

Hongos entomopatógenos y plantas medicinales como estrategias biológicas para el control de *Rhipicephalus microplus*, una revisión

Entomopathogenic fungi and medicinal plants as biological strategies for the control of *Rhipicephalus microplus*: A Review

Eliana Ximena Urbano Cáceres¹ , Sharon Elizabeth Cruz-Estupiñan²  y Javier Antonio Ballesteros-Ricaurte³  y Martín Orlando Pulido-Medellín² 

1. Grupo de Investigación de Bacteriología y Laboratorio Clínico, GRIBAC Universidad de Boyacá, Colombia
2. Grupo de Investigación en Medicina Veterinaria y Zootecnia GIDIMEVETZ, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia
3. Grupo de Investigación en Manejo de Información – GIMI, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

Resumen

Las infestaciones ocasionadas por la garrapata del ganado (*Rhipicephalus microplus*) representan uno de los mayores problemas en las regiones tropicales y subtropicales del mundo ya que dicho organismo es vector de enfermedades como babesiosis y anaplasmosis, provocando pérdidas económicas en la producción de leche, carne y pieles. El control de *R. microplus* está basado principalmente en emplear ixodicidas, pero el uso irracional de estos productos ha llevado a que estas garrapatas presenten resistencia, de manera que se requiere desarrollar otro tipo de estrategias, especialmente no químicas. La metodología de la presente investigación involucró la búsqueda exhaustiva de literatura científica en bases de datos especializadas, como PubMed y *Web of Science*, con base en términos clave relacionados con el control de garrapatas y métodos alternativos. Se incluyeron estudios que evaluaron la eficacia de aceites esenciales y extractos de plantas contra *R. microplus* en ensayos de laboratorio y campo. Al recopilar y resumir los resultados relevantes para identificar tendencias y perspectivas prometedoras en el manejo de estos ectoparásitos, los hongos entomopatógenos se destacaron como una excelente alternativa frente al control in vitro de la garrapata del ganado, aunque se antepone la necesidad de evaluar su aplicación in vivo. Los hallazgos evidencian el potencial de los aceites esenciales y los extractos de plantas para controlar las poblaciones de garrapatas. De este modo, se reconoce la importancia de explorar enfoques diferentes para enfrentar los desafíos asociados con la resistencia a los acaricidas químicos y promover prácticas agrícolas más sostenibles.

Palabras clave: aceites esenciales; control biológico; hongos entomopatógenos; *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*

Abstract

Infestations caused by the cattle tick (*Rhipicephalus microplus*) represent one of the most significant problems in tropical and subtropical regions of the world, as this organism serves as a vector for diseases such as babesiosis and anaplasmosis, leading to economic losses in the production of milk, meat, and hides. The control of *R. microplus* is primarily based on the use of ixodicides; however, the irrational use of these products has led to the development of resistance in tick populations, making it necessary to develop alternative strategies, particularly non-chemical ones. The methodology of the present study involved an exhaustive review of scientific literature in specialized databases such as PubMed and Web of Science, using key terms related to tick control and alternative methods. Studies evaluating the efficacy of essential oils and plant extracts against *R. microplus* in both laboratory and field trials were included. By compiling and synthesizing the relevant findings to identify promising trends and perspectives in the management of these ectoparasites, entomopathogenic fungi emerged as a promising alternative for the in vitro control of cattle ticks, although their in vivo application still requires thorough evaluation. The findings demonstrate the potential of essential oils and plant extracts to control tick populations. Thus, the importance of exploring alternative approaches to address the challenges associated with resistance to chemical acaricides and to promote more sustainable agricultural practices is emphasized.

Key words: essential oils; *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*; biological control; entomopathogenic fungi

*Autor de correspondencia: eliana.urbano@uptc.edu.co

Editor: Juan Carlos Narváez

Recibido: 28 de agosto de 2024

Aceptado: 28 de junio de 2025

Publicación en línea: 28 de junio de 2025

Citar como: Urbano Cáceres, E. X., Cruz-Estupiñan, S. E., Ballesteros-Ricaurte, J. A., y Pulido-Medellín, M. O. (2024). Hongos entomopatógenos y plantas medicinales como estrategias biológicas para el control de *Rhipicephalus microplus*: Una revisión. Intropica, 19(2),



Introducción

La garrapata del ganado *Rhipicephalus microplus* (anteriormente *Boophilus microplus*) es un ectoparásito hematófago vector de importantes patógenos en humanos y animales. Perteneció a la familia Ixodidae junto con los géneros de *Ixodes*, *Haemaphysalis*, *Hyalomma*, *Amblyomma* y *Dermacentor* (Arce, 2022). A nivel mundial, este organismo se distribuye predominantemente en regiones tropicales y subtropicales, y sus mayores impactos económicos se han registrado en México, Centroamérica, Suramérica y Australia. De hecho, se considera que esta es una de las especies con mayor incidencia en el corredor biológico del Caribe, sobre todo en Colombia y Venezuela (Polanco-Echeverry y Ríos-Orsorio, 2016).

Se ha estimado que las garrapatas y las enfermedades transmitidas por ellas son responsables de pérdidas económicas de entre 22 000 y 30 000 millones de dólares al año (Pereira *et al.*, 2022). En Brasil y México, por ejemplo, se calcula que las infestaciones de estos parásitos provocaron detrimentos de 3240 millones y 573,61 millones de dólares, respectivamente, en 2017 (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017). En Colombia, los perjuicios ocasionados por las enfermedades parasitarias, en pesos del año 2001, equivaldrían a 150417 millones. De estas patologías, el 51 % corresponden a garrapatas y moscas, y el 8 %, a hemoparásitos.

Una garrapata adulta puede llegar a ingerir de 2 mL a 3 mL de sangre durante toda su vida parasitaria, favoreciendo la presentación de alteraciones en la productividad y en la salud de bovinos (Araque *et al.*, 2014), que se traducen en una menor producción de carne, leche y cuero, además de afectar sistémicamente al huésped. Así, estos organismos son capaces de reducir la ganancia de peso en 0,6 g/d. El 65 % de esta pérdida es atribuido al estrés causado por la irritación, y el 35 %, a la pérdida de sangre (Rodríguez-Pacheco *et al.*, 2017). Este parásito también es un importante vector de patógenos específicos como *Babesia bigemina*, *Babesia bovis* y *Anaplasma marginale*, entre otros (Vargas-Cuy *et al.*, 2019).

Debido a su impacto en la ganadería, el control de *R. microplus* es de gran preocupación y un punto de investigación. Los métodos para contrarrestar a esta garrapata se pueden clasificar en químicos y no químicos. Dentro del primer grupo se encuentran los acaricidas, que son utilizados ampliamente para controlar a estos parásitos, especialmente por parte de los agricultores pequeños y marginales dadas su fácil administración y su disponibilidad en el mercado, así como por

su alta efectividad a corto plazo. Entre estos productos, denominados ixodicidas, se encuentran las familias de los piretroides sintéticos, organofosforados, lactonas macrocíclicas, fenilpirazolonas y amidinas (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017).

No obstante, se ha demostrado que, con el tiempo, el uso irracional de estos compuestos genera resistencia en las garrapatas. A su vez, en la leche animal se han detectado residuos de estos químicos que reducen el valor de mercado de los productos ganaderos, los derivados lácteos, el queso y la carne (Cortés *et al.*, 2010). En tal medida, este método de control puede afectar la economía del agricultor y generar graves efectos negativos en el ambiente. Es probable, por ejemplo, que la aplicación de ixodicidas fomente, de manera indirecta, una mayor tolerancia microbiana como respuesta a los cambios provocados en el ecosistema, que motivan a una mayor demanda por alimentos libres de químicos (Álvarez *et al.*, 2017; Sarli *et al.*, 2023; Zaldivar *et al.*, 2024).

Es preciso reconocer que, durante las últimas cuatro décadas, el desarrollo de garrapaticidas de gran eficacia y poder residual permitió a los ganaderos disponer de una herramienta de control práctica y adaptable a diferentes sistemas de producción. Sin embargo, estas características, sumadas a una disminución de la toxicidad hacia los humanos en los más modernos grupos químicos, crearon un falso sentido de seguridad en el productor, quien sustituyó el diagnóstico y el asesoramiento profesional por la casi exclusiva utilización de fármacos (Araque *et al.*, 2014).

Por otra parte, en el grupo de métodos sin químicos se encuentran el control biológico y algunas estrategias de prevención como las vacunas antigarrapatas y la selección de razas de bovinos resistentes. En este sentido, se ha comprobado que diferentes organismos, como las bacterias, las hormigas, los nemátodos y los hongos entomopatógenos, son eficaces para regular ectoparásitos de importancia veterinaria (Ruela *et al.*, 2019; Valle-Ramírez *et al.*, 2022; Yari *et al.*, 2021).

