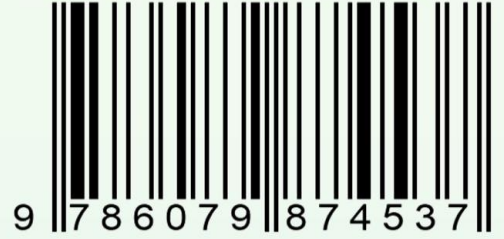


ISBN: 978-607-98745-3-7



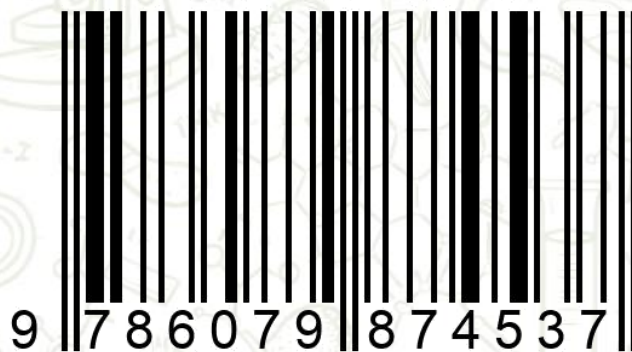
Artrópodos de importancia médica: vectores, zoonosis y estrategias integradas de control

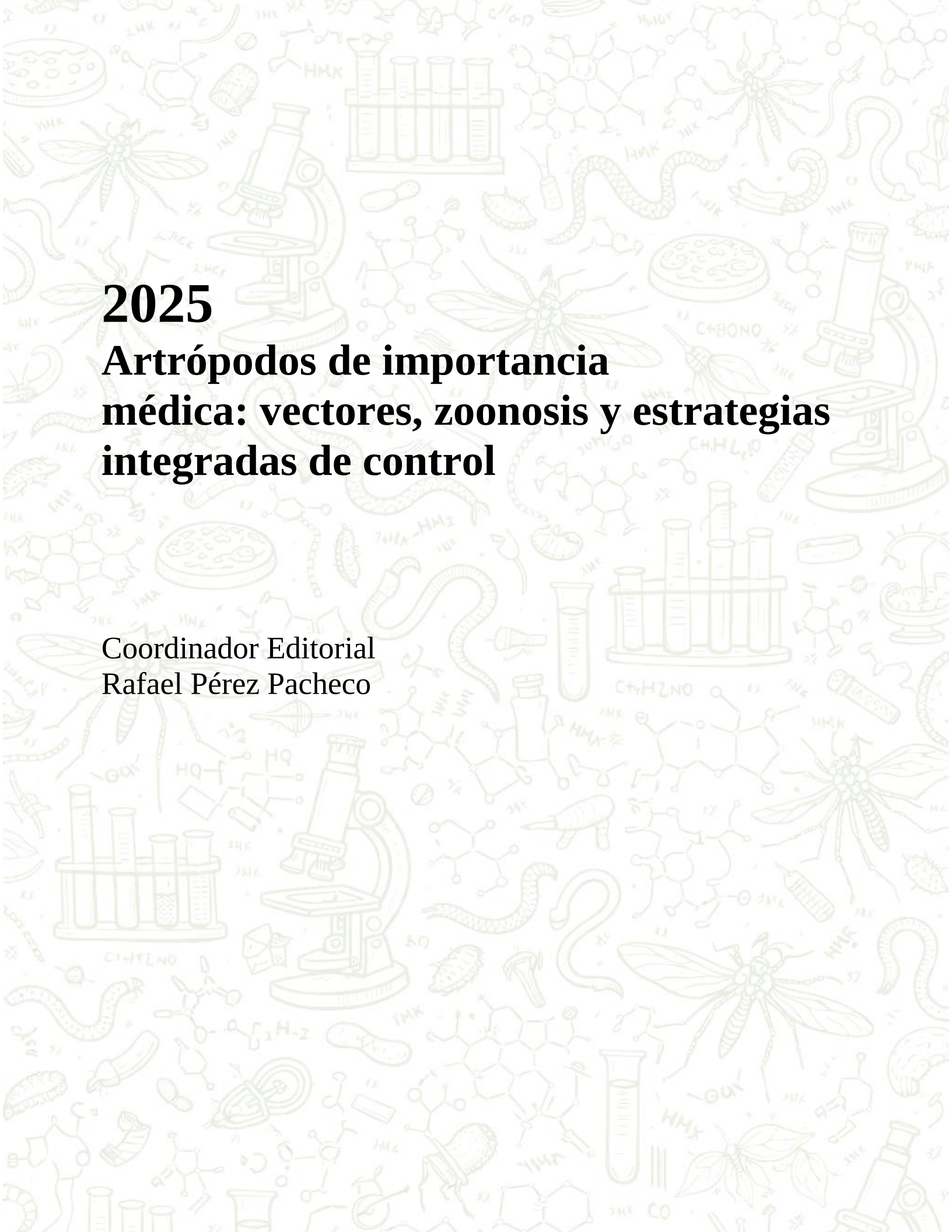


Rafael Pérez Pacheco



ISBN: 978-607-98745-3-7





2025

**Artrópodos de importancia
médica: vectores, zoonosis y estrategias
integradas de control**

Coordinador Editorial
Rafael Pérez Pacheco

D.R. Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología. Manantiales de Morelia, Campestre los Manantiales, 58186 Morelia, Michoacán de Ocampo, México.
<http://www.somucaab.mx/>

ISBN 978-607-98745-1-3

Hecho en México

Cita correcta: Pérez-Pacheco, R. (2025). Artrópodos de importancia médica: vectores, zoonosis y estrategias integradas de control. Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología, Michoacán, México. 83 p.

Diseño editorial: SOMUCAAB A.C. / Dr. Nancy Alonso-Hernández
alonsoh_nancy@hotmail.com

Arte Digital: SOMUCAAB A.C.

Para la conformación de este ejemplar se contó con la participación de profesores investigadores, técnicos, estudiantes y profesionistas de diversas instituciones, quienes nos brindan una parte del quehacer científico que desempeñan en las diversas regiones de México. Las contribuciones en esta edición son responsabilidad de los autores de cada manuscrito.

Colaboradores Editoriales

Carlos Granados-Echegoyen

SECIHTI- Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR), Oaxaca, México.

cgranadose@ipn.mx

Nancy Alonso-Hernández

Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología (SOMUCAAB A.C.), Michoacán, México. alonsoh_nancy@hotmail.com

Comité Organizador

Dr. Baldomero Zárate Nicolás

Dr. Rafael Pérez Pacheco

Dr. Carlos Granados Echegoyen

Dr. Alfonso Vásquez López

Dr. Sabino Martínez Tomas

Dra. Nancy Alonso Hernández

Agradecimientos

La presente memoria deriva del evento **“Vectores y zoonosis 2025: Simposio transdisciplinario sobre artrópodos de importancia médica: vectores, zoonosis y estrategias integradas de control”**, realizado en el CIIDIR Unidad Oaxaca con el apoyo de la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) del Instituto Politécnico Nacional, en el marco de la Convocatoria de Apoyos Económicos para la Organización de Eventos Académicos, Científicos o Tecnológicos.



DIRECTORIO CIIDIR UNIDAD OAXACA

Dr. Baldomero H. Zárate-Nicolás
Director CIIDIR Unidad Oaxaca

Dr. Gustavo Hinojosa-Arango
Subdirector Académico y de Investigación

Ing. Liliana del Carmen Sánchez Ballesteros
Subdirectora de Servicios Educativos e Integración Social (Interina)

Mtro. Abraham David Guzmán Cabrera
Subdirector Administrativo (Interino)

Jefe del Departamento de Investigación

M. en C. María Yescas-León
Jefa del Departamento de Posgrado

Lic. Alberto de los Santos-Pérez
Jefe del Departamento de Servicios Educativos

M. en C. Nélida Rojas Cisneros
Jefa de la Unidad Politécnica de Integración Social

C.P. Miriam Camila García-Prado
Jefa del Departamento de Capital Humano y Recursos Financieros

Ing. Víctor Luis González-Velasco
Jefe del Departamento de Recursos Materiales y Servicios

M. en C. Gabriel Isaías Cruz-Ruiz
Coordinador de Enlace y Gestión Técnica

L.I. Justo César Marcial-Aguilera
Jefe de la Unidad de Informática

Prologo

Artrópodos de importancia médica: vectores, zoonosis y estrategias integradas de control es una obra colectiva que reúne investigaciones, experiencias y avances tecnológicos orientados a la comprensión y el manejo de vectores y zoonosis desde un enfoque integral. El libro aborda, desde una perspectiva científica y aplicada, la biología y ecología de los vectores, la transmisión de arbovirus, la resistencia a insecticidas, el papel del cambio climático en la expansión vectorial y las estrategias innovadoras de control biológico. Asimismo, incorpora análisis epidemiológicos, experiencias regulatorias y modelos de vigilancia entomológica implementados en diversas regiones de México y América Latina. Esta obra no solo documenta avances científicos, sino que también propone líneas estratégicas para la gestión integrada de vectores, el fortalecimiento de la vigilancia epidemiológica y la construcción de redes interinstitucionales orientadas a la prevención y al control sostenible de enfermedades transmitidas por artrópodos.

El control de vectores representa uno de los pilares estratégicos de la epidemiología contemporánea, ya que actúa directamente sobre el componente biológico que posibilita la transmisión de múltiples enfermedades infecciosas. A diferencia de otras intervenciones centradas exclusivamente en el tratamiento clínico, el control vectorial incide en la dinámica poblacional de mosquitos, triatomíneos y otros artrópodos, reduciendo la probabilidad de contacto entre el agente patógeno y el ser humano. Esta acción impacta de manera directa en indicadores epidemiológicos clave, como la incidencia, la prevalencia y el número básico de reproducción, contribuyendo a prevenir brotes y a disminuir la carga sanitaria y económica asociada a enfermedades como dengue, zika, chikungunya, paludismo y enfermedad de Chagas. Además, fortalece la vigilancia epidemiológica al integrar el monitoreo entomológico, el análisis espacial y la evaluación de la resistencia a insecticidas, lo que permite diseñar intervenciones más precisas y oportunas.

En el contexto del cambio climático, su relevancia se amplifica considerablemente. El aumento sostenido de la temperatura, la alteración de los patrones de precipitación y la mayor frecuencia de eventos extremos modifican la distribución geográfica y la estacionalidad de los vectores, permitiendo que especies antes restringidas a zonas tropicales colonicen regiones templadas o de mayor altitud. Asimismo, las temperaturas elevadas aceleran el ciclo de vida de los mosquitos y acortan el período de incubación extrínseca de virus y parásitos dentro del vector, incrementando la eficiencia de transmisión. Esto genera escenarios epidemiológicos más complejos, con mayor riesgo de expansión y reemergencia de enfermedades. Por ello, el control de vectores debe concebirse como una estrategia integral, preventiva y adaptativa, articulada bajo el enfoque de Una Salud, que combine acciones ambientales, biológicas, comunitarias y regulatorias para fortalecer la resiliencia de los sistemas de salud frente a los desafíos sanitarios derivados del cambio climático.

Dr. Rafael Pérez Pacheco

CONTENIDO

#	Título del resumen / Autores	Página
1	Experiencia cubana de estudios de laboratorio utilizando aceites esenciales para el control de artrópodos de importancia médica Maureen Leyva Silva*, Oriela Pino, Reinaldo Chico, Quirino Arias, Juana Mairim Torres, María del Carmen Marquetti, Domingo Montada, Nancy Alonso Hernández, Carlos Granados Echegoyen	11
2	Experiencia del uso del control biológico para el control de <i>Aedes aegypti</i> Zulema Menéndez Díaz*, Israel García, Jorge Anaya, Ariamys Companioni, René Gato	17
3	Extractos vegetales solo y en mezcla con nematodos parásitos de larvas de mosquitos Sabino Honorio Martínez-Tomás*, Rafael Pérez-Pacheco, Cesáreo Rodríguez-Hernández, Carlos Alejandro Granados-Echegoyen, Nancy Alonso-Hernández, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Baldomero Hortencio Zárate-Nicolás	24
4	Mecanismos de acción biológica de metabolitos secundarios de origen fúngico y botánico sobre Insectos: Una mini revisión José Abimael Campos-Ruiz*, Carlos Granados-Echegoyen, Sabino Honorio Martínez-Tomás, Nancy Alonso-Hernández, Brenda Jazmín Nolasco-Pérez	29
5	Extractos de macroalgas con potencial insecticida en el control de larvas de <i>Aedes aegypti</i> (Diptera: Culicidae) Eben Ezer Hu-Villamil, Nancy Alonso-Hernández*	32
6	Metabolitos secundarios de hongos fitopatógenos para el control de vectores de enfermedades Fabricio Cahuich-Castillo*, Alfonso Vásquez-López, Nancy Alonso-Hernández	36
7	Cuando los insectos se adaptan: el desafío creciente de la resistencia a insecticidas en artrópodos vectores Beatriz López Monroy*	40
8	Distribución e identificación de triatominos en Oaxaca Lizbeth Bustamante Pérez *	47
9	Leishmaniasis y Chagas Eduardo A. Rebollar Téllez*	51
10	Síntesis sobre el conocimiento de ectoparásitos con importancia médica en Oaxaca, México Gisela Aramiriam León-Espinosa*, Beatriz López-Monroy, Beatriz Salceda-Sánchez	55

11 Roedores sinantrópicos como reservorios en el ciclo de transmisión de enfermedades Rickettsiales 61

Christian Mariel Sáenz-Santos*, Jesús Alejandro Aguilar-Durán, Jahir Pérez-Sánchez, Mario Alberto Rodríguez-Perez, Nadia Angelica Fernandez, Lihua Wei¹, Neshijah Sarah Medina-Castillo, Frida Alejandra Tinajero-Diarte, Esmeraldi Yamileth Vargas-Hernández, Angela Sofia Luna-Hernández, Ángel Alejandro De la Luz-Carrillo, Esperanza Milagros García-Oropesa, Nicole Mendel, Donald Bouyer, José Guillermo Estrada-Franco Cesáreo Rodríguez-Hernández

12 Larvaterapia como alternativa al desbridamiento convencional: revisión de su aplicación en especies animales 65

Agustín Hernández-Ramos*, Alicia Fonseca-Muñoz, Baldomero, Hortencio Zárate-Nicolás, Hugo Edgardo Sarmiento Jiménez

13 Guardianes invisibles: el rol estratégico de la vigilancia entomológica en salud pública 76

Gerson Hernández Gaona*

Experiencia cubana de estudios de laboratorio utilizando aceites esenciales para el control de artrópodos de importancia médica

Maureen Leyva Silva^{1*}, Oriela Pino¹, Reinaldo Chico¹, Quirino Arias¹, Juana Mairim Torres¹, María del Carmen Marquetti¹, Domingo Montada¹, Nancy Alonso Hernández², Carlos Granados Echegoyen²

RESUMEN. Los artrópodos de importancia médica, como *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, *Culex quinquefasciatus* y *Blattella germanica*, representan un serio problema de salud pública por su participación en la transmisión de arbovirosis y otros agentes patógenos. En Cuba, el control de estas especies ha dependido principalmente del uso de insecticidas sintéticos; sin embargo, la aparición de resistencia y las limitaciones ambientales asociadas han impulsado la búsqueda de alternativas más seguras y sostenibles. En este contexto, los aceites esenciales de diversas especies vegetales han sido evaluados por su potencial insecticida, repelente y regulador del crecimiento. Los estudios realizados en el Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí evidencian que aceites esenciales de *Bursera graveolens*, *Citrus aurantium*, *Curcuma longa*, *Curcuma aeruginosa*, *Eucalyptus globulus*, *Melaleuca quinquenervia*, *Ocimum basilicum* y *Piper aduncum* subsp. *ossanum* presentan actividad larvicida, adulticida, repelente y efectos sobre el ciclo biológico de mosquitos y cucarachas. Estos resultados respaldan el potencial de los aceites esenciales como candidatos promisorios para su incorporación en programas integrados de control vectorial, con perspectivas favorables para el desarrollo de formulaciones naturales más eficaces y ambientalmente compatibles.

Palabras clave: Aceites esenciales; control vectorial; artrópodos de importancia médica.

Cuban experience in laboratory studies using essential oils for the control of medically important arthropods. Medically important arthropods, such as *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, *Culex quinquefasciatus*, and *Blattella germanica*, represent a major public health concern because of their role in the transmission of arboviruses and other pathogenic agents. In Cuba, the control of these species has relied primarily on the use of synthetic insecticides; however, the emergence of resistance and the associated environmental constraints have driven the search for safer and more sustainable alternatives. In this context, essential oils from several plant species have been evaluated for their insecticidal, repellent, and growth-regulating potential. Studies conducted at the Pedro Kourí Institute of Tropical Medicine have shown that essential oils from *Bursera graveolens*, *Citrus aurantium*, *Curcuma longa*, *Curcuma aeruginosa*, *Eucalyptus globulus*, *Melaleuca quinquenervia*, *Ocimum basilicum*, and *Piper aduncum* subsp. *ossanum* exhibit larvicidal, adulticidal, and repellent activity, as well as effects on the biological cycle of mosquitoes and cockroaches. These findings support the potential of essential oils as promising candidates for incorporation into integrated vector control programs, with favorable prospects for the development of more effective and environmentally compatible natural formulations. **Keywords:** Essential oils; vector control; medically important arthropods.

¹Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí, La Habana, Cuba.

²SECIHTI-Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: maureen@ipk.sld.cu

1. Introducción

Dentro de la fauna entomológica existen diversas especies de artrópodos de interés médico-veterinario. Entre ellas, los mosquitos constituyen uno de los grupos de mayor relevancia sanitaria debido a su papel en la transmisión de enfermedades al ser humano y a los animales (de Carvalho et al., 2013). En particular, especies del género *Aedes* participan en la transmisión de arbovirosis como la fiebre amarilla, el virus del Nilo occidental (Shepard et al., 2011), Chikunguña (Corrales et al., 2015), zika (Fauci y Morens, 2016) y dengue (PAHO, 2016). A ello se suman otras enfermedades virales, incluidas ciertas encefalitis y la fiebre de Oropouche, en cuya transmisión participan mosquitos del género *Culex*. Dado que, con excepción de la fiebre amarilla, no se dispone de vacunas efectivas para varias de estas arbovirosis, la reducción de su incidencia ha dependido en gran medida del control de los vectores, principalmente mediante el uso de plaguicidas sintéticos.

Por otra parte, las cucarachas también representan un problema importante de salud pública por su papel como vectores mecánicos de microorganismos patógenos, favorecido por su elevada antropización y su estrecha asociación con ambientes domésticos. *Blattella germanica* (Linnaeus, 1767) (Dictyoptera: Blattellidae) puede albergar bacterias viables en su tracto digestivo durante periodos prolongados, lo que facilita la contaminación de superficies y alimentos a través de regurgitaciones y deyecciones. Diversos estudios han documentado en esta especie la presencia de hongos como *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Candida* spp. y *Geotrichum* spp., así como bacterias como *Escherichia coli*, *Serratia marcescens* y *Staphylococcus aureus* (Pai et al., 2005). Incluso en individuos muertos se han aislado microorganismos como *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa* (Dietrich et al., 2014; Werdin-González et al., 2016). Investigaciones más recientes han ampliado este panorama al registrar también la presencia de parásitos y otros agentes de interés médico, además de vincular la exposición a cucarachas con procesos alérgicos como asma y rinitis (Hamu et al., 2014; Solomon et al., 2016; Celmeli et al., 2018). A ello se añaden los efectos psicológicos que su presencia puede provocar, como ansiedad, aversión intensa o entomofobia (Wang et al., 2008).

En Cuba, el Programa Nacional de Control de *Aedes aegypti* y *Ae. albopictus*, establecido desde 1981, ha tenido como propósito fundamental la vigilancia sistemática y la eliminación de criaderos, complementadas con el empleo de insecticidas químicos. Estas acciones se apoyan, además, en métodos físicos, biológicos, campañas educativas y participación comunitaria (DNVLA, 2012). No obstante, al igual que en otros países, el control vectorial enfrenta el problema creciente de la resistencia a insecticidas, tanto en mosquitos como en cucarachas, como resultado de la exposición continua a estos productos (WHO, 2017). En el contexto cubano, se ha documentado resistencia en poblaciones de *Ae. aegypti* a distintos grupos de insecticidas sintéticos en condiciones de laboratorio (Rodríguez et al., 2009, 2010, 2016; Bisset et al., 2011, 2016), así como cambios en parámetros biológicos asociados a la capacidad vectorial, entre ellos el aumento de la longevidad en *Ae. aegypti* y *Culex quinquefasciatus* (Suárez et al., 1999, 2002). De manera similar, estudios con *B. germanica* también han evidenciado resistencia a varios insecticidas convencionales (Díaz et al., 2000, 2003).

Ante este escenario, la búsqueda de alternativas compatibles con los programas integrados de control de plagas resulta indispensable. Entre ellas, los productos de origen botánico, y particularmente los aceites esenciales, han despertado gran interés por su actividad biológica frente a diversas especies de insectos. Se ha demostrado que estos compuestos pueden actuar como ovicidas, larvicidas, adulticidas, repelentes y reguladores del crecimiento (Isman, 2016), además de presentar ventajas potenciales relacionadas con su origen natural y su menor persistencia ambiental. En Cuba, la riqueza florística ofrece una base importante para la prospección de especies con actividad insecticida, como ya había señalado Roig (1965). Aunque varias plantas se han evaluado desde el punto de vista químico

y fitosanitario, especialmente frente a plagas agrícolas (Sánchez et al., 2013; Infante et al., 2013; Duarte et al., 2013), su estudio en vectores de importancia médica aún requiere mayor desarrollo (Pino et al., 2013).

2. Metodología / experiencia de evaluación

Los resultados presentados corresponden a un resumen de la experiencia acumulada por el Laboratorio de Control Químico del Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí en la evaluación de aceites esenciales con potencial para el control de artrópodos de importancia médica (Leyva et al., 2019, 2020a, 2020b, 2021, 2022). En estos estudios se analizaron aceites esenciales obtenidos de *Bursera graveolens*, *Citrus aurantium*, *Curcuma longa*, *Curcuma aeruginosa*, *Eucalyptus globulus*, *Melaleuca quinquenervia*, *Ocimum basilicum* y *Piper aduncum* subsp. *ossanum*.

La evaluación biológica incluyó bioensayos sobre distintas fases del ciclo de vida de mosquitos de importancia médica, principalmente *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* y *Cx. quinquefasciatus*, con el fin de determinar actividad larvicida, inhibición de la emergencia de adultos, acción adulticida, repelencia a la oviposición y protección contra picaduras. La actividad adulticida se valoró mediante metodologías de botellas y papeles impregnados, lo que permitió comparar la respuesta de las especies ante distintos sistemas de exposición. También se realizaron estudios con *B. germanica*, en los que se determinó el estado de susceptibilidad a varios aceites esenciales mediante metodologías estandarizadas en hembras y machos de 3 a 6 días de emergidos. Adicionalmente, se evaluó el efecto de *C. aurantium* sobre el ciclo biológico de esta especie mediante ensayos por ingestión y aplicación tópica en ninfas de segundo instar y en adultos.

Esta experiencia experimental también permitió analizar aspectos prácticos de las metodologías empleadas. En el caso de los aceites esenciales, el uso de botellas impregnadas favoreció condiciones de mayor hermeticidad, lo que probablemente incrementó la acción fumigante de los compuestos volátiles y, por tanto, la mortalidad registrada. En contraste, los papeles impregnados ofrecieron ventajas operativas relacionadas con su reutilización y conservación. Estas observaciones fueron relevantes para la interpretación de la variabilidad en la respuesta biológica registrada entre métodos de exposición.

