Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

El enemigo persistente de la ganadería en México: estado actual y control de “la garrapata”

The persistent enemy of livestock in Mexico: the current status and control of “the tick”

García-Ponce, R.[1], Villarreal-Villarreal, J.P.[2], Álvarez-Román, R.[3], Rivas-Morales, C.[1], Galindo-Rodríguez, S.A.[1]*

[1] Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, C.P. 66450, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
[2] Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nuevo León, C.P. 66054, General Escobedo, Nuevo León, México.
[3] Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León, C.P. 64460, Monterrey, Nuevo León, México.
romario.garciapo@uanl.edu.mx; pablo.villarrealvl@uanl.edu.mx; rocio.alvarezrm@uanl.edu.mx; catalina.rivasmr@uanl.edu.mx; sergio.galindord@uanl.edu.mx*

Innovación tecnológica: Revisión del impacto de la garrapata en la ganadería mexicana, alternativas actuales y perspectivas para su control.

Área de aplicación industrial: Sistemas de producción pecuarios.

Recibido: 15 julio 2023
Aceptado: 25 enero 2024

Abstract

The cattle tick *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* represents an important problem for Mexican livestock due to its direct (*e.g.* productive losses) and indirect (*e.g.* vector of pathogens) negative effects, which is reflected in large annual economic losses in livestock production systems. The most widely used control method is based mainly on the application of synthetic ixodicides; however, their continuous and indiscriminate use has led to the emergence of tick populations resistant to the main families of ixodicides. This is a limitation for an effective tick control and has a negative impact on the health of animals, humans and the environment. These global problems have led to search alternatives for tick control, including (1) biological control based on entomopathogenic fungi, (2) the development of vaccines, (3) the use of synergists, (4) the use of natural products as ixodicides and (5) the implementation of strategies that integrate the different control tools, in order to reduce tick infestations and obtain efficient and environmentally friendly

alternatives. The aim of this paper is to present the situation of the *R.* (*B.*) *microplus* tick in Mexico, as well as the tools, strategies and tendencies that are currently practiced to achieve an effective control of the tick.

Key Words: Integral management, Ixodicides, Natural products, Resistance, Ticks.

Resumen

La garrapata del ganado bovino *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* representa una problemática importante para la ganadería mexicana debido a sus efectos negativos directos (*e.g.* pérdidas productivas) e indirectos (*e.g.* vector de agentes patógenos), lo que se ve reflejado en grandes pérdidas económicas anuales en los sistemas productivos pecuarios. El método de control más utilizado se basa, principalmente, en la aplicación de ixodicidas sintéticos, sin embargo, su uso continuo e indiscriminado ha llevado al surgimiento de poblaciones de garrapatas resistentes a las principales familias de ixodicidas. Esto es una limitante para un control eficaz de la garrapata, además presenta un impacto negativo para la salud de animales, seres humanos y al medio ambiente. Estas problemáticas mundiales dan pie a la búsqueda de alternativas en el control de la garrapata, incluyendo: (1) el control biológico a base de hongos entomopatógenos, (2) el desarrollo de vacunas, (3) el uso de sinergistas, (4) el aprovechamiento de los productos naturales como ixodicidas y (5) la implementación de estrategias que integren las distintas herramientas de control, con la finalidad de reducir las infestaciones por garrapatas y obtener alternativas eficientes y amigables con el medio ambiente. El objetivo del presente artículo es presentar la problemática que representa la garrapata *R.* (*B.*) *microplus* en México, así como, las herramientas, estrategias y tendencias que se practican actualmente para lograr un control eficaz de la misma.

Palabras clave: Garrapatas, Ixodicidas, Manejo integral, Productos naturales, Resistencia.

1. Introducción

La garrapata *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* es un ectoparásito hematófago que afecta principalmente al ganado bovino (Grisi *et al*., 2014). Debido a sus efectos directos sobre la salud de los bovinos, e indirectos como vector de agentes patógenos, esta garrapata tiene un impacto negativo en los sistemas ganaderos de producción, ya que, se asocia a la disminución de la producción de carne y leche (De la Fuente *et al*., 2008). En México se han estimado pérdidas económicas anuales de 573.61 millones de dólares por infestaciones de *R.* (*B.*) *microplus* (Rodríguez-Vivas *et al*., 2017).

La distribución de esta garrapata a nivel mundial es amplia y en México abarca el 66% del territorio nacional (SENASICA, 2023). El control químico es el más utilizado en los sistemas productivos ganaderos para su tratamiento (Rentería y Sevilla, 2015), sin embargo, su uso excesivo y descontrolado ha generado el surgimiento de poblaciones de garrapatas multirresistentes a los principios activos (Fernández-Salas *et al*., 2012; Meneghi *et al*., 2016; Rodríguez-Vivas *et al*., 2021). A esta problemática se le debe agregar la toxicidad y el efecto residual de los ixodicidas en la carne y la leche, lo que ocasiona problemas en la salud de los animales y los seres humanos, además del

impacto negativo al medio ambiente (Rodríguez-Vivas *et al*., 2011).

Estas dificultades han dado paso a la búsqueda de alternativas para el control de la garrapata (Willadsen, 2006), por ejemplo, el uso de razas menos susceptibles a las garrapatas, la rotación de pastizales, el control biológico a base de hongos entomopatógenos (Ojeda-Chi *et al*., 2011), el uso de productos naturales (Adenubi *et al*., 2016) y los antígenos vacunales (Pereira *et al*., 2022), inclusive se han implementado estrategias metodológicas que integran dos o varias de estas alternativas de control de garrapatas (Rodríguez-Vivas *et al*., 2014).

En el presente artículo se aborda la problemática que representa *R.* (*B.*) *microplus* para la ganadería en México, así como la situación actual en el desarrollo de herramientas y estrategias para su control eficaz.

2. Distribución de la garrapata en México

Rhipicephalus (*B.*) *microplus* pertenece a la familia Ixodidae, también conocida como garrapatas duras (Estrada-Peña, 2015). Presenta un ciclo de vida de un solo hospedante con tres estadios (*i.e*. larva, ninfa y adulto) y se divide en dos fases de vida, la libre y la parasitaria (Figura 1) (Aguilar *et al*., 2021).

En México la distribución geográfica de la garrapata se relaciona con factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa, la altitud, la vegetación y la presencia, abundancia y movilización de hospedantes. Además, también influyen las prácticas de control que el humano ejerce sobre las poblaciones de garrapatas (Cantú & García, 2013).

La garrapata se encuentra ampliamente distribuida en zonas tropicales, templadas y semiáridas, abarcando el 66% del territorio nacional (Figura 2). Según el estatus de sanidad presentado por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), la superficie del territorio mexicano libre del ectoparásito comprende 599,367.84 km^2, es decir el 30.6% del territorio nacional, representada por los Estados de Sonora, Tlaxcala, Aguascalientes, Baja California, Chihuahua y el Norte de Baja California Sur. En fase de erradicación se encuentran algunos municipios de Baja California Sur, Sinaloa y Coahuila con una superficie de 67,472.76 km^2, que corresponde al 3.44% del territorio nacional (SENASICA, 2023).