Lo anterior evidencia el gran impacto negativo que tiene *R. microplus* sobre la salud animal, así como la necesidad de nuevas alternativas de manejo del patógeno que se basen primordialmente en métodos naturales; en especial, el control biológico. Así pues, la presente revisión tiene como objetivo presentar información actualizada sobre el uso de diferentes hongos, así como de las principales plantas medicinales, y sus aceites, que puedan contrarrestar a esta garrapata.

Materiales y métodos

Para la elaboración de la revisión se construyó un diagrama PRISMA, el cual permite visualizar de manera clara y estructurada el proceso de búsqueda, selección y exclusión de estudios. Este diagrama detalla las etapas que comprenden desde la identificación inicial de los registros hasta la inclusión final de los documentos que cumplieron con los criterios de elegibilidad establecidos (figura 1). El presente trabajo corresponde a una Revisión de Mapeo Sistemático (RMS), un enfoque metodológico fundamentado en la propuesta de Petersen et al. (2015). Su propósito es abordar una temática específica mediante la identificación, evaluación crítica e integración de las investigaciones más relevantes, priorizando aquellos estudios individuales de alta calidad que respondan a una o varias preguntas de investigación previamente definidas.



Figura 1. Diagrama PRISMA para la revisión bibliográfica.

Estrategia de búsqueda

e definieron como términos de búsqueda las siguientes palabras clave: "control biológico", "hongos entomopatógenos",

"acaricidas" y *Rhipicephalus microplus*. La búsqueda de información se llevó a cabo en las bases de datos Web of Science, ScienceDirect, Scopus y Springer Link, las cuales integran una alta proporción de trabajos científicos de alto impacto provenientes de editoriales reconocidas como Elsevier y Springer.

Las palabras clave extraídas fueron refinadas mediante el uso del software VOSviewer, que permite diferenciar algorítmicamente los términos relevantes de los no relevantes. Esta herramienta identifica términos clave de alta frecuencia mediante el análisis de coocurrencias dentro de redes conceptuales, facilitando así la identificación de conceptos centrales en el conjunto de documentos analizados.

Posteriormente, se construyó la red de coocurrencia de palabras clave utilizando exclusivamente la base de datos de ScienceDirect, que alberga una amplia gama de estudios científicos sobre el control de garrapatas. Esta gráfica no solo representa las conexiones entre los conceptos clave, sino que también refleja la profundidad y la amplitud de la investigación disponible en la plataforma.

Los nodos más prominentes en la red, como "control de garrapatas" y "métodos alternativos", son aquellos que se han abordado con mayor frecuencia en los estudios revisados. Los núcleos más grandes y con bordes gruesos indican su importancia central en el campo, mientras que los enlaces entre ellos revelan las interacciones y relaciones significativas entre los diferentes temas.

En definitiva, al aprovechar la base de datos de ScienceDirect se ofrece una visión exhaustiva de los métodos de control en garrapatas, destacando tanto los enfoques convencionales como las alternativas emergentes. Esta investigación subraya la importancia de continuar explorando nuevas estrategias para regular la presencia de estos parásitos y sus consecuencias en la salud pública y animal.

En ScienceDirect se detectó que el eje temático de *R. microplus* está relacionado con el control biológico, hongos entomopatógenos, bioinsecticidas, entre otros términos, como se observa en la figura 2. Las palabras claves seleccionadas para realizar esta nueva búsqueda en esta base de datos fueron "*Rhipicephalus microplus*", "*Metarrizum* sp.", "*Beauveria* sp." y "acaricidas". Luego, las publicaciones consultadas se seleccionaron por los subtemas de interés y se referenciaron artículos de fechas anteriores al año 2020, dada la relevancia de los datos aportados.

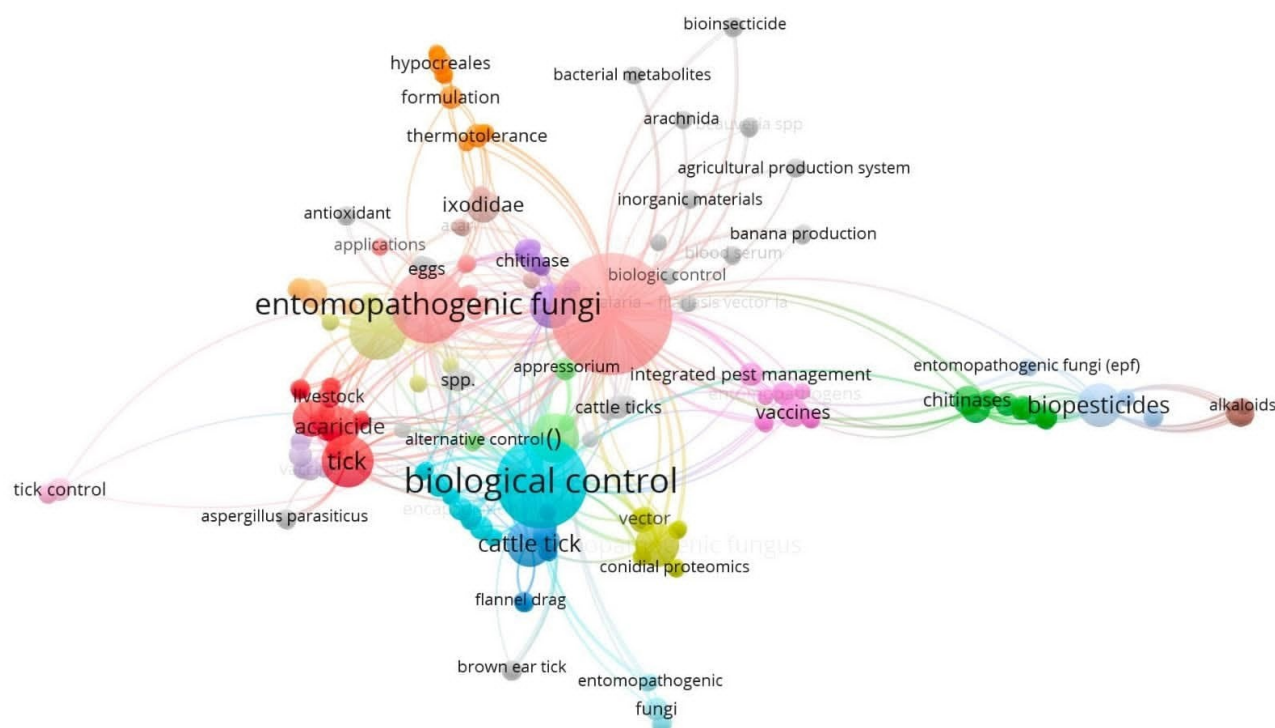


Figura 2. Red de coocurrencia de palabras clave en ScienceDirect.

Resultados

El conocimiento de los mecanismos bioquímicos y moleculares de la resistencia facilita la creación de mejores herramientas de diagnóstico que pueden detectar con rapidez y precisión la aparición de esta respuesta del organismo e integrarse en un programa de seguimiento (De Rouck *et al.*, 2023). Ahora bien, cuando este mecanismo surge frente a un determinado compuesto, dicha información sirve de base para elegir un reemplazo adecuado que no se vea afectado por la evasión desarrollada, evitando así la resistencia cruzada (Gupta *et al.*, 2023).

Mutación en el gen de la carboxilesterasa

Estudios en *R. microplus* resistentes a los acaricidas demuestran que las esterasas, particularmente la carboxilesterasa (CaEs), están asociadas con la resistencia. Hernández et al. (2002) identificaron por primera vez una nueva sustitución de nucleótidos de una adenosina (A) por guanidina (G) en la posición 1120 (G1120A), en el gen que codifica CaEs de *R. microplus*, lo que resultó en la sustitución de un aminoácido en la posición 374 del aspartato a la asparaquina (Asp 374 Asn).

Aunque no se pudo establecer una correlación directa entre la mutación descrita y la resistencia a los piretroides, se cree que esta transformación ocurriría simultáneamente con otros eventos que contribuyen al desarrollo de la resistencia. En suma, este proceso genético crea un sitio de restricción (CTTAAG) en los individuos mutantes que les confiere tolerancia a los compuestos analizados (Temeyer *et al.*, 2013).

