicho efecto (40-43).

En *T. asperellum* se ha estudiado la microencapsulación de conidios mediante secado por aspersión, utilizando materiales protectores para favorecer la supervivencia de los conidios durante el proceso de formulación (49). De manera similar, en *T. harzianum s*e han desarrollado estrategias de encapsulación orientadas a preservar la viabilidad y la actividad enzimática del hongo (50). Aunque estos estudios fueron desarrollados principalmente en contextos diferentes al control de *R. microplus*, muestran que existen estrategias tecnológicas para proteger y formular propágulos de *Trichoderma* spp. Por ello, una futura formulación des-

tinada al control de la garrapata tendría que demostrar no solo estabilidad y viabilidad, sino también que estas propiedades se mantienen asociadas con la actividad biológica frente al organismo objetivo (49,50). Esta consideración adquiere mayor importancia cuando se compara el nivel de desarrollo de *Trichoderma* spp. con el de *B. bassiana*. Para *B. bassiana* existen resultados obtenidos tanto en laboratorio como en condiciones de aplicación sobre bovinos infestados naturalmente. En Colombia, un estudio realizado en el departamento de la Guajira evaluó la efectividad de *B. bassiana* formulada comercialmente como Baubassil frente a *R. microplus.* Bajo condiciones de campo, se realizaron aplicaciones semanales del hongo a bovinos naturalmente infestados y se observó una reducción progresiva de la infestación durante el período de evaluación, lo que aportó evidencia de actividad del hongo en condiciones diferentes a las de laboratorio (59), mientras que en Ecuador el desarrollo de la cepa nativa *B. bassiana* sensu lato INIAP L3B3 ha avanzado desde evaluaciones de laboratorio hasta ensayos en condiciones de campo. En bovinos naturalmente infestados con *R. microplus*, la aplicación de una formulación experimental de esta cepa y sus posteriores reaplicaciones produjeron una reducción de la infestación, con un efecto relativo comparable al de una mezcla comercial de etión y cipermetrina, especialmente después de la segunda reaplicación (60). De manera independiente, estudios en condiciones de invernadero demostraron actividad de la misma cepa frente a huevos de *R. microplus*, aunque la eficacia ovicida dependió de la concentración aplicada y de las condiciones del sustrato (60). Además, se han evaluado combinaciones de *B. bassiana* con acaricidas químicos, evidenciando que la interacción entre el hongo y estos compuestos puede variar según la sustancia utilizada (60). Estos resultados muestran que el desarrollo de un agente biológico no termina con demostrar actividad en condiciones controladas, sino que requiere considerar la formulación, la frecuencia de aplicación, las condiciones ambientales y la interacción con el hospedador. Para *Trichoderma* spp., esta transición desde la evidencia experimental hacia la evaluación directa en bovinos todavía requiere mayor desarrollo (48-50,59,60). Además, las limitaciones observadas para *B. bassiana* permiten anticipar algunos de los retos que también deberán considerarse al desarrollar formulaciones de *Trichoderma.* La temperatura, la humedad y la radiación ultravioleta pueden modificar la germinación y supervivencia de los conidios, mientras que la selección de aislamientos puede generar diferencias importantes en virulencia (51,55,57). Estas variables se vuelven importantes en ambientes tropicales, donde *R. microplus* encuentra condiciones favorables para completar su ciclo y donde las condiciones ambientales pueden variar durante el día. Por ello, la eficacia de un hongo entomopatógeno no debería evaluarse únicamente mediante porcentajes de mortalidad obtenidos bajo condiciones controladas, sino también mediante la capacidad del microorganismo para conservar su viabilidad y actividad en las condiciones en las que se pretende utilizar (51,55,57). En conjunto, la evidencia revisada permite considerar a *Trichoderma* spp. como un candidato de interés para ampliar las estrategias de control biológico de *R. microplus*, aunque todavía existe una diferencia importante entre el potencial biológico descrito para el género y una eficacia acaricida u ovicida directamente demostrada frente a esta garrapata. La actividad enzimática de *T. asperellum,* la diversidad de metabolitos secundarios, la actividad observada con formulaciones frente a garrapatas y las posibilidades de estabilización mediante estrategias de formulación constituyen elementos que justifican continuar investigando (46-50). Asimismo, la identificación de β-cariofileno en especies de *Trichoderma* y su presencia en matrices vegetales que han mostrado actividad frente a *R. microplus* plantea una relación que merece ser estudiada, pero que todavía requiere demostración experimental para establecer si este compuesto participa en los efectos producidos por determinadas cepas del hongo (43-45).