3. Impacto económico y sanitario

Se ha estimado que el 80% de la población bovina mundial está expuesta a la infestación por garrapatas. De acuerdo con la "Campaña Nacional de Control de la Garrapata *R.* (*B.*) *microplus*", en México, se considera que el número estimado de bovinos en riesgo de infestación por esta garrapata es de 24,973,983 (Rodríguez-Vivas *et al*., 2017).

Rhipicephalus (*B.*) *microplus* es responsable de diferentes afectaciones al sector pecuario. Entre sus efectos directos encontramos la reducción de los niveles de producción, alteraciones reproductivas, daños a las pieles por picaduras, formación de abscesos, pérdida de sangre de los bovinos, inoculación de toxinas y aumento en la transmisión de dermatofitosis y miasis (Reck *et al*., 2014). Por otra parte, de manera indirecta es vector de agentes patógenos específicos como *Babesia bigemina*, *B. bovis* y *Anaplasma marginale*, ocasionando numerosas pérdidas productivas en el hato ganadero (De la Fuente *et al*., 2008).

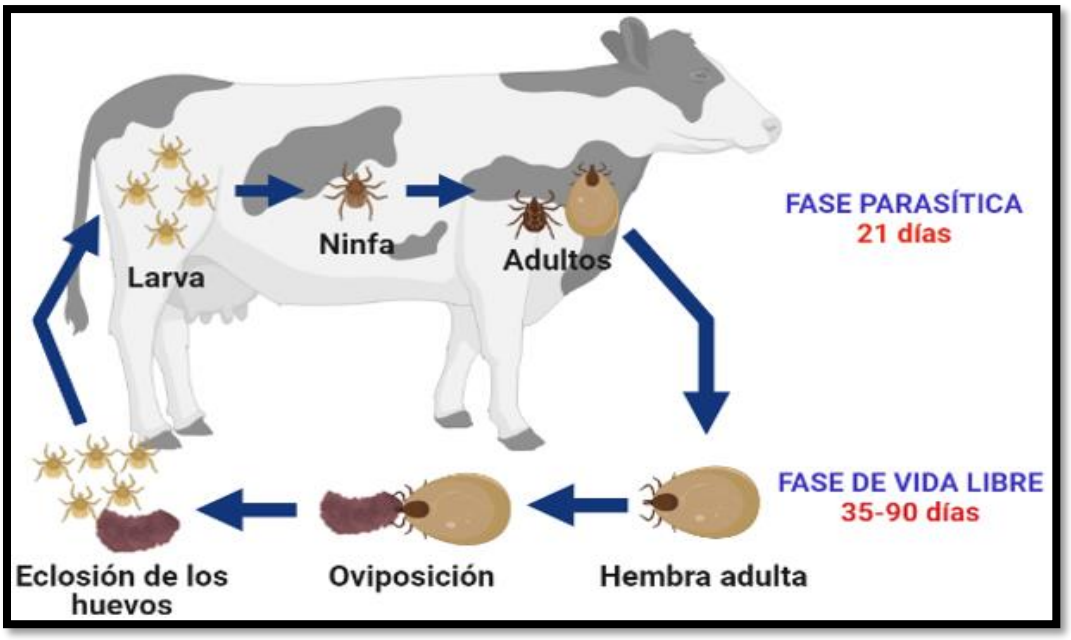


Figura 1. Ciclo biológico de la garrapata *R.* (*B.*) *microplus* (Elaboración propia) (Aguilar *et al*., 2021).

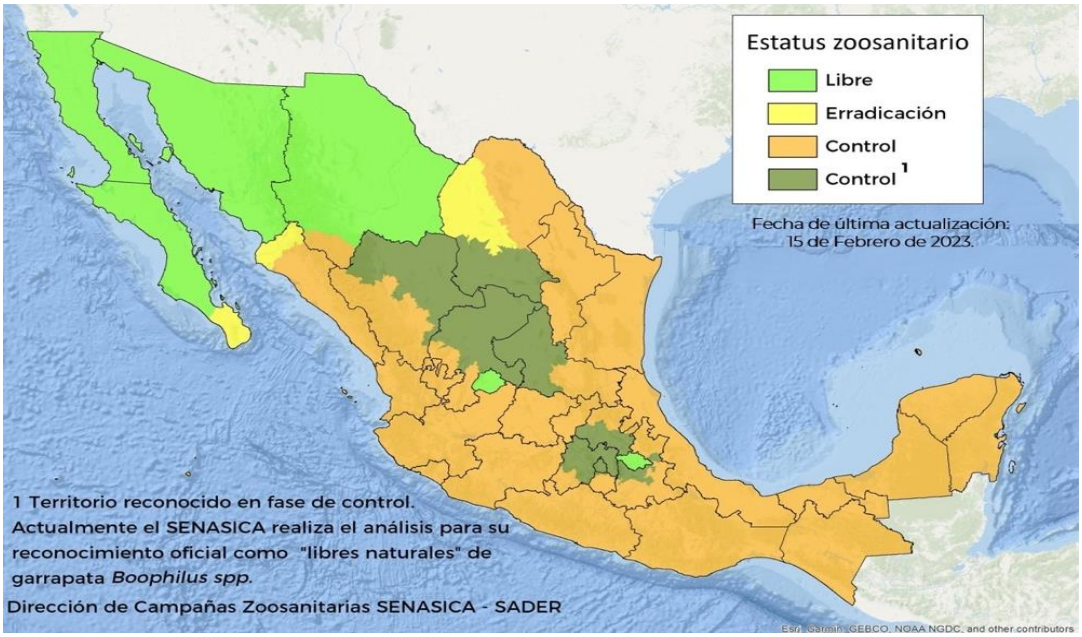


Figura 2. Estatus zoosanitario de *R.* (*B.*) *microplus* en México (SENASICA, 2023).

A nivel mundial, las estimaciones monetarias anuales asociadas a los efectos negativos de la garrapata oscilan entre los 13.9 y 18.7 mil millones de dólares (Rodríguez-Vivas *et al*., 2017). En México se estima que las pérdidas para el hato lechero son de 68,878,694 dólares, mientras que, para el ganado de carne son de 504,729,382 dólares; en suma, la pérdida económica por *R.* (*B.*) *microplus* en el ganado mexicano podría acercarse a los 573,608,076 dólares (Rodríguez-Vivas *et al*., 2017).

4. Control químico y surgimiento de la resistencia

Durante las últimas décadas el principal método de control de *R.* (*B.*) *microplus* ha sido la aplicación de ixodicidas sintéticos, sin embargo, se ha vuelto ineficaz en algunas regiones debido a la aparición de garrapatas resistentes a estos productos. La resistencia puede describirse como una reducción en la susceptibilidad de un parásito al tratamiento cuando se usa en la concentración recomendada y de acuerdo con todas las recomendaciones para su uso (FAO, 1979). Debido a la escasez de productos antiparasitarios útiles, este fenómeno es uno de los mayores problemas para el sector pecuario.

Los ixodicidas sintéticos, también conocidos como acaricidas o garrapaticidas, generalmente se presentan como concentrados emulsificables y soluciones concentradas, las cuales contienen al ingrediente activo, solventes, emulsificantes o agentes humectantes que juegan un papel importante en la dilución final para su aplicación sobre los animales. Las cualidades que debe poseer un producto garrapaticida incluyen: tener una eficacia superior al 99%, presentar un efecto residual, tener efecto sobre el potencial reproductivo de las garrapatas y presentar estabilidad en el baño (Ortiz & Soberanes, 2018).