Mutación en el gen de la acetilcolinesterasa

Los plaguicidas o insecticidas organofosforados (OP) y los carbamatos actúan directamente sobre la acetilcolinesterasa (AChE), enzima responsable de la degradación de la neurotransmisora acetilcolina en las sinapsis neurales en el sistema nervioso central de vertebrados e invertebrados (Pérez *et al.*, 2012). Al ser el objetivo de los acaricidas/insecticidas, las AChE son las enzimas de interés para comprender la base molecular de la resistencia.

Estudios han encontrado que en *R. microplus* el gen codificante de AChE puede sufrir amplificación génica, lo que da origen a tres genes con cierta homología cuyo papel aún no está claro en cepas resistentes: AChE1, AChE2 y AChE3. Mientras que el

primero es afectado por el acaricida OP, los otros dos no, manteniendo así la viabilidad del individuo portador de estos genes alternativos (Díaz, 2012). Asimismo, las mutaciones puntuales en el gen que codifica la acetilcolinesterasa pueden conducir a la producción de una enzima alterada (sobreproducida o modificada físicamente) que ha demostrado ser un mecanismo importante de resistencia a los OP en varios insectos como el escarabajo de la patata, la mosca doméstica y la mosca de las ovejas (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012; Temeyer *et al.*, 2013).

Un estudio de 2020 evaluó la inhibición de la AChE por terpenos de cepas resistentes y sensibles de *R. microplus* en correlación con su actividad acaricida. Al analizar los datos de secuencia de los genes AChE1, AChE2 y AChE3 de nueve cepas susceptibles y 20 resistentes, los investigadores identificaron varias sustituciones de nucleótidos en estos genes con frecuencia variable. Sin embargo, debido a la presencia de múltiples copias y polimorfismo de transcripción en cada gen, estos reemplazos no se correlacionaron directamente con la resistencia a OP (Cardoso *et al.*, 2020; Temeyer *et al.*, 2013).

Resistencia en organoclorados

Los insecticidas organoclorados han sido uno de los más exitosos desde su aparición en 1946. Muchos de estos compuestos, de origen sintético, están formulados para actuar como acaricidas y para el control de garrapatas en bovinos. Su mecanismo de acción se basa en unirse en el sitio del ácido gamma-aminobutírico (GABAA) en el complejo ionóforo de cloruro GABA, que inhibe el flujo de cloruro hacia el nervio (Batiha *et al.*, 2019). Cuando la función de dicho complejo se ve afectada, se produce una hiperexcitación, que finalmente conduce a la muerte.

Sin embargo, el uso intensivo de algunos de estos insecticidas, como el DDT, el dieldrin y el lindano, ha llevado al desarrollo de una resistencia generalizada (tanto metabólica como de cambio en el sitio de acción) en muchas especies de artrópodos, incluidas las mismas garrapatas. Por lo tanto, ahora existe una grave amenaza frente a la efectividad de estas sustancias en el marco de muchos programas de control de plagas (Juache-Villagrana *et al.*, 2023).

Aunque algunos estudios no han detectado resistencia de *Rhipicephalus microplus* al lindano (con tasas de mortalidad superiores al 60 %), es fundamental considerar el historial de

uso de este compuesto, ya que su empleo prolongado podría favorecer el desarrollo de mecanismos de resistencia cruzada. De hecho, en poblaciones de garrapatas provenientes de Uruguay y Brasil se ha documentado resistencia vinculada tanto al lindano como al fipronil, lo que evidencia un posible riesgo latente en contextos de exposición sostenida (Juache-Villagrana *et al.*, 2023).

Bandara y Karunaratne (2017), por ejemplo, informaron la mutación G72V en el gen del canal de sodio controlado por voltaje de aislamientos de *R. microplus* que eran altamente resistentes al DDT, incluso después de cuatro décadas de interrupción del uso de dicho insecticida. Los autores contemplaron que los diversos artrópodos evaluados en su estudio habían desarrollado tolerancia al compuesto organoclorado por mutación en el sitio objetivo y que, por lo tanto, los organismos que presentaban esta alteración podían tener también resistencia cruzada a los piretroides, que actúan en el mismo punto que el DDT.

Por lo demás, cabe señalar que los organoclorados tienen un amplio espectro de actividad contra artrópodos (garrapatas e insectos), pero al mismo tiempo generan impactos nocivos. De hecho, pueden encontrarse rastros de estos componentes en el medio ambiente e incluso en la leche, la carne y en la grasa de los animales huéspedes después de su aplicación (Beugnet y Franc, 2012). La propiedad lipofílica fue el principal inconveniente de estos insecticidas, por lo que se prohibió su uso contra garrapatas.

Otros mecanismos de resistencia

Una de las principales formas de resistencia a los acaricidas es la de tipo metabólico. Esta tolerancia se logra a través de la desintoxicación mediante las enzimas citocromo P-450 (CYP), las esterasas y la Glutación S-transferasa (GST). Otro mecanismo está dado por la disminución del acceso de los compuestos al entorno corporal interno debido a modificaciones en la capa externa de la garrapata (exoesqueleto), en lo que se denomina resistencia a la penetración reducida (Obaid *et al.*, 2022).

Alternativas de control

Hongos entomopatógenos

Los hongos *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* y *Trichoderma* spp. son importantes agentes biológicos para

contrarrestar la presencia de *R. microplus*. Por una parte, *M. anisopliae* ha demostrado alta infectividad, especialmente en condiciones *in vitro*, con éxito en la reducción significativa de la población de garrapatas (Álvarez *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2014). *B. bassiana*, por su parte, es reconocido por su capacidad para producir metabolitos biológicamente activos, y también ha mostrado eficacia en el control de garrapatas a través de su ciclo de desarrollo parasítico y saprofítico (Amobonye *et al.*, 2020; Galindo-Soracá *et al.*, 2019). Finalmente, *Trichoderma* spp., con más de 30 especies conocidas por sus beneficios en la agricultura, exhibe resistencia a diversas condiciones ambientales y tiene potencial para ser utilizado en el control biológico de plagas (Mendes *et al.*, 2019; Zin y Badaluddin, 2020).

***Metarhizium anisopliae*.** Este hongo pertenece a la clase Hyphomycetes y a la familia Moniliaceae. Es una especie entomopatógena anamorfa-facultativa, aislada por primera vez por Metchnikoff en 1879 y que infectó al escarabajo *Anisoplia austriaca*, por lo que se sugirió su uso como agente para el control de insectos. Actualmente, se ha aislado de suelo, insectos y material orgánico en descomposición (Samish *et al.*, 2014). Asimismo, se ha demostrado su alta infectividad sobre las garrapatas en condiciones *in vitro*. Sin embargo, los pocos informes sobre su utilización en condiciones de campo exhiben grandes variaciones en su éxito, a menudo sin una explicación clara (Beys-da-Silva *et al.*, 2020).

Efecto entomopatógeno: el ciclo de vida de este patógeno está muy conservado en la naturaleza, tal como se observa con hongos filamentosos patógenos para las plantas, incluyendo la formación de tubos germinativos, apresorio y clavijas de penetración (Beys-da-Silva *et al.*, 2014). La secuencia de eventos inicia con (i) reconocimiento del hospedador susceptible; (ii) adhesión de conidios y germinación en la superficie del hospedador (cutícula); (iii) desarrollo de estructuras específicas (tubo germinativo y apresorio); (iv) penetración a través de la cutícula del hospedador; (v) crecimiento fúngico intenso y muerte del hospedador; y (vi) producción de conidios después de la emergencia de hifas a través de la cutícula del hospedador mediante la combinación de presión mecánica y secreción enzimática. Algunas de las enzimas de esta última etapa se han asociado como potenciales marcadores moleculares para la selección de aislamientos de *M. anisopliae* de cara al control de *R. microplus* (Beys-da-Silva *et al.*, 2020).

Algunos síntomas de patogenicidad fúngica en garrapatas

incluyen: alteración en la tasa de reproducción, sensibilidad reducida, movimientos descoordinados y parálisis, que conducen a la muerte del artrópodo. Posteriormente, las hifas concluyen la invasión de los órganos internos y, agotando los nutrientes, crecen fuera del tegumento. En condiciones ambientales adecuadas, se producen conidios, y estas esporas pueden ser dispersadas por el viento, permitiendo la infección de otros hospedantes susceptibles (Barboza *et al.*, 2022; Beys-da-Silva *et al.*, 2020). Se ha demostrado la eficacia de *M. anisopliae* sobre la fase adulta de *R. microplus*, con tasas de mortalidad del 100 %, así como una reducción en la oviposición y eclosión de larvas de forma significativa, lo que lo ha posicionado como uno de los controladores biológicos de elección (Álvarez *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2014).

