

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y

AMBIENTALES

CARRERA DE MICROBIOLOGÍA

***Beauveria bassiana* controlador biológico de garrapatas en
ganadería: avances, retos y perspectivas**

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado en
Microbiología**

Mateo Sebastián Mafla Sigcho

Quito, 2026

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía de Microbiología, del Sr Mafla Sigcho Mateo Sebastián ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Mtr. Jeniffer Marcela Yáñez Altuna

Tutora de Monografía

Quito, 9 de enero de 2026

DEDICATORIA

Al final somos una mezcla de todas las personas que han sido parte de nuestro camino.

Aunque algunas de ellas no están aquí todos son parte esencial de quien soy hoy.

AGRADECIMIENTOS

A Bladimir y Mónica los cuales dejaron de lado sus sueños y aspiraciones para convertirse en papá y mamá. Por siempre esforzarse en enseñarme a confiar en mis capacidades.

A mis hermanos que han sido mis pilares, que siempre me han apoyado cuando más lo he necesitado.

A mis amigos que han hecho que la etapa universitaria sea entretenida y no solo un viaje por conseguir un título.

A mis profesores por enseñarme y formarme para salir al mundo laboral no con una fórmula secreta para resolver problemas, sino a estar listo para afrontar las adversidades.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
TABLA DE CONTENIDOS	IV
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	VIII
1 RESUMEN	1
2 ABSTRACT	2
3 INTRODUCCIÓN	3
4 OBJETIVOS	6
4.1 OBJETIVO GENERAL:.....	6
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	6
5 MARCO TEÓRICO	7
5.1 IMPORTANCIA MUNDIAL Y REGIONAL DE LA GANADERÍA	7
5.1.1 A NIVEL MUNDIAL.....	7
5.1.2 A NIVEL LATINOAMERICANO.....	7
5.2 PRINCIPALES ECTOPARÁSITOS EN LA GANADERÍA LATINOAMERICANA ..	8
5.3 TAXONOMÍA Y BIOLOGÍA DE <i>Rhipicephalus microplus</i>	11
5.4 DAÑOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE <i>R. microplus</i>	12
5.5 ESTRATEGIAS CONVECIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE <i>R. microplus</i>	
14	
5.5.1 MÉTODOS FÍSICOS DE CONTROL	14
5.5.2 ACARICIDAS QUIMICOS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE <i>R. microplus</i>	
15	
5.6 MECANISMOS DE RESISTENCIA DE <i>R. microplus</i>	16

5.6.1	MECANISMOS FÍSICOS DE RESISTENCIA.....	17
5.6.2	MECANISMOS DE RESISTENCIA MOLECULARES	18
5.7	CONTROL BIOLÓGICO CON HONGOS ENTOMOPATÓGENOS.....	20
5.8	TAXONOMÍA Y BIOLOGÍA DE <i>Beauveria bassiana</i>	21
5.8.1	TAXONOMÍA Y CLASIFICACIÓN.....	21
5.8.2	CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS GENERALES.....	22
5.8.3	CICLO DE VIDA Y MECANISMOS DE INFECCIÓN.....	23
5.8.4	FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN LA EFICACIA DEL HONGO... 25	
5.9	AVANCES EXPERIMENTALES Y APLICACIONES POTENCIALES DE <i>B. bassiana</i> EN LATINOAMÉRICA.....	26
5.9.1	EFICACIA EN CAMPO	27
5.9.2	PRODUCCIÓN A GRAN ESCALA.....	28
5.9.3	EFEECTO SOBRE POBLACIONES RESISTENTES.....	29
5.10	PERSPECTIVAS Y DESAFÍOS.....	30
6	CONCLUSIONES.....	33
7	RECOMENDACIONES	34
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de <i>R. microplus</i>	12
Figura 2. Aislamiento de <i>Beauveria bassiana</i>	22
Figura 3. Morfología microscópica con aumento en 40X de <i>Beauveria bassiana</i>	23
Figura 4. Ciclo de vida de <i>B. bassiana</i>	24
Figura 5. <i>Rhipicephalus microplus</i> colonizado por <i>Beauveria bassiana</i>	25

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de la concentración y la mortalidad promedio según el tiempo..... 27

1 RESUMEN

La industria ganadera latinoamericana enfrenta una crisis sanitaria debido a la multirresistencia de la garrapata *Rhipicephalus microplus* frente a los acaricidas convencionales, lo que compromete la productividad y la inocuidad alimentaria. Esta monografía evalúa el potencial biotecnológico de *Beauveria bassiana* como una alternativa de control biológico eficaz y sostenible. Se analiza su mecanismo infeccioso, el cual comprende la adhesión de conidias, la degradación enzimática de la cutícula y la posterior colonización sistémica del hospedador mediante la secreción de metabolitos secundarios. La investigación destaca que el empleo de cepas nativas y la optimización de la producción a través de fermentación sólida con sustratos agroindustriales mejoran la adaptación ambiental y reducen los costos operativos. Se concluye que la acción del hongo trasciende la mortalidad directa, induciendo efectos subletales que inhiben la fecundidad y la tasa de oviposición del parásito. No obstante, el éxito de esta tecnología depende de la implementación de formulaciones que mitiguen la degradación por radiación ultravioleta y de su integración técnica en programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Palabras clave: *Beauveria bassiana*, *Rhipicephalus microplus*, control biológico, resistencia a acaricidas, hongos entomopatógenos, Manejo Integrado de Plagas (MIP).

2 ABSTRACT

The Latin American livestock industry faces a sanitary crisis due to the multi-resistance of the cattle tick *Rhipicephalus microplus* to conventional acaricides, compromising productivity and food safety. This monograph evaluates the biotechnological potential of *Beauveria bassiana* as an effective and sustainable biological control alternative. Its infectious mechanism is analyzed, covering conidia adhesion, enzymatic degradation of the cuticle, and subsequent systemic colonization of the host through the secretion of secondary metabolites. The research highlights that the use of native strains and the optimization of production through solid-state fermentation with agro-industrial substrates improve environmental adaptation and reduce operational costs. It is concluded that the fungus's action transcends direct mortality, inducing sublethal effects that inhibit the parasite's fecundity and oviposition rate. However, the success of this technology depends on the implementation of formulations that mitigate ultraviolet radiation degradation and its technical integration into Integrated Pest Management (IPM) programs.

Keywords: *Beauveria bassiana*, *Rhipicephalus microplus*, biological control, acaricide resistance, entomopathogenic fungi, Integrated Pest Management (IPM).

3 INTRODUCCIÓN

La ganadería es una actividad importante que a lo largo de los años ha ido evolucionando y convertido en una de las más importantes actividades para la economía latinoamericana. De acuerdo con la FAO (2023), Latinoamérica concentra cerca del 25 % del hato bovino mundial y se ha consolidado como uno de los principales proveedores de carne y leche para los mercados internacionales. Brasil y Argentina, por ejemplo, se encuentran entre los mayores exportadores de carne bovina, mientras que Uruguay y Paraguay destacan por su elevada proporción de producción destinada a la exportación. Además, países como Brasil, Argentina, México y Colombia destacan por su producción ganadera, que contribuye significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) y a la seguridad alimentaria regional (Banco Mundial, s.f). Más allá de la dimensión macroeconómica, la ganadería tiene un profundo impacto en la estructura social y rural de la región. Millones de familias campesinas dependen de esta actividad como fuente principal de ingresos y sustento, especialmente en los Andes, Centroamérica y zonas amazónicas, donde predomina la ganadería de pequeña y mediana escala (CEPAL, 2025).

Una de las problemáticas actuales es el manejo de plagas y parásitos que afectan la salud y productividad del ganado como: ácaros causantes de diferentes tipos de sarnas, nematodos gastrointestinales que afectan la absorción de nutrientes, moscas hematófagas que provocan estrés y pérdida de sangre, pero una de las plagas más complicadas de eliminar son las garrapatas. En México se ha convertido en el parásito que más problema causa a la ganadería debido al incremento de la multirresistencia, especialmente la especie *Rhipicephalus microplus* (Moreno et al., 2024). En Ecuador, un estudio realizado en el noroccidente de la provincia de Pichincha y el Valle de los Quijos ubicado en la provincia de Napo reportó un promedio de infestación de aproximadamente 99 garrapatas por bovino, con variaciones significativas entre fincas (Andrade et al., 2024). En Colombia, investigaciones en hatos del Magdalena Medio evidenciaron un promedio de 3,2 garrapatas por bovino en

terneros de tres a nueve meses de edad, de las cuales el 9,1 % resultaron positivas para *Babesia spp.* (Morales et al., 2023). En Argentina, particularmente en la provincia de Entre Ríos, se estiman pérdidas económicas anuales de alrededor de 94,5 millones de dólares por infestaciones de *R. microplus* (AgroLatam, 2025). Estos datos recientes evidencian la magnitud regional del problema y refuerzan la necesidad de estrategias sostenibles y biotecnológicas para el control de este ectoparásito en América Latina. Además, este parásito provoca estrés fisiológico, pérdida de peso, reducción en la producción de leche y carne, así como deterioro del cuero. Además, la garrapata actúa como vector biológico y transmite diversos hemoparásitos, como *Babesia bovis*, *Babesia bigemina*, *Theileria annulata* y *Anaplasma marginale* (Aguirre et al., 2020; Hernández, 2022).

La resistencia de los acaricidas es uno de los principales retos sanitarios de la ganadería en América Latina. La problemática surge como consecuencia de la interacción entre la biología de los parásitos y las prácticas de manejo inadecuadas en el control químico. Por años, el control de los ácaros en bovinos se ha basado en el uso de acaricidas químicos especialmente ixodicidas, tales como: organofosforados, amidinas, piretroides sintéticos, reguladores del crecimiento, fenilpirazolonas y, además, familias de amplio espectro como lactonas macrocíclicas (Moreno et al., 2024). Todos estos fármacos son utilizados de manera irresponsable, sin monitoreo ni control de dosis. Esto ha generado resistencia en los ácaros especialmente en *R. microplus*. Esta especie posee una alta capacidad reproductiva y ciclo de vida relativamente corto, lo que facilita la rápida acumulación de mutaciones (Rodríguez-Vivas et al., 2017). Estas mutaciones afectan principalmente los sitios de acción molecular de los compuestos, como el canal de sodio dependiente de voltaje (resistencia a piretroides), la acetilcolinesterasa (resistencia a organofosforados) y los canales de cloro asociados al GABA o al glutamato (resistencia a amidinas y lactonas macrocíclicas) (Saporiti, et al., 2021; Guerrero et al., 2019).