En este sentido, la principal cuestión pendiente no es únicamente determinar si *Trichoderma* spp. puede afectar a *R. microplus*, sino establecer qué especies o cepas presentan actividad directa sobre los huevos, qué mecanismos enzimáticos o metabólicos intervienen y en qué condiciones puede mantenerse dicha actividad. La respuesta a estas preguntas permitirá determinar si los resultados obtenidos en condiciones

experimentales pueden avanzar hacia evaluaciones en condiciones de aplicación y, posteriormente, integrarse en estrategias de manejo de *R. microplus* que reduzcan la dependencia exclusiva de los acaricidas químicos (25,46-50).

Conclusiones

Se permitió establecer que *Rhipicephalus microplus* continúa siendo un ectoparásito de importancia para la producción bovina, cuya capacidad de adaptación y la aparición de resistencia a diferentes grupos de acaricidas hacen necesario ampliar las alternativas de control. En este contexto, *Trichoderma* spp. Y *B. bassiana* muestran características que respaldan su interés como agentes de control biológico, debido a mecanismos que pueden afectar la supervivencia, el desarrollo y la reproducción de las garrapatas. *B. bassiana* presenta actualmente la evidencia más amplia, con efectos demostrados sobre diferentes fases de *R. microplus* y resultados que incluyen mortalidad, alteraciones reproductivas y disminución de la eclosión. Por su parte, *Trichoderma* spp. presenta un potencial asociado principalmente con la producción de enzimas hidrolíticas, metabolitos secundarios y mecanismos de antagonismo, aunque todavía existe una menor cantidad de estudios dirigidos específicamente a los huevos de *R. microplus*.

A partir de lo revisado, el potencial de estos hongos no depende únicamente de su capacidad para producir mortalidad en condiciones de laboratorio, sino también de la cepa utilizada, la concentración, la interacción con el estadio de la garrapata y factores ambientales como temperatura, humedad y radiación. Además, la estabilidad y viabilidad de los conidios mediante procesos de formulación y encapsulación representan aspectos importantes para trasladar los resultados experimentales a condiciones de campo. Así mismo, se requieren investigaciones que permitan determinar qué cepas presentan actividad frente a los huevos, identificar los posibles mecanismos enzimáticos y metabólicos involucrados y evaluar su comportamiento bajo condiciones reales. En conjunto, estos hongos pueden contribuir a diversificar las estrategias de manejo de *R. microplus* y complementar otras medidas de control dentro de un enfoque integrado.

Conflicto de intereses

Las autoras declaran no tener conflictos de interés relacionados con la realización de esta revisión. No se recibió financiamiento, apoyo económico ni patrocinio por parte de empresas productoras o comercializadoras de acaricidas, productos veterinarios, hongos entomopatógenos o agentes de control biológico que pudieran tener un interés financiero o comercial en los resultados presentados. La revisión fue realizada de manera independiente y las conclusiones se fundamentan en el análisis de la literatura científica seleccionada.

Transparencia de datos

La información analizada en esta revisión procede de publicaciones científicas identificadas mediante las estrategias de búsqueda descritas en la metodología. Debido a que se trata de una revisión narrativa y no de un estudio experimental, no se generaron datos primarios, códigos de análisis ni materiales biológicos propios. Las fuentes bibliográficas utilizadas se encuentran identificadas en la sección de referencias.

Referencias

1. Rocha JF, Martínez R, López-Villalobos N, Morris ST. Tick burden in Bos taurus cattle and its relationship with heat stress in three agroecological zones in the tropics of Colombia. Parasit Vectors. 2019 Feb 7;12(1):73. doi:10.1186/s13071-019-3319-9.
2. Dolenga CJR, Anjos AD, Barbosa VHG, Yoshitani UY, Castilho PL da SP, Miyakawa VI, et al. Acaricidal effect major compounds to control Rhipicephalus microplus (Canestrini, 1887) in dairy cows and possible alternatives for reversing multidrug resistance. Rev Bras Parasitol Vet 2022;31(2):e005422. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1590/S1984-29612022028
3. Dehuri M, Mohanty B, Rath PK, Mishra B. An insight into control strategies against bovine tropical tick (Rhipicephalus microplus) in context to acaricide resistance. Med Vet Entomol. 2025;(mve.12808). Disponible en: http://dx.doi.org/10.1111/mve.12808
4. Lovett B, St Leger RJ. The insect pathogens. Microbiol Spectr. 2017;5(2):925–43. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0001-2016