***Beauveria bassiana*.** Esta especie pertenece al filo Ascomycota, clase Sordariomycetes, orden Hypocreales y familia Clavicipitaceae, Cordycipitaceae u Ophiocordycipitaceae. Fue descubierta por Agostino Bassi en 1835 como la causante de la devastadora enfermedad muscardina de los gusanos de seda. De hecho, la capacidad de los insectos para defenderse de *Beauveria* ha revelado muchos aspectos de la inmunidad innata con relevancia directa para la inmunología humana. *B. bassiana* también es un biocatalizador muy conocido en aplicaciones químicas e industriales.

Es un hongo de origen terrígeno, saprófito ubicuo y patógeno para muchos órdenes de insectos como lepidópteros, hemípteros, coleópteros, himenópteros, homópteros, hemípteros y ortópteros (Xiao *et al.*, 2012). Su importante función como endófito de plantas y antagonista de hongos fitopatógenos solo se ha hecho evidente en los últimos 20 años, así como su producción de gran variedad de metabolitos secundarios biológicamente activos (Mascarin y Jaronski, 2016).

Efecto entomopatógeno: el desarrollo del hongo se puede dividir en dos fases y ocho etapas. La primera fase es la parasítica, que comprende las siguientes etapas: adhesión (contacto hongo-hospedero, en el que las esporas se depositan en la cutícula), germinación (a temperatura y humedad óptimas se desarrollan el tubo germinativo y el apresorio), penetración (por mecanismos físicos, de presión sobre la superficie de contacto, y químicos, por acción de enzimas proteasas, lipasas y quitinasas); producción de toxinas (actividad insecticida e inmunosupresora y destrucción física) y muerte (pérdida de la integridad estructural y deshidratación).

Una vez terminada la fase parasítica, comienza la saprofítica: multiplicación y crecimiento (unidades infectivas hifas, invasión completa), esporulación externa (el hongo emerge hacia el exterior) y producción de nuevas unidades reproductivas o infectivas (Amobonye *et al.*, 2020; Galindo-Soracá *et al.*, 2019).

***Trichoderma* spp.** Se trata de hongos aeróbicos, de reproducción asexual, con un crecimiento rápido y capacidad para resistir un amplio intervalo de temperaturas. Son saprófitos del suelo que aprovechan materia orgánica (restos vegetales como madera) y se encuentran ampliamente distribuidos en diferentes latitudes. Se emplean en la regulación de fitopatógenos y en la producción de enzimas, aunque la temperatura, el aislamiento y el antagonismo son variables importantes; es decir, la temperatura a la que se da su óptimo crecimiento no necesariamente es la ideal para que realice su actividad antagonista. En el mismo sentido, la luz y su espectro influyen en el desarrollo de estos organismos y en la producción de metabolitos.

Por otro lado, *Trichoderma* spp. no es exigente en cuanto al pH del sustrato, y su desarrollo se activa con una humedad óptima del 60 % (Mendes *et al.*, 2019; Zin y Badaluddin, 2020). Asimismo, este organismo crece de manera natural en suelos agrícolas y otros tipos de medios. Pertenecen a la subdivisión de los deuteromicetos y no presentan un estado sexual determinado. El género *Trichoderma* incluye más de 30 especies, todas con efectos benéficos para la agricultura (Ferreira y Musumeci, 2021).

Efecto entomopatógeno: la acción de *Trichoderma* spp. frente a organismos patógenos de las plantas se da a través de mecanismos de antibiosis, depredación, parasitismo, competencia e hiperparasitismo. En la antibiosis, produce metabolitos que inhiben directamente o matan a otros microorganismos; la competencia ocurre cuando hay efectos dañinos sobre otro organismo, utilizando recursos del medio ambiente; y el micoparasitismo (que abarca el hiperparasitismo, el parasitismo directo y el parasitismo) incluye una gran variedad de interacciones que generan daños morfológicos.

Algunas investigaciones han demostrado la eficacia de las enzimas quitinolíticas (quitinasa, N-acetilglucosaminidasa, 1,3-glucanasa y proteasa) de *Trichoderma* spp. sobre la degradación de la cutícula de *R. microplus*. De tal forma, esta especie puede ser considerada como una opción viable para atacar a la garrapata (Andrade-Hoyos *et al.*, 2023; Illa *et al.*, 2019; Martínez-

Canto *et al.*, 2022).

Dentro de este gran grupo de hongos entomopatógenos se encuentra *Verticillium lecanii*, que ha atraído cierta atención como agente de biocontrol de homópteros y ácaros, y en Europa se ha venido usando desde la década de 1980. Esta especie, junto a *B. bassiana*, son dos de las más importantes que infectan a las garrapatas ixodidas en la naturaleza. En una investigación que probó el efecto de estos hongos entomopatógenos contra hembras adultas, huevos y larvas de *Rhipicephalus annulatus*, se determinó que *V. lecanii* es letal para las garrapatas adultas, mientras que *B. bassiana* provocó la mortalidad de las larvas y redujo la eclosión de los huevos debido a su acción sobre ninfas y adultos, a los que se adhiere por medio de micelio filamentosos (Aboelhadid *et al.*, 2018).

La tabla 1 muestra los principales hallazgos sobre el uso de hongos entomopatógenos para el control de *R. microplus* en una revisión de 20 estudios nacionales e internacionales. En general, estos trabajos indican que estos organismos, especialmente *M. anisopliae* y *B. bassiana*, tienen una eficacia significativa en la mortalidad de garrapatas, con resultados que varían según la cepa, el método de aplicación y las condiciones ambientales.

Los estudios nacionales, en particular, resaltan la efectividad de diversas cepas de *M. anisopliae*, que lograron mortalidades del 100 % en un rango de 14 a 20 días postratamiento, dependiendo de la concentración. Además, se observó que la encapsulación de conidios puede mejorar la viabilidad y la efectividad del hongo bajo condiciones adversas. Por otro lado, se encontró que tratamientos combinados con productos naturales y hongos pueden potenciar la eficacia acaricida. En el ámbito internacional, se destacan los estudios que evalúan la virulencia de aislados brasileños de *M. anisopliae*, que muestran mortalidades larvales de hasta el 98,9 %. Además, se ha constatado que la combinación de *B. bassiana* con adyuvantes incrementa su efectividad (Anexo 1).

Acaricidas a base de plantas

En la búsqueda de alternativas al control químico de *R. microplus*, 13 estudios recientes han evaluado la eficacia de diversos métodos naturales. Los resultados de estos trabajos sugieren que los aceites esenciales (*Ocimum americanum*, *Ocimum gratissimum* y *Lippia multiflora*), los extractos de plantas (*Tephrosia vogelii*, *Annona squamosa*, *Berberis lyceum*,

Tamarix aphylla y *Ageratum conyzoides*), las formulaciones a base de plantas y otros tratamientos como las películas biodegradables con terpenos y las hematoporfirinas son opciones prometedoras para el control sostenible de estas garrapatas.

Además, se encontraron seis estudios en Colombia sobre el uso de extractos de plantas para el control de *R. microplus*. En estas investigaciones se informa sobre las altas tasas de mortalidad provocadas por extractos de *Phytolacca bogotensis* y *Morus alba*. De igual forma, *Gliricidia sepium* y *Alnus acuminata* también demostraron eficacia, aunque con resultados variados. Asimismo, *Verbena officinalis* y *Jatropha curcas* presentaron potencial significativo en la reducción de la producción de huevos. Estos hallazgos proporcionan evidencia científica de que las plantas pueden ser alternativas efectivas y sostenibles en el manejo de garrapatas, ofreciendo opciones para complementar los métodos químicos tradicionales y combatir la resistencia de estos organismos a dichos compuestos, así como para evitar el problema de residuos de insecticidas en la carne (Anexo 2).

Discusión

Meirelles *et al.* (2023) subrayan la eficacia de la encapsulación de *M. anisopliae* en alginato de sodio al 2 %, con la cual se logró una mejora significativa en la viabilidad del hongo bajo condiciones adversas, como la radiación UV-B y altas temperaturas. Esta técnica, además, incrementa la efectividad en la reducción de la oviposición y fertilidad de las garrapatas, contrastando favorablemente con conidios no encapsulados.

En un contexto similar, Pulido-Medellín *et al.* (2015) reportaron un aumento del 100 % en la mortalidad de garrapatas a los 14 días postratamiento con *M. anisopliae* en una concentración de 1×10^8 conidios/mL. Este resultado sugiere que la encapsulación podría optimizar el uso del hongo, permitiendo dosis más bajas sin comprometer la eficacia.