Los controladores biológicos han cobrado mayor relevancia en los últimos años debido a que son una buena alternativa para los pesticidas químicos, estos agentes no

contaminan los productos finales ni provocan un desgaste en el suelo. *Beauveria bassiana* es un hongo entomopatógeno, su ciclo de vida inicia cuando los conidios entran en contacto con la cutícula del ácaro, de esta manera produce apresorios e hifas capaces de atravesar su exoesqueleto mediante un compuesto de enzimas hidrolíticas, una vez dentro del ectoparásito produce toxinas secundarias, como la beauvericina y la bassiacridin que paralizan y posterior provocan la muerte del ácaro (García, 2025).

Este organismo ha despertado gran interés para el uso comercial debido a su capacidad para infectar más de 200 especies de insectos incluyendo órdenes que son considerados como plagas en la agricultura y ganadería. Además, el hongo puede desarrollarse como endófito ofreciendo una protección dual frente a las plagas (Gandarilla et al., 2025). En este sentido *B. bassiana* es una gran herramienta microbiológica frente a la resistencia de plagas que generan pérdidas económicas. En América latina diversos estudios han demostrado la efectividad cepas más eficientes, frente a parásitos, no solo a nivel experimental, sino también en el desarrollo de bioformulados aplicables en campo. Entonces su integración en esquemas de manejo sostenible podría no solo reducir el uso de acaricidas químicos, sino también mejorar la resiliencia de los sistemas ganaderos frente a las crecientes demandas de producción limpia y responsable (Lucero et al., 2024).

En este contexto, la revisión de literatura planteada en este documento pretende recopilar información relevante sobre el uso del hongo entomopatógeno *B. bassiana* para combatir a *R. microplus*. De una forma resumida y clara se pretende producir un documento de fácil acceso a ganaderos, estudiantes y tomadores de decisiones, para analizar su potencial uso en granjas ecuatorianas.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL:

Investigar el estado del arte de *Rhipicephalus microplus* y el uso del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, como alternativa biológica sostenible para el control de este ectoparásito y la divulgación sobre esta problemática en la ganadería latinoamericana.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Contextualizar la importancia de la ganadería en Latinoamérica y los principales problemas sanitarios asociados a los ectoparásitos.

Analizar la biología, el impacto y los mecanismos de resistencia múltiple de *R. microplus* y otros ectoparásitos de relevancia en bovinos.

Indagar las características microbiológicas de *B. bassiana* y el potencial como alternativa biológica sostenible en el manejo integrado de ectoparásitos.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 IMPORTANCIA MUNDIAL Y REGIONAL DE LA GANADERÍA

5.1.1 A NIVEL MUNDIAL

La ganadería se ha convertido en un pilar fundamental del sistema alimentario global no solo por el volumen de su producción sino por su rol en la seguridad alimentaria y nutricional. Este subsector aporta aproximadamente el 40% del valor agropecuario mundial, la producción de leche superó los 930 millones de toneladas en 2022 (FAO, s.f). Además, representa el sustento directo de alrededor 1.3 millones de personas especialmente en zonas rurales y en países en desarrollo, cerca del 80% del área agrícola mundial está destinada a ganadería, ya sea para pastoreo o para la producción de forraje, lo que evidencia la magnitud de este subsector (Ritchie y Roser, 2019; FAO, 2023).

El sector ganadero no solo aporta productos pecuarios esenciales para el consumo humano y la industria como carne, cuero y leche, sino que además impulsa el empleo, transporte y la fertilización orgánica mediante el estiércol. No obstante, la actividad ganadera se ha visto afectada por crecientes problemáticas y actualmente enfrenta desafíos complejos: la degradación de recursos naturales, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y el riesgo sanitario asociado a enfermedades zoonóticas y parasitarias, para lo cual se requiere innovación tecnológica y una adaptación de las políticas regulatorias globales (FAO, 2023; Zambrano, 2022).

5.1.2 A NIVEL LATINOAMERICANO

América latina y el Caribe ostentan una posición estratégica como proveedor global de proteína animal, con proyecciones que indican un crecimiento productivo de la región (OCDE y FAO, 2020). La región aporta aproximadamente el 28% del hato ganadero mundial de carne bovina y leche, y concentra cerca del 44% de las exportaciones mundiales de carne de res (FAO, s.f). Sin embargo, enfrenta una dualidad de retos. Por un lado, debe aprovechar

su potencial de crecimiento de manera competitiva. Por otro lado, debe gestionar la alta vulnerabilidad de sus sistemas a los constantes cambios de los eventos climáticos y las amenazas sanitarias (BID, 2023).

Todos los esfuerzos por lograr la sostenibilidad se ven comprometidos por la principal problemática de la sanidad animal, los ectoparásitos, son una de las principales causas pérdidas económicas directas e indirectas en el ganado bovino. Estos parásitos no solo reducen la producción y calidad de los productos, sino que el uso excesivo e indiscriminado de acaricidas químicos ha provocado una resistencia generalizada y ha exacerbado la contaminación ambiental, socavando directamente los objetivos de sostenibilidad (Hernández, 2022).

5.2 PRINCIPALES ECTOPARÁSITOS EN LA GANADERÍA LATINOAMERICANA

Los ectoparásitos representan una de las principales amenazas sanitarias y productivas en la ganadería bovina a nivel global, especialmente en regiones tropicales y subtropicales donde las condiciones climáticas favorecen su proliferación y permanencia en el ambiente, su impacto supera el daño físico directo asociado a la alimentación hematófaga y a la irritación cutánea, ya que muchos de ellos actúan como vectores de enfermedades hemoparasitarias, reducen la productividad y comprometen el bienestar animal. En Latinoamérica, el espectro de ectoparásitos es amplio. Insectos hematófagos afectan la sanidad y productividad del ganado bovino en América Latina (Pérez et al, 2024).

Las moscas hematófagas, representan uno de los principales problemas en los sistemas ganaderos debido a su alimentación continua sobre el animal, lo que provoca pérdida de peso, irritación constante y una reducción notable en la producción de leche. Cada mosca puede alimentarse varias veces al día, y en infestaciones altas los bovinos llegan a perder horas completas de pastoreo al intentar espantarlas, lo que afecta directamente su consumo de materia seca y, en consecuencia, su desempeño productivo. Por otro lado,

Stomoxys calcitrans, causa un estrés considerable debido a su hábito de picar durante el día y en repetidas ocasiones, lo que también reduce el tiempo de descanso y provoca disminución en la ingesta de alimento. Además, esta especie es especialmente preocupante porque actúa como vector mecánico de patógenos como *Anaplasma marginale* y *Trypanosoma evansi*, contribuyendo a la transmisión de enfermedades que afectan gravemente la salud del ganado (Gutiérrez et al., 2020; Guerrero et al., 2022).

Asimismo, existen otras especies de moscas que, aunque no siempre se alimentan de sangre de manera constante, también generan un impacto importante en la salud y productividad del ganado. Tal es el caso de *Tabanus spp.*, cuyo hábito hematófago provoca hemorragias en el sitio de picadura, además de actuar como vectores mecánicos de enfermedades como tripanosomiasis o anaplasmosis. De manera similar la mosca *Dermatobia hominis* representa un problema sanitario significativo debido a que sus larvas se desarrollan bajo la piel y causan lesiones nodulares dolorosas que pueden facilitar infecciones bacterianas secundarias. En países como Colombia, se estima que *D. hominis* es responsable de hasta el 30 % de las lesiones cutáneas diagnosticadas en bovinos, mientras que en México y Brasil se han reportado cepas con resistencia creciente a insecticidas piretroides y organofosforados, lo que complica aún más su control y aumenta los costos asociados a la atención veterinaria (Rodríguez-Vivas et al., 2017; Morales et al., 2022).

Otra de las plagas que representa un reto para la ganadería sostenible son los ácaros, responsables de diversas formas de sarna que afectan la piel de los bovinos. Entre las principales especies se encuentra *Psoroptes ovis var. bovis*, causante de la sarna psoróptica; *Sarcoptes scabiei var. bovis* agente de la sarna sarcóptica; *Demodex bovis* asociado a la sarna demodécica y *Chorioptes bovis* sarna carióptica. Todas estas infecciones generan picazón intensa, inflamación, pérdida de pelo y lesiones que predisponen a infecciones bacterianas secundarias (González et al., 2021; Ramírez et al., 2023; Morales y Restrepo, 2020).

No obstante, dentro del amplio grupo de ácaros que afectan al ganado, los organismos de mayor importancia sanitaria, económica y epidemiológica son las garrapatas especialmente aquellas pertenecientes al género *Rhipicephalus*. Entre ellas, *Rhipicephalus microplus* destaca como la especie más perjudicial debido a su amplia distribución en zonas tropicales y subtropicales, su elevada capacidad reproductiva y sus altos niveles de prevalencia en sistemas ganaderos de América Latina. Además, *R. microplus* al igual que los otros ectoparásitos ya nombrados es un vector eficiente de agentes etiológicos de enfermedades como babesiosis y anaplasmosis bovina, las cuales provocan pérdidas significativas por mortalidad, disminución de la productividad y costos de tratamiento (Guerrero et al., 2019)

En América Latina, la presencia de *R. microplus* se ha consolidado como uno de los principales retos sanitarios de la producción ganadera especialmente en regiones tropicales donde las condiciones ambientales favorecen su ciclo de vida y su rápida expansión. Diversos estudios registran prevalencias que superan el 80% en rebaños de zonas cálidas y húmedas, convirtiéndola en una de las plagas más persistentes y difíciles de manejar (Hernández, 2022). Esta elevada incidencia, sumada a su capacidad reproductiva y adaptativa, ha incrementado la presión sobre los sistemas productivos y ha llevado a un uso intensivo de acaricidas químicos por parte de los productores. Sin embargo, el uso prolongado e incluso indiscriminado de estos compuestos ha favorecido la emergencia de cepas resistentes, disminuyendo la eficacia de los métodos convencionales de control y generando un círculo problemático donde se requieren dosis cada vez mayores o combinaciones más agresivas de fármacos (Fernandes et al., 2022; Hidalgo et al., 2025).