Figura 3. Infestación por la garrapata *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* (Elaboración propia).

Entre los químicos utilizados comúnmente como ixodicidas en México encontramos a los compuestos organofosforados, piretroides sintéticos, amidinas, fenilpirazoles, lactonas macrocíclicas e inhibidores del desarrollo. Dichos productos presentan diversos mecanismos de acción sobre la garrapata, sin embargo, su eficacia se encuentra limitada, principalmente debido a errores en el factor operacional, lo cual ha originado poblaciones de garrapatas resistentes. Este incremento en las últimas décadas se ha observado, principalmente, en regiones con climas tropicales y subtropicales, donde la dinámica poblacional de esta garrapata es elevada. Desafortunadamente al tener estas infestaciones (Figura 3), los ganaderos aplican tratamientos en periodos cortos, presionando así a las poblaciones al desarrollo de resistencia. Además, para

enfrentar a las garrapatas resistentes, los ganaderos se ven en la necesidad de modificar los esquemas de tratamiento, incrementando la concentración recomendada por el fabricante y/o el número de tratamientos; también suelen optar por cambiar a otro producto con un principio activo diferente, lo que genera gastos adicionales en mano de obra, nuevos productos y una vida media de los productos determinada por la intensidad de su uso (Castellanos, 2018).

Actualmente, en México, se tiene resistencia a todos los grupos de ixodicidas químicos disponibles en el mercado (Rodríguez-Vivas *et al*., 2021), con una tendencia al aumento del número de poblaciones resistentes. Así mismo, se ha intensificado el efecto tóxico sobre especies que no son el objetivo, incluidos los humanos, animales, organismos acuáticos e insectos benéficos para los ecosistemas (Jain *et al*., 2020). En su conjunto, estas son problemáticas de interés que necesitan con urgencia la investigación y el desarrollo de alternativas que involucren controlar al parásito de una manera más sostenible, ambientalmente segura y rentable.

5. Manejo de la resistencia a ixodicidas

La resistencia se considera como la capacidad adquirida por los individuos de una población parásita que les permite sobrevivir a dosis de químicos que generalmente son letales para una población normal (Nari & Hansen, 1999; Alonso-Díaz *et al*., 2006).

El uso inadecuado de los ixodicidas es el factor que más influye directamente en la selección de garrapatas resistentes. Esto se debe a que la exposición continua a un químico da como resultado la eliminación de los individuos susceptibles y, al mismo tiempo el aumento de organismos resistentes en una población, lo cual se conoce como presión de selección (Alonso-Diaz *et al*., 2006). Cuando nos referimos al uso inadecuado de ixodicidas, se hace referencia a prácticas como:

- Uso de mezclas no evaluadas por un laboratorio, es decir, mezclas realizadas en campo por personas no capacitadas.
- Uso de productos agrícolas en animales domésticos.
- Realizar los baños con cantidades insuficientes de producto.
- Un calendario inadecuado del uso de ixodicidas, causando un sobreuso o abuso de estos.

Como se muestra en la Figura 4, el manejo de la resistencia es uno de los principales retos en la actualidad. El Manual para el Control de la Garrapata que Afecta al Ganado Bovino (Rodríguez-Vivas, 2022) proporciona algunas recomendaciones para ayudar a retrasar el fenómeno de la resistencia a los ixodicidas.



Figura 4. Recomendaciones para retrasar la resistencia de las garrapatas a los ixodicidas (Rodríguez-Vivas, 2022) (Elaboración propia).

6. Alternativas para el control de la garrapata

La necesidad de establecer medidas capaces de controlar la garrapata, o de evitar el establecimiento de la resistencia, ha tomado gran importancia para la ganadería en México. Una de las principales medidas a tomar en cuenta es el manejo correcto y responsable de los ixodicidas sintéticos, sin embargo, debido a la situación actual de resistencia en el país es necesario buscar alternativas con la finalidad de tener un control de la garrapata que sea eficiente, rentable y amigable con el medio ambiente (Figura 5).

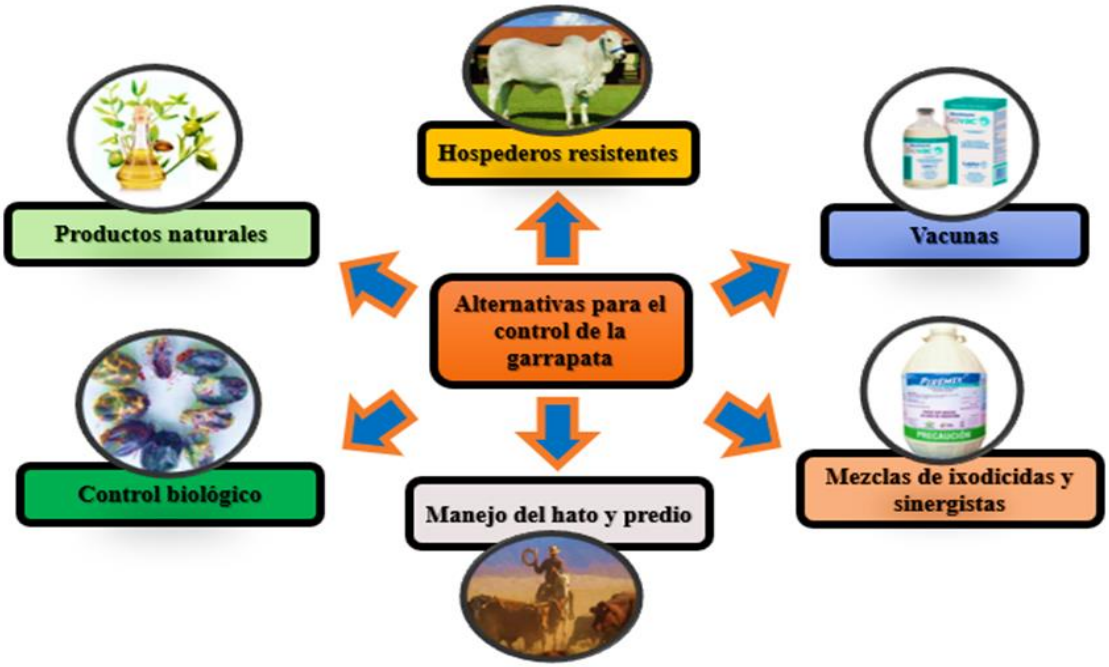


Figura 5. Alternativas para el control de la garrapata *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* (Elaboración propia).

Selección de hospedantes resistentes. Se consideran hospederos resistentes aquellos en los que las infestaciones tienen un número reducido de garrapatas. Se ha observado que las razas *Bos indicus* (*e.g*. Brahaman, Nelore, Gyr, Guzerat, etc.) presentan menores infestaciones que el ganado *Bos taurus*, por lo que, se recomienda que en las zonas con alta dinámica poblacional de garrapatas incluir razas o cruzas de *Bos indicus* (Rodríguez-Vivas *et al*., 2018).