3. Resultados

Los aceites esenciales evaluados mostraron actividad larvicida significativa, con concentraciones letales medias (CL₅₀) inferiores a 100 mg/L en las poblaciones estudiadas de *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* y *Cx. quinquefasciatus*. Entre los resultados más relevantes, los aceites de *M. quinquenervia* y *C. aurantium* provocaron un efecto inhibitor sobre la emergencia de adultos en estas especies, lo que sugiere que la aplicación de concentraciones equivalentes a la CL₉₀ en el estadio larval puede traducirse en una reducción efectiva de las poblaciones adultas.

La actividad adulticida también fue demostrada para la mayoría de los aceites ensayados, con excepción de *C. aurantium*, mediante las metodologías de botellas y papeles impregnados. Destaca que, para la región de las Américas, se informó por primera vez la actividad adulticida de los aceites de *B. graveolens*, *C. longa*, *C. aeruginosa*, *P. aduncum* subsp. *ossanum* y *O. basilicum* sobre las especies de mosquitos evaluadas. En cuanto al efecto repelente, la formulación al 20 % de *M. quinquenervia* en dipropilenglicol mostró el mayor tiempo de protección, con 4.5 horas, mientras que las formulaciones de *C. aurantium* ofrecieron entre 1.5 y 2.5 horas de protección. Asimismo, los aceites estudiados evidenciaron repelencia a la oviposición, lo que respalda su posible empleo en recipientes o sitios propensos a la postura de huevos.

En *B. germanica*, los aceites de *C. aurantium*, *O. basilicum*, *P. aduncum* subsp. *ossanum* y *E. globulus* mostraron actividad insecticida. El aceite de *O. basilicum* presentó la mayor efectividad, al registrar las menores concentraciones letales, seguido por *E. globulus*, *C. aurantium* y *P. aduncum* subsp. *ossanum*. Además, *C. aurantium* afectó el ciclo biológico de esta especie, tanto por ingestión como por aplicación tópica, lo que evidencia un efecto no solo letal, sino también regulador del desarrollo.

La actividad insecticida observada puede atribuirse a la compleja composición química de los aceites esenciales y a la posible participación de múltiples modos de acción. Entre los compuestos identificados destacan d-limoneno, α -terpineno, β -terpineno, p-ocimeno, mirceno, canfeno, sabineno, terpinoleno, 1,8-cineol, α -terpineol, l-camphor, 4-terpinen-ol, viridiflorol y verbenona, varios de los cuales han sido asociados previamente con actividad insecticida. También se registraron efectos sobre el ciclo biológico de mosquitos y cucarachas, como mortalidad durante la muda, adherencia de exuvias, alteraciones en la fecundidad y fertilidad, y retrasos en el desarrollo. Estos efectos concuerdan con la hipótesis de que ciertos metabolitos secundarios interfieren en el equilibrio hormonal entre ecdisona y hormona juvenil, provocando mudas anormales, interrupciones del desarrollo y mortalidad.

4. Conclusiones

La experiencia cubana en la evaluación de aceites esenciales demuestra que estos productos botánicos poseen un alto potencial como alternativa para el control de artrópodos de importancia médica, especialmente mosquitos y cucarachas. Los resultados obtenidos evidencian actividades larvicidas, adulticidas, repelentes, oviposturas disuasivas y efectos reguladores del crecimiento, lo que confirma la versatilidad biológica de estos compuestos y su posible incorporación a estrategias integradas de manejo vectorial. La disponibilidad de plantas aromáticas en Cuba, junto con los elevados costos y las limitaciones del uso continuado de insecticidas sintéticos, refuerza la pertinencia de continuar la búsqueda de aceites esenciales con eficacia comprobada y bajo riesgo ambiental. No obstante, su posible aplicación a mayor escala requiere profundizar en aspectos como la estandarización de formulaciones, la estabilidad de los compuestos, la biodisponibilidad de las especies vegetales, la seguridad toxicológica y su impacto ecológico. El estudio integral de los candidatos más promisorios permitirá avanzar hacia el desarrollo de formulados naturales capaces de contribuir, de manera racional y sostenible, al control de especies vectoras de enfermedades tropicales y a la protección del medio ambiente.

Referencias Citadas

- Bisset, J. A., Rodríguez, M. M., Hurtado, D., Hernández, H., Valdéz, V., & Fuentes, I. (2016). Resistencia a insecticidas y sus mecanismos bioquímicos en *Aedes aegypti* del municipio Boyeros en los años 2010 y 2012. *Rev Cubana Med Trop*, 68(1).
- Bisset, J. A., Rodríguez, M., Moya, M., Ricardo, Y., Montada, D., Gato, R., & Pérez, O. (2011). Efectividad de formulaciones de insecticidas para el control de adultos de *Aedes aegypti* en La Habana, Cuba. *Rev Cubana Med Trop*, 63(2).
- Celmeli, F., Yavuz, S. T., Turkkahraman, D., Simsek, O., Kılinc, A., & Sekerel, B. E. (2016). Cockroach (*Blattella germanica*) sensitization is associated with coexistence of asthma and allergic rhinitis in childhood. *Pediatric Allergy, Immunology, and Pulmonology*, 29(1), 38-43.
- Chellappandian, M., Vasantha-Srinivasan, P., Senthil-Nathan, S., Karthi, S., Thanigaivel, A., Ponsankar, A., Kalaivani, K., & Hunter, W. B. (2018). Botanical essential oils and uses as mosquitocides and repellents against dengue. *Environment International*, 113, 214-230.
- Corrales, E., Troyo, A., & Calderón, O. (2015). Chikungunya: un virus que nos acecha. *Act Méd Costarric*, 57(1), 7-15.

- Díaz, C., Enríquez, D., & Bisset, J. A. (2003). Status of resistance to insecticides in field strains of the *Blattella germanica* species (Dictyoptera: Blattellidae) from Pinar del Río municipality. *Rev Cubana Med Trop*, 55, 196-202.
- Díaz, C., Pérez, M., Rodríguez, M. M., Calvo, E., Bisset, J. A., & Fresneda, M. (2000). Resistance to insecticides in *Blattella germanica* species strains from Santiago de Cuba. *Rev Cubana Med Trop*, 52, 24-30.
- Dietrich, D. E., Martin, A. D., & Brogden, K. A. (2014). Human β -defensin HBD3 binds to immobilized *Bla* g2 from the German cockroach (*Blattella germanica*). *Peptides*, 53, 265-269.
- DNVLA. (2012). Manual de normas y procedimientos técnicos para la vigilancia y lucha antivectorial. Editorial Ciencias Médicas, La Habana, Cuba.
- Duarte, Y., Pino, O., Infante, D., Sánchez, Y., Travieso, M. C., Martínez, B., et al. (2013). Efecto in vitro de aceites esenciales sobre *Alternaria solani* Sorauer. *Rev Protec Veg*, 28(1), 54-59.
- Fauci, A. S., & Morens, D. M. (2016). Zika virus in the Americas — yet another arbovirus threat. *N Engl J Med*, 374(7), 601-604.
- Hamu, H., Debalke, S., Zemene, E., Birlie, B., Mekonnen, Z., & Yewhalaw, D. (2014). Isolation of intestinal parasites of public health importance from cockroaches (*Blattella germanica*) in Jimma Town, Southwestern Ethiopia. *J Parasitol Res*.
- Infante, D., Martínez, B., Sánchez, Y., & Pino, O. (2013). Efecto de aceites esenciales sobre cuatro cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels. *Rev Protec Veg*, 28(2), 153-157.
- Isman, M. B. (2016). Pesticides based on plant essential oils: Phytochemical and practical considerations. En *Recent advances in botanicals for integrated pest management*.
- Leyva, M., Marquetti, M. C., Montada, D., Morejón, G., Pino, O., & Granados-Echegoyen, C. (2021). Insecticidal activity of *Citrus aurantium* essential oil against dengue mosquito vector *Aedes aegypti*. *Southwestern Entomologist*.
- Leyva, M., Marquetti, M. C., Montada, D., Payroll, J. A., Scull, R., Morejón, G., & Pino, O. (2020). Actividad insecticida de los aceites esenciales de *Piper aduncum* subsp. *ossanum* y *Ocimum basilicum* sobre *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* y *Culex quinquefasciatus*. *Novitates Caribaeae*, 16, 122-132.
- Leyva, M., Marquetti, M. C., Montada, D., Payroll, J. A., Scull, R., Morejón, G., & Pino, O. (2019). Ovicidal activity and repellent of essential oils on the oviposition of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Integr J Vet Biosci*, 3(1), 1-6.
- Leyva, M., Marquetti, M. C., Montada, D., Payroll, J. A., Scull, R., Morejón, G., & Pino, O. (2020). Aceites esenciales de *Eucalyptus globulus* (Labill.) y *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch. para el control de mosquitos de importancia médica. *The Biologist*, 18(2), 239-250.
- Leyva, M., Marquetti, M. C., Montada, D., Scull, R., Díaz, Y., Chico, R., & Pino, O. (2022). Actividad insecticida de aceites esenciales sobre *Blattella germanica* (Linnaeus, 1767) (Dictyoptera: Blattellidae). *Rev Cubana Med Trop*, 74(2), e76.
- Masetti, A. (2016). The potential use of essential oils against mosquito larvae: A short review. *Bulletin of Insectology*, 69(2), 307-310.
- Montada, D., Bisset, D., Lazcano, D., Castex, M., Leyva, M., San Blas, O., & González, I. (2013). Efectividad del Sipertrin en el control de *Aedes aegypti* en Santa Clara, Villa Clara. *Rev Cubana Med Trop*, 65(3).
- Montada, D., Diéguez, L., Llambias, J. J., Bofill, M., Codina, A., & Estévez, S. (2012). Tratamiento con K-Othrine WG250 (deltametrina) en un área con alta infestación de *Aedes aegypti*. *Rev Cubana Med Trop*, 64(3), 330-334.
- Montada, D., Leyva, M., Valdés, J. D., Laveaga, D., Duquesne, J., Brito, A., Lizano, R., de la Paz, J. A., & Fimia Duarte, R. (2025). Effectiveness of Cytrol 10.8 ULV and Cytrol 0.4 LPU in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) control in Cárdenas, Matanzas, Cuba. *IJRAW*, 4(2), 9-21.
- Montada, D., Silva, M. L., Reyes, J. D., Brito, A., Lizano, R., & de la Paz, J. A. (2025). Effectiveness of ALPHABAN 40 WP (Cypermethrin) insecticide in *Blattella germanica* and *Aedes aegypti* control in Cuba. *J Biomed Res Environ Sci*, 6(6), 695-703.
- Muema, J. M., Bargul, J. L., Sospeter, N., Onyango, J. O., & Imbahale, S. (2017). Prospects for malaria control through manipulation of mosquito larval habitats and olfactory-mediated behavioural responses using plant-derived compounds. *Parasit Vectors*, 10, 184.

- Noletto Dias, C., & Fernandes, D. (2013). Essential oils and their compounds as *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) larvicides: Review. *Parasitol Res*.
- Pai, H. H., Chen, W. C., & Peng, C. F. (2005). Isolation of bacteria with antibiotic resistance from household cockroaches (*Periplaneta americana* and *Blattella germanica*). *Acta Trop*, 93, 259-265.
- Pino, O., Sánchez, Y., & Rojas, M. (2013). Plant secondary metabolites as an alternative in pest management. I: Background, research approaches and trends. *Rev Protec Veg*, 28(2).
- Pitarokili, D., Michaelakis, A., Koliopoulos, G., Giatropoulos, A., & Tzakou, O. (2011). Chemical composition, larvicidal evaluation, and adult repellency of endemic Greek *Thymus* essential oils against the mosquito vector of West Nile virus. *Parasitol Res*, 109(2), 425-430.
- Rodríguez, M. M., Bisset, J. A., Pérez, O., Montada, D., Moya, M., Ricardo, Y., & Valdés, V. (2009). Estado de la resistencia a insecticidas y sus mecanismos en *Aedes aegypti* en el municipio Boyeros. *Rev Cubana Med Trop*, 61(2), 187-198.
- Rodríguez, M. M., Bisset, J. A., Ricardo, Y., Pérez, O., Montada, D., Figueredo, D., & Fuentes, I. (2010). Resistencia a insecticidas organofosforados en *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) de Santiago de Cuba, 1997-2009. *Rev Cubana Med Trop*, 62(3), 217-223.
- Sánchez, Y., Correa, T. M., Abreu, Y., & Pino, O. (2013). Efecto del aceite esencial de *Piper auritum* Kunth y sus componentes sobre *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson y *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel) Dowson. *Rev Protec Veg*, 28(3), 204-210.
- Shepard, D. S., Coudeville, L., Halasa, Y. A., Zambrano, B., & Dayan, G. H. (2011). Economic impact of dengue illness in the Americas. *Am J Trop Med Hyg*, 84, 200-207.
- Solomon, F., Belayneh, F., Kibru, G., & Ali, S. (2016). Vector potential of *Blattella germanica* (L.) (Dictyoptera: Blattellidae) for medically important bacteria at food handling establishments in Jimma Town, Southwest Ethiopia. *BioMed Res Int*, 2016, 3490906.
- Suárez, S., Montada, D., Castex, M., Navarro, A., & Leyva, M. (2002). Efecto de las dosis subletales de temefos sobre la supervivencia, reproducción y crecimiento poblacional de *Aedes aegypti*. *Rev Lat Microbiol*, 44(4).
- Suárez, S., Montada, D., Fuentes, O., Castex, M., & Leyva, M. (1999). Efecto de la resistencia a los insecticidas sobre algunos parámetros demográficos de 3 cepas de *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) en condiciones de laboratorio. *Rev Cubana Med Trop*, 50(2), 124-128.
- Wang, C., Abou El-Nour, M. M., & Bennett, G. W. (2008). Survey of pest infestation, asthma, and allergy in low-income housing. *J Community Health*, 33, 31-39.
- Werdin-González, J., Yeguerman, C., Marcovecchio, D., Delrieux, C., Ferrero, A., & Fernández, B. (2016). Evaluation of sublethal effects of polymer-based essential oils nanoformulation on the German cockroach. *Ecotoxicol Environ Saf*, 130, 11-18.
- WHO. (2017). Integrating neglected tropical diseases into global health and development: Fourth WHO report on neglected tropical diseases. WHO. WHO/HTM/NTD/2017.01.
- .

Experiencia del uso del control biológico para el control de *Aedes aegypti*

Zulema Menéndez Díaz^{1*}, Israel García¹, Jorge Anaya¹, Ariamys Companioni¹, René Gato¹

RESUMEN. Las enfermedades transmitidas por insectos hematófagos continúan representando un importante problema de salud pública, agravado por la resistencia creciente a los insecticidas químicos y por sus efectos adversos sobre el ambiente. En este contexto, el control biológico ha emergido como una alternativa estratégica dentro del manejo integrado de vectores, debido a su especificidad, menor impacto ecológico y potencial para reducir la dependencia de plaguicidas convencionales. El presente trabajo resume la trayectoria del control biológico de mosquitos en Cuba, desde sus bases microbiológicas hasta la incorporación de enfoques más recientes e innovadores. La evidencia revisada muestra que el uso de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* y *Bacillus sphaericus* constituyó un punto de partida sólido para el desarrollo de biolarvicidas eficaces frente a especies de importancia médica. Posteriormente, las investigaciones con nematodos entomoparásitos, peces larvífagos y copépodos ampliaron el repertorio de agentes biológicos disponibles, demostrando resultados favorables en condiciones de laboratorio y en criaderos naturales. Más recientemente, la Técnica del Insecto Estéril ha aportado evidencias alentadoras en la reducción de poblaciones adultas de *Aedes aegypti*, consolidándose como una herramienta prometedora dentro de las estrategias contemporáneas de control vectorial. La experiencia cubana evidencia una evolución progresiva desde métodos biológicos convencionales hacia enfoques integrados, sostenibles e innovadores, lo que refuerza el potencial del control biológico como componente esencial en el manejo de mosquitos de importancia médica.

Palabras clave: Control biológico; mosquitos vectores; manejo integrado.

Experience in the use of biological control for the management of *Aedes aegypti*. Diseases transmitted by hematophagous insects continue to represent a major public health challenge, further aggravated by the increasing resistance to chemical insecticides and their adverse environmental effects. In this context, biological control has emerged as a strategic alternative within integrated vector management because of its specificity, lower ecological impact, and potential to reduce dependence on conventional pesticides. This article summarizes the development of mosquito biological control in Cuba, from its microbiological foundations to the incorporation of more recent and innovative approaches. The reviewed evidence indicates that the use of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* and *Bacillus sphaericus* provided a solid basis for the development of effective biolarvicides against medically important species. Subsequently, research involving entomoparasitic nematodes, larvivorous fish, and copepods expanded the range of available biological agents, showing favorable results under laboratory conditions and in natural breeding sites. More recently, the Sterile Insect Technique has provided encouraging evidence for the reduction of adult *Aedes aegypti* populations, consolidating its role as a promising tool within contemporary vector control strategies. Cuban experience demonstrates a progressive transition from conventional biological methods to integrated, sustainable, and innovative approaches, thereby reinforcing the potential of biological control as an essential component in the management of medically important mosquitoes. **Keywords:** biological control; mosquito vectors; integrated management.

1. Introducción

Las enfermedades infecciosas transmitidas por insectos hematófagos representan una importante carga de morbilidad y mortalidad, particularmente en países donde convergen factores de riesgo sociales, económicos y ecológicos (OPS/OMS, 2018). Entre estas afecciones, el dengue, la

¹Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri, La Habana, Cuba.

*Autor para correspondencia: zulema@ipk.sld.cu

Chikungunya, la fiebre amarilla y el zika constituyen un problema prioritario de salud pública a escala mundial (WHO, 2012). A este panorama se ha sumado recientemente la fiebre de Oropouche, cuya presencia en la región de las Américas ha sido documentada mediante brotes en diversos países de América del Sur y el Caribe (OPS/OMS, 2024; Benitez et al., 2024).

Frente a la ocurrencia de brotes de enfermedades transmitidas por vectores, el uso de insecticidas químicos continúa siendo una de las respuestas más rápidas y extendidas. Sin embargo, su aplicación intensiva ha ejercido una elevada presión selectiva sobre las poblaciones de mosquitos, favoreciendo la aparición y expansión de la resistencia (Bisset et al., 2013; Bisset, 2002). A ello se suma la preocupación creciente por los efectos adversos de estos compuestos sobre los ecosistemas y, en consecuencia, sobre la salud humana (Vargas et al., 2001). En este contexto, resulta cada vez más evidente la necesidad de fortalecer alternativas de manejo integrado que permitan reducir la dependencia de los plaguicidas convencionales.

Entre estas alternativas, el control biológico ha cobrado especial relevancia. Este enfoque se basa en el empleo de organismos que parasitan, infectan, depredan o compiten con las especies blanco, y puede actuar tanto sobre estadios larvales como adultos (Rawal, 2019). Sus principales ventajas radican en su especificidad, su capacidad de adaptación a los hábitats de cría y su menor impacto ecológico en comparación con los insecticidas químicos (Marimuthu et al., 2013; WHO, 2009). Además, su implementación contribuye a disminuir la probabilidad de selección de poblaciones resistentes, lo que refuerza su valor dentro de los programas integrados de control vectorial (Rawal, 2019; Marimuthu et al., 2013).

A lo largo del siglo XX y en las primeras décadas del XXI se han desarrollado numerosas investigaciones orientadas a validar diferentes agentes biológicos para el control de culícidos. Entre los más estudiados destacan los microorganismos entomopatógenos, los nematodos parásitos, los peces larvífagos y los copépodos, todos ellos con aportes importantes al desarrollo de estrategias sostenibles de control.

2. Experiencias en Cuba

En el ámbito del control microbiológico, los microorganismos del género *Bacillus* han sobresalido por su reconocida capacidad patogénica sobre insectos. En particular, *Bacillus thuringiensis* ha sido considerado el principal agente de control microbiológico de insectos vectores, debido a su alta eficacia sobre larvas de mosquitos y simúlidos, así como por la amplitud de su espectro insecticida (Ibrahim et al., 2010).

En Cuba, las investigaciones sobre control biológico de dípteros hematófagos cobraron impulso desde mediados de la década de 1970. Un antecedente relevante fue la publicación del trabajo de Dubitsky y García (1976), resultado del intercambio científico entre las Academias de Ciencias de la antigua URSS y Cuba. Posteriormente, a finales de los años ochenta, se desarrollaron los biolarvicidas Bactivec y Griselesf, elaborados a partir de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* y *Bacillus sphaericus*, respectivamente. A partir de ello se realizaron múltiples estudios para evaluar su eficacia y efectividad frente a las principales especies de mosquitos presentes en el país (Montero et al., 1986; Montero et al., 1991). Estas experiencias se extendieron posteriormente a diferentes contextos de América Latina mediante formulaciones locales de *B. thuringiensis* SH-14 y *B. sphaericus* 2362, producidas en medios de cultivo nacionales y con cepas de estabilidad genética comprobada (Suárez et al., 2004; Cruz et al., 2005). Las investigaciones continuaron en años posteriores, incluyendo evaluaciones de susceptibilidad y estudios sobre factores que influyen en su eficacia (Gato et al., 2008; Corbillon et al., 2012; Menéndez et al., 2012).

Otro grupo de agentes biológicos ampliamente investigado en Cuba corresponde a los nematodos entomoparásitos de la familia Mermithidae. Estos organismos presentan una fase endoparasítica en el interior de la larva hospedera, donde completan su desarrollo hasta emerger y causar la muerte del insecto, característica que ha sustentado su potencial como herramienta de control biológico (Poinar, 1979; Poinar, 2001; Platzer, 2007). Entre los géneros más relevantes se encuentran *Romanomermis* y *Strelkovimermis*. El primero ha sido uno de los más estudiados, mientras que el segundo ha despertado interés por su potencial aplicación en criaderos de agua salobre (Platzer, 2007). La especie *Romanomermis iyengari* fue originalmente registrada parasitando larvas de *Anopheles* y *Culex* en la India, mientras que *Strelkovimermis spiculatus* fue descrita en Argentina en larvas de *Aedes albifasciatus* (Iyengar, 1927; Poinar y Camino, 1986). En Cuba, diversos estudios han demostrado la eficacia de estos nematodos tanto en condiciones de laboratorio como en criaderos naturales, así como la susceptibilidad de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* frente a su infestación (Santamarina y Pérez, 1997, 2007; Rodríguez et al., 2005; García et al., 2014; Menéndez Díaz et al., 2018).

Asimismo, el empleo de peces larvífagos ha constituido otra línea relevante dentro del control biológico de mosquitos. La diversidad de especies nativas e introducidas con hábitos depredadores sobre larvas ha permitido identificar varias opciones con potencial regulador, entre las que destaca *Poecilia reticulata* Peters, 1895. Esta especie ha sido valorada favorablemente debido a su plasticidad ecológica, alta voracidad y rápida reproducción, características que la convierten en un agente útil en programas locales de control. Las experiencias acumuladas en Cuba respaldan el aprovechamiento de la diversidad de peces dulceacuícolas como recurso biológico para la regulación de poblaciones larvales (Hernández et al., 2005; Rodríguez et al., 2004; Hernández y Marques, 2006; Fimia Duarte et al., 2009; Fimia Duarte et al., 2016).