5.3 TAXONOMÍA Y BIOLOGÍA DE *Rhipicephalus microplus*

El organismo *R. microplus* es una garrapata de la familia ixodidae, también conocida como “garrapata dura debido a la presencia de un escudo dorsal. Su clasificación taxonómica actualizada es la siguiente:

REINO: Animalia

FILO: Arthropoda

CLASE: Arachnida

ORDEN: Ixodida

FAMILIA: Ixodidae

GÉNERO : *Ripicephalus*

ESPECIE : *Ripicephalus microplus* (anteriormente *Boophilus microplus*)

(Fontecha et al., 2020)

Su ciclo de vida comprende cuatro etapas: huevo, larva, ninfa y adulto. Las hembras adultas se alimentan de sangre aproximadamente de siete a diez días, llegando a aumentar su peso de forma notable antes de desprenderse del hospedador. Una vez en el ambiente están listas para depositar sus huevos, se estima que pueden colocar entre 2000 a 4000, preferentemente en zonas húmedas y sombreadas donde la temperatura favorezca la incubación. El periodo de incubación dura entre 15 a 25 días, tras lo cual emergen larvas hexápodos capaces de ascender a la vegetación mediante el comportamiento de “questing”. Las larvas detectan señales térmicas, químicas y de CO₂ emitidas por los bovinos, facilitando el contacto y posterior fijación al hospedador. Una vez adheridas, se alimentan hasta llegar a ser ninfas y posteriormente a adultos completando su desarrollo sin abandonar al hospedador (figura 1) (Sousa et al., 2022).

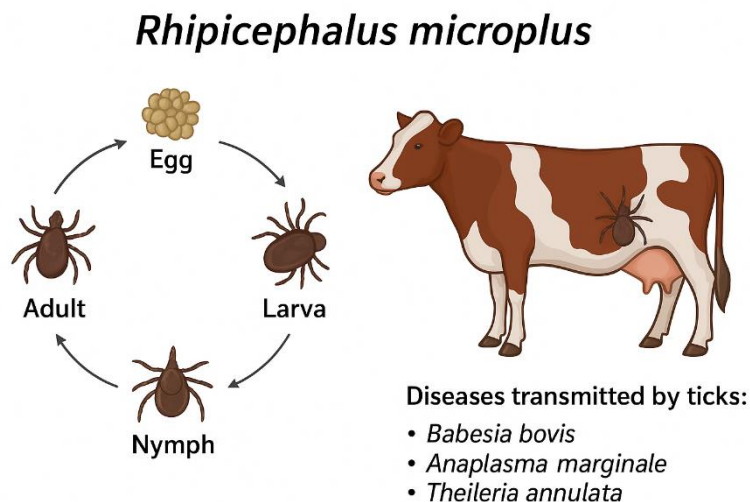


Figura 1. Ciclo de vida de *R. microplus*.

Nota. Imagen generada mediante el modelo de inteligencia artificial (Chat GPT, 2025), a partir del prompt, “Haz una imagen sobre el ciclo de vida de *R. microplus*”.

En condiciones tropicales favorables, el ciclo completo puede finalizarse en 21 a 28 días, permitiendo que la garrapata produzca entre cuatro a seis generaciones al año, dependiendo de la temperatura, humedad y raza del hospedador (Fernandes et al., 2022).

5.4 DAÑOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE *R. microplus*

Los periodos de alimentación de *R. microplus* pueden llegar a ser muy largos. Una infestación moderada puede provocar pérdida diaria de hasta 30 mL de sangre por animal, lo que deriva en anemia subclínica, debilidad y reducción en el índice de conversión alimenticia. Además, las piezas bucales provocan lesiones que irritan la piel, incrementado el estrés en el animal y en infestaciones severas cuando las picaduras son repetidas y provocan dermatitis, la piel pierde valor comercial debido a las cicatrices y perforaciones (González et al., 2021). La pérdida energética y el estrés fisiológico que causa este ectoparásito también puede derivar en otras complicaciones como disminuir la tasa de preñez y provocar retrasos en la pubertad de hembras jóvenes. Asimismo, las lesiones cutáneas si no son tratadas

pueden derivar a infecciones bacterianas secundarias como *Staphylococcus aureus* o *Trueperella pyogenes*. (Hernández, 2022).

Varios estudios han demostrado que *R. microplus* es un vector altamente eficiente de varios hemoparásitos que causan graves enfermedades en la ganadería. Las enfermedades dependen del género del hemoparásito como es el caso de babesiosis bovina (piroplasmosis) provocada por algunas especies del género *Babesia* como *Babesia. bigemina*, el cual provoca fiebre alta, anemia severa, hemoglobinuria, letargia y en casos de ser otra especie como *B. bovis* puede provocar alteraciones neurológicas debido al secuestro de eritrocitos parasitados en capilares cerebrales. Las tasas de mortalidad pueden alcanzar el 50 % en animales susceptibles. Otra enfermedad que puede ser transmitida por este ectoparásito es la anaplasmosis bovina causada por el hemoparásito *Anaplasma marginale*, cuyos síntomas son anorexia, ictericia, anemia progresiva, abortos y muerte en ganado no inmunizado (Aguirre et al., 2020; Villar et al., 2016).

En los últimos años también se ha registrado la presencia de patógenos emergentes que amplían la importancia epidemiológica de esta garrapata en la ganadería tropical. Un estudio realizado en Brasil reportó la primera detección molecular de *Borrelia theileri* una espiroqueta perteneciente al grupo de la fiebre recurrente bovina en una vaca con infección subclínica. Aunque *B. theileri* suele generar cuadros clínicos leves, su hallazgo en sistemas tropicales es particularmente relevante porque sugiere que *R. microplus* podría participar en la transmisión de un espectro más amplio de patógenos de lo que se reconocía previamente. (Freitas et al., 2023).

Se estima que las pérdidas económicas globales asociadas al parasitismo por *R. microplus* superan 3.24 mil millones de dólares anuales, considerando que los daños directos e indirectos que derivan en la reducción en producción de carne y leche, el deterioro del cuero

y los costos de tratamiento que al pasar del tiempo han dejado de ser eficientes (Rodríguez-Vivas et al., 2017).

5.5 ESTRATEGIAS CONVECIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE *R. microplus*

En las últimas décadas, el control de *R. microplus* representa uno de los principales desafíos sanitarios y productivos debido a todos los daños directos e indirectos que provocan a la industria ganadera. Tradicionalmente, el manejo de *R. microplus* se ha basado en la implementación de estrategias convencionales, entre las que destacan los controles físicos y químicos. Estas prácticas han permitido mantener bajo control las poblaciones de garrapatas y reducir el impacto de las infestaciones, es importante analizar las principales estrategias que se han aplicado en América Latina (Hernández, 2022)

5.5.3 MÉTODOS FÍSICOS DE CONTROL

Los métodos físicos se basan en prácticas de manejo orientadas a reducir la exposición del ganado a las garrapatas, además de limitar la supervivencia de las fases no parasitarias en los sistemas ganaderos, estos métodos se aplican antes de la introducción masiva de los acaricidas. Prácticas que modifican el ambiente como el desbroce mecánico, la reducción de la altura del pasto y la quema controlada reducen la humedad relativa y la cobertura vegetal que favorecen la supervivencia de huevos y larvas (Sousa et al., 2022). Sin embargo, en regiones de Latinoamérica, estas medidas presentan limitaciones importantes ya que condiciones climáticas como las altas precipitaciones, favorecen la rápida regeneración vegetal y reduciendo la eficacia sostenida de estas prácticas (Sales et al., 2024).

Otro método altamente usado es la rotación de potreros de esta manera se busca romper el ciclo de vida de la garrapata, evitando que los bovinos entren en contacto con larvas infestantes. Sin embargo, se ha demostrado que las larvas de *R. microplus* pueden sobrevivir varias semanas e incluso meses bajo condiciones favorables de humedad, lo que limita la eficacia de esta estrategia si no se planifica con tiempos de descanso prolongados, además

es difícil de implementar en sistemas productivos intensivos (Morales et al., 2023). Otra estrategia que no es muy común, pero que se utiliza en algunos sectores de América Latina, es la selección y uso de razas resistentes como *Bos indicus* o cruzamientos. Estos animales presentan mayor resistencia natural debido a sus características como piel más gruesa, mayor respuesta inflamatoria y comportamientos de acicalamiento más eficientes. Pero esta práctica solo reduce la carga parasitaria, permitiendo la supervivencia de *R. microplus*, contribuyendo indirectamente a la selección de individuos mejor adaptados al hospedador (Paucar et al., 2022).

5.5.4 ACARICIDAS QUIMICOS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE *R.*

microplus

El control químico ha sido el método preferido para el control de *R. microplus* por la mayoría de los sistemas ganaderos en América Latina. Desde mediados del siglo XX, los primeros acaricidas utilizados en la región latinoamericana fueron los organoclorados el cual su mecanismo de acción se basa en la alteración de los canales de sodio en las neuronas, provocando un mal funcionamiento y posteriormente la muerte del ectoparásito. A pesar de su alta persistencia y eficacia inicial, se comprobó que estos compuestos tenían una alta bioacumulación y efectos negativos sobre la salud humana y animal, debido a esto su uso actualmente está prohibido en la mayoría de los países de la región (Salvador et al., 2025).

Un compuesto muy usado actualmente en algunos países de América Latina son los organofosforados. Actúan mediante la inhibición irreversible de la enzima de la acetilcolinesterasa (AChE), de esta manera la acetilcolina (ACh) no se hidroliza y se acumula en las sinapsis nerviosas provocando hiperexcitación, tetania, parálisis y muerte (Pérez et al, 2024). Otro de los grupos más utilizados en el control son los piretroides sintéticos debido a su alta eficacia, bajo costo y menor toxicidad para mamíferos. Actúan prolongando la apertura de los canales de sodio dependientes de voltaje (VGSC) causando una despolarización

sostenida que desemboca en parálisis (knock-down), hiperexcitación y muerte (Meiring y Labuschagne, 2024).

Las lactonas macrocíclicas, como ivermectina, moxidectina, doramectina y abamectina, se emplean ampliamente debido a su acción sistémica, además tienen efecto tanto en endoparásitos como en ectoparásitos. Son administradas por vía inyectable u oral y han sido ampliamente adoptadas en Brasil y otros países sudamericanos, su mecanismo de acción se basa en que estos compuestos se unen a los canales de cloro regulados por glutamato y GABA, aumentando la permeabilidad al ion cloruro, lo que produce parálisis flácida y muerte del parásito (Moreno et al., 2024). Los fenilpirazoles son otro grupo muy utilizado en la región especialmente en formulaciones pour-on y sprays. Actúan inhibiendo solo los receptores GABA, bloqueando el flujo normal de cloruro en las neuronas y causando hiperexcitación del sistema nervioso, su uso está restringido en animales productores de leche (Andrade et al., 2024).