Manejo del hato y del predio. Es una alternativa operacional donde el principal objetivo es la modificación del hábitat de la garrapata para afectar su desarrollo en la fase del ciclo biológico de vida libre. Una alternativa de manejo es el uso de especies de plantas que repelen, atrapen u obstaculicen a las garrapatas que se encuentran en la búsqueda de su hospedero; estas pueden ser cultivadas estratégicamente en los predios ayudando a disminuir las infestaciones por garrapatas (Rodríguez-Vivas, 2022). Otra alternativa es la rotación y el descanso de praderas, esta medida ayuda a la reducción de las infestaciones por garrapatas. Se recomienda realizar el pastoreo de los animales nuevamente en una pradera después de 29 a 41 días de descanso, debido a que se cree que entre los días 30 y 40 puede haber altas infestaciones de larvas en la pradera; se considera el día 1 como el momento en el que se llevó a cabo el desprendimiento de la garrapata hembra adulta ingurgitada. Se considera que al evitar este periodo las larvas quedan expuestas a condiciones ambientales negativas (*e.g*. altas temperaturas, radiación solar, lluvias, etc.) causando una disminución de larvas disponibles en la pradera (Rodríguez-Vivas, 2022). Por otro lado, la quema de praderas puede ser utilizada como método de control, debido a que el fuego afecta directamente a las garrapatas por la exposición a altas temperaturas, sin embargo, solo debe de realizarse cuando no exista otra alternativa viable, ya que tiene un impacto negativo en el suelo y en la calidad de los pastos (Rodríguez-Vivas *et al*., 2014).

Control biológico. Este consiste en utilizar de manera consciente organismos vivos para reducir las poblaciones de organismos plaga, considerando a los hongos entomopatógenos como los principales agentes biológicos que potencialmente pueden ser usados para el control de garrapatas (Ojeda-Chi *et al*., 2011). Los hongos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* han demostrado una eficacia potencial en el control de la garrapata en sus diversas etapas de desarrollo. En el trópico mexicano el hongo *M. anisopliae* presenta buena eficacia (64-100%) para el control de larvas de *R.* (*B.*) *microplus* en praderas (Ojeda-Chi *et al*., 2010) y, de igual manera, para controlar garrapatas adultas (40-90%) en bovinos infestados naturalmente (Alonso-Díaz *et al*., 2007). Recientemente, se realizaron investigaciones con diferentes aislamientos locales brasileños de *M. anisopliae* determinando su virulencia en condiciones de laboratorio contra huevos, larvas y hembras adultas de *R.* (*B.*) *microplus*. Se determinó una disminución de la eclosión larval de todos los aislados y una mortalidad de 98.9 y 99.9% en larvas, mostrando así, una eficacia de 70.83 y 64.27% en adultas, para dos aislados nativos del hongo respectivamente, siendo así considerados como candidatos prometedores para las aplicaciones en campo contra *R.* (*B.*) *microplus* (Jones *et al*., 2021). En otro estudio similar se evaluó la virulencia de aislados nativos sudafricanos de *B. bassiana* sobre larvas de la garrapata del ganado bovino, identificando dos cepas como las más virulentas, con mortalidades del 91 y 93%; los resultados sugirieron que potencialmente podrían usarse como agentes de biocontrol de la garrapata (Zeina & Laing, 2022). Diversos autores han mencionado la importancia de aislar cepas de hongos entomopatógenos localmente, ya que estas se encuentran adaptadas a las condiciones naturales de su

origen geográfico, por lo tanto, es un factor para tomarse en cuenta durante el desarrollo de agentes de biocontrol efectivos contra la garrapata (Alonso-Díaz *et al*., 2007; Jones *et al*., 2021; Zeina & Laing, 2022).

Vacunas. El uso de las vacunas se presenta como una alternativa prometedora con ventaja sobre los ixodicidas sintéticos, ya que se consideran amigables con el medio ambiente y no cuentan con un efecto residual en la carne o en la leche (Pereira *et al*., 2022). En América Latina se comercializan dos vacunas basadas en la proteína Bm86, la cual es un antígeno que se encuentra presente en todas las fases de la garrapata. Estas vacunas tienen nombre comercial de TickGARD® y Gavac®, y su eficacia ha sido reportada en diferentes países. En un estudio realizado en Brasil, utilizando Gavac®, el ganado fue sometido a una infestación natural con *R.* (*B.*) *microplus* y se pudo reducir el número de garrapatas en un 47% (Rodríguez *et al*., 1995). En México el laboratorio Lapisa S.A. lanzó la vacuna Bovimune Ixovac®, formulada con proteína recombinante Bm86, de la cual actualmente no existen estudios publicados sobre su eficacia. Por otro lado, los estudios de vacunas basadas en Bm86 han demostrado variaciones en la eficacia dependiendo de la población de garrapatas (Parizi *et al*., 2009). Principalmente, se cree que se debe a variaciones genéticas de la proteína Bm86 entre las poblaciones de garrapatas (García-García *et al*., 2000). No obstante, se ha demostrado que las vacunas pueden conferir inmunidad cruzada y, por lo tanto, proteger contra otras especies de garrapatas (Pipano *et al*., 2003; de Vos *et al*., 2001; Kumar *et al*., 2012), incluso contra *Amblyomma mixtum*, otra especie de garrapata con amplia distribución en México (Rodríguez-Valle *et al*., 2012). Actualmente, las investigaciones se centran en analizar varias proteínas como posibles antígenos vacunales contra *R.* (*B.*) *microplus* incluidas peptidasas, inhibidores de serina proteinasa, glutatión-S-transferasas, metaloproteasas y proteínas ribosómicas (Pereira *et al*., 2022). Sin embargo, se necesita profundizar en la investigación para desarrollar vacunas seguras y eficientes, que puedan ser eficaces en distintitas especies de garrapatas e incluyan antígenos adicionales para promover el bloqueo de infecciones de patógenos transmitidos por garrapatas.

Productos naturales. Los productos naturales, como los extractos vegetales, aceites esenciales y compuestos aislados de las plantas se han considerado como relativamente seguros con un menor riesgo para el medio ambiente y para la salud animal y humana (Pavela, 2014). Se considera que su actividad ixodicida se debe a la presencia de moléculas biológicamente activas producidas por el metabolismo de las plantas, las cuales tienen la capacidad de afectar distintos órganos y sistemas de la garrapata, por ejemplo, daño celular a causa de estrés oxidativo, causando así afectaciones a los sistemas reproductor y digestivo (Arafa *et al*., 2020; Penha *et al*., 2021; Agwunobi *et al*., 2020a); además, se ha reportado daño en las barreras de protección de la garrapata (*e.g*. sistema del integumento) (Lima de Souza *et al*., 2017; Agwunobi *et al*., 2020b) e inhibición de enzimas importantes en el metabolismo de la garrapata (Cardoso *et al*., 2020; Alimi *et al*., 2022; Saman *et al*., 2023). Existen diversas investigaciones en las que se ha demostrado la actividad ixodicida de distintos extractos y aceites esenciales de plantas. En un estudio de Rosado-Aguilar *et al*. (2010) se evaluó el extracto de *Petiveria alliacea* sobre *R.* (*B.*) *microplus.* Se determinó 95.5% de mortalidad en larvas a una concentración del 10%; además, en adultas se mostró 40.6% de mortalidad, inhibición de puesta de huevos del 56.8% e inhibición de la eclosión larval del 17%. En otro estudio, con extracto de *Lobelia leschenaultiana* se obtuvieron mortalidades de 86.66% y 93.33% en hembras adultas a

concentraciones de 0.02 y 0.04 mg/mL, respectivamente (Banumathi *et al*., 2016). En cuanto a aceites esenciales, Villarreal *et al*. (2017) demostraron la actividad ixodicida del aceite esencial de *Cuminum cyminum*, obteniendo 100% de mortalidad en adultas a concentraciones de 100 mg/mL. De igual forma, Shezryna *et al*. (2020) obtuvieron mortalidades del 100% para los aceites esenciales de *Citrus hystrix* y *Cymbopogon citratus* a concentraciones de 30 y 5% (v/v), respectivamente.