5. Makwarela TG, Seoraj-Pillai N, Malatji DP, Nangammbi TC. Adaptation and invasion dynamics of Rhipicephalus microplus in South Africa: Ecology, resistance, and management implications. Insects. 2025;16(12):1204. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/insects16121204
6. Dwisandi RF, Miranti M, Prismantoro D, Alizadeh M, Mispan MS, Hermawan W, et al. Trichoderma for managing Lepidopteran insect pests: Current understanding and future directions. Biol Control. 2024;197(105604):105604. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105604
7. Polanco-Echeverry DN, Ríos-Osorio LA, Ciencia C, Agropecuaria T. Org.co Aspectos biológicos y ecológicos de las garrapatas duras. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v17n1/v17n1a08.pdf
8. Corporación, M. (1996). Epidemiología, diagnóstico y control de enfermedades parasitarias en bovinos. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12324/11438
9. Jakab Á, Kahlig P, Kuenzli E, Neumayr A. Tick borne relapsing fever - a systematic review and analysis of the literature.Disponible en: http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0010212
10. ESTRADA-PEÑA A. Ticks as vectors: taxonomy, biology and ecology. Scientific & Technical Review. 2015 04 1; 34(1): pp. 53-65. doi: http://dx.doi.org/10.20506/rst.34.1.2345.
11. Shepherd JG. Mating, Sperm Transfer and Oviposition in Soft Ticks (Acari: Argasidae), a Review. Pathogens. 2023 Apr 12;12(4):582. doi:10.3390/pathogens12040582.
12. Nogueira BCF, Campos AK, Muñoz-Leal S, Pinter A, Martins TF. Soft and hard ticks (Parasitiformes: Ixodida) on humans: A review of Brazilian biomes and the impact of environmental change. Acta Trop. 2022;234(106598):106598. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106598
13. Martínez-García J, Abad-Zavaleta JÁ, García-Gómez MJ, Núñez-Gaona O. Evaluación in vitro del potencial acaricida de *Beauveria bassiana* DS3.17 sobre la garrapata común (*Rhipicephalus microplus*) en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2023;14(3). doi:10.22319/rmcp.v14i3.6265
14. Sales, DP, Silva-Junior, MHS, Tavares, CP et al. Biology of the non-parasitic phase of the cattle tick Rhipicephalus (Boophilus) microplus in an area of Amazon influence. Parasites Vectors 17, 129 (2024). https://doi.org/10.1186/s13071-024-06220-w
15. Xavier, M.A., Tirloni, L., Pinto, A.F.M. et al. A proteomic insight into vitellogenesis during tick ovary maturation. Sci Rep 8, 4698 (2018). https://doi.org/10.1038/s41598-018--23090-2
16. Cruz, B.C., de Lima Mendes, A.F., Maciel, W.G. et al. Biological parameters for Rhipicephalus microplus in the field and laboratory and estimation of its annual number of generations in a tropical region. Parasitol Res 119, 2421–2430 (2020). https://doi.org/10.1007/s00436-020-06758-5.
17. Puentes JD, Riet-Correa F. Epidemiological aspects of cattle tick fever in Brazil. Rev Bras Parasitol Vet. 2023;32(1):e014422. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1590/S1984-29612023007
18. Fernández-Salas A, Romero-Pérez JB, Alonso-Díaz MÁ. Does the use of engorged adult ticks of Rhipicephalus microplus as substrate modifies the acaricidal behavior of Metarhizium anisopliae? Exp Appl Acarol. 2025;94(2):34. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/s10493-025-01003--z
19. Rodriguez-Vivas RI, Jonsson NN, Bhushan C. Strategies for the control of Rhipicephalus microplus ticks in a world of conventional acaricide and macrocyclic lactone resistance. Parasitol Res. 2018;117(1):3–29. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/s00436-017-5677-6
20. Pereira, D. F. S., Ribeiro, H. S., Gonçalves, A. A. M., da Silva, (2022). Rhipicephalus microplus: An overview of vaccine antigens against the cattle tick. Ticks and Tick-Borne Diseases, https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101828
21. Lagunes-Quintanilla R, Gómez-Romero N, Mendoza-Martínez N, Castro-Saines E, Galván-Arellano D and Basurto-Alcantara FJ (2024) Perspectives on using integrated tick management to control Rhipicephalus microplus in a tropical region of Mexico. Front. Vet. Sci. 11:1497840. doi:10.3389/fvets.2024.1497840
22. González-Mora, Alejandro, Kenny Misael Calvillo-Rodríguez, Jesús Hernández-Pérez, Marco Rito-Palomares, Ana Carolina Martínez-Torres y Jorge Benavides. 2021. Evaluation of the Immune Response of a Candidate Phage-Based Vaccine against Rhipicephalus microplus (Cattle Tick). Pharmaceutics 13, no. 12: 2018. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13122018
23. Limor de Colombia S.A.S. Go-Tick®: vacuna contra la garrapata común del ganado (Rhipicephalus microplus). Bogotá: Limor de Colombia. Disponible en: Go-Tick® - Limor de Colombia https://limorcolombia.com/gotick/
24. Strydom, T.; Lavan, R.P.; Torres, S.; Heaney, K. The Economic Impact of Parasitism from Nematodes, Trematodes and Ticks on Beef Cattle Production. Animals 2023, 13, 1599. https://doi.org/10.3390/ani13101599
25. Sabatini GA, Borges FA, Costa-Junior LM, Cuore U, Cutolo AA, Fiel CA, et al. Recommendations for sustainable control of cattle tick, Rhipicephalus (Boophilus) microplus (Canestrini, 1887) in Latin America and the Caribbean. Int J Parasitol 2026;(104869):104869. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpara.2026.104869
26. Estrada-Peña A, Mallón AR, Bermúdez S, de la Fuente J, Domingos A, García MPE, Labruna MB, Merino O, Mosqueda J, Nava S, Cruz RL, Szabó M, Tarragona E, Venzal JM. One Health Approach to Identify Research Needs on Rhipicephalus microplus Ticks in the Americas. Pathogens. 2022 Oct 13;11(10):1180. doi:10.3390/pathogens11101180.