Las amidinas, representadas principalmente por el amitraz, son ampliamente utilizadas en la región. Estos compuestos activan los receptores octopaminérgicos en el sistema nervioso, alterando la neurotransmisión y provocando descoordinación motora, anorexia, desprendimiento del hospedador y muerte (Rodríguez-Hidalgo et al., 2017). Ante la pérdida de eficacia tanto de amitraz como de otros grupos de acaricidas, se ha desarrollado formulaciones combinadas, por ejemplo: amitraz + piretroide u organofosforado + piretroide. De esta manera se busca ampliar el espectro de acción, aunque estas combinaciones pueden retrasar temporalmente la resistencia, también puede acelerar la selección de poblaciones multirresistentes cuando no existe un uso adecuado (Saporiti et al., 2021).

5.6 MECANISMOS DE RESISTENCIA DE *R. microplus*

El uso prolongado, intensivo y sin monitoreo ha ejercido una fuerte presión selectiva sobre las poblaciones de *R. microplus*, favoreciendo la aparición y dispersión de cepas

resistentes en múltiples regiones ganaderas del mundo (Díaz-Rivera et al., 2019). Lo más preocupante es que en América Latina se han registrado poblaciones resistentes a diferentes familias de compuestos como los piretroides, organofosforados, amidinas y lactonas macrocíclicas (Ndlovu et al., 2025). Este fenómeno se define como la capacidad heredable de una población de garrapatas para tolerar dosis de un compuesto químico que antes provocaba efectos letales. Uno de los principales factores es la alta tasa reproductiva de la especie, su ciclo monohospedador que favorece la exposición continua del mismo linaje a tratamientos químicos y la presión de selección generada por el uso reiterado de un mismo principio activo. Se han identificado varios tipos de mecanismos tales como comportamentales, físicos y moleculares (Guerrero et al., 2019; Sousa et al., 2022).

5.6.5 MECANISMOS FÍSICOS DE RESISTENCIA

Los mecanismos físicos de resistencias se basan principalmente en barreras físicas que los protegen de los acaricidas aplicados. De esta manera ciertos ectoparásitos han adquirido un engrosamiento del exoesqueleto presentando un mayor espesor cuticular lo que dificulta la penetración de acaricidas, además suelen poseer una mayor cantidad de lípidos epicuticulares, que actúan como barrera hidrofóbica lo que reduce la absorción de compuestos tóxicos (Verissimo et al., 2019). Otra característica que han adoptado las poblaciones resistentes es que, al momento de evitar la penetración del compuesto, les permite acelerar la excreción de este o reducir su acumulación en los tejidos diana mediante mecanismos fisiológicos, se sospecha que estas adaptaciones metabólicas implican una redistribución del acaricida dentro del cuerpo de la garrapata y una mayor actividad de bombas de transporte celular (Rodríguez-Vivas et al., 2017).

Además, poblaciones resistentes también han desarrollado una resistencia conductual hacia los pesticidas, de esta manera reducen la probabilidad de contacto teniendo mayor tendencia a ocultarse, menor permanencia en áreas tratadas, aumento del

acicalamiento (grooming) hacia las partículas o actividad temporal. Estos comportamientos a menudo son difíciles de detectar experimentalmente (Obaid et al., 2022).

5.6.6 MECANISMOS DE RESISTENCIA MOLECULARES

La resistencia molecular representa uno de los principales factores que explica la disminución progresiva de la eficacia de los acaricidas en los sistemas ganaderos de la región de Latinoamérica. Este tipo de resistencia se origina a partir de mutaciones en genes que codifican las proteínas blanco de los acaricidas o por sobreexpresión de genes asociados a procesos de detoxificación, lo que reduce la eficacia de los tratamientos específicos aplicados. A diferencia de otros mecanismos adaptativos, las resistencias moleculares suelen ser estables, heredables y capaces de diseminarse rápidamente dentro de las poblaciones (Rodríguez-Vivas et al., 2017).

Uno de los mecanismos moleculares más ampliamente documentados son las mutaciones puntuales que codifican proteínas diana, las cuales reducen la sensibilidad de *R. microplus* frente a grupos específicos de acaricidas. En el caso de los piretroides sintéticos, se han identificado mutaciones en genes asociadas a canales de sodio dependientes de voltaje, comúnmente denominadas mutaciones tipo kdr (knock-down resistance). Estas mutaciones han sido reportadas con alta frecuencia en poblaciones de *R. microplus* en Brasil, México y Colombia, lugares donde esta garrapata ha logrado sobrevivir a compuestos ampliamente utilizados como cipermetrina, deltametrina y flumetrina. y se asocian con fallas persistentes en el control químico (Guerrero et al., 2019; Meiring y Labuschagne, 2024).

De manera similar, la resistencia a organofosforados y carbamatos se ha vinculado a mutaciones en genes BmAChE-1, BmAChE-2 y BmAChE-3, los cuales están relacionados con la acetilcolinesterasa (AChE), además provoca un cambio en la geometría del sitio activo. Estas alteraciones moleculares permiten que la neurotransmisión continúe funcionando a

pesar de la presencia del acaricida, favoreciendo la supervivencia de las garrapatas tratadas. Estudios realizados en la región de Latinoamérica se ha evidenciado que estas mutaciones suelen coexistir con otros mecanismos de resistencia aumentando la complejidad del control químico (Rodríguez-Hidalgo et al., 2024).

En el caso de las lactonas macrocíclicas se ha evidenciado que la resistencia molecular involucra cambios en genes asociados a canales iónicos regulados por neurotransmisores y a proteínas transportadoras de membrana. Aunque las mutaciones específicas en estos genes no han sido completamente caracterizadas, análisis transcriptómicos han revelado diferencias significativas en los perfiles de expresión génica entre poblaciones susceptibles y resistentes. La resistencia a las lactonas no se asocia de forma predominante a mutaciones puntuales únicas, sino a un conjunto de adaptaciones moleculares multifactoriales, ya que diversos estudios también han señalado la participación de transportadores ABC (ATP-Binding Cassette), los cuales actúan como bombas de eflujo que expulsan los compuestos fuera de las células, reduciendo su concentración intracelular antes de que ejerzan un efecto letal, incluso cuando se administra a dosis recomendadas (Fernandes et al., 2022).

La resistencia a al grupo de las amidinas representa un desafío creciente en el control de *R. microplus* en América Latina, dado que este compuesto ha sido ampliamente utilizado como alternativa frente a la resistencia a piretroides y organofosforados. A nivel molecular, la resistencia a las amidinas se asocia principalmente con alteraciones en genes que codifican receptores de octopamina y tiramina, neurotransmisores clave en la regulación neuromuscular y comportamental de las garrapatas. Se ha identificado cambios en la expresión y estructura de los receptores tipo β -adrenérgicos de octopamina, los cuales están directamente implicados en la respuesta al amitraz el cual es del grupo de amidinas, esto también les puede conferir resistencia cruzada con otros compuestos que actúan sobre rutas neuroregulatorias similares (Moreno et al., 2024; Guerrero et al., 2019)

De forma transversal a estos mecanismos otra característica importante que han desarrollado poblaciones de *R. microplus* para contrarrestar los acaricidas es la sobreexpresión de codificantes de enzimas detoxificadoras que cumplen un papel esencial en la resistencia metabólica como las monooxigenasas del citocromo P450, glutatión-S-transferasas (GSTs) y esterasas. Estas enzimas pueden oxidar, hidrolizar o conjugar el acaricida volviéndolo inactivo antes de que alcance su sitio blanco, o también pueden actuar de manera sinérgica con las mutaciones del sitio diana, afectando múltiples grupos de acaricidas (Rodríguez-Vivas et al., 2019). Esta combinación de adaptaciones moleculares explica la aparición de resistencias múltiples y cruzadas, en las que una misma población presenta tolerancia simultánea a piretroides, organofosforados, lactonas macrocíclicas y otros compuestos, reduciendo de forma drástica las opciones de control disponibles (Heylen et al., 2024). En conjunto, las resistencias moleculares en *R. microplus* evidencian una elevada plasticidad genética y metabólica, resultado del abuso de tratamientos químicos. La comprensión de estas adaptaciones resulta fundamental para el hallazgo de estrategias de manejo integradas y nuevas alternativas de control que actúen mediante distintos mecanismos, y así reducir la presión selectiva de cepas resistentes (Sales et al., 2024).

5.7 CONTROL BIOLÓGICO CON HONGOS ENTOMOPATÓGENOS

El control biológico mediante microorganismos ha emergido como una estrategia esencial dentro del Manejo Integrado de Plagas (MIP). La resistencia generalizada, el impacto sobre organismos no diana, la contaminación ambiental y las restricciones regulatorias de cada país han impulsado la búsqueda de alternativas más seguras y ecológicamente compatibles. En este contexto los hongos entomopatógenos han demostrado ser uno de los grupos más prometedores, debido a su capacidad única de infectar y causar mortalidad en insectos y ácaros mediante mecanismos directos y eficientes (Opisa et al., 2018).

La ventaja de estos hongos es que están ampliamente distribuidos en suelos agrícolas, lo que favorece su adaptación a condiciones diversas y su incorporación en bioproductos de uso comercial, además a diferencia de otros agentes entomopatógenos, infectan a sus hospedadores a través de la cutícula, de esta manera es más eficaz contra grupos de artrópodos que no se alimentan activamente o que poseen hábitos hematófagos. Su mecanismo de acción se trata de adhesión, germinación, penetración y desarrollo, al ser un mecanismo de acción complejo dificulta el desarrollo de resistencia y potencia el valor estratégico de estos hongos en la lucha contra plagas (Mascarin y Jaronsky, 2016).