Con respecto a las moléculas biológicamente activas o metabolitos asilados de las plantas, se han evaluado los terpenos *p*-cimeno, timol, carvacrol y citral, demostrando actividad ixodicida sobre *R.* (*B.*) *microplus* (Cardoso *et al*., 2020). De igual forma se ha estudiado la actividad acaricida de los alcaloides berberina y piperina, mostrándose como moléculas candidatas para el control de garrapatas (da Silva *et al*., 2021).

El uso de los productos naturales en el control de la garrapata es una alternativa prometedora, sin embargo, las principales limitantes que se presentan están asociadas a la aplicación en campo, principalmente, a las formas de dosificación, ya que para algunos es complicado encontrar disolventes aplicables. Otra desventaja es la estabilidad y sensibilidad que presentan, ya que pueden sufrir degradación provocada por fotooxidación, temperatura, pH y la acción microbiana (Su & Mulla, 1999).

Mezclas de ixodicidas y sinergistas. En la búsqueda de estrategias para combatir la resistencia se ha optado por el uso de las sustancias sinérgicas y mezclas de acaricidas. Esta medida se ha adoptado a nivel mundial para controlar insectos y garrapatas durante muchos años (Rodríguez-Vivas *et al*., 2013). Existen estudios donde la adición del amitraz a la permetrina aumenta considerablemente la mortalidad en larvas de la garrapata *R.* (*B.*) *microplus* resistente a piretroides (Li *et al*., 2007). De igual manera, se ha demostrado la sinergia entre la deltametrina y el amitraz (Barré *et al*., 2008). En otros estudios, se demostró que el uso de butóxido de piperonilo (PBO) y verbutina potencializan la acción de la permetrina, el amitraz y el Coumafos (Li *et al*., 2010). Así mismo, la mezcla de cipermetrina, amitraz y PBO sobre *R.* (*B.) microplus* presentó una alta eficacia en condiciones de laboratorio (97-100%) y a nivel de campo (>95%) (Rodríguez-Vivas *et al*., 2013). Recientemente, se ha investigado el efecto sinérgico de productos naturales e ixodicidas sintéticos. Por ejemplo, en un estudio realizado por Arafa *et al*. (2021) se evaluaron combinaciones de deltametrina y aceite esencial de eucalipto y timol sobre una población de campo de *R. annulatus* resistente a deltametrina. Se determinó una mayor actividad ixodicida para las formulaciones que contenían timol. En otro estudio, se evaluó la sinergia de la mezcla de cipermetrina y timol sobre larvas de *R.* (*B.) microplus* y se determinó que dicha combinación aumentó la actividad ixodicida de la cipermetrina (Tavares *et al*., 2022).

7. Manejo integral

El manejo integral consiste en asociar las técnicas de control habituales con diversos métodos sustentables, tomando en cuenta el ambiente y la dinámica poblacional de la garrapata, con la finalidad de mantener niveles bajos de infestaciones. Esta combinación de herramientas tiene como objetivo disminuir las poblaciones con mayor proporción de individuos genéticamente resistentes, mediante la disminución de la frecuencia de tratamientos con ixodicidas sintéticos y utilizándolos solo en épocas que no aumenten la presión de selección genética (Rodríguez-Vivas *et al*., 2014).

Las herramientas para llevar a cabo el control integral incluyen técnicas auxiliares como: 1)

ensayos moleculares de diagnóstico de resistencia, 2) distribución espacial de la garrapata y de las poblaciones resistentes, 3) modelos de simulación, 4) imágenes satelitales, 5) vacunas, 6) prácticas agronómicas (*i.e*. razas resistentes, rotación de potreros) y 7) control biológico (Rodríguez-Vivas *et al*., 2014). Actualmente existen programas integrados de control parasitario que han mostrado resultados promisorios, sin embargo, es necesario usar métodos químicos y no químicos que sean factibles (Esteve-Gassent *et al*., 2016). Por ejemplo, el uso de acaricidas sintéticos más vacunas, acaricidas sintéticos más lactonas macrocíclicas o el uso de acaricidas sintéticos más hongos entomopatógenos (Rodríguez-Vivas *et al*., 2014).

En los últimos años se ha considerado que el manejo integrado es la mejor opción para disminuir las infestaciones por garrapatas, de hecho, los parásitos internos y externos de los rumiantes se presentan de forma simultánea, por lo cual, es necesario incluir un control integrado para ambas clases de parásitos. El principal reto que se tiene en la actualidad es integrar todas las herramientas disponibles, incluyendo a las químicas y no químicas, de tal manera que el programa sea eficiente y logre controlar al menos garrapatas, nemátodos gastrointestinales y moscas hematófagas (Rodríguez-Vivas *et al*., 2014).

8. Consideraciones futuras en el desarrollo de estrategias para el control de la garrapata

El principal punto de atención en el control de la garrapata es el uso correcto de los ixodicidas, con la finalidad de prolongar su vida útil e impedir la formación de poblaciones de garrapatas resistentes. Una medida importante sería generar información de fácil acceso destinada a los productores ganaderos sobre la situación actual de la resistencia y el manejo de los ixodicidas. Por otro lado, es de gran interés la búsqueda de alternativas rentables y amigables con la salud y el medio ambiente, donde destacan los productos naturales como unos tratamientos prometedores. No obstante, las limitantes que presentan están ligadas a la forma de aplicación y a la falta de estudios, por lo que, los retos actuales se basan principalmente en el desarrollo de formulaciones que faciliten su aplicación y su evaluación como métodos de control para la garrapata. Recientemente se ha aplicado la nanotecnología farmacéutica a las ciencias veterinarias (Irache *et al*., 2011; Carvalho *et al*., 2020), particularmente, en el control de parásitos, resultando ser una estrategia prometedora que se puede considerar para la aplicación de productos naturales (Figueiredo *et al*., 2022; 2023). Por ejemplo, las nanopartículas poliméricas permiten incorporar compuestos activos de distinta naturaleza en sistemas acarreadores de tamaño nanométrico, facilitando así su interacción con el sitio de aplicación (*e.g.* cutícula de la garrapata) y promoviendo la penetración en la garrapata, e interacción con órganos y sistemas. El aislamiento, identificación y la evaluación de la actividad ixodicida de productos de origen botánico, así como su incorporación en sistemas nanométricos, pueden considerarse como estrategias prometedoras dando perspectiva al desarrollo de nanoformulaciones que puedan ser utilizadas directamente en el control de la garrapata o como sinergistas. Esto permitiría disminuir el uso de los ixodicidas sintéticos, integrando así un programa de manejo con las distintas herramientas de control existentes, permitiendo disminuir las infestaciones por garrapatas que causan pérdidas económicas en el sector pecuario.