27. de La Canal LH, Dall'Agnol B, Webster A, Reck J, Martins JR, Klafke GM. Mechanisms of amitraz resistance in a Rhipicephalus microplus strain from southern Brazil. Ticks Tick Borne Dis 2021;12(5):101764. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101764

28. Garcia, GR, Chaves Ribeiro, JM, Maruyama, SR et al. A transcriptome and proteome of the tick Rhipicephalus microplus shaped by the genetic composition of its hosts and developmental stage. Sci Rep 10, 12857 (2020). https://doi.org/10.1038/s41598-020-69793-3

29. Alonso-Díaz MA, Fernández-Salas A. Entomopathogenic Fungi for Tick Control in Cattle Livestock From Mexico. Front Fungal Biol. 2021 Apr 30;2:657694. doi:10.3389/ffunb.2021.657694.

30. Zimmer KR, Macedo AJ, Nicastro GG, Baldini RL, Termignoni C. Egg wax from the cattle tick Rhipicephalus (Boophilus) microplus inhibits Pseudomonas aeruginosa biofilm. Ticks Tick Borne Dis 2013;4(5):366–76. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.ttbdis.2013.01.005

31. Esteves E, Fogaça AC, Maldonado R, Silva FD, Manso PPA, Pelajo-Machado M, et al. Antimicrobial activity in the tick Rhipicephalus (Boophilus) microplus eggs: Cellular localization and temporal expression of microplusin during oogenesis and embryogenesis. Dev Comp Immunol 2009;33(8):913–9. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.dci.2009.02.009

32. Tirloni, L., Braz, G., Nunes, R.D. et al. A physiologic overview of the organ-specific transcriptome of the cattle tick Rhipicephalus microplus. Sci Rep 10, 18296 (2020). https://doi.org/10.1038/s41598-020-75341-w

33. Cerqueira APM, Santos MDC, Dos Santos Júnior MC, Botura MB. Molecular targets for the development of new acaricides against Rhipicephalus microplus: a review. Parasitology. 2022 Jul;149(8):1019-1026. doi:10.1017/S0031182022000506.

34. Meiring C, Labuschagne M. Genomic assessment of targets implicated in Rhipicephalus microplus acaricide resistance. PLoS One. 2024 Dec 5;19(12):e0312074. doi:10.1371/journal.pone.0312074.

35. Dzemo WD, Thekisoe O, Vudriko P. Development of acaricide resistance in tick populations of cattle: A systematic review and meta-analysis. Heliyon. 2022 Jan 7;8(1):e08718. doi:10.1016/j.heliyon.2022.e08718.