En cuanto a la comparación entre cepas, Jones *et al.* (2021) encontraron que diferentes aislados de *M. anisopliae* variaron en eficacia, alcanzando hasta un 98,9 % de mortalidad larval a concentraciones de 108 conidios/mL. Este hallazgo es consistente con el de Mesquita *et al.* (2023), quienes también lograron una mortalidad del 100 % en garrapatas a los 12 días, resaltando la importancia de seleccionar cepas virulentas. Sin embargo, los autores exploraron además la diversidad bacteriana en las garrapatas tratadas y sugieren que el hongo

no solo impacta a dichos organismos, sino también a su microbiota, lo cual podría influir en la efectividad del control biológico.

Por otro lado, Jamra *et al.* (2024) encontraron que *B. bassiana* superó a *M. anisopliae* en el control de *R. microplus* al provocar un índice reproductivo más bajo (0,35) y una oviposición reducida (44,77 %). Este resultado se alinea con el de Lima *et al.* (2022), quienes registraron una mortalidad larval con *M. anisopliae* del 91,87 %, en comparación con el 84,37 % de *B. bassiana*. No obstante, ambos productos comerciales lograron una reducción significativa en la eclosión de larvas: de 2,50 % con Metarril® (*M. anisopliae*) y 4,58 % con Boveril® (*B. bassiana*).

Los enfoques combinados también han demostrado ser prometedores. Por ejemplo, Ferreira *et al.* (2024) exploraron la sinergia entre *B. bassiana* y eugenol e informan de una reducción del 50 % en los parámetros reproductivos de las garrapatas. Lo mismo registraron Zeina *et al.* (2022), quienes indicaron que el uso de adyuvantes aumentó la virulencia de *B. bassiana* y generó tasas de mortalidad significativamente mayores. Estos hallazgos sugieren que las combinaciones de tratamientos pueden ser una estrategia eficaz de control biológico.

También, Sumera *et al.* (2024) investigaron el uso de *F. oxysporum* mejorado con nanopartículas de plata y lograron una mortalidad del 100 % en 24 h bajo condiciones de pH ácido. Este experimento indica que la combinación de tecnologías emergentes puede potenciar los efectos letales de los hongos entomopatógenos, aunque su eficacia en condiciones de campo y la seguridad ecológica requieren más validación.

En el ámbito de los extractos vegetales, Alain *et al.* (2022) registraron tasas de inhibición del 100 % en la incubación de huevos en un tratamiento de 4 mg/mL con *Z. zanthoxyloides* y *T. vogelii*. En contraste, un estudio con *A. squamosa* (Sharma *et al.*, 2022) alcanzó un LC50 de 4,41 % y un LC95 de 10,6 %. Sin embargo, en ensayos de campo la formulación derivada de *A. squamosa* alcanzó una eficacia del 70,4 %, lo cual sugiere un desempeño positivo en condiciones prácticas.

Por otra parte, Coulibaly *et al.* (2023) observaron que los aceites esenciales de *O. americanum*, *O. gratissimum* y *L. multiflora* mostraron un fuerte efecto sinérgico, aunque los autores no proporcionaron datos exactos de mortalidad. Esta combinación

podría superar la eficacia de extractos individuales como los de *B. lyceum* y *T. aphylla* (Malak et al., 2022), que, aunque mostraron actividad significativa, no fueron sinérgicos.

Asimismo, un estudio de Elango y Rahuman (2011) con extractos metanólicos de *A. marmelos* y *A. paniculata* reveló una mortalidad del 100 % contra *R. microplus* a concentraciones altas (2.000-3.000 ppm). En contraste, tratamientos con *A. globiflora* y *A. scleroderma* (Peniche-Cardena et al., 2022) produjeron LC50 significativamente menores (0,007 % p/v), lo que sugiere una mayor potencia acaricida en los primeros.

En términos de formulaciones avanzadas, el uso de películas biodegradables impregnadas con terpenos como carvacrol y timol (Dos Anjos et al., 2024) mostró una LC50 tan baja como 0,076 mg/mL, que representa una mejora significativa respecto a terpenos evaluados por separado, cuyas LC50 fueron hasta 9,1 veces más altas. Este experimento resalta cómo la tecnología de liberación controlada puede potenciar los efectos acaricidas de los compuestos naturales.

Finalmente, los aceites esenciales de *L. nobilis* y *C. officinalis* (Vinturelle et al., 2021) demostraron una eficacia del 100 % a concentraciones del 5 % y 10 %, respectivamente, a la par de fracciones de *E. copacabanensis* (Martins et al., 2023), cuyo extracto alcanzó más del 90 % de mortalidad a concentraciones de 50 mg/mL. Estos resultados destacan la consistencia en la eficacia de los aceites esenciales y extractos vegetales en el control de *R. microplus*.

El extracto formulado ACF6, basado en *A. conyzoides*, mostró una elevada actividad acaricida del 87 %, que lo posiciona como una alternativa eficaz y segura para el control de garrapatas en el ganado (Shanmuganath et al., 2021). Asimismo, los estudios nacionales sobre extractos botánicos como *P. bogotensis* y *M. alba* revelaron mortalidades superiores al 70 % en ensayos in vitro y en campo (Rodríguez et al., 2022), destacando compuestos como saponinas, cumarinas y alcaloides, que podrían ser clave en la efectividad acaricida de estos tratamientos. Igualmente, *G. sepium* y *M. erythrochlamys* también demostraron actividad acaricida prometedora, aunque con valores de LC50 y LC90 que requieren concentraciones relativamente altas para alcanzar eficacia (Jaramillo et al., 2019). En conclusión, el control biológico de *R. microplus* mediante el uso de hongos entomopatógenos y extractos vegetales muestra resultados prometedores, aunque es crucial considerar las variaciones en eficacia y las implicaciones ecológicas de cada

enfoque. La investigación futura debería centrarse en validar estos hallazgos en condiciones de campo y explorar combinaciones que maximicen la eficacia y minimicen el impacto ambiental.

Conclusiones

La revisión de la literatura revela que el uso de hongos entomopatógenos, en particular *M. anisopliae* y *B. bassiana*, emerge como la estrategia más efectiva para el control de *R. microplus*. La encapsulación de *M. anisopliae* en alginato de sodio al 2 % ha demostrado mejorar significativamente su viabilidad en condiciones adversas, además de incrementar su eficacia en la reducción de la oviposición y fertilidad de las garrapatas. Los estudios destacan también que este método permite el uso de dosis más bajas sin comprometer la eficacia del control.

Por otro lado, *B. bassiana* también ha mostrado resultados positivos, superando en algunas pruebas a *M. anisopliae* en cuanto a la reducción de índices reproductivos y oviposición de las garrapatas. La investigación sugiere que la combinación de estos hongos con extractos vegetales y adyuvantes puede potenciar aún más la efectividad del control biológico.

Asimismo, el uso de extractos vegetales, como los derivados de *Z. xanthoxyloides* y *T. vogelii*, ha demostrado un alto potencial acaricida, alcanzando tasas de inhibición del 100 % en la incubación de huevos. La combinación de estos extractos con los hongos entomopatógenos no solo optimiza el control biológico, sino que también ofrece una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

En conclusión, se recomienda adoptar un enfoque integrado que combine el uso de *M. anisopliae* y *B. bassiana* con extractos de plantas medicinales. Esta estrategia puede maximizar la eficacia en el control de infestaciones por *R. microplus*, a la vez que minimiza el impacto ambiental, posicionándose como una alternativa viable y segura para el manejo de garrapatas en el ganado.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de autores

Eliana Ximena Urbano Cáceres, Sharon Elizabeth Cruz-Estupiñán, Javier Antonio Ballesteros-Ricaurte, Martín Orlando Pulido-Medellín: Conceptualización, desarrollo del diseño metodológico, toma de datos, análisis de datos, administración del proyecto, revisión, escritura y edición

Referencias

Aboelhadid, S. M., Arafa, W. M., Mahrous, L. N., Fahmy, M. M. y Kamel, A. A. (2018). Molecular detection of *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus* resistance against deltamethrin in middle Egypt. *Veterinary Parasitology. Regional Studies and Reports*, 13, 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2018.06.008>

Acosta-Zaldívar, M., Qi, W., Mishra, A., Roy, U., King, W. R., Li, Y., Patton-Vogt, J., Anderson, M. Z. Y Köhler, J. R. (2024). Candida albicans' inorganic phosphate transport and evolutionary adaptation to phosphate scarcity (Version 2). *PLOS Genetics*. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1011156>