Por otra parte, los copépodos ciclópodos han sido reconocidos como depredadores eficaces de estadios larvales tempranos de mosquitos. Diversos estudios internacionales han documentado su potencial para alcanzar niveles muy altos de control de larvas de *Aedes* en criaderos artificiales (Marten et al., 1994; Nam et al., 1998; Lardeux et al., 2002; Kay y Nam, 2005). En Cuba, *Macrocyclops albidus* fue recolectado en cuatro localidades con el propósito de evaluar su capacidad depredadora sobre larvas de *A. aegypti*, confirmándose su actividad como depredador activo en condiciones de laboratorio (Menéndez et al., 2004). Investigaciones posteriores mostraron una marcada reducción de las poblaciones larvales de *A. aegypti* y *Culex quinquefasciatus* en presencia de este copépodo (Suárez et al., 2005). De igual forma, la evaluación de la conducta de oviposición de hembras grávidas de *A. aegypti* en presencia de *M. albidus* y *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* demostró que el número de huevos depositados en recipientes con estos agentes fue superior al registrado en recipientes con solo agua, aunque sin diferencias estadísticamente significativas (Rodríguez et al., 2007).

Más recientemente, el control biológico de mosquitos en Cuba ha incorporado enfoques innovadores, entre los que destaca la Técnica del Insecto Estéril (TIE). Esta herramienta ha mostrado resultados alentadores en la reducción de poblaciones de adultos de *A. aegypti*, lo que la posiciona como una alternativa moderna y prometedora dentro de la evolución de las estrategias de control vectorial en el país (Gato et al., 2021; Gato et al., 2024).

3. Resultados

La evidencia acumulada muestra que el control biológico de culícidos en Cuba ha transitado por diversas etapas, desde el empleo de biolarvicidas bacterianos hasta la evaluación de nematodos entomoparásitos, peces larvífagos, copépodos y, más recientemente, la Técnica del Insecto Estéril.

En conjunto, estos estudios han confirmado la viabilidad de diferentes agentes biológicos para reducir poblaciones larvales y, en algunos casos, impactar también las densidades de adultos.

Los resultados alcanzados con *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* y *Bacillus sphaericus* evidencian que los microorganismos entomopatógenos han constituido una base sólida para el desarrollo del control biológico en Cuba. De forma paralela, los ensayos con nematodos mermítidos han permitido demostrar la susceptibilidad de especies vectores relevantes como *A. aegypti* y *A. albopictus*, ampliando el repertorio de herramientas disponibles. Las experiencias con peces larvífagos y copépodos, por su parte, han puesto de manifiesto el valor de los enemigos naturales en condiciones locales y su potencial integración en programas comunitarios y ecológicamente sostenibles.

En términos generales, la trayectoria cubana refleja una transición desde enfoques microbianos relativamente simples, predominantes en las últimas décadas del siglo XX, hacia estrategias más integrales e innovadoras durante el siglo XXI. Esta evolución responde tanto a la necesidad de enfrentar la resistencia a insecticidas como al interés por incorporar métodos más sostenibles y compatibles con el ambiente.

4. Conclusión

El control biológico de mosquitos en Cuba ha experimentado un desarrollo sostenido y diversificado, sustentado en décadas de investigación sobre bacterias entomopatógenas, nematodos mermítidos, peces larvífagos y copépodos. Estas experiencias han demostrado que es posible complementar o reducir el uso de insecticidas químicos mediante alternativas eficaces, específicas y de menor impacto ecológico. En la actualidad, la incorporación de herramientas como la Técnica del Insecto Estéril confirma que el control vectorial en Cuba avanza hacia enfoques más modernos, integrados y sostenibles. Todo ello sugiere que el futuro del manejo de mosquitos de importancia médica en el país dependerá de la articulación entre métodos biológicos tradicionales, innovaciones tecnológicas y estrategias de manejo integrado que respondan a los desafíos epidemiológicos y ambientales contemporáneos.

Referencias Citadas

- Achinelly, M. F., & Micieli, M. V. (2013). Host range of the parasite *Strelkovimermis spiculatus* (Nematoda: Mermithidae) in Argentina mosquitoes. *J Vector Ecol*, 38(1), 69-73.
- Achinelly, M. F., Micieli, M. V., Marti, G. M., & García, J. J. (2004). Susceptibility of neotropical mosquito larvae (Diptera: Culicidae) and non-target aquatic organisms to the entomoparasitic nematode *Strelkovimermis spiculatus* Poinar and Camino, 1986 (Nematoda: Mermithidae). *Nematology*, 6, 299-302.
- Benitez, A. J., Alvarez, M., Perez, L., Gravier, R., Serrano, S., Hernandez, D. M., Perez, M. M., Gutierrez-Bugallo, G., Martinez, Y., Companioni, A., Peña, C., de Armas, J. R., Couto, D., Betancourt, I. I., Sanchez, M. R., Resik, S., Kouri, V., & Guzman, M. G. (2024). Oropouche fever, Cuba, May 2024. *Emerg Infect Dis*, 30, 2155-2159.
- Bisset, J. A., Marín, R., Rodríguez, M. M., Severson, D. W., Ricardo, Y., French, L., et al. (2013). Insecticide resistance in two *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) strains from Costa Rica. *J Med Entomol*, 50, 352-361.
- Bisset, L. J. A. (2002). Uso correcto de insecticidas: control de la resistencia. *Rev Cubana Med Trop*, 54, 202-219.
- Corbillon, C. O., Gonzalez, A., Menendez, Z., Companioni, A., Bruzon, R. Y., & Diaz, M. (2012). Influence of biotic factors on the efficacy of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Rev Cubana Med Trop*, 64(3), 235-243.

- Cruz, C. A., Montero, G., Navarro, A., & Morejón, P. L. (2005). Control de culícidos con el empleo de *Bacillus thuringiensis* SH-14 var. *israelensis* en criaderos permanentes de la localidad de Fomento, provincia Sancti Spíritus, Cuba. *Rev Cubana Med Trop*, 57(3), 201-206.
- Dubitsky, A., & García, I. (1976). Fundamentos del control biológico de los dípteros hematófagos en el archipiélago cubano. *Serie Biológica*, No. 60.
- Fimia Duarte, R., Castillo Cuenca, J. C., Cepero Rodríguez, O., Corona Santander, E., & González González, R. (2009). Eficacia del control de larvas de mosquitos (Diptera: Culicidae) con peces larvívoros. *Rev Cubana Med Trop*, 61(2).
- Fimia Duarte, R., Iannacone, J., Alarcón Elba, P. M., Hernández Contreras, N., Armiñana García, R., Cepero Rodríguez, O., Cabrera García, A. M., & Zaita Ferrer, Y. (2016). Potencialidades del control biológico de peces y copépodos sobre mosquitos (Diptera: Culicidae) de importancia higiénico-sanitaria en la provincia Villa Clara, Cuba. *The Biologist (Lima)*, 14(2).
- García, I., Menéndez, Z., Hernández, N., García, G. I., Anaya, J., Companioni, A., González, A., & Gato, R. (2014). Susceptibilidad de larvas de *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) a *Strelkovimermis spiculatus* (Nematoda: Mermithidae) en condiciones de laboratorio. *Rev Cubana Med Trop*, 66(3), 453-457.
- Gato, R., Díaz, M., Bruzón, R., Menéndez, Z., González, A., Hernández, Y., & Garcia, I. (2008). Estudio de resistencia de *Aedes aegypti* a *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*. *Rev Cubana Med Trop*, 60(1), 74-77.
- Gato, R., Menéndez, Z., Prieto, E., Argilés, R., Rodríguez, M., Baldoquín, W., Hernández, Y., Pérez, D., Anaya, J., Fuentes, I., Lorenzo, C., González, K., Campo, Y., & Bouyer, J. (2021). Sterile insect technique: Successful suppression of an *Aedes aegypti* field population in Cuba. *Insects*, 12(5), 469.
- Gato, R., Menéndez, Z., Rodríguez, M., Gutiérrez-Bugallo, G., & Marquetti, M. C. (2024). Advancing the art of mosquito control: the journey of the sterile insect technique against *Aedes aegypti* in Cuba. *Infect Dis Poverty*, 13, 61.
- Hernández, E., & Marques, M. (2006). Control de larvas de *Aedes aegypti* (L.) con *Poecilia reticulata* Peters, 1895: una experiencia comunitaria en el municipio Taguasco, Sancti Spíritus, Cuba. *Rev Cubana Med Trop*, 58(2).
- Hernández, N., Fimia, R., Rojas, J. E., & García, G. I. (2005). Metodología para valorar el potencial y la capacidad depredadora de los peces larvívoros mediante observaciones directas en el laboratorio. *Rev Cubana Med Trop*, 57(2), 156-158.
- Ibrahim, M. A., Natalya, G., Matthew, J., & Lee, A. B. (2010). *Bacillus thuringiensis*: A genomics and proteomics perspective. *Bioengineered Bugs*, 1(1), 31-50.
- Iyengar, M. O. T. (1927). Parasitic nematodes of *Anopheles* in Bengal. In: *Transactions of the Far Eastern Association for Tropical Medicine*, 7th Congress (Vol. 3, pp. 128-135).
- Kay, B. H., & Nam, V. S. (2005). New strategy against *Aedes aegypti* in Viet Nam. *Lancet*, 365(9459), 613-617.
- Lardeux, F., Riviere, F., Sechan, Y., & Loncke, S. (2002). Control of the *Aedes* vectors of the dengue viruses and *Wuchereria bancrofti*: the French Polynesian experience. *Ann Trop Med Parasitol*, 96(2), S105-S116.
- Marimuthu, S., Rahuman, A. A., Kirthi, A. V., Santhoshkumar, T., Jayaseelan, C., & Rajakumar, G. (2013). Eco-friendly microbial route to synthesize cobalt nanoparticles using *Bacillus thuringiensis* against malaria and dengue vectors. *Parasitol Res*, 112, 4105-4112.
- Marimuthu, S., Rahuman, A. A., Kirthi, A. V., Santhoshkumar, T., Jayaseelan, C., & Rajakumar, G. (2013). Eco-friendly microbial route to synthesize cobalt nanoparticles using *Bacillus thuringiensis* against malaria and dengue vectors. *Parasitol Res*, 112, 4105-4112.
- Marten, G. G., Borjas, G., Cush, M., Fernández, E., & Reid, J. W. (1994). Control of larval *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) by cyclopoid copepods in peridomestic breeding containers. *J Med Entomol*, 31, 36-44.
- Menéndez Díaz, Z., García García, I., Hernández Contreras, N., González Rizo, A., Companioni Ibáñez, A., & Berovides Álvarez, V. (2018). Susceptibilidad de diferentes estadios larvarios de *Aedes albopictus*

- (Skuse) (Diptera: Culicidae) a la infección por dos especies de nematodos mermítidos en condiciones de laboratorio. *Rev Cub Med Trop*, 70(3), 83-91.
- Menéndez, Z., Rodríguez, J., Gato, A., Companioni, A., Díaz, M., & Bruzón, R. Y. (2012). Susceptibilidad de cepas de *Aedes aegypti* (L.) a *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* en La Habana. *Rev Cubana Med Trop*, 64(3), 324-329.
- Menéndez, Z., Suárez, S., Rodríguez, J., García, I., Díaz, M., & García, I. (2004). Evaluación de *Macrocyclus albidus* (J.) para el control larval de *Aedes aegypti* (L.) bajo condiciones de laboratorio en Cuba. *Rev Cubana Med Trop*, 56(3).
- Montero, G., Díaz, M., Marrero, A., & Castillo, F. A. (1991). Resultados de las aplicaciones en pilotaje del biolarvicida *Bacillus sphaericus* en criaderos de mosquitos del municipio Santa Cruz del Norte (provincia La Habana). *Rev Cubana Med Trop*, 43(1), 39-44.
- Montero, G., Espino, R., Garcia, I., & Diaz, M. (1986). Efectividad de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* SH-14 en criaderos de *Anopheles albimanus* en las condiciones naturales de Cuba. *Rev Cubana Hig Epidemiol*, 24(2), 165-171.
- Nam, V. S., Nguyen, T. Y., Kay, B. H., Marten, G. G., & Reid, J. W. (1998). Eradication of *Aedes aegypti* from a village in Vietnam, using copepods and community participation. *Am J Trop Med Hyg*, 59, 657-660.
- OPS/OMS. (2024). Epidemiological alert: Oropouche in the Region of the Americas, 2 February 2024. Washington, D.C., OPS/OMS.
- OPS/OMS. CD56. (2018). Consejo Directivo 70.a sesión del Comité Regional de la OMS para las Américas. Washington, D.C., EUA, del 23 al 27 de septiembre de 2018.
- Pérez, R., Rodríguez, C., Lara, J., Montes, B., & Ruíz, J. (2004). Parasitism of *Romanomermis iyengari* in larvae of three species of mosquito in the laboratory and in *Anopheles pseudopunctipennis* in the field. *Agrociencia*, 38(4), 413-421.
- Platzer, E. G. (2007). Mermithid nematodes. *J Am Mosq Control Assoc*, 23(sp. 2), 58-64.
- Poinar, G. O. Jr. (1979). Nematodes for biological control of insects. Boca Raton, CRC Press.
- Poinar, G. O. Jr. (2001). Nematoda and Nematomorpha. In: Thorp, J. H., & Covich, A. P. (eds), *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates* (2nd ed., pp. 255-295). San Diego, CA, Academic Press.
- Poinar, G. O. Jr., & Camino, N. B. (1986). *Strelkovimermis spiculatus* n. sp. (Mermithidae: Nematoda) parasitizing *Aedes albifasciatus* Mac. (Culicidae: Diptera) in Argentina. *J Nematol*, 18, 317-319.
- Rawal, D. (2019). A review on different strategies used for biological control of mosquitoes. *Int J Mosq Res*, 6(5), 41-43.
- Rawal, D. (2019). A review on different strategies used for biological control of mosquitoes. *Int J Mosq Res*, 6(5), 41-43.
- Rodríguez, J., García, I., Menéndez, Z., García Ávila, I., Sánchez, J., & Pérez, R. (2005). Efecto patológico de 3 nematodos parásitos en larvas de *Aedes aegypti* en condiciones de laboratorio, en Cuba. *Rev Cubana Med Trop*, 57(3), 219-222.
- Rodríguez, J., González, E., Hernández, N., Capó, V., & García, I. (2004). Comparación morfológica e histológica del tubo digestivo de *Gambusia punctulata* y *Girardinus metallicus*, peces utilizados en el control biológico de mosquitos. *Rev Cubana Med Trop*, 56(1), 73-76.
- Rodríguez, J., Menéndez, Z., García, I., Díaz, M., Sánchez, J. E., & Gato, R. (2007). Conducta de oviposición de *Aedes aegypti* (L.) en presencia de *Macrocyclus albidus* (J.) y *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* en condiciones de laboratorio. *Rev Cubana Med Trop*, 59(1).
- Santamarina, A., & Pérez, R. (2007). Aplicación del nematodo *Romanomermis culicivorax* (Nematoda: Mermithidae) en criaderos naturales de larvas de mosquitos (Diptera: Culicidae), en el Parque Lenin, Cuba. *Folia Entomol Mex*, 46(3), 119-126.
- Santamarina, M. A., & Pérez, P. R. (1997). Reduction of mosquito larval densities in natural sites after introduction of *Romanomermis culicivorax* (Nematoda: Mermithidae) in Cuba. *J Med Entomol*, 34(1), 1-4.

- Suárez, O., Montero, G., Maestre, J. L., Díaz, M., & Lugo, O. (2004). Uso del análisis de restricción en el control de calidad de cepas del biolarvicida cubano BACTIVEC. *Rev Cubana Med Trop*, 56(2), 145-147.
- Suárez, S., Rodríguez, J., Menéndez, Z., Montada, D., García, I., & Marquetti, M. C. (2005). *Macrocyclus albidus* (Copepoda: Cyclopidae): una nueva alternativa para el control de larvas de mosquitos en Cuba. *Rev Cubana Med Trop*, 57(3).
- Vargas, V. F., Roldan, R. J., Zavaleta, E. G., Gil, F. M., Ampuero, R. C., Burga, A., Moreno, B., Vergara, D. C., & Ventosilla, L. P. (2001). Producción de *Bacillus thuringiensis* H-14 var. *israelensis* utilizando espárragos (*Asparagus officinalis*) y su uso potencial para el control de la malaria en La Libertad, Perú. *Rev Med Exp*, 18(3-4).
- WHO. (2009). Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control. Geneva, Switzerland, WHO.
- WHO. (2012). Global strategy for dengue prevention and control 2012–2020. WHO Library Cataloguing in Publication Data.

Extractos vegetales solo y en mezcla con nematodos parásitos de larvas de mosquitos

Sabino Honorio Martínez-Tomás^{1*}, Rafael Pérez-Pacheco¹, Cesáreo Rodríguez-Hernández², Carlos Alejandro Granados-Echegoyen¹, Nancy Alonso-Hernández¹, Yolanda Donají Ortiz-Hernández¹, Baldomero Hortencio Zárate-Nicolás¹

RESUMEN. El extracto acuoso de semilla de *Azadirachta indica* (nim) y el nematodo *Romanomermis iyengari* han mostrado eficacia individual contra larvas de mosquitos, pero no se habían evaluado juntos en concentraciones subletales sobre larvas de segundo instar de *Culex quinquefasciatus*. En bioensayos con 20 larvas en 100 mL de agua destilada, se aplicaron diferentes concentraciones de extracto de nim y dosis de nematodos, registrándose el crecimiento larval y pupal hasta la emergencia de adultos. El extracto de nim y *R. iyengari*, por separado, inhibieron 50 % del crecimiento larval con 400 ppm y 5.4:1 nematodos/larva (CE_{50} y DE_{50}); en combinación, el mismo efecto se logró con 320 ppm + 0.5:1. Concentraciones ≥ 700 ppm, dosis $\geq 10:1$ y mezclas $\geq 4.3-5:1$ impidieron completamente la formación de pupas. Las mezclas 3.2 % + 5:1 y 5.1 % + 2.5:1 evitaron la pupación usando menor cantidad de extracto o nematodos, con IC de 0.46 y 0.45, indicando inhibición moderada. El uso subletal de ambos agentes elimina gradualmente la población, reduce la presión de selección, retrasa la resistencia y demuestra compatibilidad entre el extracto de nim y el nematodo para el control biológico de mosquitos vectores sin causar contaminación.

Palabras clave: Extracto de nim; *Romanomermis iyengari*; *Culex quinquefasciatus*.

Plant extracts alone and in combination with parasitic nematodes of mosquito larvae. The aqueous seed extract of *Azadirachta indica* (neem) and the nematode *Romanomermis iyengari* have individually shown efficacy against mosquito larvae; however, they had not been evaluated together at sublethal concentrations against second-instar larvae of *Culex quinquefasciatus*. In bioassays using 20 larvae in 100 mL of distilled water, different concentrations of neem extract and nematode doses were applied, and larval and pupal development was recorded until adult emergence. Neem extract and *R. iyengari*, when tested separately, inhibited 50% of larval development at 400 ppm and 5.4:1 nematodes/larva (EC_{50} and ED_{50}), respectively; in combination, the same effect was achieved with 320 ppm + 0.5:1. Concentrations ≥ 700 ppm, doses $\geq 10:1$, and mixtures $\geq 4.3-5:1$ completely prevented pupal formation. The mixtures 3.2% + 5:1 and 5.1% + 2.5:1 prevented pupation while using lower amounts of extract or nematodes, with IC values of 0.46 and 0.45, indicating moderate inhibition. The sublethal use of both agents gradually eliminates the population, reduces selection pressure, delays resistance, and demonstrates compatibility between neem extract and the nematode for the biological control of mosquito vectors without causing contamination. **Keywords:** neem extract; *Romanomermis iyengari*; *Culex quinquefasciatus*.

1. Introducción

El control de mosquitos ha dependido históricamente del uso de insecticidas organosintéticos, como el DDT desde 1939, cuyo empleo intensivo ha generado problemas severos de contaminación ambiental, intoxicaciones y resistencia en las poblaciones de vectores. Esta situación ha motivado la búsqueda de alternativas más seguras y sustentables para el manejo de especies de importancia médica. Diversas sustancias de origen vegetal han demostrado actividad contra mosquitos; entre ellas,

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.

*Autor para correspondencia: smartinez@ipn.mx

el nim (*Azadirachta indica*), perteneciente a la familia Meliaceae, sobresale por la acción insectistática y reguladora del crecimiento de sus compuestos bioactivos (Sukumar et al., 1991).

Paralelamente, los agentes biológicos como los nematodos parásitos del género *Romanomermis* han sido empleados con éxito en el control natural de larvas de culícidos. *Romanomermis iyengari* es un nematodo mermítido que parasita de manera específica a larvas de mosquitos y cuya eficacia ha sido documentada en laboratorio y en criaderos naturales (Gajanana et al., 1978; Chandrahas & Rajagopalan, 1979; Pérez et al., 2003). Este nematodo presenta alta capacidad infectiva, interrumpe el desarrollo larval e impide la emergencia de adultos, por lo que se considera una herramienta valiosa dentro de los programas de control biológico (Santamarina, 1994; Santamarina et al., 1992, 1996a).

Culex quinquefasciatus, uno de los principales vectores urbanos, participa en la transmisión de filariasis, encefalitis equina y virus del Nilo Occidental, además de causar molestias significativas a la población humana. Este mosquito ha demostrado una notable capacidad para desarrollar resistencia a insecticidas convencionales, lo que incrementa la urgencia de implementar estrategias de manejo biorracional (Pridantseva et al., 1990; Salazar & Moncada, 2004).

Aunque el extracto acuoso de semilla de nim y *R. iyengari* han mostrado efectos larvicidas por separado, se desconocía su compatibilidad y efectividad conjunta a concentraciones subletales aplicadas sobre larvas de segundo instar. La evaluación simultánea de ambos agentes representa una oportunidad relevante para explorar sinergias potenciales, incrementar la eficacia de control, reducir la presión de selección y prolongar la vida útil de estas alternativas de manejo. El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto del extracto acuoso de semilla de *A. indica*, del nematodo *R. iyengari* y de sus mezclas, sobre la inhibición del crecimiento y la supervivencia larval y pupal de *C. quinquefasciatus*, mediante la estimación de sus concentraciones y dosis efectivas (CE_{50}/DE_{50}) y la evaluación de su impacto sobre la formación de pupas y emergencia de adultos.

2. Materiales y métodos

La investigación se realizó en la planta de producción de nematodos del CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca y en el Área de Insecticidas Vegetales del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, evaluando el efecto del extracto acuoso de semilla de nim (*Azadirachta indica*) y del nematodo *Romanomermis iyengari*, solos y en combinación, sobre larvas de segundo instar de *Culex quinquefasciatus*. Las larvas procedieron del insectario del CIIDIR-Oaxaca. El extracto de nim se obtuvo de semillas recolectadas en Santa Rosa de Lima Tututepec (Oaxaca). Se elaboró un macerado acuoso al 10 % (20 g en 200 mL), reposado durante 24 h y filtrado; este extracto se utilizó para preparar diluciones seriadas de 1 %, 0.1 %, 0.01 %, 0.001 %, 0.0001 %, 0.00001 % y 0.000001 para la primera fase. En una segunda etapa se elaboraron nuevas diluciones (7, 5, 3, 2, 1.5, 1 y 0.3 %) para determinar con mayor precisión la concentración efectiva (CE_{50}). Los nematodos juveniles se obtuvieron según el procedimiento de Pérez et al. (2003). En los bioensayos con el extracto de nim se realizaron dos fases: la primera para establecer límites de respuesta en seis ciclos logarítmicos y la segunda para obtener la correlación entre concentración e inhibición del crecimiento. Para *R. iyengari* se efectuó un bioensayo preliminar con dosis de 35:1 a 1:1 nematodos/larva, y posteriormente un bioensayo confirmatorio con dosis de 5.0 a 0.5:1 para estimar la dosis efectiva (DE_{50}).