Diversos géneros han demostrado eficacia en sistemas agrícolas y veterinarios, entre ellos *Metarhizium*, *Lecanicillium*, *Isaria* y *Beauveria*. Sin embargo, el género *Beauveria* ha tenido mayor relevancia debido a su amplio rango de hospedadores, su alta virulencia, su estabilidad ambiental relativa y su facilidad de producción masiva en procesos industriales (Fernández-Salas et al., 2018). En los últimos años *B. bassiana*, ha demostrado potencial significativo para el control de ácaros e insectos de importancia veterinaria, incluyendo otros ectoparásitos como moscas hematófagas, pulgas y garrapatas, por ello se destaca como una alternativa viable frente al uso intensivo de acaricidas químicos, especialmente en escenarios donde la resistencia ha reducido su eficacia (Fernandes et al., 2020).

5.8 TAXONOMÍA Y BIOLOGÍA DE *Beauveria bassiana*

5.8.7 TAXONOMÍA Y CLASIFICACIÓN

B. bassiana es un hongo entomopatógeno ampliamente distribuido en ecosistemas terrestres, desde un punto de vista taxonómico pertenece al Reino Fungi y se clasifica dentro del filo Ascomycota, clase Sordariomycetes, orden Hypocreales y familia Cordycipitaceae. Este grupo taxonómico incluye otros hongos entomopatógenos de gran importancia agrícola y veterinaria, caracterizados por su capacidad de infectar y causar enfermedad en una diversidad de artrópodos (Litwin et al., 2020).

5.8.8 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS GENERALES

Desde el punto de vista biológico *B. bassiana* es un hongo filamentoso, saprofito facultativo, esto quiere decir que a pesar de no estar dentro de su hospedador es capaz de persistir en el suelo, residuos orgánicos y rizosfera, en condiciones de laboratorio se ha observado que se caracteriza por la formación de colonias de crecimiento relativamente rápido cuando se cultiva en agar papa dextrosa (PDA), agar Sabouraud o agar extracto de malta. Las colonias presentan inicialmente una coloración blanca, con una textura algodonosa, asociada a la abundante producción de conidios en la superficie del micelio aéreo, el cual presenta un crecimiento radial uniforme. En el reverso de la placa, la colonia muestra una coloración incolora a ligeramente amarillenta, sin la producción de pigmentos difusibles en el medio, lo que facilita su diferenciación de otros géneros fúngicos (figura 2) (Machín et al., 2022).

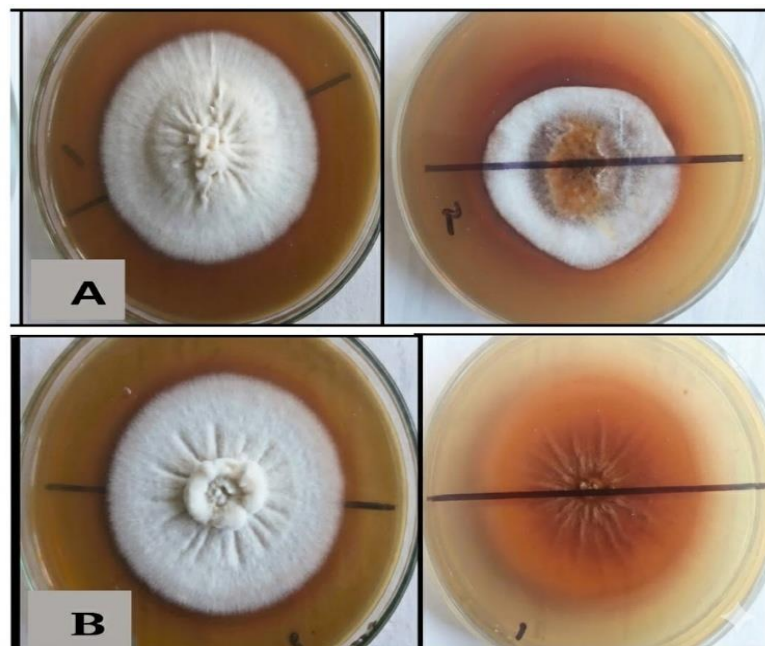


Figura 2. Aislamiento de *Beauveria bassiana*. Crecimiento de *B. bassiana* en medio de cultivo sólido (SDAY enriquecido). Se observa la morfología colonial típica: colonias de aspecto blanco y algodonoso (Machín et al., 2022).

Microscópicamente, presenta hifas hialinas y septadas, se caracteriza por la producción de conidios unicelulares, de forma globosa, hidrofóbicos, capaces de adherirse eficientemente a superficies cuticulares, por eso constituyen su principal estructura infectiva y además están agrupados en cadenas basípetas sobre conidióforos ramificados como se logra apreciar en la figura 3 (Bermúdez et al., 2015).

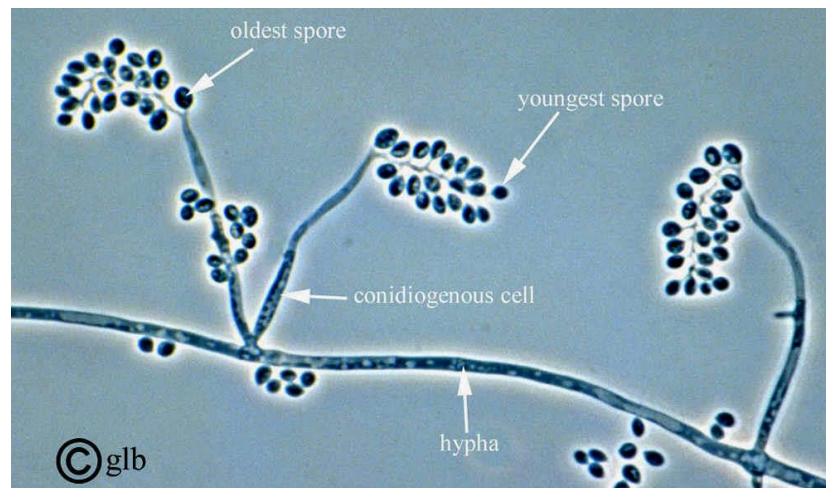


Figura 3. Morfología microscópica con aumento en 40X de *Beauveria bassiana*. Se aprecian las hifas hialinas y la disposición de los conidios globosos que caracterizan la virulencia del aislado (Bermúdez et al., 2015).

5.8.9 CICLO DE VIDA Y MECANISMOS DE INFECCIÓN

El ciclo de vida de *B. bassiana* comprende una serie de varias fases altamente especializadas que le permiten infectar, colonizar y finalmente causar la muerte de su hospedador. El proceso inicia cuando los conidios del hongo entran en contacto con la retícula del artrópodo donde se adhieren firmemente gracias a su superficie altamente hidrofóbica y a la presencia de proteínas adhesivas específicas. Esta adhesión se ve favorecida por señales químicas de la cutícula como ácidos grasos y ceras que actúan como inductores de germinación del conidio y el desarrollo del tubo germinativo. Posteriormente, el hongo forma una estructura especializada denominada apresorio, cuya función principal es facilitar la penetración a través de la cutícula. Esta penetración se produce mediante una presión

turgente elevada o también, el hongo puede recurrir al uso de enzimas como proteasas, quitinasas y lipasas. Una vez dentro el hongo experimenta una transición morfológica hacia formas levaduriformes conocidas como blastosporas, de esta manera se adapta al ambiente líquido de la hemolinfa como se ejemplifica en la figura 4 (Martínez-García et al., 2023).



Figura 4. Ciclo de vida de *B. bassiana*.

Nota: Imagen generada mediante el modelo de inteligencia artificial Gemini (Google, 2025) a partir del prompt: "Haz una imagen sobre el ciclo de vida *B. bassiana*".

Durante la fase de colonización interna, *B. bassiana* produce diversos metabolitos secundarios con actividad tóxica entre las que se destacan beauvericina, bassianólido y otros compuestos ciclopeptídicos. Estas toxinas alteran el equilibrio fisiológico del hospedador, interfieren con el sistema inmunológico, contribuyen a la parálisis, provocando la muerte del ectoparásito. Tras la muerte del hospedador, el hongo emerge hacia el exterior, colonizándolo completamente y formando un micelio blanco algodonoso como está representado en la figura 5. Estas conidias son liberadas y dispersadas pasivamente en el ambiente por acción del viento, el agua o el contacto con otros organismos, cerrando así el ciclo biológico y permitiendo nuevas infecciones (Xu et al., 2019).

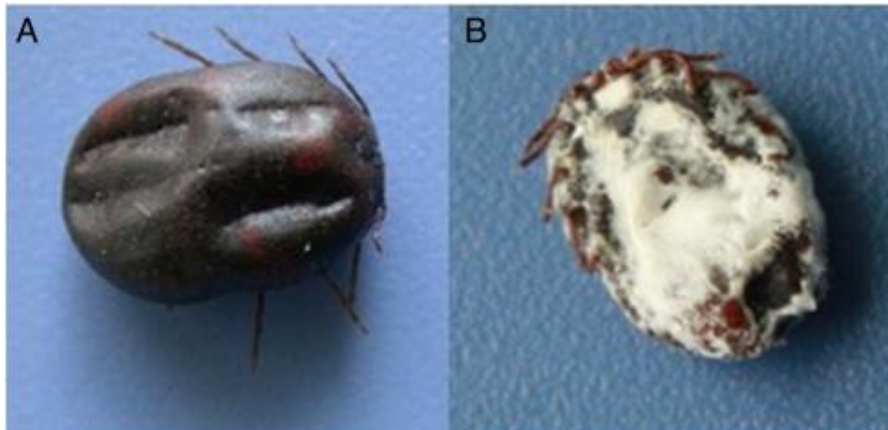


Figura 5. *Rhipicephalus microplus* colonizado por *Beauveria bassiana*.

En la imagen A se aprecia el crecimiento de hifas hialinas que comienzan a emerger a través de los orificios naturales y áreas de menor resistencia de la cutícula. En la imagen B es el resultado de varios días posteriores a la infección, el cuerpo del ectoparásito está completamente cubierto por un denso micelio blanco algodonoso (Sun et al., 2013).

5.8.10 FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN LA EFICACIA DEL HONGO

La eficacia de *B. bassiana* en condiciones de campo está fuertemente determinada por variables ambientales que influyen directamente en sus mecanismos de infección. Uno de los factores más críticos es la humedad relativa, ya que la germinación óptima de las conidias ocurre generalmente por encima del 90%, humedad por debajo del 70% puede reducir la germinación hasta en un 50%, lo cual puede afectar drásticamente la virulencia del hongo. Esta dependencia de humedad elevada implica que regiones tropicales y subtropicales como gran parte de América Latina representan ambientes adecuados, siempre que se apliquen formulaciones capaces de retener agua o proteger las conidias (Fernandes et al., 2018).