9. Agradecimientos

RGP agradece al CONAHCYT por la beca (no. apoyo: 791905) otorgada para realizar estudios de posgrado en el programa

Doctorado en Manejo y Aprovechamiento Integral de Recursos Bióticos, el cual se encuentra dentro del SNP. Así mismo, los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el financiamiento otorgado a través del Programa de Apoyo a la Ciencia, Tecnología e Innovación, ProACTI 2023 no. 75-CA-2023.

10. Bibliografía

Adenubi, O.T., Fasina, F.O., McGaw, L.J., Eloff, J.N., & Naidoo V. (2016). Plant extracts to control ticks of veterinary and medical importance: A review. *South African Journal of Botany*. 105, 178–193. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.010

Aguilar, D.J.H., Quiroz, C.R.E., Miranda M.E., Cossío B.R., Salazar M.K. (2021). Método de extracción de alto rendimiento de hemolinfa de la garrapata *Rhipicephalus microplus*. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad. 23, 32 pp.

Agwunobi, D.O., Hu, Y., Yu, Z., & Liu, J. (2020a). *Cymbopogon citratus* essential oil-induced ultrastructural & morphological changes in the midgut, cuticle & Haller's organ of the tick *Haemaphysalis longicornis* (Acari: Ixodidae). *Systematic and Applied Acarology*. 25(11), 2047-2062. DOI: https://doi.org/10.11158/saa.25.11.10

Agwunobi, D.O., Pei, T., Wang, K., Yu, Z., & Liu, J. (2020b). Effects of the essential oil from *Cymbopogon citratus* on mortality and morphology of the tick *Haemaphysalis longicornis* (Acari: Ixodidae). *Experimental and Applied Acarology*. 81, 37-50. DOI: https://doi.org/10.1007/s10493-020-00485-3

Alimi, D., Hajri, A., Jallouli, S., & Sebai, H. (2022). Phytochemistry, anti-tick, repellency and anti-cholinesterase activities of *Cupressus sempervirens* L. and *Mentha pulegium* L. combinations against *Hyalomma scupense* (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology*. 303, 109665. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2022.109665

Alonso-Díaz, M.A., García, L., Galindo-Velasco, E., Lezama-Gutiérrez, R., Angel-Sahagún, C., Rodríguez-Vivas, R.I., Fragoso-Sánchez, H. (2007). Evaluation of *Metarhizium anisopliae* (Hyphomycetes) for the control of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) on naturally infested cattle in the Mexican tropics. *Veterinary Parasitology*. 147, 336–340. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.03.030

Alonso-Díaz, M.A., Rodríguez-Vivas, R.I., Fragoso-Sánchez, H., & Rosario-Cruz, R. (2006). Resistencia de la garrapata *Boophilus microplus* a los ixodicidas. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 38(2), 105-113. DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2006000200003

Arafa, W.M., Aboelhadid, S.M., Moawad, A., Shokeir, K.M., & Ahmed, O. (2020). Toxicity, repellency and anti-cholinesterase activities of thymol-eucalyptus combinations against phenotypically resistant *Rhipicephalus annulatus* ticks. *Experimental and Applied Acarology*. 81, 265-277. DOI: https://doi.org/10.1007/s10493-020-00506-1

Arafa, W.M., Aboelhadid, S.M., Moawad, A., Shokeir, K.M., Ahmed, O., & de León, A.A.P. (2021). Control of *Rhipicephalus annulatus* resistant to deltamethrin by

spraying infested cattle with synergistic eucalyptus essential oil-thymol-deltamethrin combination. *Veterinary Parasitology*. 290, 109346. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109346

Banumathi, B., Malaikozhundan, B., & Vaseeharan, B. (2016). *In vitro* acaricidal activity of ethnoveterinary plants and green synthesis of zinc oxide nanoparticles against *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*. *Veterinary Parasitology*. 216, 93-100. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.12.003

Barré N., Li, A.Y., Miller, R.J., Gaia, H., Delathiere, J.M., Davey, R.B., George, J.E. (2008). *In vitro* and *in vivo* evaluation of deltamethrin and amitraz mixtures for the control of *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* (Acari, Ixodidae) in New Caledonia. *Veterinary Parasitology*. 155, 110–119. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.04.016

Cantú, C.A., García, V.Z.S. (2013). Estrategias para el Control Integrado de Garrapata (*Boophilus* spp.) en la Producción de Bovinos de Carne en Pastoreo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Primera edición. 38 pág. Disponible en: http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/948.pdf

Cardoso, A.D.S., Santos, E.G.G., da Silva Lima, A., Temeyer, K.B., de Leon, A.A.P., Junior, L.M.C., & dos Santos Soares, A.M. (2020). Terpenes on *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*: Acaricidal activity and acetylcholinesterase inhibition. *Veterinary Parasitology*. 280, 109090. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109090

Carvalho, S.G., Araujo, V.H.S., dos Santos, A.M., Duarte, J.L., Silvestre, A.L.P., Fonseca-Santos, B., Villanova, J.C.O., Gremião, M.P.D., Chorilli, M., (2020). Advances and challenges in nanocarriers and nanomedicines for veterinary application. *International Journal of Pharmaceutics*. 580, 119214. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119214

Castellanos, H.J.L. (2018). Manejo de predios con poblaciones de garrapata *Boophilus microplus* resistente hacia los ixodicidas y el uso de alternativas para su control. Curso de capacitación para la inspección de ganado y control de la garrapata (*Boophilus spp*.) para la movilización nacional y exportación, Piedras Negras, Coahuila, México. pp. 52-59.

Da Silva, G.D., de Lima, H.G., de Freitas, H.F., da Rocha Pita, S.S., dos Santos Luz, Y., de Figueiredo, M.P., Soares R., Branco A., Lima S., Moreira M.J., Botura, M. B. (2021). *In vitro* and *in silico* studies of the larvicidal and anticholinesterase activities of berberine and piperine alkaloids on *Rhipicephalus microplus*. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 12(2), 101643. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101643

De la Fuente, J., Estrada-Peña, A., Venzal, J.M., Kocan, K.M., Sonenshine, D.E. (2008). Overview: ticks as vectors of pathogens that cause disease in humans and animals. *Frontiers in Bioscience*. 13, 6938–6946. DOI: https://doi.org/10.2741/3200

De Vos, S., Zeinstra, L., Taoufik, O., Willadsen, P., Jongejan, F. (2001). Evidence for the utility of the Bm86 antigen from *Boophilus microplus* in

vaccination against other tick species. *Experimental and Applied Acarology*. 25(3), 245–261. DOI: https://doi.org/10.1023/a:1010609007009

Esteve-Gassent, M.D., Castro-Arellano, I., Feria-Arroyo, T.P., Patino, R., Li, A.Y., Medina, R.F., Perez de León A.A. Rodríguez-Vivas, R.I. (2016). Translating ecology, physiology, biochemistry, and population genetics research to meet the challenge of tick and tick-borne diseases in North America. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 92(1), 38-64. DOI: https://doi.org/10.1002/arch.21327