Para evaluar la combinación nim-nematodo, se mezclaron concentraciones efectivas del extracto (5.1, 4.3, 4.0, 3.8 y 3.2 %) con dosis efectivas del nematodo (5.0, 2.5, 2.2, 1.9 y 0.9:1). Se incluyeron tres testigos: extracto de nim al 4 % ($IC=50$ %), larvas sin tratamiento y nematodo a 2.2:1, dosis intermedia entre 5:1 y 0.5:1 que inhibe 72 % del crecimiento. Cuando el testigo alcanzó ≥ 93 % de pupación, se registraron larvas y pupas vivas y muertas por instar, clasificando a las larvas mediante inspección directa; se consideraron muertas aquellas sin movimiento al ser estimuladas. Con esta

información se calculó la inhibición del crecimiento (IC) utilizando la fórmula de Zhang et al. (1993) y posteriormente el Índice Relativo de Crecimiento (IRC), corrigiendo el IC respecto al testigo. La CE_{50} y DE_{50} se estimaron correlacionando concentración o dosis con el IRC. El diseño experimental fue completamente al azar, con cinco repeticiones por tratamiento. Se aplicaron pruebas de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante JMP versión 5.0.1 (SAS Inc., 1989) y Kruskal-Wallis para comparaciones no paramétricas. Para las mezclas nim-nematodo se utilizó regresión lineal simple para obtener valores efectivos (53–83 %) y se ajustaron los IRC del extracto al modelo Harris.

3. Resultados y discusión

Inhibición de crecimiento causada por el extracto acuoso de nim en larvas de 2° instar de *Culex quinquefasciatus*. El extracto acuoso de semilla de *A. indica* a 10 % y 7 % evitó totalmente la formación de pupas en larvas de 2° instar, mientras que a 1 % se formó entre 63–94 % de pupas, con valores de IC de 0.04–0.01, 0.04 y 0.77–0.97, respectivamente. Esto indicó que la concentración capaz de inhibir 50 % el crecimiento poblacional debía encontrarse entre 10 y 1 %, por lo que en una segunda fase se evaluaron concentraciones intermedias, incluida 0.3 %, para obtener mayor precisión. A 5 % el extracto provocó alta mortalidad larval con un IC de 0.21, mientras que a ≤ 3 % tuvo un efecto leve, registrando IC entre 0.95–0.97. El análisis confirmó que la concentración 4.0 % (400 ppm) corresponde a la CE_{50} , inhibiendo 50 % el crecimiento larval. Durante el seguimiento hasta la emergencia de adultos, las concentraciones ≥ 7 % y 5 % continuaron impidiendo la formación de pupas. A concentraciones ≤ 3 %, la viabilidad larval y pupal fue similar a la del testigo, aunque en algunas concentraciones la duración de las fases larval y pupal se acortó. El extracto inhibe 50 % el crecimiento larval con 400 ppm y evita la formación de pupas con 5–7 %.

Inhibición de crecimiento causada por *Romanomermis iyengari* en larvas de 2° instar de *C. quinquefasciatus*. El nematodo evitó la formación de pupas cuando se aplicó a dosis $\geq 10:1$ nematodos/larva. Las dosis 5:1 y 1:1 produjeron 99–100 % y 60–63 % de mortalidad, con IC de 0.49 y 0.65–0.69, sugiriendo que la DE_{50} se encontraba entre estos valores. En la fase de mayor correlación (Fase 2), dosis $\geq 3.4:1$ ocasionaron mortalidades de 92–100 % e inhibieron más del 50 % del crecimiento (IC ≈ 0.49). Dosis $\leq 3.1:1$ permitieron la supervivencia de 12–42 % de larvas, con IC entre 0.49 y 0.71; la dosis 0.5:1 mostró crecimiento normal. Al alcanzarse 93–96 % de pupación en el testigo, la DE_{50} se estimó en 5.4 nematodos/larva. Al evaluar la emergencia de adultos, dosis $\geq 3.4:1$ provocaron 97–100 % de mortalidad larval, mientras que con dosis $\leq 3.1:1$ hasta 1:1 emergió 95.5 % o más de adultos. Con 0.5:1, la viabilidad larval y pupal fue similar a la del testigo. Las larvas que evitaron el parasitismo mantuvieron duraciones larvales y pupales normales. *Romanomermis iyengari* inhibe 50 % el crecimiento con 5.4:1, elimina larvas antes de pupa a dosis $\geq 10:1$ y provoca mortalidad por parasitismo a dosis $\leq 5:1$.

Inhibición de crecimiento por nim y *R. iyengari* en combinación. Las combinaciones de 5:1 nematodos/larva con 5.1, 4.3 y 3.2 % de extracto de nim, así como 2.5:1 con 5.1 %, evitaron por completo la formación de pupas en larvas de 2° instar. Todas las mezclas generaron 90–100 % de mortalidad, con IC entre 0.42 y 0.52, lo que representa una inhibición moderada del crecimiento. La combinación mínima efectiva —0.5:1 nematodos/larva + 3.2 % de extracto inhibió 50 % el crecimiento. Estos resultados indican que es posible reducir tanto la concentración de nim como la dosis de nematodos sin perder eficacia, manteniendo la coherencia con los valores de IC y con los modelos estadísticos aplicados (Zhang et al., 1993; análisis de Kruskal–Wallis y Tukey).

Cuando el extracto de nim al 4.0 % se aplicó por separado a larvas de 2° instar, produjo un IC = 0.55; al combinarse con 5, 2.2 y 1.9:1 nematodos/larva, los IC fueron 0.48, 0.48 y 0.49, similares al testigo. Sin embargo, la combinación con 2.5:1 nematodos/larva generó un IC = 0.46, indicando inhibición

de crecimiento moderada. Por otro lado, el nematodo aplicado solo a 2.2:1 mostró un IC de 0.74, lo que significa inhibición leve, pero al combinarse con las cinco concentraciones de nim (5.1, 4.3, 4.0, 3.8 y 3.2 %) los IC oscilaron entre 0.45 y 0.49, evidenciando inhibición moderada e indicando un efecto significativo del extracto sobre larvas de 2° instar. Al evaluarse hasta la emergencia de adultos, las combinaciones 5:1 nematodos + 5.1, 4.3 o 3.2 % de nim, así como 2.5:1 + 5.1 %, evitaron la formación de pupas, mientras que la duración y viabilidad larval-pupal permaneció normal.

Efectos múltiples del nim y el nematodo. Se presentó un efecto sinergista cuando el nim al 3.0 % (IC = 0.95) y el nematodo a 0.5:1 (IC = 0.96) —cada uno con inhibición mínima— se aplicaron juntos, obteniéndose un IC = 0.50, lo que indica inhibición moderada. Esto coincide con Abdel-Razek y Gowen (2002), quienes reportaron sinergia entre extractos de nim y nematodos entomopatógenos. Sin embargo, a concentraciones más altas (4.0 % de nim + 5:1 nematodos) no se observó sinergia (IC = 0.48), ya que los valores fueron equivalentes a los agentes por sí solos. Cuando el nim al 4.0 % se mezcló con las cinco dosis del nematodo, la mortalidad de larvas de 3° instar promedió 13.6 %, mientras que las combinaciones con 2.2:1 nematodos promediaron 17.4 %, indicando que el nematodo produjo mayor mortalidad que el extracto de nim solo (16 %). Este patrón sugiere que el nim podría debilitar previamente a las larvas, aumentando su susceptibilidad al parasitismo, posiblemente por efectos de aleloquímicos como azadiractina, meliantriol o salanina (El-Ela et al., 1998). Esto coincide con Rovesti y Deseo (1989), quienes observaron efectos fisiológicos del nim sobre nematodos entomopatógenos. Los resultados confirman que *R. iyengari* inhibe el crecimiento larval y reduce las poblaciones de *C. quinquefasciatus*. A dosis $\geq 10:1$, provoca parasitismo total, interrumpe la metamorfosis y evita la emergencia de adultos, coincidiendo con Pérez et al. (2002, 2003) y apoyando su utilidad para reducir vectores transmisores de filariasis, encefalitis y fiebre del Nilo Occidental (Salazar y Moncada, 2004). A dosis $\leq 5:1$, la mortalidad se debió al parasitismo durante el desarrollo interno del nematodo. Las dosis evaluadas no permiten que larvas parasitadas completen la pupación, y la aplicación de 5.4 (4.7–6.5):1 nematodos/larva inhibe 50 % el crecimiento poblacional.

Inhibición combinada nim–nematodo. Para evitar la formación de pupas en 2° instar, la mezcla 3.2 % de nim + 5:1 nematodos/larva permite usar menos extracto y más nematodos; mientras que 5.1 % de nim + 2.5:1 permite usar más extracto y menos nematodos. La combinación 5.1 % + 5:1 mostró el mayor efecto, con IC = 0.42, mientras que 3.8 % + 0.5:1 presentó el menor efecto (IC = 0.52). Estos resultados evidencian el potencial de las mezclas nim–nematodo en el control larvario de *C. quinquefasciatus*. Se recomienda evaluar diferentes secuencias de aplicación: primero concentraciones altas de nim, permitiendo su degradación antes de aplicar el nematodo, o bien aplicar primero el nematodo y después el extracto. El extracto de nim es compatible con *R. iyengari* y ambas alternativas pueden integrarse al control biológico de mosquitos, evitando la formación de pupas y la emergencia de adultos, sin afectar fauna benéfica ni causar contaminación.

4. Conclusión

El extracto acuoso de la semilla de nim *A. indica* y del nematodo *R. iyengari* por separado, inhiben en 50% el crecimiento de la población (CE₅₀ y DE₅₀) de larvas de 2° instar de *C. quinquefasciatus* con 400 ppm y 5.4:1 nematodos/larva respectivamente, y en forma conjunta con 320 ppm y 0.5:1; y afectan la duración y viabilidad tanto larval como pupal al grado de evitar la formación de pupas y emergencia de adultos. La mezclas del extracto acuoso de la semilla de nim *A. indica* y del nematodo *R. iyengari* de 3.2 y 5:1, 5.1% y 2.5:1 nematodos/larva, evitaron la formación de pupas y en la primera menor gasto de extracto de nim y en la segunda de nematodos, con IC de 0.46 y 0.45 respectivamente, indicando moderada inhibición de crecimiento.

Referencias Citadas

- Abdel-Razek, A. S., & Gowen, S. R. (2002). Effects of neem (*Azadirachta indica*) extract on the entomopathogenic nematodes *Steinernema* and *Heterorhabditis*. *International Journal of Nematology*, 12, 61-66.
- Chandrabhas, R. K., & Rajagopalan, P. K. (1979). Mosquito breeding and natural parasitism of larvae by *Coelomomyces* and the mermithid nematode *Romanomermis* in paddy fields in Pondicherry. *Indian Journal of Medical Research*, 69, 63-70.
- El-Ela, A. A., Abul-Soud, M. A., & El-Gengaihi, S. (1998). Biochemical effects of neem seed extracts on insect pests. *Journal of Applied Entomology*, 122, 33-38.
- Gajanana, A., Kazmin, S. J., Bheema Rao, U. S., Suguna, S. G., & Chandrabhas, R. K. (1978). Studies on a nematode parasite (*Romanomermis* sp., Mermithidae) of mosquito larvae isolated in Pondicherry. *Indian Journal of Medical Research*, 68, 242-247.
- Pérez, P. R., Flores, G. A., Salinas, J. C., Martínez, S. T., & Ramírez, C. L. (2002). Efectividad de nematodos parásitos *Romanomermis* spp. para el control biológico de larvas de mosquitos en Tampico, Tamaulipas. En: XXXVII Congreso Nacional de Entomología y 50th Annual Meeting SWBESA, Guanajuato, México, pp. 479-482.
- Pérez, P. R., Rodríguez, H. C., Lara, R. J., Montes, B. R., & Ramírez, V. G. (2003). Susceptibilidad de larvas de mosquitos *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) al parasitismo del nemátodo *Romanomermis iyengari*. *Folia Entomológica Mexicana*, 42, 321-327.
- Pridantseva, E. A., Lebedeca, N. I., Sheherban, Z. P., & Kadyrova, M. K. (1990). An evaluation of the possibility for mosquito control in Uzbekistan. *Meditinskaya Parazitologiya*, 1, 15-17.
- Rovesti, L., & Deseo, K. V. (1990). Compatibility of chemical pesticides with entomopathogenic nematodes *Steinernema carpocapsae* and *S. feltiae* (Nematoda: Steinernematidae). *Nematologica*, 36(4), 237-245.
- Salazar, M. J., & Moncada, L. I. (2004). Ciclo de vida de *Culex quinquefasciatus* Say, 1826 (Diptera: Culicidae) bajo condiciones no controladas en Bogotá. *Biomédica*, 24, 385-392.
- Santamarina, M. A. (1994). Actividad parasitaria de *Romanomermis iyengari* (Nematoda: Mermithidae) en criaderos naturales de larvas de mosquitos. *Miscelánea Zoológica*, 17, 59-65.
- Santamarina, M. A., García, A. I., & González, B. R. (1992). Capacidad infestiva del nematodo parásito *Romanomermis iyengari* en larvas de mosquitos en condiciones naturales. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 49, 92-97.
- Santamarina, M. A., García, A. I., Rivera, R. J., & Solís, M. A. (1996a). Release of *Romanomermis iyengari* to control *Aedes taeniorhynchus* in Punta del Este, Isla de la Juventud, Cuba. *Journal of Medical Entomology*, 33, 680-682.
- Zhang, M., Chaudhuri, S. K., & Kubo, I. (1993). Quantification of insect growth and its use in screening naturally occurring insect control agents. *Journal of Chemical Ecology*, 19(6), 1109-1118.

Mecanismos de acción biológica de metabolitos secundarios de origen fúngico y botánico sobre Insectos: Una mini revisión

José Abimael Campos-Ruiz^{1*}, Carlos Granados-Echegoyen², Sabino Honorio Martínez-Tomas¹, Nancy Alonso-Hernández², Brenda Jazmín Nolasco-Pérez¹

RESUMEN. Los metabolitos secundarios (MS) son productos naturales sintetizados por hongos y plantas como mecanismos de defensa química. Estos compuestos exhiben diversos niveles de actividad biológica sobre los procesos celulares y fisiológicos de los insectos. Esta revisión analiza los principales grupos de MS con efectos insecticidas e insectistáticos. Los alcaloides destacan por su neurotoxicidad y capacidad de inducir estrés oxidativo. Los flavonoides y cumarinas interfieren con el sistema enzimático de desintoxicación (citocromo P450 y esterasas). Los taninos provocan lesiones histológicas en el mesenterón, mientras que los terpenoides actúan principalmente como antialimentarios y disruptores del desarrollo endocrino. El estudio de estos compuestos es fundamental para el desarrollo de bioplaguicidas en el marco de una agricultura sostenible.

Palabras clave: Control biorracional, insectistático, modo de acción, productos naturales, estrés oxidativo.

Biological mechanisms of action of fungal- and botanical-derived secondary metabolites on insects: A mini-review. Secondary metabolites (SMs) are natural products synthesized by fungi and plants as chemical defense mechanisms. These compounds exhibit various levels of biological activity on the cellular and physiological processes of insects. This review analyzes the main groups of SMs with insecticidal and insectistatic effects. Alkaloids are prominent for their neurotoxicity and ability to induce oxidative stress. Flavonoids and coumarins interfere with the detoxification enzyme systems (cytochrome P450 and esterases). Tannins cause histological lesions in the midgut, while terpenoids act primarily as antifeedants and endocrine disruptors. The study of these compounds is essential for the development of biopesticides within the framework of sustainable agriculture. **Keywords:** Biorational control, insectistatic, mode of action, natural products, oxidative stress.

1. Introducción

Los productos naturales comprenden moléculas orgánicas de alta complejidad estructural producidas por organismos vivos. Entre estos, los metabolitos secundarios (MS) se definen como moléculas no esenciales para las funciones metabólicas básicas (crecimiento y reproducción), pero cruciales para la interacción ecológica y la supervivencia ante estresores bióticos y abióticos (Monfil & Casas-Flores, 2014; Teichert et al., 2014).

La clasificación de los MS se basa generalmente en su biosíntesis y estructura química en tres grandes categorías: compuestos fenólicos (cumarinas, flavonoides y taninos), compuestos nitrogenados (alcaloides) y terpenoides (Chowański et al., 2016; Kuete, 2013). En el contexto de la entomología aplicada, estos compuestos actúan como barreras químicas que alteran la homeostasis del insecto, provocando desde la inhibición de la alimentación y reducción de la fecundidad hasta la mortalidad (Wink, 2013; Rattan, 2010).

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

²Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)- Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: josecampos92@gmail.com

2. Alcaloides: Neurotoxicidad y estrés oxidativo

Los alcaloides representan uno de los grupos más diversos (>12,000 compuestos) con una marcada actividad biológica (Chowański et al., 2016). Su modo de acción es multiobjetivo: Estrés oxidativo y apoptosis: Inducen la formación de especies reactivas de oxígeno (ERO), alterando el potencial de la membrana mitocondrial y aumentando la concentración de iones de calcio intracelular, lo que desencadena rutas de muerte celular programada (Adamski et al., 2014; Macedo-Márquez, 2012). Disrupción del sistema nervioso: Algunos alcaloides mimetizan neurotransmisores como la acetilcolina, uniéndose a sus receptores y provocando hiperexcitación, convulsiones y parálisis (Celis et al., 2010). Efectos endocrinos: Interfieren con la hormona protoracicotrópica (HPTT), bloqueando la síntesis de ecdisona y hormona juvenil, lo que resulta en mudas fallidas o adultos con malformaciones alares y esterilidad (Ge et al., 2015; Orozco-Sánchez & Rodríguez-Monroy, 2007).

3. Flavonoides y cumarinas: Inhibidores enzimáticos

Ambos grupos actúan principalmente comprometiendo la capacidad del insecto para metabolizar xenobióticos: Flavonoides: Reducen la actividad de enzimas clave como la Glutathion-S-transferasa y las esterasas, esenciales para la desintoxicación (Baskar & Muthu, 2014). Además, afectan el transporte de electrones en la mitocondria al inhibir la ubiquinona oxidorreductasa (Pavela et al., 2019). Cumarinas: Actúan de forma sinérgica al inhibir el sistema del citocromo P450, lo que potencia la toxicidad de otros compuestos presentes en la planta o aplicados externamente (Wen et al., 2009).

4. Taninos: Impacto en el tracto digestivo

Los taninos (hidrolizables y condensados) actúan principalmente en el mesenterón del insecto. La oxidación de estos compuestos en el lumen intestinal genera un ambiente pro-oxidante que causa lesiones histológicas severas en el epitelio intestinal, reduciendo drásticamente la absorción de nutrientes (Barbehenn & Constabel, 2011; Galati et al., 2002).

5. Terpenoides y saponinas: Antialimentarios y miméticos de hormonas

Los terpenoides inhiben la secreción de proteasas digestivas, provocando un estado de inanición funcional e inhibición del crecimiento (Vázquez-Luna et al., 2007). Por otro lado, las saponinas, debido a su similitud estructural con los esteroides, actúan como antagonistas de la ecdisona, interrumpiendo el ciclo de muda (Geyter, 2012).

6. Conclusiones

Los metabolitos secundarios de plantas y hongos poseen mecanismos de acción pleiotrópicos que dificultan el desarrollo de resistencia en los insectos plaga. Su capacidad para actuar como neurotoxinas, inhibidores enzimáticos y disruptores endocrinos los posiciona como pilares para el desarrollo de insecticidas botánicos y bioplaguicidas de bajo impacto ambiental. A pesar del avance en el conocimiento de su química, persisten vacíos críticos: a) Sinergismo: Existe poca información sobre cómo las mezclas complejas de MS dentro de un extracto crudo potencian su toxicidad en comparación con compuestos aislados; b) Selectividad: Es imperativo evaluar el impacto de estos compuestos sobre enemigos naturales y polinizadores para garantizar su seguridad en programas de manejo integrado de plagas; c) Estabilidad Térmica y fotodegradación: La rápida degradación de muchos MS en condiciones de campo limita su eficacia residual, requiriendo innovaciones en formulación.

Referencias Citadas

- Adamski, Z., Marciniak, P., Ziemnicki, K., Büyükgüzel, E., Erdem, M., Büyükgüzel, K., Ventrella, E., Falabella, P., Cristallo, M., Salvia, R., Bufo, S. A., & Scrano, L. (2014). Potato leaf extract and its component, α -solanine, exert similar impacts on development and oxidative stress in *Galleria mellonella* L. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 87(1), 26–39.
- Barbehenn, R. V., & Constabel, P. C. (2011). Tannins in plant-herbivore interactions. *Phytochemistry*, 72(13), 1551–1565.
- Baskar, K., & Muthu, C. (2014). Effect of pectolinarigenin, a flavonoid from *Clerodendrum phlomidis*, on total protein, glutathione S-transferase and esterase activities of *Earias vittella* and *Helicoverpa armigera*, 323–331.
- Chowański, S., Adamski, Z., Marciniak, P., Rosiński, G., Büyükgüzel, E., Büyükgüzel, K., Falabella, P., Scrano, L., Ventrella, E., Lelario, F., & Bufo, S. A. (2016). A review of bioinsecticidal activity of Solanaceae alkaloids. *Toxins*, 8(3), 60.
- Galati, G., Sabzevari, O., Wilson, J. X., & O'Brien, P. J. (2002). Prooxidant activity and cellular effects of the phenoxyl radicals of dietary flavonoids and other polyphenolics, 177, 91–104.
- Ge, Y., Liu, P., Yang, R., Zhang, L., Chen, H., Camara, I., Liu, Y., & Shi, W. (2015). Insecticidal constituents and activity of alkaloids from *Cynanchum mongolicum*, 17483–17492.
- Geyter, L. E. D. E. (2012). Toxicity and mode of action of steroid and terpenoid secondary plant metabolites against economically important pest insects in agriculture. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Ghent.
- Kuete, V. (2013). Chapter 3 - Bioactivity of plant constituents against vancomycin-resistant enterococci. In: Rai, M. K., & Kon, K. V. (eds), *Fighting multidrug resistance with herbal extracts, essential oils and their components* (pp. 23–30). San Diego, Academic Press.
- Macedo-Márquez, A. (2012). La producción de especies reactivas de oxígeno (EROS) en las mitocondrias de *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 15(2), 97–103.
- Monfil, V. O., & Casas-Flores, S. (2014). Molecular mechanisms of biocontrol in *Trichoderma* spp. and their applications in agriculture. En: *Biotechnology and Biology of Trichoderma*. Elsevier, 429–453.
- Orozco-Sánchez, F., & Rodríguez-Monroy, M. (2007). Cell suspension culture of *Azadirachta indica* for production of bioinsecticide. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(3), 251–258.
- Pavela, A. R., Maggi, F., Iannarelli, R., & Benelli, G. (2019). Plant extracts for developing mosquito larvicides: from laboratory to the field, with insights on the modes of action. *Acta Tropica*.
- Rattan, R. S. (2010). Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. *Crop Protection*, 29(9), 913–920.
- Teichert, I., Nowrousian, M., Pöggeler, S., & Kück, U. (2014). The filamentous fungus *Sordaria macrospora* as a genetic model to study fruiting body development. *Advances in Genetics*, 87.
- Vázquez-Luna, A., Pérez-Flores, L., & Díaz-Sobac, R. (2007). Biomoléculas con actividad insecticida: Una alternativa para mejorar la seguridad alimentaria. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4), 306–313.
- Wen, Z., Zeng, R. Sen, & Niu, G. (2009). Ecological significance of induction of broad-substrate cytochrome P450s by natural and synthetic inducers in *Helicoverpa zea*, 183–189.
- Wink, M. (2013). Evolution of secondary metabolites in legumes (Fabaceae). *South African Journal of Botany*, 89, 164–175.