36. Heylen DJA, Labuschagne M, Meiring C, van der Mescht L, Klafke G, Costa Junior LM, Strydom T, Wentzel J, Shacklock C, Halos L, Maree F, Fourie J, Madder M, Evans A. Phenotypic and genotypic characterization of acaricide resistance in Rhipicephalus microplus field isolates from South Africa and Brazil. Int J Parasitol Drugs Drug Resist. 2024 Apr;24:100519. doi:10.1016/j.ijpddr.2023.100519.

37. Juache-Villagrana AE, Ponce-Garcia G, Gonzalez-Escandon MDJ, Vazquez-Dominguez IF, Castro-Bautista AG, Lopez-Monroy B, et al. Status of acaricide resistance and detecting the knockdown resistance mutation T2134A in the cattle tick Rhipicephalus microplus (Acari: Ixodidae) from northeastern Mexico. J Am Mosq Control Assoc. 2023;39(2):122–128. doi:10.2987/23-7113.

38. Stone NE, Olafson PU, Davey RB, Buckmeier G, Bodine D, Sidak-Loftis LC, Giles JR, Duhaime R, Miller RJ, Mosqueda J, Scoles GA, Wagner DM, Busch JD. Multiple mutations in the para-sodium channel gene are associated with pyrethroid resistance in Rhipicephalus microplus from the United States and Mexico. Parasit Vectors. 2014 Oct 1;7:456. doi:10.1186/s13071-014-0456-z.

39. Cossío-Bayúgar, R., Miranda-Miranda, E., Martínez-Ibañez, F. et al. Physiological evidence that three known mutations in the para-sodium channel gene confer cypermethrin knockdown resistance in Rhipicephalus microplus. Parasites Vectors 13, 370 (2020). https://doi.org/10.1186/s13071-020--04227-7

40. Guzmán-Guzmán P, Kumar A, de Los Santos-Villalobos S, Parra-Cota FI, Orozco-Mosqueda MDC, Fadiji AE, et al. Trichoderma species: Our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases-A review. Plants 2023;12(3):432. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/plants12030432

41. Kumar, Ritesh, Samanta, Pratik, Vijay Raj, Susanth, Bera, Pratush, Naimuddin, Mohammed, Potential and Prospects of Trichoderma in Plant Protection, 2023, 5573662, 11 páginas, 2023. https://doi.org/10.1155/2023/5573662

42. Tyśkiewicz R, Nowak A, Ozimek E, Jaroszuk-Ściseł J. Trichoderma: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. Int J Mol Sci.2022;23(4):2329. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/ijms23042329

43. Hexon Angel Contreras-Cornejo, Lourdes Macías-Rodríguez, Ek del-Val, John Larsen, Ecological functions of Trichoderma spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants

44. , FEMS Microbiology Ecology, Volumen 92, Número 4, abril de 2016, fiw036, https://doi.org/10.1093/femsec/fiw036

45. Vinturelle R, Mattos C, Meloni J, Lamberti HD, Nogueira J, da Silva Vaz Júnior I, et al. Evaluation of essential oils as an ecological alternative in the search for control Rhipicephalus microplus (Acari: Ixodidae). Vet Parasitol (Amst). 2021;23(100523):100523. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.vprsr.2020.100523

46. Vinturelle R, Mattos C, Meloni J, Nogueira J, Nunes MJ, Vaz IS Jr, Rocha L, Lione V, Castro HC, Chagas EFD. In Vitro Evaluation of Essential Oils Derived from Piper nigrum (Piperaceae) and Citrus limonum (Rutaceae) against the Tick Rhipicephalus (Boophilus) microplus (Acari: Ixodidae).doi:10.1155/2017/5342947

47. Verma M, Brar SK, Tyagi RD, Surampalli RY, Valéro JR. Antagonistic fungi, Trichoderma spp.: Panoply of biological control. Biochem Eng J. 2007;37(1):1–20. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2007.05.012

48. Aguiar J de PS de A. Universidade Federal de Goiás. 2020. Produção e caracterização de enzimas quitinolíticas produzidas pelo fungo Trichoderma asperellum e sua aplicação no biocontrole do carrapato Rhipicephalus microplus e do inseto Aedes aegypti. Disponible en: https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/8f0efe71-fae7-437f-b3f6-af7e739a775e

49. Romero Salas D, Bravo Ramos JL, Sánchez Montes DS, Cárdenas Amaya C, Gamboa Prieto J, Cruz Romero A, Et Al. Acaricidal Activity Of Combined Commercial Strains Of Entomopathogenic Fungi Against Amblyomma Mixtum AND Rhipicephalus Microplus TICKS. Trop Subtrop Agroecosystems. 2022;25(3). Disponible en: https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/viewFile/3919/1910