Alain, A., Hamidou, C. F., Louise, A., Aimée, D. K. A. C. y Witabouna, K. M. (2022). Plants used in Côte d'Ivoire (West Africa) against ticks: Evaluation for acaricidal activity against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Veterinary Parasitology. Regional Studies and Reports*, 35, 100780. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2022.100780>

Álvarez, V., Matamoros-Carvajal, T. y Mena-Marín, A. L. (2017). Determinación in vitro de la eficacia de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en el control de la garrapata común del ganado *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae). *Revista Ciencias Veterinarias*, 35(1), 43–52. <https://doi.org/10.15359/rcv.35-1.3>

Amobonye, A., Bhagwat, P., Pandey, A., Singh, S. y Pillai, S. (2020). Biotechnological potential of *Beauveria bassiana* as a source of novel biocatalysts and metabolites. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 40(7), 1019–1034. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1805403>

Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J. y Romero-Arenas, O. (2023). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: Una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>

Arce, C. D. da S. (2022). Análise genômica da resistência e resiliência de bovinos da raça Angus ao *Anaplasma marginale* e ao

Rhipicephalus microplus [Tesis de doctorado, Universidade Estadual Paulista]. <https://doi.org/10.17616/R31NJN39>

Arraque, A., Ujueta, S., Bonilla, R., Gómez, D. y Rivera, J. (2014). Resistencia a acaricidas en *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* de algunas explotaciones ganaderas de Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 161–170.

Arreguin-Pérez, C. A., Miranda-Miranda, E., Folch-Mallol, J., Ferrara-Tijera, E. y Cossio-Bayyugar, R. (2023). Complete genome sequence dataset of entomopathogenic *Aspergillus flavus* isolated from a natural infection of the cattle-tick *Rhipicephalus microplus*. *Data in Brief*, 48, 109053. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109053>

Bandara, K. J. y Karunaratne, S. P. (2017). Mechanisms of acaricide resistance in the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in Sri Lanka. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 139, 68–72. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.05.001>

Barboza de Almeida, I., Calvo Duarte, F., Lucena Cassiano, L., Costa Fiorini, L., Mello Morán, L., Martins, A. M. C. R. F., Eduardo Marcondes de Almeida, J. y Cristina Mendes, M. (2022). New field technique to evaluate the action of the fungus *Metarhizium anisopliae* on *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* tick. *Biological Control*, 171, 104934. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.104934>

Batiha, G. E., El-Far, A. H., El-Mleeh, A. A., Alsenosy, A. A., Abdelsamei, E. K., Abdel-Daim, M. M., El-Sayed, Y. S. y Shaheen, H. M. (2019). In vitro study of ivermectin efficiency against the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus*, among cattle herds in El-Beheira, Egypt. *Veterinary World*, 12(8), 1319–1326. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.1319-1326>

Beys-da-Silva, W. O., Rosa, R. L., Berger, M., Coutinho-Rodrigues, C. J. B., Vainstein, M. H., Schrank, A., Bittencourt, V. R. E. P. y Santi, L. (2020). Updating the application of *Metarhizium anisopliae* to control cattle tick *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Experimental Parasitology*, 208, 107812. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2019.107812>

Beys-da-Silva, W. O., Santi, L., Berger, M., Calzolari, D., Passos, D. O., Guimarães, J. A., Moresco, J. J. y Yates, J. R. (2014). Secretome of the biocontrol agent *Metarhizium anisopliae* induced by the cuticle of the cotton pest *Dysdercus peruvianus* reveals new insights into infection. *Journal of Proteome Research*, 13(5), 2282–2296. <https://doi.org/10.1021/pr401204y>

Cardoso, A. dos S., Santos, E. G. G., Lima, A. da S., Temeyer, K. B., Pérez de León, A. A., Costa, L. M. y Soares, A. M. dos S. (2020).

- Terpenes on *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Acaricidal activity and acetylcholinesterase inhibition. *Veterinary Parasitology*, 280, 109090. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109090>
- Carneiro, A. S., Mesquita, E. M. da S., Meirelles, L. N., Bittencourt, V. R. E. P. y Golo, P. S. (2022). Compatibility of different *Metarhizium* spp. propagules with synthetic acaricides for controlling *Rhipicephalus microplus*. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 31(1), e018221. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612022018>
- Charlie-Silva, I., Gigliotti, R., Magalhães, P. M., Sousa, I. M. O., Foglio, M. A., Oliveira, M. C. S. y Chagas, A. C. S. (2018). Lack of impact of dietary inclusion of dried *Artemisia annua* leaves for cattle on infestation by *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* ticks. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 9(5), 1115–1119. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.04.004>
- Cortés, J., Betancourt, J., Argüelles, J y Pulido, L. (2010). Distribución de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos y fincas del Altiplano cundiboyacense (Colombia). *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 73–84.
- Costa, A. D. E., Contra, R. y Nematodo, E. L. (2014). Evaluación *in vitro* de hongos nematófagos en zonas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 38(2), 19–32.
- Coulibaly, A., Biguezoton, A. S., Hema, D. M., Dah, F. F., Sawadogo, I., Bationo, R. K., Compaoré, M., Kiendrebeogo, M. y Nèbié, R. C. H. (2023). Evaluation of synergism in essential oils against the cattle tick *Rhipicephalus microplus* in Burkina Faso. *Experimental Parasitology*, 255, 108643. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2023.108643>
- da Silva Lima, A., Soares Rocha, A. P., Serejo, R. S., de Almeida Lima, G. D., de Sousa Lima Neto, J., Machado Ferreira, M. C., Viteri Jumbo, L. O., Costa-Junior, L. M., de Oliveira, E. E. y da Rocha, C. Q. (2021). Acaricide activity of extract and an isolated compound of *Lithraea brasiliensis* on *Rhipicephalus microplus* and selectivity actions against a non-target organism. *Veterinary Parasitology*, 300, 109597. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109597>
- Dannon, H. F., Dannon, A. E., Douro-Kpindou, O. K., Zinsou, A. V., Houndete, A. T., Toffa-Mehinto, J., Elegbede, I. A. T. M., Olou, B. D., y Tamò, M. (2020). Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. *Journal of Cotton Research*, 3(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s42397-020-00061-5>
- De Lima, F. A., Seuring, S. y Sauer, P. C. (2022). A systematic literature review exploring uncertainty management and sustainability outcomes in circular supply chains. *International Journal of Production Research*, 60(19), 6013–6046. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1976859>
- De Rouck, S., Inak, E., Dermauw, W. y Van Leeuwen, T. (2023). A review of the molecular mechanisms of acaricide resistance in mites and ticks. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 159, 103981. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2023.103981>
- De Souza Chagas, A. C., Georgetti, C. S., de Carvalho, C. O., de Sena Oliveira, M. C., Rodrigues, R. A., Foglio, M. A. y de Magalhães, P. M. (2011). In vitro activity of *Artemisia annua* L. (Asteraceae) extracts against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 20(1), 31–35. <https://doi.org/10.1590/s1984-29612011000100007>
- dos Anjos, O. O., Gomes, M. N., Tavares, C. P., Sousa, D. M., Mendonça, C. J. S., Reck, J., Maciel, A. P. y Costa-Junior, L. M. (2024). Polymeric films of corn starch enhance the lethal effects of thymol and carvacrol terpenes upon *Rhipicephalus microplus* ticks. *Veterinary Parasitology*, 110149. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2024.110149>
- Duque, L. S., Marchesini, P., Monteiro, C., Gomes, G. A., Soares Rodrigues, T. H., Mesquita, D. M., Teixeira, A. L. C., Vale da Silva, F. L., Marreto, L. C. N. L. y Maturano, R. (2021). Acaricidal activity of the essential oils from *Leptospermum scoparium*, *Origanum vulgare* and *Litsea cubeba* on *Rhipicephalus microplus*. Influence of the solvents and search for fractions with higher bioactivity. *Veterinary Parasitology*, 300, 109606. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109606>
- Elango, G. y Rahuman, A. A. (2011). Evaluation of medicinal plant extracts against ticks and fluke. *Parasitology Research*, 108(3), 513–519. <https://doi.org/10.1007/s00436-010-2090-9>
- Fantatto, R. R., Chagas, A. C. S., Gainza, Y. A., Politi, F. A. S., Mesquita, L. M. de S., Vilegas, W., Bizzo, H. R., Montanari Junior, Í. y Pietro, R. C. L. R. (2022). Acaricidal and anthelmintic action of ethanolic extract and essential oil of *Achyrocline satureioides*. *Experimental Parasitology*, 236–237, 108252. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2022.108252>
- Ferreira, F. V. y Musumeci, M. A. (2021). Trichoderma as biological control agent: Scope and prospects to improve efficacy. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(5), 90. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03058-7>
- Ferreira, J. R. T., Bittencourt, R. O. B., Angelo, I. C., Tondo, L. A. S., Lima, P. P., Golo, P. S. y *et al.* (2024). Combination of the

- entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and the plant compound eugenol against the *Rhipicephalus microplus* tick: Mortality, morphological alterations and ovarian lipid profile. *BioControl*, 69, 169–183. <https://doi.org/10.1007/s10526-024-10254-5>
- Galindo-Soracá, A. M., Pulido Medellín, M. O. y García-Corredor, D. J. (2019). Efecto de *Beauveria bassiana* (Ascomycota) en el control de *Rhipicephalus microplus* (Arachnida: Ixodida, Ixodidae) resistente a ixodicidas. *Revista Científica Facultad de Ciencias Veterinarias*, Universidad del Zulia, 33(1).
- García, K., Weakley, M., Do, T. y Mir, S. (2022). Current and future molecular diagnostics of tick-borne diseases in cattle. *Veterinary Sciences*, 9(5), 241. <https://doi.org/10.3390/vetsci9050241>
- García-Corredor, D. J., Rodríguez-Vivas, R. I., Pulido-Medellín, O., Díaz-Anaya, A. M. y Andrade-Becerra, R. J. (2016). Evaluación in vitro de *Cordyceps bassiana* (Ascomycota: Sordariomycetes) en el control biológico de *Rhipicephalus microplus*. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 27(1), 130–136. <https://doi.org/10.15381/rivep.v27i1.11467>
- Gomes, I. C. P., Divino, L. D. A., Rodrigues, F. M., Fleury, C. M. F., Ducas, E. S. A., Desordi, J. C., Iglesias, B. A., Santana, R. C., Monteiro, C. M. O., Lopes, W. D. Z., Gonçalves, P. J. y Souza, G. R. L. (2024). Daylight photodynamic inactivation of cattle tick *Rhipicephalus microplus* by porphyrins: An alternative for the ectoparasite control. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B: Biology*, 251, 112847. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2024.112847>
- Grisi, L., Leite, R. C., Martins, J. R. de S., de Barros, A. T. M., Andreotti, R., Cançado, P. H. D., de León, A. A. P., Pereira, J. B. y Villela, H. S. (2014). Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 23(2), 150–156. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612014042>
- Gupta, S., Sangwan, N., Sangwan, A. K., Mann, S., Gupta, S., Kumar, A. y Kumar, S. (2023). Understanding the resistance mechanisms of *Rhipicephalus microplus* ticks to synthetic pyrethroids and organophosphates in south-west regions of Haryana, North India. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 196, 105634. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.105634>
- Hernandez, R., Guerrero, F. D., George, J. E. y Wagner, G. G. (2002). Allele frequency and gene expression of a putative carboxylesterase-encoding gene in a pyrethroid resistant strain of the tick *Boophilus microplus*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 32(9), 1009–1016. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(02\)00037-1](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(02)00037-1)
- Hurtado, O. J. B. y Giraldo-Ríos, C. (2018). Economic and health impact of the ticks in production animals. In *Ticks and Tick-Borne Pathogens*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81167>
- Illa, C., Pérez, A. A., Torassa, M. y Pérez, M. A. (2019). Effect of biocontrol and promotion of peanut growth by inoculating *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* under controlled conditions and field. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 38(1), 121–139. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1910-6>
- Jamra, S., Shakya, M., Jayraw, A. K., Agrawal, V., Singh, M., Sharma, A. K., Bhangale, G. N., Jatav, G. P. y Jamra, N. (2024). Assessment of farmers' knowledge, attitudes and control practices (KAP) to mitigate acaricide resistance and tick-borne diseases. *Parasitology*. <https://doi.org/10.1017/S0031182024001331>
- Jones, M., Gandia, A., John, S. y Bismarck, A. (2021). Leather-like material biofabrication using fungi. *Nature Sustainability*, 4, 9–16. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00606-1>
- Lopera Vélez, J. P., León Hernández, G., Guzmán, P. A. y Escobar Guerra, C. A. (2017). Efecto de los extractos vegetales de *Jatropha curcas* y *Annona muricata* sobre teleoginas de la garrapata común del ganado *Rhipicephalus* (Boophilus) *microplus* bajo condiciones de laboratorio. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 12(1), 21–32. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.12.1.2>
- Luns, D. A. R., Soares, L. de S., Guedes, N. A., Martins, I. V. F., Severi, J. A., Costa, A. V., Morais, P. A. B. y de Queiroz, V. T. (2022). Bioactivity of Meliaceae, Amaryllidaceae, Solanaceae, and Amaranthaceae plant aqueous extracts against the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *Natural Product Research*, 36(22), 5778–5782. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.2016744>
- Malak, N., Niaz, S., Wadood, A., Nasreen, N., Ali, I., Iqbal, J., Swelum, A. A., Ezzat Ahmed, A., Alkahtani, M. A., Zajac, Z., & Khan, A. (2022). In silico approaches to develop herbal acaricides against *Rhipicephalus* (Boophilus) *microplus* and in vitro anti-tick activities of selected medicinal plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(6), 103302. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103302>
- Martins, V. de C., Marchesini, P., Duque, L., França, L. P., Ferreira, Y. da S., Souza, M. da C., Monteiro, C., Godoy, R. L. de O. y de Carvalho, M. G. (2023). Acaricidal activity of a 2-methoxy-clovan-9-ol rich fraction from *Eugenia copacabanensis* (Myrtaceae) extract on *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Experimental Parasitology*, 253, 108604. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2023.108604>
- Martínez-Canto, O. J., Cristóbal-Alejo, J., Tun-Suárez, J. M. y Reyes-

- Ramírez, A. (2022). Trichoderma spp. como agente de control biológico contra fitopatógenos en *Solanum lycopersicum* L. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 26(2), 19–20. <https://doi.org/10.53897/revia.22.26.19>
- Mascarin, G. M. y Jaronski, S. T. (2016). The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(11), 177. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2131-3>
- Meirelles, L. N., Mesquita, E., Almeida-Corrêa, T., Barbosa-Bitencourt, R. O., Oliveira, J. L., Fernandes-Fraceto, L., Guedes-Camargo, M. y Pinheiro-Bittencourt, V. R. E. (2023). Encapsulation of entomopathogenic fungal conidia: Evaluation of stability and control potential of *Rhipicephalus microplus*. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 14(4), 102184. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2023.102184>
- Mendes, T. de M., Balbino, J. N. F., Silva, N. C. T. y Farias, L. A. de. (2019). *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* e *Rhipicephalus sanguineus*. Uma revisão sobre as perspectivas, distribuição e resistência. *Pubvet*, 13(6), 1–9. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n6a347.1-9>
- Mesquita, E., Hu, S., Lima, T. B., Golo, P. S. y Bidochka, M. J. (2023). Utilization of *Metarhizium* as an insect biocontrol agent and a plant bioinoculant with special reference to Brazil. *Frontiers in Fungal Biology*, 4, 1276287. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2023.1276287>
- Muniz, E. R., Paixão, F. R. S., Barreto, L. P., Luz, C., Arruda, W., Angelo, I. C. y Fernandes, É. K. K. (2020). Efficacy of *Metarhizium anisopliae* conidia in oil in water emulsion against the tick *Rhipicephalus microplus* under heat and dry conditions. *BioControl*, 65(3), 339–351. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-10002-5>
- Obaid, M. K., Islam, N., Alouffi, A., Khan, A. Z., da Silva Vaz, I., Tanaka, T. y Ali, A. (2022). Acaricides resistance in ticks: Selection, diagnosis, mechanisms, and mitigation. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12, 941831. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.941831>
- Peniche-Cardena, Á., Sosa-Rueda, J., Rosado-Aguilar, J. A., Rodríguez-Vivas, R. I., Fernández, J. J. y Cen-Pacheco, F. (2022). Acaricidal activity of Mexican plants against *Rhipicephalus microplus* resistant to amitraz and cypermethrin. *Veterinary Parasitology*, 307–308, 109733. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2022.109733>
- Pereira, D. F. S., Ribeiro, H. S., Gonçalves, A. A. M., da Silva, A. V., Lair, D. F., de Oliveira, D. S., Boas, D. F. V., Conrado, I. dos S. S., Leite, J. C., Barata, L. M., Reis, P. C. C., Mariano, R. M. da S., Santos, T. A. P., Coutinho, D. C. O., Gontijo, N. de F., Araujo, R. N., Galdino, A. S., Paes, P. R. de O., Melo, M. M. y Giunchetti, R. C. (2022). *Rhipicephalus microplus*: An overview of vaccine antigens against the cattle tick. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 13(1), 101828. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101828>
- Petersen, K., Vakkalanka, S. y Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>
- Polanco-Echeverry, D. N. y Ríos-Ororio, L. A. (2016). Aspectos biológicos y ecológicos de las garrapatas duras. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(1), 81–95. https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num1_art463
- Pulido-Medellín, M. O., Rodríguez-Vivas, R. I., & García-Corredor, D. J. (2015). Evaluación de la eficacia de la cepa MaF1309® de *Metarhizium anisopliae* en el control biológico de garrapatas adultas de *Rhipicephalus microplus* en Tunja, Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Veterinarias UCV*, 56(2), 75–81.
- Rodríguez-Molano, C. E., Niño Monroy, L. E. y Pulido Suárez, N. J. (2022). Evaluación del efecto ixodicida de extractos botánicos sobre garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Ciencia en Desarrollo*, 13(2), 1–9. <https://doi.org/10.19053/01217488.v13.n2.2022.14168>
- Rodríguez-Pacheco, J. E., Pulido-Medellín, M. O. y García-Corredor, D. J. (2017). Resistencia in vitro de la garrapata *Rhipicephalus microplus* a organofosforados, piretroides y amitraz en el Departamento de Boyacá, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 58(1), 17–23.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Hodgkinson, J. E. y Trees, A. J. (2012). Resistencia a los acaricidas en *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Situación actual y mecanismos de resistencia. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(Supl. 1), 9–24.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Jonsson, N. N. y Bhushan, C. (2018). Strategies for the control of *Rhipicephalus microplus* ticks in a world of conventional acaricide and macrocyclic lactone resistance. *Parasitology Research*, 117(1), 3–29. <https://doi.org/10.1007/s00436-017-5677-6>
- Rodríguez-Vivas, R. I., Rosado-Aguilar, J. A., Ojeda-Chi, M. M., & Pérez-Cogollo, L. C. (2014). Control integrado de garrapatas en la ganadería bovina. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3), 211–221.