Extractos de macroalgas con potencial insecticida en el control de larvas de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)

Eben Ezer Hu-Villamil¹, Nancy Alonso-Hernández^{2*}

RESUMEN. Las macroalgas marinas representan una fuente promisoría de compuestos bioactivos con potencial para el control de *Aedes aegypti*, vector de enfermedades de gran impacto en salud pública como dengue, Chikungunya y zika. Diversos estudios han demostrado que sus extractos pueden ejercer actividad larvicida, ovicida y efectos sobre el desarrollo del mosquito; sin embargo, la magnitud de esta respuesta depende de factores como la especie de alga, el solvente empleado, el método de extracción, el fraccionamiento y las condiciones del bioensayo. En general, los extractos no polares se asocian con terpenos y con una acción larvicida más rápida, mientras que los extractos polares suelen relacionarse con inhibición del crecimiento y actividad ovicida. Asimismo, se reconoce que la variabilidad metodológica entre estudios limita la comparación de resultados, por lo que se requieren diseños experimentales estandarizados, con estadios larvales definidos, controles adecuados, réplicas y seguimiento temporal. La integración de herramientas de caracterización química, como HPLC-MS, GC-MS o NMR, es fundamental para identificar los compuestos activos y establecer relaciones reproducibles entre composición química y efecto biológico. En conjunto, la evidencia disponible sugiere que las macroalgas pueden constituir una alternativa de menor impacto ambiental para el control vectorial, siempre que su evaluación se sustente en metodologías rigurosas y comparables.

Palabras clave: Macroalgas, *Aedes aegypti*, control vectorial.

Macroalgal extracts with insecticidal potential for the control of *Aedes aegypti* larvae (Diptera: Culicidae). Marine macroalgae represent a promising source of bioactive compounds with potential for the control of *Aedes aegypti*, a vector of major public health diseases such as dengue, chikungunya, and zika. Several studies have shown that their extracts can exert larvicidal, ovicidal, and developmental effects on this mosquito; however, the magnitude of these responses depends on factors such as algal species, solvent type, extraction method, fractionation, and bioassay conditions. In general, non-polar extracts are associated with terpenes and faster larvicidal action, whereas polar extracts are more commonly related to growth inhibition and ovicidal activity. Methodological variability among studies limits direct comparison of results, highlighting the need for standardized experimental designs with defined larval stages, appropriate controls, replicates, and temporal monitoring. The integration of chemical characterization tools, such as HPLC-MS, GC-MS, or NMR, is essential to identify active compounds and establish reproducible relationships between chemical composition and biological effect. Overall, the available evidence suggests that macroalgae may constitute an environmentally safer alternative for vector control, provided that their evaluation is supported by rigorous and comparable methodologies. **Keywords:** macroalgae, *Aedes aegypti*, vector control.

1. Introducción

La homeopatía perdura desde hace más de 200 años, sin embargo, aún se cataloga como Los mosquitos son uno de los principales vectores que transmiten enfermedades como la malaria, el dengue, el chikungunya, entre otras (Tufan-Cetin & Cetin, 2023). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024), son responsables de estas propagaciones que causan millones de

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

²Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)- Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: nalonsoh@ipn.mx

pérdidas humanas, se estima que se producen entre 100 a 400 millones de casos. Son transmitidas por el género *Aedes*, pero específicamente en especies como *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, y están distribuidos por toda América Latina (OMS, 2015; Yu et al., 2015). Este problema se ha tratado de combatir utilizando insecticidas, pero generan otros problemas a la salud humana y dejan como consecuencia daños ambientales (Sengül Demirak & Canpolat, 2022).

Durante los últimos años se ha tenido un gran interés respecto a las algas marinas, debido a los componentes químicos que posee dentro de su morfología (Cotas et al., 2020). Estos organismos fotosintéticos producen proteínas, carbohidratos, ácidos grasos, aminoácidos, compuestos fenólicos, pigmentos entre otros (Kalasariya et al., 2021). Entre los diversos estudios que se han realizado, nos encontramos que las algas rojas y pardas producen diversidad de metabolitos secundarios con múltiples funciones en diferentes sectores, tanto nutrimentales como farmacéuticas (Cabrita et al., 2010; Blunt et al., 2011; Bianco et al., 2013).

Por lo tanto, estos compuestos bioactivos llegan a tener actividades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, antimicrobianas entre otros, por lo que, entiendo el mecanismo de acción de estas propiedades químicas, se puede aplicar para mejorar su desarrollo en la investigación (El-Beltagi et al., 2022). La presente investigación pretende dar a conocer las bases teóricas sobre la potencialidad de los extractos de macroalgas para ser utilizados como herramienta que pueda inhibir el combate sobre las plagas y enfermedades que son generadas por *Ae. aegypti*.

2. Antecedentes

Existen diversos reportes sobre la actividad larvicida de los extractos de macroalgas sobre *Aedes aegypti*, es amplia, pero metodológicamente heterogénea. Los resultados señalan que la mortalidad de larvas tiene efectos ovicidas o bien, de alguna manera existen modificaciones sobre la larva en su desarrollo que fue expuesta a los extractos crudos o fraccionados (Ali et al., 2013; Yu et al., 2015). Los valores como LC_{50} y LC_{90} son evaluados en estas pruebas metodológicas, son influenciadas por los diferentes factores como el tipo de especie de alga colectada, el solvente utilizado y las condiciones del bioensayo donde fue reproducido (estado larval, repeticiones, temperatura y tiempo de lectura), es lo que genera la diferencia entre estudios (Ali et al., 2013; Bianco et al., 2013). Los estudios muestran que extractos no polares (hexano, éter y cloroformo), se centran en concentrarse en los terpenos con acción rápida sobre las larvas, mientras que los extractos polares (metanol y etanol) están más enfocados a la inhibición de crecimiento y la actividad ovicida, dependiendo del fraccionamiento y el objetivo biológico (Tufan-Cetin & Cetin, 2023). Investigaciones señalan que LC_{50} de algunas fracciones son comparables con larvicidas comerciales, lo que reforzaría el potencial aplicado siempre y cuando esté acompañado de su caracterización química y su metodología correspondiente (Aravinth et al., 2024; Yu et al., 2015). Los estudios señalan que no solo influye la especie de macroalga y el solvente, sino también la fase larval que esté sujeta a ser trabajada (Giyantolin et al., 2024). Por último, se tiene un enfoque sobre los ensayos estandarizados con análisis químico-espectrométrico (HPLC-MS/GC-MS) para identificar los compuestos activos y establecer la dosis-respuesta replicable en los experimentados (Tufan-Cetin & Cetin, 2023; Aravinth et al., 2024).

3. Compuestos bioactivos y mecanismos de acción

Las macroalgas poseen una diversidad de compuestos (proteínas, carbohidratos, ácidos grasos, aminoácidos y compuestos fenólicos), debido a esto, los sectores industriales demandan parte de este recurso natural (Kalasariya et al., 2021). Los mecanismos de acción que generan las macroalgas sobre las larvas son: daño a la membrana intestinal o al sistema nervioso central, aparte que existen efectos

indirectos que generan los metabolitos producidos por estos (Yu et al., 2015; Tufan-Çetin & Cetin, 2023).

4. Extracción, fraccionamiento y diseño experimental

La composición química de un extracto depende del método de extracción y del solvente utilizado: Métodos como maceración, Soxhlet, extracción asistida por ultrasonido (UAE) entre otros, depende de la conservación de metabolitos secundarios (Carreira-Casais et al., 2021). Existen diferentes técnicas, por ejemplo, si se emplea el método de extracción ultrasónica se enfoca en recuperar terpenos, mientras que con otras técnicas se enfocan en la obtención de polisacáridos y fenoles con actividad biológica distinta (Herzyk et al., 2024).

Por parte, del diseño experimental debe ser riguroso, adaptable y estandarizado, en los bioensayos se requiere usar estadios larvales definidos, para tener un resultado óptimo, además de estar sujeto a las réplicas por tratamiento, apoyándose de los controles positivo y negativo y llevar a cabo un registro hasta por 72 horas, que notifican sobre los efectos no inmediatos pero que son relevantes (Tufan-Çetin & Cetin, 2023). El análisis estadístico también es requerido, aquí se puede realizar la estimación sobre la LC_{50} y LC_{90} , mediante modelos matemáticos como el probit o regresiones lineales, lo que facilita examinar los datos y realizar curvas para análisis posteriores (World Health Organization, 2005). Por último, conviene fraccionar el extracto y analizar cuál tiene efecto con técnicas como HPLC-MS, GC-MS o NMR, porque permite evaluar los efectos del organismo y replicar esas mismas condiciones (Tufan-Çetin & Cetin, 2023).

5. Conclusión

Los extractos de macroalgas muestran ser una fuente prometedora contra el ciclo de vida de *Ae. aegypti*, las investigaciones señalan que las fracciones no polares muestran una mortalidad más rápida que las fracciones polares, que estas generan consecuencias subletales, que son valiosas para el control biológico (Yu et al., 2015; Tufan-Çetin & Cetin, 2023). Sin embargo, los resultados pueden variar gracias a la parte metodológica y la escasez de trabajos que vinculen a los perfiles químicos con los efectos biológicos (Ali et al., 2013; Bianco et al., 2013). La investigación de las macroalgas, puede ser una alternativa como control vectorial con menor impacto ambiental y en el futuro puede ser llegar aplicado en programas de manejo, siempre y cuando se realice una identificación química, su método de extracción correspondiente y su diseño experimental (El-Beltagi, 2022; Aravinth, 2024).

Referencias Citadas

- Ali, M. Y. S., Ravikumar, S., & Beula, J. M. (2013). Mosquito larvicidal activity of seaweed extracts against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*.
- Aravinth, A., Dhanasundaram, S., Perumal, P., Kamaraj, C., Khan, S. U., & Ali, A. (2024). Evaluation of brown and red seaweeds extracts as a novel larvicidal agent against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Experimental Parasitology*, 256, 108651.
- Bianco, E. M., Pires, L., Santos, G. K., Dutra, K. A., Reis, T. N., Vasconcelos, E. R., & Navarro, D. M. (2013). Larvicidal activity of seaweeds from northeastern Brazil and of a halogenated sesquiterpene against the dengue mosquito (*Aedes aegypti*). *Industrial Crops and Products*, 43, 270-275.
- Blunt, J. W., Copp, B. R., Munro, M. H. G., Northcote, P. T., & Prinsep, M. R. (2011). Marine natural products. *Natural Product Reports*, 28, 196-268.
- Cabrita, M. T., Vale, C., & Rauther, A. P. (2010). Halogenated compounds from marine algae. *Marine Drugs*, 8, 2301-2317.
- Carreira-Casais, A., Otero, P., García-Pérez, P., García-Oliveira, P., Pereira, A. G., Carpena, M., Soria-López, A., & Simal-Gandara, J. (2021). Beneficios e inconvenientes de la extracción asistida por ultrasonido

- para la recuperación de compuestos bioactivos de algas marinas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9153.
- Cotas, J., Leandro, A., Monteiro, P., Pacheco, D., Figueirinha, A., Gonçalves, A. M. M., da Silva, G. J., & Pereira, L. (2020). Fenólicos de algas marinas: de la extracción a las aplicaciones. *Marine Drugs*, 18(8), 384.
- El-Beltagi, H. S., Mohamed, A. A., Mohamed, H. I., Ramadan, K. M., Barqawi, A. A., & Mansour, A. T. (2022). Phytochemical and potential properties of seaweeds and their recent applications: A review. *Marine Drugs*, 20(6), 342.
- Giyantolin, G., Subiakto, Y., & Poerwanto, S. H. (2024). The ethanol extract of *Sargassum duplicatum* as an ovicidal agent against *Aedes aegypti*. *Narra Journal*, 4(3), e990.
- Herzyk, F., Piłakowska-Pietras, D., & Korzeniowska, M. (2024). Técnicas de extracción supercrítica para la obtención de sustancias biológicamente activas a partir de diversos subproductos vegetales. *Foods*, 13(11), 1713.
- Kalasariya, H. S., Yadav, V. K., Yadav, K. K., Tirth, V., Algahtani, A., Islam, S., Gupta, N., & Jeon, B.-H. (2021). Moléculas a base de algas marinas y sus potenciales actividades biológicas: cosméticos ecosostenibles. *Molecules*, 26(17), 5313.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Directrices para la vigilancia del dengue y el control de mosquitos.
- Organización Mundial de la Salud. (2024). Impacto del dengue.
- Şengül Demirak, M. Ş., & Canpolat, E. (2022). Plant-based bioinsecticides for mosquito control: Impact on insecticide resistance and disease transmission. *Insects*, 13(2), 162.
- Tufan-Cetin, O., & Cetin, H. (2023). Use of micro and macroalgae extracts for the control of vector mosquitoes. *PeerJ*, 11, e16187.
- World Health Organization. (2005). Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides. WHO.
- Yu, K.-X., Wong, C.-L., Ahmad, R., & Jantan, I. (2015). Actividades mosquitocidas y repelentes de oviposición de los extractos del alga marina *Bryopsis pennata* sobre *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. *Molecules*, 20(8), 14082-14102.

Metabolitos secundarios de hongos fitopatógenos para el control de vectores de enfermedades

Fabrizio Cahuich-Castillo^{1*}, Alfonso Vásquez-López¹, Nancy Alonso-Hernández¹

RESUMEN. Los metabolitos secundarios producidos por hongos entomopatógenos constituyen una alternativa prometedora para el control biológico de mosquitos y otros vectores de importancia médica. Su relevancia radica en que el uso intensivo de insecticidas químicos ha favorecido la aparición de resistencia en las poblaciones de insectos y ha generado impactos ambientales adversos. Hongos de géneros como *Beauveria*, *Metarhizium*, *Isaria*, *Lecanicillium* y *Paecilomyces* producen toxinas, enzimas y otras moléculas bioactivas capaces de alterar la permeabilidad de membranas, interferir con procesos hormonales y de metamorfosis, afectar la fertilidad y provocar la muerte del hospedero. Entre los compuestos más estudiados destacan las destruxinas y las beauvericinas, reconocidas por su actividad insecticida sobre especies vectores. La obtención de estos metabolitos se realiza principalmente mediante extracción con solventes orgánicos, seguida de análisis cromatográficos como GC-MS, HPLC y LC-MS para su identificación. Su actividad biológica se evalúa mediante bioensayos larvicidas, de contacto, ingestión y mortalidad en adultos. En conjunto, la evidencia disponible indica que los metabolitos secundarios de hongos representan una base sólida para el desarrollo de bioinsecticidas más selectivos, sostenibles y compatibles con programas integrados de manejo de vectores.

Palabras clave: Metabolitos secundarios, hongos entomopatógenos, control biológico.

Secondary metabolites of phytopathogenic fungi for the control of disease vectors. Secondary metabolites produced by entomopathogenic fungi represent a promising alternative for the biological control of mosquitoes and other medically important vectors. Their relevance lies in the fact that the intensive use of chemical insecticides has promoted the emergence of resistance in insect populations and has generated adverse environmental impacts. Fungi from genera such as *Beauveria*, *Metarhizium*, *Isaria*, *Lecanicillium*, and *Paecilomyces* produce toxins, enzymes, and other bioactive molecules capable of altering membrane permeability, interfering with hormonal and metamorphic processes, affecting fertility, and causing host mortality. Among the most studied compounds are destruxins and beauvericins, both recognized for their insecticidal activity against vector species. These metabolites are mainly obtained through extraction with organic solvents, followed by chromatographic analyses such as GC-MS, HPLC, and LC-MS for identification. Their biological activity is assessed through larvicidal, contact, ingestion, and adult mortality bioassays. Overall, the available evidence indicates that fungal secondary metabolites provide a solid basis for the development of more selective, sustainable bioinsecticides compatible with integrated vector management programs. **Keywords:** Secondary metabolites; entomopathogenic fungi; biological control.

1. Introducción

Los vectores de enfermedades transmitidas por artrópodos constituyen un problema significativo de salud pública a escala global (Pino et al., 2024; Ramalho-Ortigao & Gubler, 2020). Mosquitos de los géneros *Aedes*, *Anopheles* y *Culex* transmiten patógenos asociados con malaria, dengue, Chikungunya, fiebre amarilla y virus del Nilo Occidental, con millones de casos reportados anualmente (Guarner & Hale, 2019; Wei et al., 2026). El control de estos vectores se ha basado principalmente en el uso intensivo de insecticidas químicos, práctica que ha generado impactos

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: bquirozg@ipn.mx

ambientales y la aparición de resistencia en las poblaciones de insectos. Esta situación ha impulsado la exploración de estrategias alternativas de control biológico (Dusfour et al., 2019; van den Berg et al., 2021). Los hongos entomopatógenos y sus metabolitos secundarios representan una opción prometedora debido a su capacidad para producir compuestos con actividad insecticida y efectos reguladores sobre el desarrollo de insectos (Bamisile et al., 2021; Zhang et al., 2020). Los metabolitos secundarios son compuestos orgánicos producidos por microorganismos que no participan directamente en procesos metabólicos primarios como el crecimiento o la reproducción (Mesa-Vanegas et al., 2019). Estos compuestos desempeñan un papel relevante en la interacción con el ambiente y con otros organismos (Conrado et al., 2022).

2. Metabolitos secundarios de hongos

En hongos entomopatógenos, los metabolitos secundarios incluyen toxinas, enzimas y diversas moléculas bioactivas que participan en el proceso de infección y muerte del insecto hospedero (Paschapur et al., 2021). Estos compuestos pueden alterar la permeabilidad de las membranas celulares, interferir con procesos hormonales y de metamorfosis, afectar la fertilidad, provocar deformaciones o inducir la muerte en los insectos (Pedrini, 2022). Entre los hongos más estudiados para el control de insectos vectores se encuentran especies de los géneros *Beauveria*, *Metarhizium*, *Isaria*, *Lecanicillium* y *Paecilomyces*, los cuales producen una amplia variedad de metabolitos con actividad insecticida (Berestetskiy & Hu, 2021; Perumal et al., 2024). Estos hongos infectan a los insectos mediante la penetración de la cutícula tras la germinación de las esporas y la posterior invasión del hemocele. Durante este proceso secretan metabolitos tóxicos que contribuyen a la muerte del hospedero (Arunthirumeni et al., 2023). Uno de los grupos de metabolitos secundarios más estudiados producidos por hongos entomopatógenos corresponde a las destruxinas, ciclopéptidos sintetizados principalmente por especies del género *Metarhizium* (Yadav et al., 2019). Estas moléculas presentan actividad insecticida al alterar la homeostasis celular y provocar disfunción en los sistemas nervioso y muscular de los insectos (Raghunandan et al., 2024). Otro grupo relevante de metabolitos corresponde a las beauvericinas, producidas por especies del género *Beauveria*, particularmente *Beauveria bassiana*. Las beauvericinas son depsipéptidos cíclicos que actúan como ionóforos, alteran el equilibrio iónico en las células del insecto y generan daño fisiológico severo (Rodríguez-Romero et al., 2023).

3. Extracción de metabolitos secundarios

Las técnicas de extracción de metabolitos secundarios emplean principalmente métodos basados en solventes orgánicos (Nickles et al., 2021). Los solventes más utilizados incluyen acetato de etilo, metanol, cloroformo y hexano, los cuales permiten recuperar compuestos bioactivos producidos durante el crecimiento del hongo en medios líquidos o sólidos (Singh & Kumar 2023). Los extractos crudos se concentran mediante evaporación y posteriormente se analizan mediante técnicas cromatográficas como GC-MS, HPLC o LC-MS para identificar los metabolitos presentes (Aguilar et al., 2021; Ancheeva et al., 2020). Una vez obtenidos los extractos, su actividad insecticida se evalúa mediante bioensayos de laboratorio que incluyen pruebas de toxicidad larval, ensayos de contacto o ingestión y evaluaciones de mortalidad en mosquitos adultos (Abdullah, 2019; Abdullah et al., 2024).

4. Evaluación de la actividad insecticida

En el control de mosquitos, diversos estudios han evaluado la actividad de metabolitos secundarios producidos por hongos contra especies vectores de importancia médica. Metabolitos crudos obtenidos de *Aspergillus flavus* y *Aspergillus fumigatus* han sido evaluados en bioensayos larvicidas contra *Anopheles stephensi*, *Culex quinquefasciatus* y *Aedes aegypti*, con efectos tóxicos significativos sobre

las larvas tras periodos de exposición de 24 a 48 h (Balumahendhiran et al., 2019). Los bioensayos con mosquitos han evaluado la exposición directa a metabolitos fúngicos purificados con el fin de diferenciar los efectos de las toxinas del efecto patogénico del hongo completo (Accoti et al., 2021). En algunos experimentos, los mosquitos adultos fueron alimentados con soluciones azucaradas que contenían metabolitos fúngicos, lo que permitió evaluar la toxicidad de estos compuestos en ausencia de esporas o micelio activo. Estos ensayos han demostrado que ciertos metabolitos pueden causar mortalidad significativa en especies como *Anopheles gambiae* y *Ae. aegypti* (Accoti et al., 2021).

5. Conclusión

El interés en los metabolitos secundarios de hongos para el control de vectores se relaciona con su potencial para reducir la dependencia de insecticidas químicos y disminuir los impactos ambientales asociados a su uso (Perumal et al., 2024). Diversos estudios indican que estos compuestos pueden constituir la base para el desarrollo de bioinsecticidas más selectivos y sostenibles, particularmente cuando se integran con otras estrategias de manejo de vectores (Keswani et al., 2019). En conjunto, la evidencia científica disponible indica que los metabolitos secundarios producidos por hongos constituyen una fuente relevante de compuestos con potencial para el control biológico de mosquitos y otros vectores de enfermedades humanas.

Referencias Citadas

- Abdullah, R. R. (2019). Insecticidal activity of secondary metabolites of locally isolated fungal strains against some cotton insect pests. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 10(12), 647-653.
- Abdullah, R. R., Abd El-Wahab, A. H., & Abd El-Salam, S. A. (2024). Insecticidal activity and possible modes of action of secondary metabolites of some fungal strains and wild plants as natural pesticides against *Spodoptera frugiperda*. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 13(1), 9.
- Accoti, A., Engdahl, C. S., & Dimopoulos, G. (2021). Discovery of novel entomopathogenic fungi for mosquito-borne disease control. *Frontiers in Fungal Biology*, 2, 637234.
- Aguilar, Y. M., Bertot, R. R., & Pita, G. B. (2021). Análisis de los metabolitos secundarios del hongo *Ganoderma lucidum*. *Revista de Producción Animal*, 33(1).
- Ancheeva, E., Daletos, G., & Proksch, P. (2020). Bioactive secondary metabolites from endophytic fungi. *Current Medicinal Chemistry*, 27(11), 1836-1854.
- Arunthirumeni, M., Vinitha, G., & Shivakumar, M. S. (2023). Antifeedant and larvicidal activity of bioactive compounds isolated from entomopathogenic fungi *Penicillium* sp. for the control of agricultural and medically important insect pest (*Spodoptera litura* and *Culex quinquefasciatus*). *Parasitology International*, 92, 102688.
- Balumahendhiran, K., Vivekanandhan, P., & Shivakumar, M. S. (2019). Mosquito control potential of secondary metabolites isolated from *Aspergillus flavus* and *Aspergillus fumigatus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101334.
- Bamisile, B. S., Akutse, K. S., Siddiqui, J. A., & Xu, Y. (2021). Model application of entomopathogenic fungi as alternatives to chemical pesticides: Prospects, challenges, and insights for next-generation sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 12, 741804.
- Berestetskiy, A., & Hu, Q. (2021). The chemical ecology approach to reveal fungal metabolites for arthropod pest management. *Microorganisms*, 9(7), 1379.
- Conrado, R., Gomes, T. C., Roque, G. S. C., & De Souza, A. O. (2022). Overview of bioactive fungal secondary metabolites: Cytotoxic and antimicrobial compounds. *Antibiotics*, 11(11), 1604.
- Dusfour, I., Vontas, J., David, J. P., Weetman, D., Fonseca, D. M., Corbel, V., et al. (2019). Management of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses: Advances and challenges. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 13(10), e0007615.