Estrada-Peña, A. (2015). Clase Arachnida, Orden Ixodida: Las garrapatas. *Revista IDE@-Ibero Diversidad Entomológica @ccesible*. 13, 1–15. Disponible en: http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_13.pdf

Fernandez-Salas, A., Rodriguez-Vivas, R.I., Alonso-Diaz, M.A. (2012). First report of a *Rhipicephalus microplus* tick population multi-resistant to acaricides and ivermectin in the Mexican tropics. *Veterinary Parasitology*. 183, 338-342. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.07.028

Figueiredo, A., Anholeto, L.A., Cola, D.F., Fantatto, R.R., Gainza, Y.A., dos Santos, I.B., Viçozzi, G.P., Ávila, D.S., Fraceto, L.F., Chagas, A.C. de S. (2023). Acaricides containing zein nanoparticles: A tool for a lower impact control of the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *Veterinary Parasitology*. 318. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.109918

Figueiredo, A., Anholeto, L.A., Cola, D.F., Fantatto, R.R., Santos, I.B., Gainza, Y.A., Sousa, G.A., Pickett, L.J., Fraceto, L.F., Chagas, A.C. de S. (2022). Nanoformulations with synthetic and plant-derived compounds for cattle tick control. *Veterinary Parasitology*. 309. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2022.109756

Food and Agriculture Organization of United Nation (FAO). (1979). Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pests to pesticides. FAO Plant Protection Bulletin. 27, 29-32. Disponible en: https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF19760066277

García-García, J.C., Montero, C., Redondo, M., Vargas, M., Canales, M., Boue, O., Rodríguez, M., Joglar, M., Machado, H., González, I.L., Valdés, M., Méndez, L., de la Fuente, J. (2000). Control of ticks resistant to immunization with Bm86 in cattle vaccinated with the recombinant antigen Bm95 isolated from the cattle tick, *Boophilus microplus*. *Vaccine*. 18(21), 2275–2287. DOI: https://doi.org/10.1016/S0264-410X(99)00548-4

Grisi, L., Leite, R.C., Martins, J.R.S., Barros, A.T.M., Andreotti, R., Cançado, P.H.D., León, A.A.P., Pereira, J.B., Villela, H.S. (2014). Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. *Brazilian Journal Veterinary. Parasitology*. 23(2), 150–156. Doi: http://dx.doi.org/10.1590/S1984-29612014042

Irache, J.M., Esparza, I., Gamazo, C., Agüeros, M., Espuelas, S. (2011). Nanomedicine: Novel approaches in human and veterinary therapeutics. *Veterinary Parasitology*. 180, 47–71. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.05.028

Jain P., Satapathy, T., Kumar, R.P. (2020). *Rhipicephalus microplus*: A parasite threatening cattle health and consequences of herbal acaricides for upliftment of livelihood of cattle rearing communities in Chhattisgarh. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 26, 101611. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101611

Jones, G.A., Perinotto, W.M.S., Camargo, M. G., Golo, P.S., Elias, V.R., Bittercount, V. R. E. (2021). Selection of *Metarhizium* spp. Brazilian isolates to control *Rhipicephalus microplus* ticks: *in vitro* virulence tests and conidiogenesis. *Brazilian Journal of Veterinary Medicine*. 43, e002020. DOI: https://doi.org/10.29374/2527-2179.bjvm002020

Kumar, B., Azhahianambi, P., Ray, D.D., Chaudhuri, P., de la Fuente, J., Kumar, R., Ghosh, S. (2012). Comparative efficacy of rHaa86 and rBm86 against *Hyalomma anatolicum* and *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*. *Parasite Immunology*. 34(6), 297–301. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.2012.01356.x

Li, A.Y., Chen, A.C., Davey, R.B., Miller, R.J., George, J.E. (2007). Acaricide resistance and synergism between permethrin and amitraz against susceptible and resistant strains of *Boophilus microplus* (Acari, Ixodidae). *Pest Management Science*. 63, 882–889. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.1417

Li, A.Y., Davey, R.B., & Miller, R.J. (2010). Laboratory evaluation of verbutin as a synergist of acaricides against larvae of *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal Economic Entomology*. 103(4), 1360-1364. DOI: https://doi.org/10.1603/ec09329

Lima de Souza, J.R., Remedio, R.N., Arnosti, A., de Abreu, R.M.M., & Camargo-Mathias, M.I. (2017). The effects of neem oil (*Azadirachta indica* A. JUSS) enriched with different concentrations of azadirachtin on the integument of semi-engorged *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato (Acari: Ixodidae) females. *Microscopy Research and Technique*. 80(8), 838-844. DOI: https://doi.org/10.1002/jemt.22871

Meneghi, D.D., Stachurski, F., Adakal, H. (2016). Experiences in tick control by acaricide in the traditional cattle sector in Zambia and Burkina Faso: possible environmental and public health implications. *Frontiers Public Health*. 4, 239. DOI: https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00239

Nari, A., Hansen H.J. (1999). Resistencia de los ecto y endoparásitos: soluciones actuales y futuras. 67ª sesión general. *Organización Internacional de Epizootias*. París, Francia.

Ojeda-Chi, M.M., Rodríguez-Vivas, R.I., Galindo-Velasco, E., Lezama-Gutiérrez, R. (2010). Laboratory and field evaluation of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) for the control of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) in the Mexican tropics. *Veterinary Parasitology*. 170, 348-354. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.02.022

Ojeda-Chi, M.M., Rodríguez-Vivas, R.I., Galindo-Velasco, E., Lezama-Gutiérrez, R., Cruz-Vázquez, C. (2011). Control of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) using the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2(2), 177-192. Disponible en:

http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265619710005

Ortiz-Estrada, M., Soberanes-Céspedes, N. (2018). Mecanismos de acción de los ixodicidas. Memorias del curso de capacitación para la inspección de ganado y control de la garrapata (*Boophilus* spp.) para la movilización nacional y exportación 19-21 de Septiembre de 2018 Piedras Negras, Coahuila, México. pp. 42-51.

Parizi, L.F., Pohl, P.C., Masuda, A., da Silva V.J.I. (2009). New approaches toward anti-*Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* tick vaccine. *Brazilian Journal of Parasitology.* 18(1), 1–7. DOI: https://doi.org/10.4322/rbpv.01801001

Pavela, R. (2014). Insecticidal properties of *Pimpinella anisum* essential oils against the *Culex quinquefasciatus* and the non-target organism *Daphnia magna*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 17, 287 – 293. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.02.001

Penha, T., Costa, A.C.C., da Silva Lima, A., Camargo-Mathias, M.I., Blank, A.F., Abreu-Silva, A.L., & Costa-Júnior, L.M. (2021). Effects of acaricidal essential oils from *Lippia sidoides* and *Lippia gracilis* and their main components on vitellogenesis in *Rhipicephalus microplus* (Canestrini, 1888) (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology*. 299, 109584. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2021.109584