- Romero-Salas, D., Bravo-Ramos, J. L., Sanchez-Montes, D. S., Cardenas-Amaya, C., Gamboa-Prieto, J., Cruz-Romero, A. y Olivares-Muñoz, A. (2022). Acaricidal activity of combined commercial strains of entomopathogenic fungi against *Amblyomma mixtum* and *Rhipicephalus microplus* ticks. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3), 113, 1–6.
- Ruela Nunes, P., Barrios Maestre, R., Silva-Acuña, R. y Romero-Marcano, G. (2019). In vitro evaluation of entomopathogenic fungi on the control of tick of bovine cattle. *Revista Veterinaria*, 31, 283–293.
- Samish, M., Rot, A., Ment, D., Barel, S., Glazer, I. y Gindin, G. (2014). Efficacy of the entomopathogenic fungus *Metarhizium brunneum* in controlling the tick *Rhipicephalus annulatus* under field conditions. *Veterinary Parasitology*, 206(3–4), 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.10.019>
- Sarli, M., Torrents, J., Toffaletti, J. R., Morel, N. Y. y Nava, S. (2023). Evaluation of the impact of successive acaricide treatments on resistance evolution in *Rhipicephalus microplus* populations: Monodrugs versus drug combinations. *Research in Veterinary Science*, 164, 105040. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.105040>
- Sepúlveda, A. L., Pulido-Medellín, M. O., Rodríguez-Pacheco, J. E., & García-Corredor, D. J. (2017). Eficiencia in vitro de hongos entomopatógenos y productos químicos sobre *Rhipicephalus microplus*. *Veterinaria y Zootecnia*, 11(2), 1–14.
- Shanmuganath, C., Kumar, S., Singh, R., Sharma, A. K., Saminathan, M., Saini, M., Chigure, G., Fular, A., Kumar, R., Juliet, S., Upadhaya, D., Kumar, B., Srivastava, S. y Ghosh, S. (2021). Development of an efficient antitick natural formulation for the control of acaricide-resistant ticks on livestock. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 12(3), 101655. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101655>
- Sharma, A. K., Tiwari, S. S., Kumar, S., Rawat, A. K. S., Srivastava, S., Ray, D., Singh, N. K., Rawat, S. S., Sangwan, A. K. y Ghosh, S. (2022). Establishment of antitick efficacy of a phytoformulation prepared from *Annona squamosa* leaf extracts for the management of acaricide resistant tick infestations on cattle. *Acta Tropica*, 233, 106463. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106463>
- Sumera, K., Ilczak, T., Bakkerud, M., Dearnley Lane, J., Pallas, J., Ortega Martorell, S., Sumera, A., Webster, C. A., Quinn, T., Sandars, J., & Siriwardena, A. N. (2024). CPR Quality Officer role to improve CPR quality: A multi centred international simulation randomised control trial. *Resuscitation Plus*, 17, 100537. <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2023.100537>
- Temeyer, K. B., Olafson, P. U., Brake, D. K., Tuckow, A. P., Li, A. Y., y Pérez de León, A. A. (2013). Acetylcholinesterase of *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* and *Phlebotomus papatasi*: Gene identification, expression, and biochemical properties of recombinant proteins. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 106(3), 118–123. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.01.005>
- Tofiño Rivera, A. P., Ortega Cuadros, M., Pedraza Claros, B., Perdomo Ayola, S. C., y Moya Romero, D. C. (2018). Efectividad de *Beauveria bassiana* (Baubassil®) sobre la garrapata común del ganado bovino *Rhipicephalus microplus* en el Departamento de la Guajira, Colombia. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(4), 426–430. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.10.005>
- Trager, W. (1939). Intracellular microorganism-like bodies in the tick *Dermacentor variabilis* Say. *The Journal of Parasitology*, 25(3), 233. <https://doi.org/10.2307/3272507>
- Valle, S., Caicedo, W., y Masapanta, L. (2020). Eficacia de un aislamiento nativo de *Metarhizium anisopliae* (T16301) para el control de garrapatas (*Rhipicephalus microplus*) adultas en condiciones in vitro. *Livestock Research for Rural Development*, 32(7), 1–10.
- Valle-Ramírez, S. B., Torres-Gutiérrez, R., Caicedo-Quinche, W. O., Abril-Saltos, R. V., y Sucusañay-Villalba, D. J. (2022). Aislamiento y caracterización de *Metarhizium* spp. de cultivos de caña de azúcar y su patogenicidad contra *Mahanarva andigena* (Hemiptera: Cercopidae). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art2361
- Vargas-Cuy, D. H., Torres-Caycedo, M. I., y Pulido-Medellín, M. O. (2011). Anaplasmosis y babesiosis: Estudio actual. *Pensamiento y Acción*, 26, 45–60.
- Vilela, V. L. R., Feitosa, T. F., Bezerra, R. A., Klafke, G. M., y Riet-Correa, F. (2020). Multiple acaricide-resistant *Rhipicephalus microplus* in the semi-arid region of Paraíba State, Brazil. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 11(4), 101413. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101413>
- Vinturelle, R., Mattos, C., Meloni, J., Lamberti, H. D., Nogueira, J., da Silva Vaz Júnior, I., Rocha, L., Lione, V., y Folly, E. (2021). Evaluation of essential oils as an ecological alternative in the search for control *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 23, 100523. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2020.100523>
- Xiao, G., Ying, S.-H., Zheng, P., Wang, Z.-L., Zhang, S., Xie, X.-Q., Shang, Y., St. Leger, R. J., Zhao, G.-P., Wang, C., y Feng, M.-G. (2012).

- Genomic perspectives on the evolution of fungal entomopathogenicity in *Beauveria bassiana*. *Scientific Reports*, 2(1), 483. <https://doi.org/10.1038/srep00483>
- Yari Briones, D. I., Paredes-Valderrama, J. R., Milla Pino, M. E., y Murga Valderrama, N. L. (2021). Effect of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on the control of ticks in cattle. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(5), 1–7. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i5.19586>
- Zeina, G. W., y Laing, M. (2022). Isolation and evaluation of South African isolates of *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) on *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Experimental and Applied Acarology*, 86(1), 157–171. <https://doi.org/10.1007/s10493-021-00674-8>
- Zeina, G. W., Ahmed, M., Saeed, M., Ziena, L., y Laing, M. (2022). Field evaluation of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin isolates for the biocontrol of *Rhipicephalus microplus* (Canestrini) ticks on cattle. *Experimental Parasitology*, 235, 108215. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2022.108215>
- Zin, N. A., y Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2020.09.003>