- Guarner, J., & Hale, G. L. (2019). Four human diseases with significant public health impact caused by mosquito-borne flaviviruses: West Nile, Zika, dengue and yellow fever. *Seminars in Diagnostic Pathology*, 36(3), 170-176.
- Keswani, C., Singh, H. B., Hermosa, R., García-Estrada, C., Caradus, J., He, Y. W., et al. (2019). Antimicrobial secondary metabolites from agriculturally important fungi as next biocontrol agents. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(23), 9287-9303.
- Mesa-Vanegas, A. M., Marín, A., & Calle-Osorno, J. (2019). Metabolitos secundarios en *Trichoderma* spp. y sus aplicaciones biotecnológicas agrícolas. *Actualidades Biológicas*, 41(111), 32-44.
- Nickles, G., Ludwikoski, I., Bok, J. W., & Keller, N. P. (2021). Comprehensive guide to extracting and expressing fungal secondary metabolites with *Aspergillus fumigatus* as a case study. *Current Protocols*, 1(12), e321.
- Paschapur, A., Subbanna, A. R. N. S., Singh, A. K., Jeevan, B., Stanley, J., Rajashekhar, H., & Mishra, K. K. (2021). Unraveling the importance of metabolites from entomopathogenic fungi in insect pest management. In: *Microbes for Sustainable Insect Pest Management: Hydrolytic Enzyme & Secondary Metabolite* (Vol. 2, pp. 89-120). Cham, Springer International Publishing.
- Pedrini, N. (2022). The entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* shows its toxic side within insects: Expression of genes encoding secondary metabolites during pathogenesis. *Journal of Fungi*, 8(5), 488.
- Perumal, V., Kannan, S., Pittarate, S., & Krutmuang, P. (2024). A review of entomopathogenic fungi as a potential tool for mosquito vector control: A cost-effective and environmentally friendly approach. *Entomological Research*, 54(3), e12717.
- Pino, E. J. A., Rodriguez, K. P., Loor, B. P. C., & Jalca, A. D. C. (2024). Enfermedades virales transmitidas por vectores emergentes y reemergentes: Diagnóstico y prevalencia. *Investigación y Desarrollo*, 19(1).
- Raghunandan, B. L., Dave, A., Baria, P. R., & Manjari. (2024). Applications of bioactive compounds from fungal entomopathogens. In: *Entomopathogenic Fungi: Prospects and Challenges* (pp. 453-478). Singapore, Springer Nature Singapore.
- Ramalho-Ortigao, M., & Gubler, D. J. (2020). Human diseases associated with vectors (arthropods in disease transmission). In: *Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases* (pp. 1063-1069). Elsevier.
- Rodríguez-Romero, H., Rodríguez-Peláez, L., Reyes-Castro, A., Notario-Rendón, O. T., González-Peréz, M., Reza-Salgado, J., et al. (2023). Perspective chapter: Secondary metabolites of entomopathogens as biotechnological tools for the biological control of agricultural insect pests. In: *Insecticides-Advances in Insect Control and Sustainable Pest Management*. IntechOpen.
- Singh, V. K., & Kumar, A. (2023). Secondary metabolites from endophytic fungi: Production, methods of analysis, and diverse pharmaceutical potential. *Symbiosis*, 90(2), 111-125.
- van den Berg, H., da Silva Bezerra, H. S., Al-Eryani, S., Chanda, E., Nagpal, B. N., Knox, T. B., et al. (2021). Recent trends in global insecticide use for disease vector control and potential implications for resistance management. *Scientific Reports*, 11(1), 23867.
- Wei, Y. L., Wu, Z., Li, R. L., & Tang, F. (2026). Review of selected mosquito-borne diseases: Arboviruses (dengue, chikungunya, Zika, West Nile, Japanese encephalitis, yellow fever) and parasitic diseases (malaria, lymphatic filariasis). *Frontiers in Public Health*, 13, 1712094.
- Yadav, R. N., Mahtab Rashid, M., Zaidi, N. W., Kumar, R., & Singh, H. B. (2019). Secondary metabolites of *Metarhizium* spp. and *Verticillium* spp. and their agricultural applications. In: *Secondary Metabolites of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms: Discovery and Applications* (pp. 27-58). Singapore, Springer Singapore.
- Zhang, L., Fasoyin, O. E., Molnár, I., & Xu, Y. (2020). Secondary metabolites from hypocrealean entomopathogenic fungi: Novel bioactive compounds. *Natural Product Reports*, 37(9), 1181-1206.

Cuando los insectos se adaptan: el desafío creciente de la resistencia a insecticidas en artrópodos vectores

Beatriz López Monroy^{1*}

RESUMEN. Desde los primeros reportes de resistencia a insecticidas, se ha generado evidencia científica sobre su evolución y base molecular, lo que ha permitido comprender su dinámica y los beneficios que su adecuado manejo trae no solo a la seguridad alimentaria sino a la salud pública y veterinaria. No obstante, la resistencia a los insecticidas en artrópodos vectores sigue siendo un problema global. Entre los principales desafíos destacan la dependencia persistente del control químico por encima de otras estrategias, y la naturaleza predominantemente reactiva de los programas de control, condiciones que favorecen una fuerte presión selectiva y aceleran la adaptación de las poblaciones de vectores. En este contexto, el presente trabajo ofrece una revisión del estado actual del conocimiento y de los retos asociados con la resistencia a insecticidas en artrópodos vectores.

Palabras clave: Resistencia, insecticidas, artrópodos vectores, mecanismos de resistencia.

When insects adapt: the growing challenge of insecticide resistance in arthropod vectors. Since the first reports of insecticide resistance, scientific evidence has accumulated regarding its evolution and molecular basis, allowing a deeper understanding of its dynamics and of the benefits that proper management brings not only to food security but also to public and veterinary health. Nevertheless, insecticide resistance in vector arthropods remains a global challenge. Among the main issues are the persistent reliance on chemical control over other strategies and the predominantly reactive nature of vector control programs, conditions that impose strong selective pressure and accelerate vector population adaptation. In this context, the present work provides a review of the current state of knowledge and the challenges associated with insecticide resistance in vector arthropods. **Key words:** resistance, insecticides, vector arthropods, resistance mechanisms.

1. Introducción

Las enfermedades transmitidas por vector (ETV) representan el 17% del estimado mundial para las enfermedades transmisibles (WHO, 2017). Desafortunadamente, este grupo de enfermedades está estrechamente vinculado con determinantes sociales y ambientales afectando de forma particular a las comunidades más vulnerables, al tiempo que constituye una amenaza global, pues se estima que son responsables de más de 700,000 muertes al año (WHO, 2022).

De manera particular, en Latinoamérica y el Caribe las enfermedades de transmisión vectorial son frecuentes, pues reúnen las características ambientales idóneas para el desarrollo de los artrópodos vectores. Las principales ETV en las Américas son: dengue, Zika, Chikungunya, malaria o paludismo, leishmaniasis, la enfermedad de Chagas, oncocercosis, filariasis linfática y en menor proporción fiebre amarilla y fiebre del Nilo Occidental (OPS, 2019).

Si bien la mayoría de estas enfermedades pueden prevenirse a través de un adecuado manejo integrado de vectores, su control continúa siendo un gran desafío. Lograrlo requiere voluntad política, participación comunitaria, disponibilidad de recursos y capacidades entomológicas especializadas, así como la implementación de un programa nacional de investigación y una mejor coordinación intra e intersectorial sólida (WHO, 2017).

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, México.

*Autor para correspondencia: beatriz.lopezmr@uanl.edu.mx

Dentro de las estrategias e intervenciones disponibles en el manejo de artrópodos vectores, los insecticidas han jugado un papel fundamental para eliminar o disminuir las poblaciones de vectores. Estos insecticidas se han aplicado en mosquiteros tratados, fumigación espacial, residual, larvicida, entre otros (Henk van den Berg et al. 2021). Este uso continuo ha favorecido el desarrollo de resistencia en las poblaciones de vectores tratadas.

La frecuencia de resistencia a los insecticidas en una población de artrópodos vectores es un proceso adaptativo impulsado por la selección natural que varía en el espacio y el tiempo bajo el control de factores biológicos, genéticos y ambientales (Dusfour et. al. 2019). La resistencia a los insecticidas puede manifestarse a través de diversos cambios conductuales, fisiológicos o mediante alteraciones en los sitios de acción de los insecticidas (Corbel y Guesson, 2013). Estos mecanismos, de forma individual o combinada, pueden derivar en fallas recurrentes de los programas de control químico. Por ello, resulta fundamental contar con un diagnóstico oportuno de la resistencia, sustentado en un monitoreo exhaustivo entre las poblaciones de artrópodos vectores y en la implementación de estrategias adecuadas para su manejo.

2. Definiciones de resistencia a insecticidas

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la resistencia se define como la habilidad de los artrópodos a sobrevivir ante la exposición de una dosis estándar de insecticida debido a una adaptación fisiológica o conductual (WHO, 2022). Esta definición se centra, por tanto, en la respuesta fenotípica de los artrópodos frente a una dosis previamente establecida.

Sin embargo, otros organismos adoptan enfoques distintos. La Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), por ejemplo, propone una definición más operativa y orientada al desempeño, al describir la resistencia como “un cambio hereditario en la sensibilidad de una población de plagas que se refleja en el fracaso repetido de un producto para lograr el nivel esperado de control cuando se usa de acuerdo con la recomendación de la etiqueta para esa especie de plaga” (Sparks et al. 2021). En este caso, la atención se orienta hacia el impacto práctico del control y el rol de la heredabilidad de la resistencia dentro de una población.

Otras definiciones, se enfocan en el proceso evolutivo subyacente, describiendo la resistencia como la adaptación poblacional que reduce la susceptibilidad a un plaguicida, producto de la selección natural en la cual los individuos más resistentes sobreviven y transmiten dichos rasgos a su descendencia (Ugurlu, 2012). Este enfoque enfatiza el mecanismo evolutivo y genético mediante el cual emerge la resistencia.

Desde un enfoque ecológico, se define a la resistencia como un conjunto de mecanismos desarrollados por un organismo para superar el efecto tóxico de los aleloquímicos producidos por las plantas o plaguicidas debido a adaptaciones genéticas, metabólicas, fisiológicas y conductuales de los artrópodos (Bras et al. 2022).

El énfasis conceptual de estas definiciones evidencia la complejidad multidimensional del fenómeno de la resistencia a insecticidas.

A más de 100 años del primer caso documentado de resistencia en artrópodos (Melandner, 1914), este fenómeno parecía inicialmente poco frecuente. Sin embargo, con la introducción de los insecticidas orgánico-sintéticos en las décadas de 1940 y 1950 (Sparks et al. 2021), junto con la creciente dependencia del control químico tanto en la protección de cultivos como en la prevención de enfermedades transmitidas por vectores (Corbel y Guesson, 2013), el número de casos de resistencia aumentó de manera exponencial. Aunque actualmente no se dispone de una estimación precisa del total de especies de artrópodos resistentes a insecticidas, los informes de hace dos décadas ya

registraban más de 500 especies de insectos con resistencia documentada a nivel mundial (Hemingway y Ranson, 2000).

3. Mecanismos de resistencia a insecticidas en artrópodos vectores

Los diferentes mecanismos de resistencia a insecticidas se han agrupado, de acuerdo con sus características, en 4 categorías principales, las cuales incluyen: resistencia conductual, penetración reducida, resistencia metabólica e insensibilidad en el sitio blanco (Corbel y Guessan, 2013). La resistencia conductual o también denominada resistencia por comportamiento se refiere a la respuesta de los artrópodos por evadir el contacto con los insecticidas (Zulfa et al. 2022). Este mecanismo de resistencia puede dividirse en dos tipos de respuesta, la excitación por el contacto directo con los insecticidas (irritabilidad) y la repelencia espacial sin contacto, en la cual los insectos tienden a alejarse de un área tratada con insecticida antes de hacer contacto directo (Corbel y Guessan, 2013). Aunque la resistencia conductual puede ser un factor limitante en la eficacia de los programas de control, el conocimiento que se tiene sobre ellos es escaso. La mayoría de los trabajos que lo evidencian se centran en mosquitos vectores (Carrasco et al. 2019).

La penetración reducida se ha asociado con modificaciones en la cutícula de los artrópodos o el tracto digestivo lo que evita o retarda la penetración o absorción del insecticida en insectos resistentes. Es importante destacar que este mecanismo de resistencia no es específico y puede estar implicado en la resistencia a un amplio rango de insecticidas. Este mecanismo, también conocido como resistencia cuticular, es considerado el tercero más importante (Pu y Chung, 2024). Se describe con mayor detalle en 2016 identificando enzimas clave (CYP4G) implicadas en la síntesis de hidrocarburos cuticulares (CHCs) lo que se traduce en alteraciones estructurales y bioquímicas de las proteínas de cutícula. En mosquitos una característica notable es el engrosamiento de la cutícula particularmente en patas (Jacobs et al. 2023).

La resistencia metabólica es considerada el mecanismo más común en insectos. Consiste en grupos de enzimas que naturalmente permiten a los artrópodos la detoxificación natural ante xenobióticos, incluidos los insecticidas. Una población resistente a insecticidas exhibe un incremento en la actividad metabólica de estas enzimas lo que conduce a una menor toxicidad y una excreción más eficiente del insecticida (Pu y Chung, 2024). Las enzimas implicadas en este mecanismo de resistencia son esterasas (Cruse et al. 2023), glutatión s-transferasas (Koirala et al. 2022) y oxidasas de función múltiple (Liu et al. 2015). Si bien los genes que confieren resistencia metabólica suelen ser diferentes entre las especies de insectos, el incremento de la producción de estas enzimas suele estar asociado con la amplificación genética o mutaciones en las regiones reguladoras del gen, lo que conduce a un aumento de la transcripción.

La insensibilidad en el sitio blanco es debida a mutaciones en regiones codificantes para proteínas blanco de los insecticidas. Este mecanismo es considerado el segundo más común. De la evidencia más documentada se encuentran varias mutaciones reportadas en el gen que codifica para acetilcolinesterasa (AChE) (Fournier, 2005), sitio de acción de organofosforados y carbamatos, y mutaciones en el gen que codifica para el canal de sodio dependiente de voltaje (Soderlund y Knipple, 2003). Este último sitio de acción del DDT y piretroides.

4. Factores que favorecen la evolución de la resistencia a insecticidas

Ante la evidencia sobre los mecanismos que permiten a los insectos evitar los efectos tóxicos de los insecticidas surgen las preguntas ¿Cómo se originó tal resistencia? ¿Cómo es que se ha incrementado con relación al número de especies de insectos con reportes de resistencia, moléculas insecticidas a las que estos son resistentes o los múltiples mecanismos involucrados? Las respuestas a estos

cuestionamientos nos revelan que la resistencia a insecticidas es un ejemplo clave de la evolución en acción, que implica evolución rápida resultado de presiones selectivas ante las cuales los insectos se adaptan a entornos cambiantes.

En la revisión de Hawkings y colaboradores (2019) se describe el origen de la resistencia tomando como hipótesis: 1) mutaciones de novo, 2) variación permanente, 3) resistencia intrínseca asociada a efectos pleiotrópicos y 4) transferencia horizontal, aunque esta última con reportes limitados en bacterias y algunos eucariotas como hongos. La hipótesis de un origen debido a mutaciones de novo se entiende como aquella que se origina una vez que se ha producido un cambio ambiental lo que la vuelve selectivamente ventajosa. Mientras que la variación permanente es vista como aquellos polimorfismos presentes en la población previo a cambios en la presión de selección los cuales pueden llegar a ser ventajosos y seleccionados en la población. Por su parte, la resistencia intrínseca con efectos pleiotrópicos es explicada por adaptaciones preexistentes en las poblaciones naturales las cuales son insuficientes para conferir resistencia, pero cuando se seleccionan por sus efectos pleiotrópicos puede desarrollarse resistencia a los insecticidas a un nivel superior (Hawkings et al. 2019).

Por lo regular la resistencia a insecticidas se asocia con una o varias mutaciones puntuales, sin embargo, existe evidencia de casos de resistencia con una base poligénica (Fournier Level et al. 2019), deleciones, duplicaciones génicas e inversiones. Pese al origen de la resistencia es importante destacar aquellos factores que influyen en el desarrollo de esta, los cuales se han agrupado en biológicos y operacionales. Los factores biológicos incluyen el potencial biológico de la especie, así como su comportamiento (Corbel y Guessan, 2013). Es decir que dentro de los factores biológicos se encuentran la fecundidad, fertilidad, tipo de reproducción, número de generaciones por año, su rango de desplazamiento, si es una especie que migra, o si posee una sobrevivencia estacional, entre otros. En los factores denominados como operacionales se ubican tanto las características del insecticida aplicado (naturaleza química, historia de aplicación, residualidad, formulación), como su aplicación (umbral de infestación para la aplicación, efecto biológico, modo de aplicación, si se aplica de forma individual o en mezcla).

En un estudio realizado por South y Hastings en 2018 se evaluó un modelo para demostrar la evolución de la resistencia en diferentes escenarios y el ajuste de esta a la presión selectiva. En el modelo se incluyeron dos genes independientes involucrados en la resistencia a dos insecticidas evaluando el uso del insecticida de forma aislada, en secuencia y en mezclas. De acuerdo con sus resultados el modelo permitió demostrar que el uso de un insecticida en una mezcla en comparación con el uso individual provoca una evolución más lenta de la resistencia. Sin embargo, cuando se considera la resistencia a ambos insecticidas, los umbrales de resistencia pueden alcanzarse más tarde en una secuencia en comparación que con la mezcla de insecticidas. En relación con la capacidad de los insecticidas para eliminar mosquitos susceptibles esta se ve favorecida en una mezcla con respecto a una secuencia. Los autores explican que esto se debe a que el insecticida altamente efectivo proporciona mayor protección que otro en una mezcla (South y Hastings, 2018).

Aunado a lo anterior el ambiente también juega un papel importante sobre el desarrollo de la resistencia a los insecticidas. Dentro de los parámetros ambientales se encuentran el uso de insecticidas en la agricultura, el contacto con xenobióticos naturales o antropogénicos, así como las interacciones bióticas entre los insectos y su microbioma (Nkya et al. 2013).

5. Estrategias para la evaluación y el manejo de la resistencia a insecticidas

Para el adecuado abordaje de la resistencia a insecticidas es crucial conocer su tipo y nivel, ya sea a los insecticidas en uso o que se planean utilizar en la población blanco. Particularmente, considerando

que la resistencia a insecticidas, así como los mecanismos involucrados varían en espacio y tiempo en función a los factores descritos en la sección anterior. En este sentido existen ensayos biológicos que permiten caracterizar diferentes aspectos de la resistencia a los insecticidas como: la resistencia fenotípica, intensidad de la resistencia fenotípica, el efecto sinergista y los mecanismos responsables de la resistencia fenotípica. Los procedimientos estandarizados para mosquitos vectores se hayan descritos con detalle en el manual para el monitoreo de la resistencia publicado por la OMS (OMS, 2022).

Dentro del proyecto de respuesta mundial para el control de vectores 2017-2030 de la OMS, se destaca como uno de los pilares fundamentales el mejorar la vigilancia de los vectores, así como el monitoreo y la evaluación de las intervenciones. En él se sugiere que dentro de las actividades de vigilancia se incluyan aquellas que permitan obtener información sobre la resistencia a los insecticidas, lo cual permitirá estratificar zonas de riesgo (OMS, 2017).

Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de que el monitoreo y la gestión de la resistencia en artrópodos vectores debe incluirse en los programas de manejo integrado de vectores (MIV). El MIV consiste en un proceso en el que se definen de manera racional la utilización óptima de los recursos para el control de vectores, lo que se traduce en una mejora en la eficacia y la eficiencia de los programas nacionales (OMS, 2012). Los elementos clave para aplicar la estrategia del MIV involucran una aproximación integrada, la toma de decisiones basadas en evidencia, colaboración intra e intersectorial, la promoción de la causa, movilización social y legislación, así como el desarrollo de capacidades.

A lo largo del camino, se ha aprendido mucho sobre los mecanismos de resistencia y los parámetros genéticos, biológicos y operativos que permiten a las poblaciones de artrópodos frustrar los mejores esfuerzos del hombre para el control químico. El desafío que enfrentamos ahora es utilizar este conocimiento en el desarrollo de estrategias de manejo que supriman el desarrollo de la resistencia que actualmente amenaza el manejo exitoso de artrópodos vectores.

El manejo de la resistencia puede utilizar un enfoque reactivo o proactivo. El manejo reactivo de la resistencia se define como el cambio a otro insecticida en respuesta a la resistencia detectada, mientras que el manejo proactivo de la resistencia, en sentido estricto (es decir, excluyendo los tipos de intervención no química), se define como el uso de insecticidas con múltiples modos de acción. Por lo que el manejo de la resistencia puede involucrar la aplicación del insecticida en rotaciones (cambio entre insecticidas con distinto modo de acción en intervalos de tiempo), mosaicos (uso de insecticidas con diferentes modos de acción en zonas geográficas vecinas), combinaciones (exposición a dos clases de insecticidas con diferente modo de acción y distintas formas de intervención) o mezclas (formulaciones que combinan dos o más insecticidas con distinto modo de acción).

Además de lo anterior, otro aspecto importante será el que se siga generando conocimiento relacionado con los mecanismos de resistencia a insecticidas, así como su impacto en las prácticas de manejo, el desarrollo de nuevos insecticidas, así como nuevas herramientas o estrategias que permitan reducir el uso de insecticidas.

6. Conclusiones

La resistencia a los insecticidas en artrópodos vectores constituye uno de los principales desafíos en salud pública a nivel mundial. A pesar de que los insecticidas han sido herramientas fundamentales en la reducción de las poblaciones de artrópodos vectores y con ello las enfermedades a las cuales se les ha asociado, su uso continuo e intensivo ha favorecido procesos biológicos que permiten a estos organismos sobrevivir a su exposición. Este fenómeno, impulsado por la selección natural y

condicionado por factores biológicos, genéticos, operacionales y ambientales, ha dado lugar al desarrollo de diferentes mecanismos de resistencia. La comprensión de la resistencia a insecticidas, los mecanismos asociados a esta y los factores que favorecen su evolución resulta esencial para diseñar estrategias de manejo más efectivas y sostenibles. Es por ello por lo que el monitoreo sistemático de la susceptibilidad a insecticidas en estos organismos representa una herramienta clave para detectar oportunamente la resistencia y orientar la toma de decisiones en los programas de control. Frente a este escenario, el futuro del manejo integrado de vectores dependerá no solo de la correcta implementación de estrategias de manejo de la resistencia, si no del fortalecimiento de la investigación científica, el desarrollo de nuevas herramientas de control y la adopción de enfoques interdisciplinarios que integren aspectos entomológicos, ecológicos y operativos.