50. Braga ABAC, Costa CJM, Ribeiro EJ, Zotarelli MF, Santos LD. Evaluation of the microencapsulation process of conidia of Trichoderma asperellum by spray drying. Braz J Microbiol. 2022 Dec;53(4):1871-1880. doi:10.1007/s42770-022-00832-z

51. Maruyama CR, Bilesky-José N, de Lima R, Fraceto LF. Encapsulation of Trichoderma harzianum preserves enzymatic activity and enhances the potential for biological control. Front Bioeng Biotechnol. 2020;8:225. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3389/fbioe.2020.00225

52. Sullivan CF, Parker BL, Skinner M. A review of commercial Metarhizium- and Beauveria-based biopesticides for the biological control of ticks in the USA. Insects. 2022;13(3):260. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/insects13030260

53. Chaithra M, Prameeladevi T, Bhagyasree SN, Prasad L, Subramanian S, Kamil D. Multilocus sequence analysis for population diversity of indigenous entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and its bio-efficacy against the cassava mite, Tetranychus truncatus Ehara (Acari: Tetranychidae). Front Microbiol 2022;13:1007017. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2022.1007017

54. Rajput, M.; Sajid, MS; Rajput, NA; Jorge, DR; Usman, M.; Zeeshan, M.; Iqbal, O.; Bhutto, B.; Atiq, M.; Rizwan, HM; et al. Hongos entomopatógenos como alternativas a los acaricidas químicos: desafíos, oportunidades y perspectivas para el control sostenible de las garrapatas. Insectos 2024, 15, 1017. https://doi.org/10.3390/insects15121017

55. Muniz ER, Ribeiro-Silva CS, Arruda W, Keyhani NO and Fernandes ÉKK (2021) The Msn2 Transcription Factor Regulates Acaricidal Virulence in the Fungal Pathogen Beauveria bassiana. Front. Cell. Infect. Microbiol. 11:690731. doi:10.3389/fcimb.2021.690731

56. Alali S, Mereghetti V, Faoro F, Bocchi S, Al Azmeh F, Montagna M. Thermotolerant isolates of Beauveria bassiana as potential control agent of insect pest in subtropical climates. PLoS One. 2019;14(2):e0211457. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0211457

57. Camargo MG, Golo PS, Angelo IC, Perinotto WMS, Sá FA, Quinelato S, et al. Effect of oil-based formulations of acaripathogenic fungi to control Rhipicephalus microplus ticks under laboratory conditions. Vet Parasitol. 2012;188(1–2):140–7. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.03.012

58. Cafarchia C, Immediato D, Iatta R, Ramos RA, Lia RP, Porretta D, Figueredo LA, Dantas-Torres F, Otranto D. Native strains of Beauveria bassiana for the control of Rhipicephalus sanguineus sensu lato. Parasit Vectors. 2015 Feb 5;8:80. doi:10.1186/s13071-015-0693-9

59. Felizatti AP, Manzano RM, Rodrigues IMW, da Silva MFGF, Fernandes JB and Forim MR (2021) Encapsulation of B. bassiana in Biopolymers: Improving Microbiology of Insect Pest Control. Front. Microbiol. 12:704812. doi:10.3389/fmicb.2021.704812

60. Tofiño Rivera AP, Ortega Cuadros M, Pedraza Claros B, Perdomo Ayola SC, Moya Romero DC. Efectividad de Beauveria bassiana (Baubassil®) sobre la garrapata común del ganado bovino Rhipicephalus microplus en el Departamento de la Guajira, Colombia. Rev Argent Microbiol. 2018;50(4):426–30. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.10.005

61. Hidalgo D, Ramírez JL, Navarrete M, Cevallos V, Ramos M, Bravo B, et al. Research advances in Ecuador on use of entomopathogenic fungi for control of the cattle tick, Rhipicephalus microplus: the case of Beauveria bassiana sensu lato strain INIAP L3B3. Front Fungal Biol. 2025;6:1492395. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3389/ffunb.2025.1492395

62. Perinotto WMS, Angelo IC, Golo PS, Quinelato S, Camargo MG, Sá FA, et al. Susceptibility of different populations of ticks to entomopathogenic fungi. Exp Parasitol. 2012;130(3):257–60. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.exppara.2011.12.003