La temperatura también desempeña un papel determinante en el desarrollo de *B. bassiana*. El hongo puede crecer en un rango amplio (15-35 °C), su actividad óptima suele

encontrarse entre 23-28 °C. Se ha registrado que temperaturas superiores a 32-34 °C reducen significativamente la germinación y la supervivencia de las conidias, afectando el proceso de infección (Shimazu et al., 2021). También se ha demostrado que la exposición prolongada a temperaturas de 37 °C redujo la viabilidad de las conidias en más del 80%, lo cual tiene implicaciones importantes para su aplicación en zonas de pastoreo altamente expuestas al sol. Estos hallazgos han incentivado el desarrollo de cepas termotolerantes y formulaciones oleosas que aumenten la estabilidad de las conidias bajo estrés térmico (González et al., 2020).

Otro factor limitante es la radiación ultravioleta (UV), porque es considerada como uno de los principales obstáculos para el desempeño de hongos entomopatógenos en campo. Este tipo de radiación puede causar mutaciones letales o daño estructural en la conidias, estudios han demostrado que varias cepas de *B. bassiana* pierden entre el 60-90% de su viabilidad tras seis horas de exposición solar directa (Fernandes et al, 2018). Sin embargo, estudios recientes han mostrado que la formulación en aceites vegetales o microencapsulados puede mejorar cuatro veces la tolerancia a la radiación UV, prolongando la persistencia del hongo sobre la vegetación y el hospedador (Castrillón y García, 2020).

5.9 AVANCES EXPERIMENTALES Y APLICACIONES POTENCIALES DE *B.*

***bassiana* EN LATINOAMÉRICA**

Este microorganismo ha sido ampliamente estudiado en Brasil, Colombia, México, Perú y Ecuador, donde se evaluó su capacidad infectiva, su adaptabilidad a condiciones tropicales y subtropicales, y su potencial dentro de estrategias de manejo integrado de plagas. Las investigaciones sobre *B. bassiana* han demostrado su patogenicidad efectiva en distintos artrópodos, incluyendo larvas de lepidópteros de importancia agrícola, lo que evidencia la capacidad adaptativa del hongo y sustenta su uso extendido como agente de control biológico en diversos sistemas productivos (Gandarilla, 2025).

5.9.11 EFICACIA EN CAMPO

En Brasil uno de los países con mayor avance en investigaciones sobre eficacia en campo de *B. bassiana*. Se aplicaron formulaciones sólidas (arroz colonizado con *B. bassiana*) directamente en potreros infestados por *R. microplus*, se registró niveles de control del ácaro que variaron entre 40% a 90%, además, resultados sugieren el 72% de mortalidad en hembras ingurgitadas. En estos estudios también se usaron dos cepas altamente virulentas (CG 228 y CG 306) con esto lograron generar entre el 60% al 80% de mortalidad en larvas, de esta manera se demostró como el hongo puede sobrevivir y propagarse en ambientes ganaderos abiertos (Fernandes et al., 2019).

Martínez-García et al. (2023) evaluaron *in vitro* la virulencia de la cepa *B. bassiana* DS3.17 contra larvas de *R. microplus* en Oaxaca, México. El ensayo se realizó sobre poblaciones de larvas de 14-21 días, se utilizó una técnica de bioensayo sumergido y se utilizaron distintas concentraciones de conidios: 1×10^6 , 1×10^7 y 1×10^8 conidios/mL. Se observó un claro patrón de reducción de tiempo letal a medida que la concentración aumentó (tabla 1).

Tabla 1. Comparación de la concentración y la mortalidad promedio según el tiempo (Martínez-García et al., 2023).

Concentración (conidios/mL)	Mortalidad promedio (%)	LT ₅₀ (horas)
1×10^6	41-48%	96-120 h
1×10^7	62-70%	72-96 h
1×10^8	82-90%	48-72 h

El efecto acaricida no solo se limita a la mortalidad directa, sino que incluye otros impactos subletales sobre las poblaciones de *R. microplus*, como reducción en movilidad, disminución en la capacidad de infestación y posible alteración en la viabilidad reproductiva.

Estos efectos son particularmente relevantes porque contribuyen a una disminución gradual de la población de garrapatas en sistemas ganaderos, aun cuando la mortalidad no es total (Martínez-García et al., 2023).

5.9.12 PRODUCCIÓN A GRAN ESCALA

La producción masiva de *B. bassiana* constituye un componente crítico para su implementación efectiva como agente de control biológico en programas de manejo integrado. Este proceso debe garantizar altos niveles de esporulación, viabilidad y estabilidad fisiológica, ya que estos parámetros determinan directamente la persistencia del agente de control biológico en el ambiente y su eficacia frente al hospedador objetivo (García et al., 2025). En América Latina, los sistemas de producción más empleados incluyen la fermentación sólida y la fermentación líquida, cada uno con ventajas y limitaciones particulares. La fermentación sólida utiliza sustratos agroindustriales de bajo costo como arroz, maíz, residuos de quinua o subproductos cerealeros, se ha demostrado que es una alternativa viable para la producción masiva de conidias aéreas con alta capacidad infectiva. Por otro lado, la fermentación líquida permite una mayor estandarización del proceso y la producción de blastosporas, aunque requiere una optimización precisa de parámetros de pH, oxigenación y composición nutricional para evitar pérdidas de virulencia (Tofiño et al., 2018)

Investigaciones recientes en Ecuador destacan la importancia de optimizar no solo los medios de cultivo, sino también los procesos posteriores a la producción como los sistemas de fermentación y los procesos de secado para obtener conidios de alta calidad destinados a formulaciones comerciales. En este contexto, Lucero et al. (2024) demostraron que el control adecuado de la humedad residual y la temperatura durante el secado mejora significativamente la estabilidad fisiológica de las conidias, prolongado su vida útil y manteniendo su capacidad infectiva. Estos aspectos resultan fundamentales para el desarrollo y producción permiten desarrollar bioplaguicidas más estables y eficientes, lo cual es fundamental para su aplicación en programas de manejo integrado de garrapatas.

De manera complementaria, el estudio de Hidalgo et al., (2025) se evaluaron la eficacia y el desempeño biológico de la cepa INIAP L3B3 de *B. bassiana sensu lato*. Se exploraron medios de cultivo enriquecidos con suplementos nutricionales como harina de quinua y extractos nutricionales. Los autores evidenciaron que la cepa mostró altas tasas de esporulación, elevada estabilidad fisiológica y una virulencia significativa frente a distintos estadios del ciclo de vida de *R. microplus*. Asimismo, se evidenció que L3B3 produjo conidias de alta viabilidad bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, lo que es crucial pues el vigor y viabilidad de estas afectan directamente la eficacia al momento de aplicación.

Estos hallazgos representan un avance significativo para el contexto latinoamericano, ya que aporta datos estandarizados de eficacia, producción y estabilidad que no estaban disponibles previamente para una cepa nativa. Asimismo, estos estudios sientan las bases científicas para el desarrollo de formulaciones biológicas más eficientes y adaptadas a las condiciones locales, orientando futuras investigaciones hacia optimización de procesos productivos, la evaluación a gran escala en campo y la integración de *B. bassiana* con otras estrategias de control no químico dentro de sistemas de manejo sostenible de garrapatas (Lucero et al., 2024)

5.9.13 EFECTO SOBRE POBLACIONES RESISTENTES

Diversos estudios latinoamericanos han demostrado que *B. bassiana* mantiene su eficacia incluso frente a poblaciones de *R. microplus* con resistencia genética a acaricidas químicos, lo cual refuerza su valor como herramienta alternativa en contextos de fallas de control convencional. Las garrapatas resistentes a piretroides, organofosforados o lactonas macrocíclicas muestran alteraciones en canales iónicos, detoxificación metabólica o mutaciones en genes diana; sin embargo, estos mecanismos no confieren protección

significativa frente a un patógeno que actúa por infección cuticular, penetración mecánica o enzimática y colonización sistémica (Fernandes et al., 2018).

Estudios realizados por Martínez-García et al., (2023) evidenciaron que la cepa DS3.17 produjo mortalidades superiores al 70 % incluso en larvas provenientes de líneas ganaderas con resistencia documentada a cipermetrina y deltametrina, subrayando que la virulencia del hongo no se ve comprometida por los mecanismos de resistencia acaricida. Fernández-Salas et al. 2018 evaluaron 12 aislamientos de *B. bassiana* obtenidos de suelos de fincas ganaderas con antecedentes de resistencia a acaricidas en *R. microplus*. Los bioensayos *in vitro* demostraron mortalidades entre el 60% y 95%, indicando que las poblaciones resistentes continúan siendo susceptibles a la infección fúngica. Además, los análisis filogenéticos basados en ITS y EF1- α revelaron diversidad genética entre los aislamientos, algunos de los cuales mostraron correlación con mayores niveles de virulencia. Estos hallazgos evidencian que *B. bassiana* representa una estrategia funcional para manejar poblaciones resistentes, lo que posiciona al hongo como una herramienta clave frente a la multirresistencia.

5.10 PERSPECTIVAS Y DESAFÍOS

En conjunto, los estudios revisados evidencian que el uso de *B. bassiana* ha presentado resultados prometedores en laboratorio y en campo, lo que representa una alternativa viable y ambientalmente segura frente al uso de acaricidas convencionales en América Latina. Sin embargo, su implementación efectiva depende de superar desafíos técnicos, ambientales y operativos que aún limitan su adopción a gran escala (Lucero et al., 2024)

Desde una perspectiva científica, los avances recientes evidencian la posibilidad de desarrollar cepas más virulentas, estables y adaptadas a las condiciones tropicales, lo que abre la puerta a programas de control biológico más eficientes. Estudios como los de Hidalgo

et al. (2025) en Ecuador, Martínez-García et al. (2023) en México y Tofiño et al. (2018) en Colombia demuestran que ciertas cepas locales poseen una excelente capacidad de esporulación, tolerancia térmica y eficacia incluso sobre poblaciones resistentes, lo cual representa un avance significativo en la selección y mejora de agentes de biocontrol.