Referencias Citadas

- Bras, A., Roy, A., Heckel, D. G., Anderson, P., & Karlsson Green, K. (2022). Pesticide resistance in arthropods: Ecology matters too. *Ecology Letters*, 25, 1746-1759.
- Carrasco, D., Lefèvre, T., Moiroux, N., Pennetier, C., Chandre, F., & Cohuet, A. (2019). Behavioural adaptations of mosquito vectors to insecticide control. *Current Opinion in Insect Science*, 34, 48-54.
- Corbel, V., & N'Guessan, R. (2013). Distribution, mechanisms, impact and management of insecticide resistance in malaria vectors: A pragmatic review. En: *Anopheles mosquitoes - New insights into malaria vectors*. InTech.
- Cruse, C., Moural, T. W., & Zhu, F. (2023). Dynamic roles of insect carboxyl/cholinesterases in chemical adaptation. *Insects*, 14(2), 194.
- Fournier, D. (2005). Mutations of acetylcholinesterase which confer insecticide resistance in insect populations. *Chemico-Biological Interactions*, 157-158, 257-261.
- Dusfour, I., Vontas, J., David, J. P., Weetman, D., Fonseca, D. M., Corbel, V., Raghavendra, K., Coulibaly, M. B., Martins, A. J., Kasai, S., & Chandre, F. (2019). Management of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses: Advances and challenges. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 13(10), e0007615.
- Fournier-Level, A., Good, R. T., Wilcox, S. A., Rane, R. V., Schiffer, M., Chen, W., Battlay, P., Perry, T., Batterham, P., Hoffmann, A. A., & Robin, C. (2019). The spread of resistance to imidacloprid is restricted by thermotolerance in natural populations of *Drosophila melanogaster*. *Nature Ecology & Evolution*, 3(4), 647-656.
- Hawkins, N. J., Bass, C., Dixon, A., & Neve, P. (2019). The evolutionary origins of pesticide resistance. *Biological Reviews*, 94, 135-155.
- Jacobs, E., Chrissian, C., Rankin-Turner, S., et al. (2023). Cuticular profiling of insecticide resistant *Aedes aegypti*. *Scientific Reports*, 13, 10154.
- Hemingway, J., & Ranson, H. (2000). Insecticide resistance in insect vectors of human disease. *Annual Review of Entomology*, 45, 371-391.
- Koirala, B. K. S., Moural, T., & Zhu, F. (2022). Functional and structural diversity of insect glutathione S-transferases in xenobiotic adaptation. *International Journal of Biological Sciences*, 18(15), 5713-5723.
- Liu, N. (2015). Insecticide resistance in mosquitoes: Impact, mechanisms, and research directions. *Annual Review of Entomology*, 60, 537-559.
- Nkya, T. E., Poupardin, R., Laporte, F., Akhouayri, I., Mosha, F., Magesa, S., Kisinza, W., & David, J. P. (2014). Impact of agriculture on the selection of insecticide resistance in the malaria vector *Anopheles gambiae*: A multigenerational study in controlled conditions. *Parasites & Vectors*.
- OPS. (2019). Documento operativo de aplicación del manejo integrado de vectores adaptado al contexto de las Américas. Washington, D.C.
- Pu, J., & Chung, H. (2024). New and emerging mechanisms of insecticide resistance. *Current Opinion in Insect Science*, 63, 101184.
- Soderlund, D. M., & Knipple, D. C. (2003). The molecular biology of knockdown resistance to pyrethroid insecticides. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 33(6), 563-577.

- South, A., & Hastings, I. M. (2018). Insecticide resistance evolution with mixtures and sequences: A model-based explanation. *Malaria Journal*, 17(1), 80.
- Sparks, T. C., Storer, N., Porter, A., Slater, R., & Nauen, R. (2021). Insecticide resistance management and industry: The origins and evolution of the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) and the mode of action classification scheme. *Pest Management Science*, 77(6), 2609-2619.
- Ugurlu, S. (2012). Insecticide resistance. En: *Insecticides - Advances in integrated pest management*. InTech.
- van den Berg, H., Velayudhan, R., & Yadav, R. S. (2021). Management of insecticides for use in disease vector control: Lessons from six countries in Asia and the Middle East. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 15(4), e0009358.
- WHO. (2012). *Handbook on integrated vector management (IVM)*. World Health Organization.
- WHO. (2017). *Global vector control response 2017-2030*. Geneva, World Health Organization.
- WHO. (2022). *Manual for monitoring insecticide resistance in mosquito vectors and selecting appropriate interventions*. Geneva, World Health Organization.
- Zulfa, R., Lo, W. C., Cheng, P. C., Martini, M., & Chuang, T. W. (2022). Updating the insecticide resistance status of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Asia: A systematic review and meta-analysis. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 7(10), 306.

Distribución e identificación de triatominos en Oaxaca

Lizbeth Bustamante Pérez ^{1*}

RESUMEN. La enfermedad de Chagas continúa siendo un problema relevante de salud pública en Oaxaca, donde la presencia de triatominos está asociada con condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas que favorecen su establecimiento y dispersión. Entre las especies de mayor importancia destacan *Triatoma dimidiata* y *Triatoma barberi*, registradas en distintas regiones del estado, particularmente en el Istmo de Tehuantepec, la Sierra Sur y la Mixteca. Con base en información entomológica recopilada entre 2010 y 2018 por el Laboratorio Estatal de Salud Pública y por colectas de campo realizadas en las jurisdicciones sanitarias, se elaboraron mapas de distribución que permitieron identificar la presencia, persistencia y expansión espacial de estos vectores. Los resultados muestran un incremento en el número de localidades positivas y en la extensión territorial ocupada durante el periodo analizado. Esta distribución se relaciona con la presencia de viviendas rurales vulnerables, condiciones ambientales favorables y limitaciones en el acceso a medidas de prevención y atención oportuna. En conjunto, la evidencia resalta la necesidad de fortalecer la vigilancia entomológica, el control de focos, el mejoramiento de viviendas y la participación comunitaria como componentes esenciales para reducir el riesgo de transmisión de *Trypanosoma cruzi* en Oaxaca.

Palabras clave: Triatominos, enfermedad de Chagas, vigilancia entomológica.

Distribution and identification of triatomines in Oaxaca. Chagas disease remains a significant public health problem in Oaxaca, where the presence of triatomines is associated with geographic, climatic, and socioeconomic conditions that favor their establishment and spread. Among the most important species are *Triatoma dimidiata* and *Triatoma barberi*, which have been recorded in different regions of the state, particularly in the Isthmus of Tehuantepec, Sierra Sur, and Mixteca. Based on entomological information collected between 2010 and 2018 by the State Public Health Laboratory and field collections carried out across the health jurisdictions, distribution maps were developed to identify the presence, persistence, and spatial expansion of these vectors. The results showed an increase in the number of positive localities and in the territorial extent occupied during the study period. This distribution is related to the presence of vulnerable rural housing, favorable environmental conditions, and limited access to preventive measures and timely healthcare. Overall, the evidence highlights the need to strengthen entomological surveillance, focal control, housing improvement, and community participation as essential components to reduce the risk of *Trypanosoma cruzi* transmission in Oaxaca. **Keywords:** Triatomines, Chagas disease, entomological surveillance.

1. Introducción

La enfermedad de Chagas, causada por el parásito *Trypanosoma cruzi* y transmitida por los triatominos, sigue siendo un importante problema de Salud Pública en América Latina, especialmente en áreas rurales de México. En este contexto, Oaxaca, un estado del sur de México, se presenta como una región particularmente relevante debido a su diversidad geográfica y social, lo que favorece la proliferación de triatominos y la transmisión de la enfermedad. La distribución de estos insectos, así como su identificación precisa, son cruciales para implementar estrategias de control efectivas y reducir el riesgo de contagio de *T. cruzi* en las comunidades locales.

La presencia de triatominos en Oaxaca ha sido documentada en diversas regiones del estado, destacando áreas rurales de difícil acceso, donde las viviendas tradicionales ofrecen un entorno

¹Servicios de Salud de Oaxaca, Departamento de Prevención y control de Enfermedades Transmitidas por Vector, México.

*Autor para correspondencia: bio.liz.bus@gmail.com

adecuado para la infestación de estos insectos. Las especies más comunes en la región incluyen *Triatoma dimidiata* y *Triatoma barberi*, las cuales son conocidas por su capacidad de infestar tanto viviendas humanas como refugios de animales, aumentando así las probabilidades de transmisión de la enfermedad de Chagas (González et al., 2010; López et al., 2013).

La identificación y mapeo de estas especies es fundamental, no solo para evaluar la magnitud del riesgo de transmisión, sino también para desarrollar intervenciones específicas que incluyan el control de focos de infestación y la prevención de nuevas colonizaciones. Diversos estudios han evidenciado que la *T. dimidiata*, en particular, es una de las especies más prevalentes en Oaxaca, encontrándose en viviendas tanto en zonas rurales como en áreas semiurbanas (Navarro et al., 2015). Asimismo, la distribución de estas especies varía considerablemente según factores como el clima, la altitud, la vegetación y las condiciones socioeconómicas de las poblaciones, lo que hace que la vigilancia entomológica sea un esfuerzo continuo y adaptado a las características locales (González et al., 2010).

En este trabajo, se revisa la distribución e identificación de triatominos en Oaxaca, con el objetivo de proporcionar una visión general de las áreas de riesgo y destacar la importancia de la vigilancia entomológica en la prevención de la enfermedad de Chagas. La información aquí presentada se basa en estudios recientes y trabajos de campo que han identificado las especies predominantes en diversas regiones del estado y sus implicaciones para la salud pública.

El objetivo de este trabajo es revisar y analizar la distribución de triatominos en Oaxaca, describiendo las especies más comunes, su relación con los factores ambientales y sociales, y la relevancia de los esfuerzos de vigilancia para el control de la enfermedad de Chagas en la región.

2. Metodología

La información para la realización de los mapas de este trabajo se ha recopilado de la base de datos a partir del año 2010 al 2018, generada de los resultados taxonómicos que envía el Laboratorio Estatal de Salud Pública al Departamento de Control y Prevención de Enfermedades Transmitidas por Vector, de las colectas entomológicas del personal de campo que realiza la actividad entomológica en las seis diferentes jurisdicciones del estado de Oaxaca. Además, se han consultado fuentes bibliográficas que analizan la distribución geográfica y las características biológicas de los triatominos en la región.

3. Resultados y discusión

Oaxaca se caracteriza por su diversidad geográfica y ecológica, lo que resulta en una amplia variedad de hábitats propicios para la proliferación de triatominos. El estado está dividido en ocho regiones geográficas, y varias de ellas presentan condiciones favorables para la presencia de estas especies. La distribución de triatominos está influenciada por factores como el clima, la altitud, el tipo de vegetación, la presencia de viviendas rurales y la interacción entre las comunidades humanas y el entorno.

Las zonas de mayor incidencia de triatominos en Oaxaca incluyen las regiones del Istmo de Tehuantepec, la Sierra Sur y la Mixteca. Estas áreas, por lo general rurales, presentan viviendas tradicionales de adobe o materiales similares que favorecen la colonización de los triatominos, especialmente en lugares cercanos a los cultivos de maíz y frijol. En la región del Istmo, la presencia de especies como *T. dimidiata* y *Rhodnius prolixus* ha sido documentada en varias ocasiones (González et al., 2010; Navarro et al., 2015). En la Mixteca, una región con altitudes que varían desde los 1,000 hasta los 2,500 metros sobre el nivel del mar, también se ha reportado la presencia de diversas especies de triatominos, especialmente en áreas de difícil acceso, donde las viviendas son más susceptibles a la infestación por estos vectores (López et al., 2013).

En Oaxaca se han identificado varias especies de triatominos, algunas de las cuales están asociadas con la transmisión de *T. cruzi*. Entre las especies más comunes se encuentran:

***Triatoma dimidiata*:** Es la especie más ampliamente distribuida en Oaxaca y una de las principales responsables de la transmisión de la enfermedad de Chagas. Se encuentra tanto en viviendas humanas como en refugios de animales, y es capaz de colonizar tanto áreas rurales como semiurbanas (González et al., 2010).

***Triatoma barberi*:** esta especie también se han encontrado en algunas áreas, especialmente en las regiones montañosas de la Sierra Sur y en el área central de Oaxaca (López et al., 2013)

La elaboración de los mapas de distribución para el periodo 2010–2018 permitió identificar la presencia, persistencia y expansión espacial de diversas especies de triatominos en el estado de Oaxaca (Figura 1). En conjunto, los resultados muestran que la distribución de estos vectores presentó un incremento tanto en número de localidades positivas como en extensión territorial ocupada a lo largo del periodo evaluado.

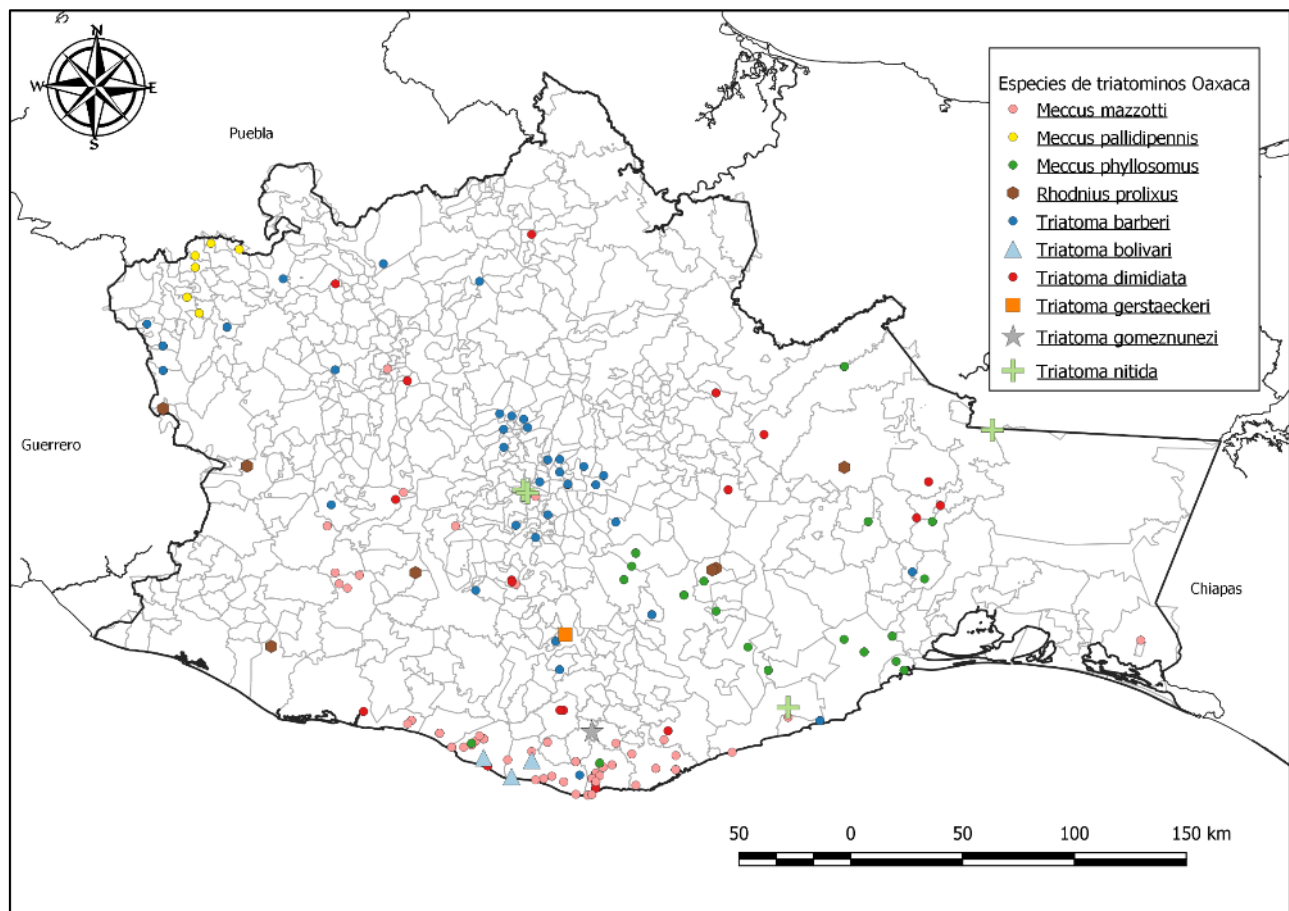


Figura 1. Mapa de distribución de las especies triatominas presentes en el estado de Oaxaca del año 2010 – 2018.

La distribución de triatominos en Oaxaca está influenciada por diversos factores ambientales y sociales. Entre los más relevantes se encuentran el clima y vegetación, ya que las áreas cálidas y húmedas de Oaxaca, especialmente en las regiones del Istmo y la Sierra Sur, son más propensas a albergar triatominos. La vegetación densa y los espacios poco iluminados favorecen la colonización

de estos insectos. Las especies de triatominos como *T. dimidiata* y *R. prolixus* prefieren hábitats en zonas rurales y suburbanas, donde las viviendas suelen estar construidas con materiales porosos que facilitan la entrada de los insectos (González et al., 2010).

Las condiciones socioeconómicas es otro factor determinante ya que las viviendas en comunidades rurales de Oaxaca suelen carecer de infraestructura adecuada, lo que aumenta la probabilidad de infestación por triatominos. Muchas familias habitan en casas con techos de palma o barro, sin medidas de protección contra estos insectos. A su vez, la falta de acceso a servicios de salud en algunas zonas dificulta el diagnóstico y tratamiento oportuno de la enfermedad de Chagas (Navarro et al., 2015).

La vigilancia entomológica en Oaxaca se ha intensificado en los últimos años como parte de los esfuerzos para reducir la transmisión de la enfermedad de Chagas. Los programas de control, que incluyen la fumigación de viviendas y la educación sobre medidas preventivas, han mostrado ser efectivos en varias áreas del estado. Sin embargo, la persistencia de los triatominos en ciertas regiones subraya la necesidad de un monitoreo continuo y la implementación de estrategias integrales que involucren tanto a las autoridades sanitarias como a la comunidad. Además, la identificación temprana de focos de infestación y la educación sobre las formas de evitar la picadura de triatominos (como el uso de mosquiteros y el acondicionamiento de viviendas) son esenciales para reducir la prevalencia de la enfermedad de Chagas en la región.

4. Conclusión

La distribución de triatominos en Oaxaca está estrechamente relacionada con factores geográficos, climáticos y socioeconómicos. Las zonas rurales y de difícil acceso del estado presentan condiciones propicias para la proliferación de estas especies, lo que aumenta el riesgo de transmisión de la enfermedad de Chagas. A pesar de los esfuerzos realizados en las últimas décadas para controlar la infestación de triatominos, es necesario continuar con la vigilancia entomológica y la implementación de medidas preventivas. Además, es fundamental involucrar a las comunidades locales en la prevención y control de la enfermedad, promoviendo la educación y el acceso a servicios de salud.

Referencias Citadas

- González, A., Pérez, G., & Sánchez, S. (2010). Distribución y ecología de *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae) en el estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(3), 577-585.
- López, C., Jiménez, G., & Hernández, M. (2013). Estudio sobre la distribución de triatominos en la región Mixteca de Oaxaca, México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Entomología*, 62(1), 125-132.
- Navarro, J., García, D., & Martínez, M. (2015). Distribución geográfica y aspectos ecológicos de los triatominos en Oaxaca, México. *Salud Pública de México*, 57(5), 383-390.

Leishmaniasis y Chagas

Eduardo A. Rebollar Téllez^{1*}

RESUMEN. Las leishmaniasis y la enfermedad de Chagas son zoonosis parasitarias de gran relevancia en salud pública, transmitidas por flebotominos y triatominos, respectivamente. En México, las leishmaniasis son causadas principalmente por *Leishmania mexicana*, *Leishmania braziliensis* y *Leishmania infantum*, con predominio de la forma cutánea localizada y presencia en al menos 28 estados. Su mantenimiento depende de ciclos enzóticos en mamíferos silvestres, y su diagnóstico incluye pruebas serológicas, parasitológicas y moleculares. La enfermedad de Chagas, causada por *Trypanosoma cruzi*, presenta en México un predominio del linaje Tc I, aunque también se ha documentado Tc II, además de alrededor de 35 especies de triatominos de importancia médica. Esta enfermedad puede transmitirse por vía vectorial, transfusional, congénita y oral, y evoluciona en fases aguda y crónica. Ambas enfermedades evidencian la necesidad de fortalecer la vigilancia entomológica, el diagnóstico oportuno y las estrategias integrales de control para disminuir su impacto epidemiológico.

Palabras clave: Leishmaniasis, enfermedad de Chagas, vectores.

Leishmaniasis and Chagas Disease. Abstract. Leishmaniasis and Chagas disease are parasitic zoonoses of major public health relevance, transmitted by phlebotomine sand flies and triatomines, respectively. In Mexico, leishmaniasis is mainly caused by *Leishmania mexicana*, *Leishmania braziliensis*, and *Leishmania infantum*, with localized cutaneous leishmaniasis being the predominant clinical form and with reported presence in at least 28 states. Its maintenance depends on enzootic cycles involving wild mammals, and diagnosis includes serological, parasitological, and molecular tests. Chagas disease, caused by *Trypanosoma cruzi*, is characterized in Mexico by the predominance of the Tc I lineage, although Tc II has also been documented, in addition to the presence of approximately 35 triatomine species of medical importance. This disease may be transmitted through vector-borne, transfusional, congenital, and oral routes, and it progresses through acute and chronic phases. Both diseases highlight the need to strengthen entomological surveillance, timely diagnosis, and integrated control strategies to reduce their epidemiological impact. **Keywords:** leishmaniasis; Chagas disease; vectors.

1. Introducción

Las leishmaniasis y la enfermedad de Chagas son zoonosis parasitarias de gran importancia en salud pública en América Latina. Ambas son causadas por protozoarios tripanosomátidos y dependen de artrópodos hematófagos para su transmisión. Las leishmaniasis son producidas por especies del género *Leishmania* y transmitidas por flebotominos de la subfamilia Phlebotominae, mientras que la enfermedad de Chagas es causada por *Trypanosoma cruzi* y transmitida principalmente por triatominos de la subfamilia Triatominae. En México, ambas enfermedades mantienen relevancia epidemiológica debido a su amplia distribución geográfica, la persistencia de ciclos enzóticos y la interacción constante entre vectores, reservorios silvestres y poblaciones humanas.

2. Desarrollo

Las leishmaniasis comprenden un grupo de enfermedades con distintas manifestaciones clínicas, entre ellas las formas cutánea, mucocutánea y visceral. Los parásitos del género *Leishmania* son

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Entomología Médica. Ave. Universidad S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León. C. P. 64770, México.

*Autor para correspondencia: eduardo.rebollartl@uanl.edu.mx

transmitidos por flebotominos, insectos pequeños cuyas hembras son hematófagas y, por tanto, epidemiológicamente importantes. En México, la leishmaniasis cutánea fue descrita desde 1912 en la Península de Yucatán y actualmente se reconoce su presencia en al menos 28 estados. Las especies registradas en el país incluyen *Leishmania mexicana*, *Leishmania braziliensis* y *Leishmania infantum*. La forma clínica más frecuente es la cutánea localizada, aunque también se presentan variantes difusa, mucocutánea y visceral. Su mantenimiento epidemiológico depende de ciclos enzóticos en mamíferos silvestres, particularmente roedores, que funcionan como reservorios (Figura 1).