Pereira, D.F.S., Ribeiro, H.S., Gonçalves, A.A.M., da Silva, A.V., Lair, D.F., de Oliveira, D.S., Vilas B.D.F., dos Santos, S.C.I., Costa, L.J., Miranda, B.L., Campos, C.R.P, da Silveira, M.R.M., Pereira, S.T.A., Carvalho, O.C.D, de Figueiredo, G.N., Nascimento, A.R., Sobreira, G.A., de Oliveira, P.P.R., Martins, M.M., Pinto, N.R.A., Ornelas, D.W., da Silveira-Lemos, D., Sobreira, R.D., Giunchetti, R.C. (2022). *Rhipicephalus microplus*: An overview of vaccine antigens against the cattle tick. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 13(1), 101828. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101828

Pipano, E., Alekceev, E., Galker, F., Fish, L., Samish, M., Shkap, V. (2003). Immunity against *Boophilus annulatus* induced by the Bm86 (Tick-GARD) vaccine. *Experimental and Applied Acarology.* 29, 141–149. DOI: https://doi.org/10.1023/a:1024246903197

Reck, J., Marks, F.S., Rodrigues, R.O., Souza, U.A., Webster, A., Leite, R.C., Gonzales, J.C., Klafke, G.M., Martins, J.M. (2014). Does *Rhipicephalus microplus* tick infestation increase the risk for myiasis caused by *Cochliomyia hominivorax* in cattle? *Preventive Veterinary Medicine*. 113, 59-62. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.10.006

Rentería, J.A.E., Sevilla, E.L.E. (2015). Susceptibility of *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae) to seven ixodicides in Nuevo Leon, México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. 4, 1-10. Recuperado a partir de https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/38

Rodríguez-Valle, M., Taoufik, A., Valdés, M., Montero, C., Hassan, I., Hassan, S.M., Jongejan F., & de la Fuente, J. (2012). Efficacy of *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* Bm86 against *Hyalomma dromedarii* and *Amblyomma cajennense* tick infestations in camels and cattle. *Vaccine*. 30(23), 3453-3458. DOI:

https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2012.03.020

Rodríguez-Vivas, R.I. (2022). Manual para el Control de Garrapatas que Afectan al Ganado Bovino. Grupo Asís Biomedia SL. Zaragoza, España. Primera Edición. 112 p.

Rodríguez-Vivas, R.I., España, E.R., Blanco, I.L., Ojeda-Chi, M.M., Trinidad-Martinez, I., Islas, J.A.T., Bhushan, C. (2021). Monitoring the resistance of *Rhipicephalus microplus* to amitraz, flumethrin, coumaphos, and ivermectin on cattle farms in Mexico. *Veterinary Parasitology*: *Regional Studies and Reports*. 26, 100644. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2021.100644

Rodríguez-Vivas, R.I., Jonsson, N.N., & 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. DOI: https://doi.org/10.1007/s00436-017-5677-6

Rodríguez-Vivas, R.I., Laerte, G., Pérez de León, A., Humberto V., Torres J., Fragoso H., Romero, S. (2017). Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8, 61-74. Doi. http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4305

Rodríguez-Vivas, R.I., Li, A.Y., Ojeda-Chi, M.M., Trinidad-Martínez, I., Rosado-Aguilar, J.A., Miller, R.J., Pérez de León, A.A. (2013). *In vitro* and *in vivo* evaluation of cypermethrin, amitraz, and piperonyl butoxide mixtures for the control of resistant *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* (Acari: Ixodidae) in the Mexican tropics. *Veterinary Parasitology*. 197(1-2), 288-296. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.07.018

Rodríguez-Vivas, R.I., Rosado-Aguilar, J.A., Ojeda-Chi, M.M., Pérez-Cogollo, L.C., Trinidad-Martínez, I., & Bolio-González, M.E. (2014). Control integrado de garrapatas en la ganadería bovina. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 1(3), 295-308. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000300009

Rodríguez-Vivas, R.I., Torres, A.J.F., Ramírez, C.G.T., Aguilar, R.J.A., Aguilar, C.A.J., Ojeda, C.M.M., Bolio, G.M.E. (2011). Manual técnico: Control de parásitos internos y externos que afectan al ganado bovino en Yucatán, México. UADY-CONACYT. pp. 12-29.

Rodríguez, M., Penichet, M., Mouris, A.E., Labarta, V., Lorenzo Luances, L., Rubiera, R., Sanchez, G., Crodoves, C., Ramos, E., Soto, A., Canales, M., Palenzuela, D., Triguero, A., LIeonart, R., Herrera, R., de la Fuente, J. (1995). Control of *Boophilus microplus* populations in grazing cattle vaccinated with a recombinant Bm86 antigen preparation. *Veterinary Parasitology*. 57(4), 339–349. DOI: https://doi.org/10.1016/0304-4017(94)00678-6

Rosado-Aguilar, J. A., Aguilar-Caballero, A., Rodríguez-Vivas, R.I., Borges-Argaez, R., García-Vazquez, Z., & Méndez-González, M. (2010). Acaricidal activity of extracts from *Petiveria alliacea* (Phytolaccaceae) against the cattle tick, *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* (Acari: ixodidae). *Veterinary Parasitology*. 168(3-4), 299-303. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.11.022

Saman, S., Chen, C. C., Malak, N., Khan, A., Nasreen, N., Khan, A., Nasreen N., Khan

A., Niaz S., Rehman G., Rodríguez-Vivas, RI., & Cossío-Bayúgar, R. (2023). Ethanolic extracts of *Datura i*nnoxia have promising acaricidal activity against *Rhipicephalus microplus* as it blocks the glutathione S-transferase activity of the target tick. *Genes*. 14(1), 118. DOI: https://doi.org/10.3390/genes14010118

SENASICA. (2023). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Situación de la Resistencia de *B. microplus* en México. Página oficial del Gobierno de México. Disponible en: https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/campana-nacional-para-el-control-de-la-garrapata-boophilus-spp

Shezryna, S., Anisah, N., Saleh, I., & Syamsa, R.A. (2020). Acaricidal activity of the essential oils from *Citrus hystrix* (Rutaceae) and *Cymbopogon citratus* (Poaceae) on the cattle tick *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* larvae (Acari: Ixodidae). *Tropical Biomedicine*. 37(2), 433-442. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33612812/

Su, M., & Mulla, M.S. (1999). Activity and biological effects of neem products against arthropods of medical and veterinary importance. *Journal of the American Mosquito Control Association*. 15, 133-152. Disponible en: https://www.biodiversitylibrary.org/content/part/JAMCA/JAMCA_V15_N2_P133-152.pdf

Tavares, C.P., Sousa, I.C., Gomes, M.N., Miró, V., Virkel, G., Lifschitz, A., Costa-Junior, L.M. (2022). Combination of cypermethrin and thymol for control of *Rhipicephalus microplus*: Efficacy evaluation and description of an action mechanism. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 13(1), 101874. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101874

Villarreal, J.P.V., Santos, P.R.D., Silva M.A.M.P.D., Azambuja, R.H.M., Gonçalves, C.L., Escareño, J.J.H., Nascente, P.D.S. (2017). Evaluation of phytotherapy alternatives for controlling *Rhipicephalus (Boophilus)* microplus *in vitro*. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*. 26, 299-306. DOI: https://doi.org/10.1590/S1984-29612017052

Willadsen, P. (2006). Tick control, thoughts on a research agenda. *Veterinary Parasitology*. 138, 161–168. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.01.050

Zeina, G., & 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, 157-171. DOI: https://doi.org/10.1007/s10493-021-00674-8