Sin embargo, persisten desafíos considerables. Uno de los principales es la variabilidad ambiental dado que la eficacia de *B. bassiana* se ve influenciada por factores como la humedad, la temperatura y la radiación UV, que pueden reducir la viabilidad de los conidios y afectar su capacidad infectiva en condiciones de campo (Fernandes et al, 2018). Otro desafío es la estandarización de protocolos de aplicación, considerando que la eficacia del hongo depende de concentraciones adecuadas de inóculo, métodos de aspersión correctos y sincronización con el ciclo de vida de la garrapata. En muchos países latinoamericanos existen limitaciones logísticas, falta de capacitación técnica y escasos programas oficiales de control integrado que incluyan bioplaguicidas (Lucero et al., 2024).

En cuanto a perspectivas, el uso de *B. bassiana* se fortalece gracias al desarrollo de tecnologías emergentes, como microencapsulación, formulaciones oleosas, mutagénesis dirigida y edición genética para optimizar la virulencia y la tolerancia ambiental. También existe un interés creciente en estrategias integradas, combinando el hongo con semioquímicos, extractos vegetales o cepas bacterianas antagonistas, lo que podría potenciar su eficacia y reducir su dependencia de condiciones climáticas específicas (Castrillón y García, 2020; Lucero et al., 2024).

Finalmente, un desafío clave es la regulación y aceptación en campo. Aunque la tendencia global favorece los biocontroladores, en la práctica muchos ganaderos continúan confiando más en los acaricidas químicos. Para lograr una adopción más amplia, será necesario generar más evidencia en condiciones reales de producción, capacitar a

productores y fortalecer las políticas públicas que promuevan alternativas sostenibles de manejo de garrapatas (Lucero et al., 2024)

6 CONCLUSIONES

- La ganadería latinoamericana enfrenta una crisis sanitaria debido a que garrapatas como *R. microplus* han desarrollado multiresistencia a las principales familias de acaricidas como piretroides, organofosforados, lactonas macrocíclicas etc. Esto hace que los métodos tradicionales ya no sean suficientes para garantizar la productividad y el bienestar animal.
- Los mecanismos de resistencia desarrollados por *R. microplus* son multifactoriales e incluyen alteraciones moleculares en sitios diana, incremento de la detoxificación metabólica y cambios fisiológicos que limitan la penetración de los acaricidas. Estos procesos adaptativos explican la pérdida de eficacia observada en campo, incluso frente a principios activos de uso relativamente reciente, lo que refuerza la necesidad de replantear las estrategias de control desde un enfoque más integrado y sostenible.
- El hongo *B. bassiana* se posiciona como una herramienta microbiológica de alto valor, ya que mantiene su eficacia incluso contra poblaciones de garrapatas resistentes a químicos. Su capacidad de infectar a través de la cutícula y producir toxinas permite un control efectivo sin generar los residuos tóxicos de los pesticidas tradicionales.
- Los avances en la producción a gran escala y en la optimización de sistemas de fermentación, sustratos y procesos de secado han permitido mejorar significativamente la calidad biológica de las conidias, un factor determinante para el éxito de las aplicaciones en campo. Estos desarrollos tecnológicos, junto con un mejor entendimiento del ciclo de vida, los mecanismos de infección y los factores ambientales que influyen en la eficacia del hongo fortalecen el potencial de *B. bassiana* como herramienta dentro de programas de manejo integrado de garrapatas.

7 RECOMENDACIONES

- Es necesario fortalecer la investigación orientada a la optimización de la producción y formulación de bioplaguicidas a base de *B. bassiana*, priorizando el uso de cepas nativas adaptadas a las condiciones locales, así como el desarrollo de formulaciones que mejoren la persistencia, estabilidad y tolerancia al estrés ambiental.
- Promover la capacitación de productores y técnicos en el uso adecuado de agentes de control biológico, enfatizando la importancia de la correcta aplicación, el monitoreo de la infestación y la evaluación periódica de la eficacia de las estrategias implementadas.
- No se debe ver a *B. bassiana* como un reemplazo total y aislado, sino como parte de un esquema de Manejo Integrado de Plagas que combine la rotación de potreros, el uso de razas resistentes y, si es necesario, el uso estratégico y controlado de químicos.
- Para superar el desafío de la variabilidad ambiental (humedad y radiación UV), es necesario investigar e implementar tecnologías de microencapsulación y formulaciones oleosas que protejan a las conidias y prolonguen su vida útil en el campo.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AgroLatam. (2025, octubre 1). Garrapata bovina: pérdidas y costos de tratamiento en Entre Ríos. AgroLatam. Recuperado el 17 de octubre 2025 de <https://www.agrolatam.com/ganaderia/garrapata-bovina-entre-rios-perdidas-costos-tratamiento-2025/>
- Aguilar, D., Arredondo, H., Rodríguez, L. A., y Reyes, M. (2020). Pathogenicity of *Beauveria bassiana* against immature stages of *Diaphorina citri*. *Southwestern Entomologist*, 45(3), 625–637. Doi.org/10.3958/059.045.0303
- Aguirre, D., Cafrune, M., y Mangold, A. (2020). Epidemiology of *bovine babesiosis* and *anaplasmosis* in Latin America. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 500.
- Andrade, L., Paredes, V., y Cevallos, M. (2024). Infestación por *Rhipicephalus microplus* en bovinos del Noroccidente de Pichincha y Valle de los Quijos, Ecuador. *Revista Siembra*, 11(2), 45–56. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/5530>
- Banco Mundial. (s. f.). Porcentaje de tierras agrícolas (% del total de tierras) para ZJ [Datos estadísticos]. *Banco Mundial*. <https://data.worldbank.org/indicador/AG.LND.AGRI.ZS?locations=ZJ>
- Bermudez, J., Simonazzi, A., Baldiviezo, L., Virgili, V., Herrera, C., Arnal, P., Gentile, A., y Cardozo, R. (2015). Evaluación de formulaciones oleosas de *Beauveria bassiana* utilizando Poloxamer 407 para el desarrollo de un potente bioinsecticida contra el vector de la enfermedad de Chagas. *Conference: X JORNADAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA* https://www.researchgate.net/publication/294089509_Evaluacion_de_formulaciones_oleosas_de_Beauveria_bassiana_utilizando_Poloxamer_407_para_el_desarrollo_de_un_potente_bioinsecticida_contra_el_vector_de_la_enfermedad_de_Chagas
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). (2023). Panorama de la ganadería sostenible en la región. Recuperado de: https://www.oecd.org/es/publications/2020/07/oecd-fao-agricultural-outlook-2020-2029_bfb66700.html

- Castrillón, S., y García, A. (2020). Optimización de la producción de conidias en *Beauveria bassiana* y su tolerancia a estrés ambiental. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 22(1), 45–58.
- CEPAL. (2025). *Ganadería regenerativa: definición, caracterización y recomendaciones de políticas*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Díaz-Rivera, E., Holguín Céspedes, G., y Urrea Montes, D. A. (2019). Nuevo polimorfismo en el gen del canal de sodio de la garrapata *Rhipicephalus microplus* resistente a piretroides. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 1513–1521. Doi.org/10.15517/rbt.v67i4.35250
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2023). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2023: Revelar el verdadero costo de los alimentos para transformar los sistemas agroalimentarios [Informe]. FAO. <https://www.fao.org/publications/fao-flagship-publications/the-state-of-food-and-agriculture/2023/es>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (s.f.). *Producción*. Producción y productos lácteos. Recuperado el 29 de octubre de 2025, de <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (s.f.). *Ganadería sostenible en América Latina y el Caribe*. Iniciativas Regionales. Recuperado el 29 de octubre de 2025, de <https://www.fao.org/americas/regional-initiatives/top-pages/sustainable-livestock-farming-in-latin-america-and-the-caribbean/es>
- Fernandes, É., Angelo, I. C., Moraes, A. M., y Roberts, D. W. (2018). UV tolerance and conidial quality of *Beauveria bassiana* strains. *Biological Control*, 123, 88–96.
- Fernandes, F., Silva, A., Borges, M. A., y Silva, R. (2022). First report of acaricide resistance in *Rhipicephalus microplus* from the Lower Amazon region, Brazil. *Animals*, 12(21), 2931. Doi.org/10.3390/ani12212931

- Fernández-Salas, A., Alonso-Díaz, M. Á., Alonso Morales, R. A., Lezama-Gutiérrez, R., y Cervantes-Chávez, J. A. (2018). Phylogenetic relationships and acaricidal effects of *Beauveria bassiana* obtained from cattle farm soils against *Rhipicephalus microplus*. *Journal of Parasitology*, 104(3), 275–282. Doi.org/10.1645/17-162
- Fontecha, G., Matamoros, G., y Ortiz, B. (2020). Morphological and genetic differentiation within *Rhipicephalus* spp. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 11(5), 101428.
- Freitas, W. V., Neves, L. C., Ferreira, L. G., Azevedo, M. C., Peixoto, F., Dantas, F., Muñoz, S., Labruna, M. B., y Krawczak, F. S. (2023). First molecular detection of *Borrelia theileri* subclinical infection in a cow from Brazil. *Veterinary Research Communications*, 47(2), 963–967. Doi.org/10.1007/s11259-022-10020-x
- Gandarilla, F. L., Quintero, I., Luna, H., Alfaro, J., Ortiz, E., Zacarías, J. L., y Santos, M. (2025). Estudio comparativo de la patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre larvas de lepidópteros de importancia económica. *Interciencia*, 50(7). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10386925>
- García, L., Uyaguari, M., Guerrero, J., Tuz-Guncay, I, y Cruz, E. (2025). Captura e Identificación de *Beauveria Bassiana* y Evaluación en Laboratorio como Biocontrolador de Insectos Plagas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(4), 3914-3933. Doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19094
- Google. (2025). Ciclo de vida de *B. bassiana*. [Imagen generada por IA] Gemini. <https://gemini.google.com/>
- González, C., Pérez, M., y Duarte, J. (2021). Prevalencia de sarna psoróptica en ganado bovino del altiplano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 457–468.
- González, L., Restrepo, N., y Cárdenas, M. (2020). Thermal stability of *Beauveria bassiana* conidia under tropical field conditions. *Agronomía Colombiana*, 38(2), 210–219.
- Guerrero, F., Lovis, L., y Martins, J. (2019). Acaricide resistance mechanisms in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 28(4), 606–615.

- Gutiérrez, C., Bojórquez, A., Castro, L., Montoya, N., y Jiménez, M. (2020). Evaluación de insecticidas biorracionales y *Beauveria bassiana* (Vuill) para el control del gusano del fruto del tomate. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 17(1), 17-25. Doi.org/10.22231/asyd.v17i1.1320
- Guzmán, F., Ramírez, C., y Delgado, A. (2024). Insecticide resistance in livestock pests: Current trends, mechanisms, and control strategies. *Annual Review of Entomology*, 69, 421–445.
- Hernández, D. A. J. (2022). Importancia de la vacunación dentro del manejo integrado de *Rhipicephalus microplus* en bovinos. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 13(1), 48-63. Doi.org/10.22579/22484817.884
- Heylen, D. J. A., Labuschagne, M., Meiring, C., van der Mescht, L., Klafke, G., Costa Junior, L. M., Strydom, T., Wentzel, J., Shacklock, C., Halos, L., Maree, F., Fourie, J., Madder, M., y Evans, A. (2024). Phenotypic and genotypic characterization of acaricide resistance in *Rhipicephalus microplus* field isolates from South Africa and Brazil. *International journal for parasitology. Drugs and drug resistance*, 24, 100519. Doi.org/10.1016/j.ijpddr.2023.100519
- Hidalgo, D., Ramírez, J. L., Navarrete, M., Cevallos, V., Ramos, M., Bravo, B., Carranza, K., Montes, V., y Pérez de León, A. Á. (2025). 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. *Frontiers in Fungal Biology*, 6, 1492395. Doi.org/10.3389/ffunb.2025.1492395
- Litwin, A., Nowak, M., y Rozalska, S. (2020). Entomopathogenic fungi: Unconventional applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19, 23–42. Doi.org/10.1007/s11157-020-09525-1
- Lucero, J., Manzano, J., Loaiza, I., y Orellana, Y. (2024). Producción de *Beauveria bassiana* para la formulación de bioplaguicidas. la granja: *Revista de Ciencias de la Vida*, 40(2). Doi.org/10.17163/lgr.n40.2024.08

- Machín, A., del Pozo, E. M., García, I., Ardisana, F. H., Guerrero, S., Chávez, J. A., Escobedo, C. M., y Pérez, S. (2022). Isolation and characterization of one autochthonous *Beauveria* sp. isolate from Cuban fields. *Biotechnia*, 24(1).
Doi.org/10.18633/biotechnia.v24i1.1553
- Martínez-García, J., Abad-Zavaleta, J., García-Gómez, M. de J., y Núñez-Gaona, O. (2023). Evaluación in vitro del potencial acaricida de *Beauveria bassiana* DS3.17 sobre *Rhipicephalus microplus* en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(3).
- Mascarin, G. M., y Jaronski, S. T. (2016). The production and formulation of fungal biological control agents. In *Microbial Control of Insect and Mite Pests* (pp. 223–240). *Academic Press*.
- Meiring, C., y Labuschagne, M. (2024). Genomic assessment of targets implicated in *Rhipicephalus microplus* acaricide resistance. *PLOS ONE*, 19(3), e0312074.
Doi.org/10.1371/journal.pone.0312074
- Morales, D., y Restrepo, A. (2020). Caracterización de lesiones cutáneas por *Sarcoptes scabiei* en bovinos de pastoreo intensivo. *Revista de Medicina Veterinaria*, 41(2), 85–93.
- Morales, G., Castaño, C., y Velásquez, D. (2023). Prevalencia de *Rhipicephalus microplus* y *Babesia* spp. en bovinos del Magdalena Medio colombiano. *Habeas Data*, 20(3), 78–85. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/hm/article/view/18735>.
- Moreno, S., García, R., Hernández, J., Rodríguez, H., y Villarreal, J. (2024). Resistencia a la ivermectina en *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) en el noreste de México y factores de riesgo asociados. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 15(3), 584-601.
Doi.org/10.22319/rmcp.v15i3.6502_
- Obaid, M. K., Islam, N., Alouffi, A., Khan, A. Z., da Silva Vaz, I., Jr, Tanaka, T., y Ali, A. (2022). Acaricides Resistance in Ticks: Selection, Diagnosis, Mechanisms, and Mitigation. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 12, 941831.
Doi.org/10.3389/fcimb.2022.941831

- OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) & FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2020). OECD-FAO Perspectivas Agrícolas 2020-2029. *Publicaciones OCDE*.
https://www.oecd.org/es/publications/2020/07/oecd-fao-agricultural-outlook-2020-2029_bfb66700.html
- OpenAI. (2025). Ciclo de vida de *R. microplus* [Imagen generada por IA]. ChatGPT.
<https://chatgpt.com/>
- Opisa, S., Du Plessis, H., Akutse, K. S., Fiaboe, K. K. M., y Ekesi, S. (2018). Effects of Entomopathogenic fungi and *Bacillus thuringiensis* based biopesticides on *Spoladea recurvalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Journal Of Applied Entomology*, 142(6), 617-626. Doi.org/10.1111/jen.12512.
- Paucar, V., Pérez-Otáñez, X., Rodríguez-Hidalgo, R., Perez, C., Cepeda-Bastidas, D., Grijalva, J., Enríquez, S., Arciniegas-Ortega, S., Vanwambeke, S. O., Ron-Garrido, L., y Saegerman, C. (2022). The associated decision and management factors on cattle tick level of infestation in two tropical areas of Ecuador. *Pathogens*, 11(4), 403. Doi.org/10.3390/pathogens11040403.
- Pérez, X., Paucar, V., Saegerman, C., Grijalva, J., Pérez, C., Jácome, L., Rivera, C., Cepeda, D., Arciniegas, S., Enríquez, S., Ron, L., Rodríguez, R., y Vanwambeke, S. (2024). Drivers and evolution of acaricide resistance and multi-resistance in two Ecuador's subtropical livestock farming areas. *Veterinaria italiana*, 60(4), Doi.org/10.12834/VetIt.3471.23969.2.
- Ramírez, P., Toloza, A., y Ceballos, V. (2023). Identificación de ácaros de importancia veterinaria en bovinos del norte andino ecuatoriano. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 41(1), 25–36.
- Ritchie, H., y Roser, M. (2019). Global Land Use for Agriculture. *Our World in Data*. Recuperado de <https://ourworldindata.org/global-land-for-agriculture>
- Rodríguez-Hidalgo, R., Pérez-Otáñez, X., Garcés, S., Vanwambeke, S. O., Madder, M., y Benítez-Ortiz, W. (2017). The current status of resistance to alpha-cypermethrin,

- ivermectin, and amitraz of the cattle tick (*Rhipicephalus microplus*) in Ecuador. *PLoS ONE*, 12(4), e0174652. Doi.org/10.1371/journal.pone.0174652
- Rodriguez-Vivas, R.I., Jonsson, N.N. y Bhushan, C. (2017). Strategies for the control of *Rhipicephalus microplus* ticks in a world of conventional acaricide and macrocyclic lactone resistance. *Parasitol Res* 117, 3–29. Doi.org/10.1007/s00436-017-5677-6
- Sales, D., Silva-Junior, M., Tavares, C., Sousa, I., Sousa, D., Brito, D., Camargo, A., Cerqueira, R., Faccini, J., Lopes, W., Labruna, M., Luz, H., y Costa-Junior, L. (2024). Biology of the non-parasitic phase of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in an area of Amazon influence. *Parasites Vectors* 17, 129 (2024). Doi.org/10.1186/s13071-024-06220-w
- Salvador, V. F., Morais, I. M. L., Leal, L., Tamiozo, G. L., Chagas, H. D. F., Silva, I. S., Ferreira, L. L., Borges, F. A., Prata, M. C. A., Costa-Junior, L. M., da Costa, A. J., Monteiro, C. M. O., y Lopes, W. D. Z. (2025). Resistance of *Rhipicephalus microplus* to different acaricides in tropical climates: Are the laboratory and field results related?. *Veterinary parasitology*, 336, 110441. Doi.org/10.1016/j.vetpar.2025.110441
- Saporiti, T., Losiewics, S., Trelles, A., Miraballes, C., Correa, F. R., y Cuore, U. (2021). Análisis del perfil de susceptibilidad de la garrapata *Rhipicephalus microplus* para cinco grupos químicos y factores asociados en poblaciones de campo del norte de Uruguay. *Veterinaria*, 57(215), 6. Doi.org/10.29155/vet.57.215.5
- Sousa, A., Bianchi, D., Santos, E., Dias, S., Peleja, P., Santos, R., Mercado, N., y Minervino, A. (2022). First description of acaricide resistance in populations of *Rhipicephalus microplus* tick from the Lower Amazon, Brazil. *Animals*, 12(21), 2931. Doi.org/10.3390/ani12212931.
- Sun, M., Ren, Q., Li, Y., Han, X., Ma, C., y Yin, H. (2013). Biological parameters of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) fed on rabbits, sheep, and cattle. *Parasitology International*, 62(5), 412–415. Doi.org/10.1016/j.parint.2013.04.008
- Tofiño, A., Ortega-Cuadros, M., Pedraza-Claros, B., Perdomo, S., y Moya, D. (2018). Efectividad de *Beauveria bassiana* (Baubassil®) sobre la garrapata común del ganado

- Rhipicephalus microplus* en el Departamento de La Guajira, Colombia. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(4), 426–430.
- Veríssimo, C., Giglioti, R., D'Agostino, S., Toledo, L., Katiki, L., Duarte, K., y Santos, I. (2019). Cattle herd shearing can help to control *Rhipicephalus microplus* ticks. *Experimental and Applied Acarology*. 79. Doi.org/10.1007/s10493-019-00413-0.
- Villar D, Gutiérrez J, Piedrahita D, Rodríguez-Durán A, Cortés-Vecino JA, Góngora-Orjuela A, Martínez N, y Chaparro-Gutiérrez J. Resistencia in vitro a acaricidas tópicos de poblaciones de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* provenientes de cuatro departamentos de Colombia. *Rev. CES Med. Zootec.* 2016; Vol 11 (3): 58-70.
- Xu, Y., O'Brien, M., y Wraight, S. P. (2019). Metabolites of entomopathogenic fungi and their role in insect–pathogen interactions. *Toxins*, 11(9), Artículo 540
- Zambrano, D., Pinargote, J., y García, R. (2022). Caracterización técnica y productiva del sistema bovino lechero de las ganaderías asociadas del Cantón Bolívar de la provincia de Manabí-Ecuador. *FAVE. Sección Ciencias Veterinarias*, 21, e0004. Doi.org/10.14409/favecv.v21i0.1000