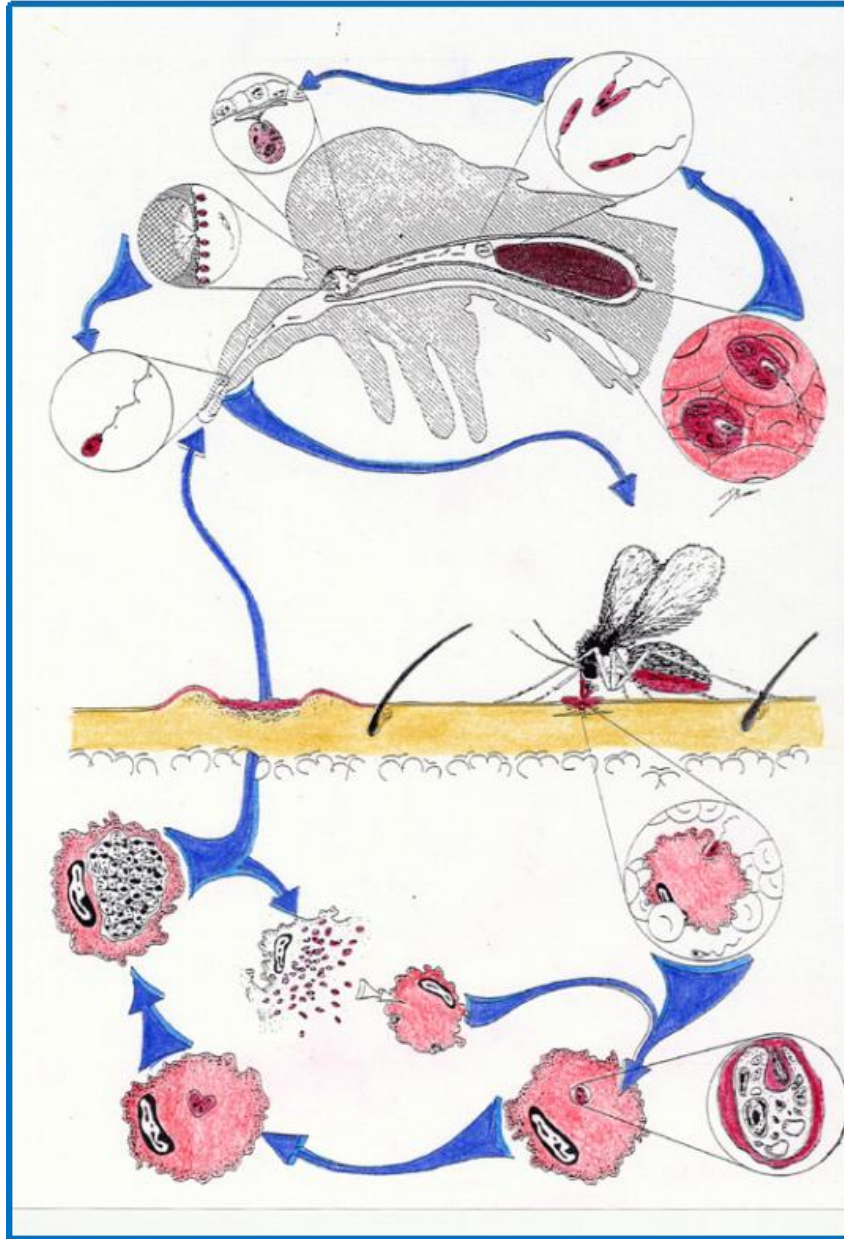


Figura 1. Ciclo de vida de *Leishmania* spp. (Dibujo cortesía Dr. Derric Nimmo).

El diagnóstico puede realizarse mediante pruebas serológicas, parasitológicas y moleculares, además de cultivos y aspirados de lesiones, mientras que el tratamiento señalado es el metil glucamina-antimoniato. Por su parte, la enfermedad de Chagas es causada por *Trypanosoma cruzi*, un protozoo transmitido por las deyecciones infectadas de triatomos hematófagos. A diferencia de

la leishmaniasis, en este caso no es la picadura en sí la que transmite al parásito, sino el contacto de las heces infectadas con mucosas o lesiones cutáneas. La enfermedad es endémica de América Latina, aunque en años recientes se han registrado casos en otras regiones del mundo. En México se han reportado alrededor de 35 especies de triatominos con diferentes niveles de importancia médica. Además, se reconoce que *T. cruzi* constituye un complejo genético con al menos seis linajes, siendo Tc I el más predominante en México, aunque Tc II también está presente. La enfermedad cursa con fases aguda y crónica, y además de la transmisión vectorial existen otras vías, como la transfusional, congénita y oral (Figura 2). El tratamiento de elección mencionado incluye Nifurtimox y Benznidazol.

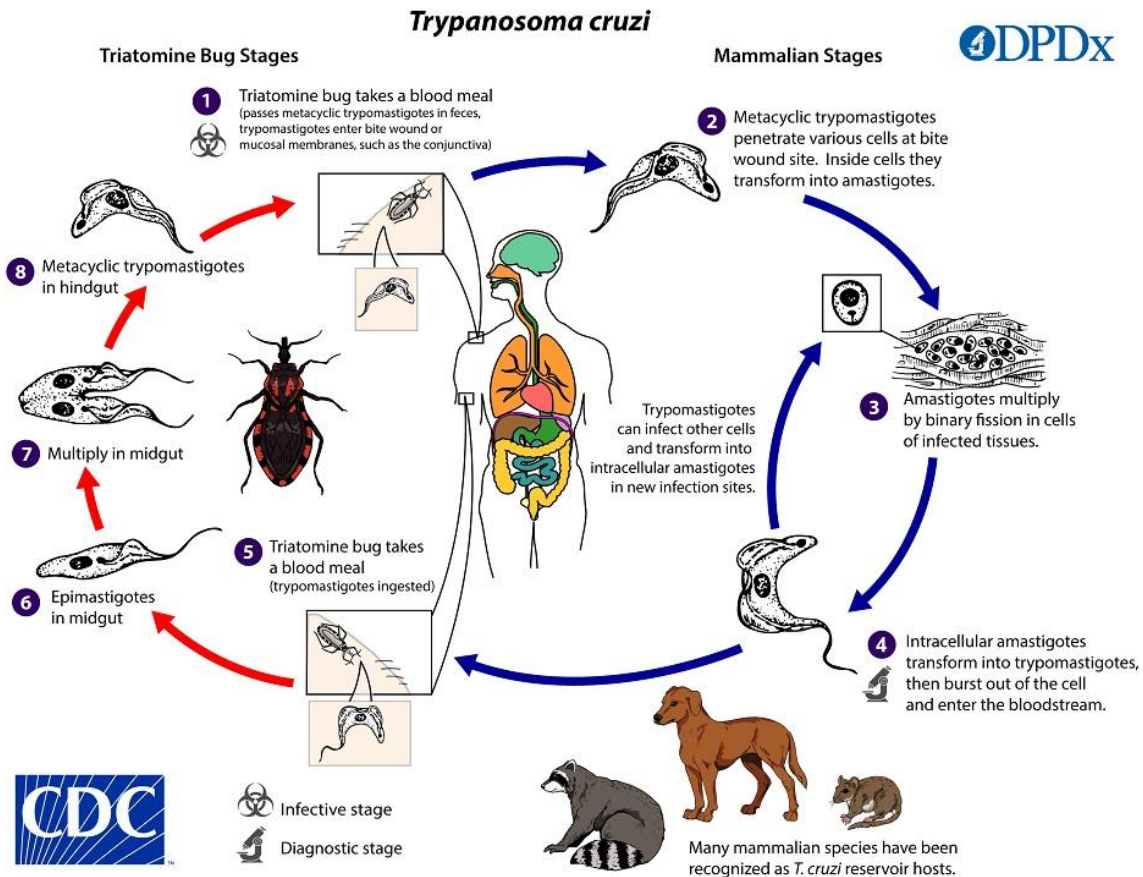


Figura 2. Ciclo de vida de *Trypanosoma cruzi*. Fuente: CDC; <https://www.cdc.gov/dpdx/trypanosomiasisamerican/index.html>.

3. Resultados

La información revisada muestra que ambas enfermedades mantienen una distribución amplia y una elevada importancia epidemiológica en México. En el caso de la leishmaniasis, se reconoce la presencia de varias especies de *Leishmania* y una distribución en gran parte del territorio nacional, con predominio de la forma cutánea localizada. Asimismo, se destaca la participación de mamíferos silvestres en los ciclos enzóticos y un mayor riesgo en varones de 14 a 45 años. Respecto a la enfermedad de Chagas, la evidencia señala que continúa siendo una zoonosis de gran impacto regional, con millones de personas afectadas o en riesgo en América. En México, la diversidad de

triatominos y la circulación predominante del linaje Tc I refuerzan la complejidad epidemiológica de la enfermedad. También resalta la importancia de reconocer las diferentes vías de transmisión y la progresión clínica desde una fase aguda hasta complicaciones crónicas cardíacas, digestivas o neurológicas.

4. Conclusión

Las leishmaniasis y la enfermedad de Chagas representan dos de las principales enfermedades parasitarias transmitidas por vectores en México y América Latina. Su persistencia se relaciona con la complejidad de sus ciclos biológicos, la participación de reservorios silvestres y la presencia de artrópodos vectores con amplia distribución. En ambos casos, el diagnóstico oportuno, la vigilancia entomológica y el conocimiento de los ciclos de transmisión son elementos esenciales para reducir su impacto en la salud pública. Fortalecer la investigación epidemiológica, el control vectorial y el acceso al tratamiento permitirá mejorar las estrategias de prevención y manejo de estas zoonosis.

Referencias Citadas

- Abbott, A., Chancey, R. J., & Roy, S. L. (2025). Leishmaniasis. En: Halsey, E. S., Angelo, K. M., Barnett, E. D., et al. (eds), CDC Yellow Book, 2026 edition: Health information for international travel. Atlanta (GA), Centers for Disease Control and Prevention (US).
- Aronson, N. E., Herwaldt, B. L., Libman, M., Pearson, R., Lopez-Velez, R., Weina, P., Carvalho, E. M., Ephros, M., Jeronimo, S., & Magill, A. (2016). Diagnosis and treatment of leishmaniasis: Clinical practice guidelines by the Infectious Diseases Society of America (IDSA) and the American Society of Tropical Medicine and Hygiene (ASTMH). *Clinical Infectious Diseases*, 63(12), e202-e264.
- Aronson, N., Herwaldt, B. L., Libman, M., Pearson, R., Lopez-Velez, R., Weina, P., Carvalho, E. M., Ephros, M., Jeronimo, S., & Magill, A. (2017). Diagnosis and treatment of leishmaniasis: Clinical practice guidelines by the Infectious Diseases Society of America (IDSA) and the American Society of Tropical Medicine and Hygiene (ASTMH). *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 96(1), 24-45.
- Cucunubá, Z. M., Gutiérrez-Romero, S. A., Ramírez, J.-D., Velásquez-Ortiz, N., Ceccarelli, S., Parra-Henao, G., Henao-Martínez, A. F., Rabinovich, J., Basáñez, M.-G., Nouvellet, P., & Abad-Franch, F. (2024). The epidemiology of Chagas disease in the Americas. *The Lancet Regional Health - Americas*, 37, 100881.
- Menna-Barreto, R. (2022). Introductory chapter: Chagas disease – A multidisciplinary old public health problem. En: Menna-Barreto, R. (ed), *Chagas Disease - From Cellular and Molecular Aspects of Trypanosoma cruzi-Host Interactions to the Clinical Intervention*. IntechOpen.
- Suárez, C., Nolder, D., García-Mingo, A., Moore, D. A. J., & Chiodini, P. L. (2022). Diagnosis and clinical management of Chagas disease: An increasing challenge in non-endemic areas. *Research and Reports in Tropical Medicine*, 13, 25-40.
- Torres-Guerrero, E., Quintanilla-Cedillo, M. R., Ruiz-Esmenjaud, J., & Arenas, R. (2017). Leishmaniasis: a review. *F1000Research*, 6, 750.

Síntesis sobre el conocimiento de ectoparásitos con importancia médica en Oaxaca, México

Gisela Aramiriam León-Espinosa^{1,2*}, Beatriz López-Monroy², Beatriz Salceda-Sánchez³

RESUMEN. Se presenta la recopilación documental de la diversidad disponible de garrapatas presentes en el estado de Oaxaca y sus hospederos asociados. Para ello, se realizó una revisión de literatura científica publicada en revistas indexadas. Se obtuvo un total de 26 especies que engloban a las familias Argasidae e Ixodidae. La mayoría de las especies se asocian con fauna silvestre, mientras que especies con importancia médica como *Rhipicephalus linnaei*, se relaciona con perros domésticos. Estos registros evidencian que el estado de Oaxaca podría representar una región relevante para la diversidad de garrapatas, particularmente considerando la limitada cantidad de estudios formales realizados en la región.

Palabras clave: Garrapata, *Rhipicephalus*, *Amblyomma*, enfermedades por Rickettsia, Oaxaca.

Synthesis of the knowledge on ectoparasites of medical importance in Oaxaca, Mexico. The documentary compilation of the available diversity of ticks presents in the state of Oaxaca and their associated hosts is presented. To this end, a review of scientific literature published in indexed journals was carried out. A total of 26 species were obtained, which include the Argasidae and Ixodidae families. Most species are associated with wildlife, while medically important species such as *Rhipicephalus linnaei*, are related to domestic dogs. These records show that the state of Oaxaca could represent a relevant region for tick diversity, particularly considering the limited number of formal studies carried out in the region. **Keywords:** tick, *Rhipicephalus*, *Amblyomma*, Rickettsia-diseases, Oaxaca.

1. Introducción

Los ectoparásitos abarcan una amplia variedad de organismos, sin embargo, algunos grupos específicos como las garrapatas, pulgas, piojos y ácaros son considerados vectores con importancia médica (Azad y Beard, 1998, Parola et al. 2013) debido a su capacidad de infestar una amplia variedad de hospederos y su hábito de alimentación hematófaga, la cual facilita la adquisición, dispersión y transmisión de diversos microorganismos patógenos, entre ellos, virus, parásitos y bacterias. Estas últimas, particularmente del género *Rickettsia*, tienen una especial relevancia en materia de salud pública y veterinaria debido a que son responsable de enfermedades rickettsiales a nivel global, siendo las más relevantes la Fiebre Maculosa de las Montañas Rocosas, Tifo murino y Tifo epidémico (Demma et al. 2005; Dantas-Torres 2007; DGE, 2022).

En México, estas enfermedades se encuentran ampliamente distribuidas en el territorio nacional a través de sus vectores. Algunas regiones han sido consideradas endémicas, particularmente la zona norte del país, que incluye los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León, donde se han documentado altas tasas de letalidad (Álvarez-Hernández et al. 2017). Asimismo, el estado de Yucatán también se ha catalogado como zona endémica de rickettsiosis (Torres-Castro et al. 2022).

¹Servicios de Salud de Nuevo León, Laboratorio Estatal de Salud Pública, Secretaría de Salud de Nuevo León. México.

²Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Entomología Médica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

³Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos, Laboratorio de Entomología Médica, Secretaría de Salud, Ciudad de México, México.

*Autor para correspondencia: gisela.leonesp@uanl.edu.mx

Esta situación se asocia no solo a condiciones ambientales favorables para el desarrollo y persistencia de los vectores, sino también a determinantes socioeconómicos, culturales, interacción humano-hospedero y educación (Dzul-Rosado et al. 2022; Chavez et al. 2025).

En este contexto, el estado de Oaxaca se caracteriza por una notable heterogeneidad ambiental y biogeográfica. Presenta una amplia diversidad de ecosistemas que incluyen selvas húmedas y secas, bosques, zonas montañosas y áreas costeras (CONABIO, 2022). Estos ambientes, favorecen al desarrollo de una gran diversidad de animales vertebrados silvestres los cuales actúan como hospederos y especies centinelas de diversos ectoparásitos. Asimismo, la convivencia cercana entre humanos y animales puede facilitar la permanencia y circulación de ectoparásitos y los patógenos que transmiten.

En Oaxaca, se han documentado diversas especies de agentes zoonóticos relevantes en salud pública como *Rickettsia typhi*, *R. prowazekii* que son transmitidas por pulga y piojo respectivamente (Sánchez-Montes et al. 2021) y *Ehrlichia* sp. en perros (Rodríguez-Vivas et al. 2025), sin embargo, el conocimiento sobre la diversidad, distribución y asociaciones hospedero-ectoparásito aún es limitado y fragmentado lo que dificulta tener una visión integral sobre su diversidad, distribución en la región y los patógenos que estos albergan.

En este panorama y bajo el enfoque de Una Salud, el presente trabajo tiene como objetivo compilar y sistematizar la información disponible sobre ectoparásitos documentados en Oaxaca, con enfoque en garrapatas (Acari: Ixodida), reportadas en la región debido a su relevancia epidemiológica, así como sus hospederos asociados, con la finalidad de contribuir a la comprensión de su relevancia en la conexión humano-animal-ambiente.

2. Materiales y métodos

Se realizó una extensa revisión bibliográfica en bases de datos electrónica como PubMed, Scopus y Google Scholar. Se emplearon palabras clave en español como en inglés: “ectoparásitos”, “garrapatas”, “*Rickettsia*”, “Oaxaca” y “Mexico”. Se incluyeron artículos científicos en revistas indexadas que documentaran asociaciones hospedero-ectoparásito en el estado de Oaxaca.

3. Resultados

Se encontraron un total de 20 especies de garrapatas duras (Ixodidae), pertenecientes a los géneros *Amblyomma*, *Dermacentor*, *Ixode* y *Rhipicephalus*, lo que representa el 28.5% de la diversidad reportada para México (70 especies). Por otra parte, se documentaron seis especies de garrapatas blandas (Argasidae) con tres géneros: *Antricola*, *Ornithodoros* y *Otobius* que engloban el 15.7 % de un total de 38 especies reportadas para nuestro país. La mayoría de los registros se asocian con diversos hospederos, principalmente mamíferos, seguido por reptiles.

Diversidad de especies de garrapatas

Orden Ixodida

Familia Ixodidae (garrapatas duras)

Género *Amblyomma* (Koch, 1844)

Amblyomma mixtum (Koch, 1844)

Mamíferos: *Bos taurus* (vaca), *Canis familiaris* (perro), *Dasypus novemcinctus* (armadillo de nueve bandas), *Equus caballus* (caballo), *Homo sapiens* (humano).

Aves: Desconocido.

***Amblyomma dissimile* Koch, 1844**

Anfibios: *Rhinella marina* (sapo gigante).

Reptiles: *Rhinoclemmys rubida* (tortuga pintada de monte), *Rhinoclemmys pulcherrima* (tortuga de monte pintada), *Iguana iguana* (iguana verde), *Phrynosoma* sp. (lagarto cornudo) *Ctenosaura pectinata* (iguana negra).

***Amblyomma inornatum* Banks, 1908**

Mamíferos: *Canis familiaris* (perro).

***Amblyomma oblongotatum* Koch, 1844**

Desconocido.

***Amblyomma ovale* Koch, 1944**

Mamíferos: *Canis familiaris* (perro).

***Amblyomma parvum* Aragão, 1908**

Mamíferos: *Didelphis* sp. (zarigüeya), *Dasyus novemcinctus* (armadillo de nueve bandas).

***Amblyomma pecarium* Dunn, 1933**

Desconocido.

***Amblyomma sabanerae* Stole, 1894**

Reptiles: *Rhinoclemmys pulcherrima* (tortuga de monte pintada).

***Amblyomma scutatum* Neumann, 1899**

Reptiles: *Ctenosaura pectinata* (iguana negra), *Iguana iguana* (iguana verde).

Género *Dermacentor* Koch, 1844

***Dermacentor albipictus* (Packard, 1869)**

Desconocido.

***Dermacentor dissimilis* Cooley, 1947**

Mamíferos: *Equus caballus* (caballo).

***Dermacentor imitans* Warburton, 1933**

Desconocido.

***Dermacentor nitens* Neumann, 1897**

Mamíferos: *Equus caballus* (caballo), *Canis familiaris* (perro), *Equus asinus* (burro), ganado.

***Dermacentor variabilis* (Say, 1821)**

Desconocido.

Género *Rhipicephalus* Koch, 1844

***Rhipicephalus linnaei* (Audouin, 1826)**

Mamíferos: *Canis familiaris* (perro).

***Rhipicephalus (Boophilus) annulatus* Say, 1821**

Mamíferos: Ganado

***Rhipicephalus (Boophilus) microplus* Canestrini, 1888**

Mamíferos: Ganado

Género *Ixodes* Latreille, 1795

***Ixodes boliviensis* Neumann, 1904**

Mamíferos: *Canis familiaris* (perro), *Nasua narica* (coatí).

Ixodes granulatus Supino, 1897**

Mamíferos: *Peromyscus mexicanus tontontepecus* (ratón de Totontepec), *Oryzomys chapmani* (Rata arrocera de Chapman).

***Ixodes scapularis* Say, 1821**

Desconocido.

Familia Argasidae (garrapatas blandas)

Género *Antricola* Cooley & Kohls, 1942

***Antricola mexicanus* Hoffmann, 1958**

Mamíferos: *Balantiopteryx plicata* (murciélago de saco gris), *Pteronotus parnellii* (murciélago bigotudo de Parnell).

Género *Ornithodoros* Koch, 1844

***Ornithodoros coriaceus* Koch, 1844**

Mamíferos: *Equus caballus* (caballo).

***Ornithodoros dyeri* Cooley and Kohls, 1940**

Mamíferos: *Balantiopteryx plicata* (murciélago de saco gris), *Pteronotus parnellii* (murciélago bigotudo de Parnell).

***Ornithodoros nicolleti* Mooser, 1932**

Mamíferos: *Equus caballus* (caballo).

***Ornithodoros talaje* (Guérin-Méneville, 1849)**

Mamíferos: *Equus caballus* (caballo).

Género *Otobius* Banks, 1912

***Otobius megnini* (Dugès, 1884)**

Ganado, Venado.

** Registro cuya presencia en la región requiere confirmación. La especie fue incluida acorde a los reportes de la literatura consultada.

4. Discusión

En México, se ha registrado 111 especies de garrapatas, de las cuales algunas de ellas se encuentran ampliamente distribuidas a lo largo del país y se ha documentado su asociación con diversos hospederos de vida silvestre como de fauna doméstica como los perros, siendo variable entre regiones

(Sánchez-Montes et al. 2021). En el estado de Oaxaca, la revisión documental de los reportes en la región (González-Álvarez et al. 2022, Guzmán-Cornejo et al. 2010, 2011, 2019, 2023), indican que la mayoría de las especies de garrapatas reportadas se encuentran asociadas principalmente a hospederos de vida silvestre como reptiles y mamíferos, lo que sugiere una alta diversidad ecológica del estado.

Rhipicephalus linnaei mejor conocida como la garrapata café de perro, destaca por su reporte asociado a perro doméstico, lo que refuerza su estrecha asociación en entornos domésticos acorde con Dantas-Torres (2005) y Slapeta et al. (2022). Además, *Rh. linnaei* se considera uno de los principales vectores de *Rickettsia*, particularmente *Rickettsia rickettsii*, además de *Ehrlichia canis*, ambos patógenos con importancia médica y veterinaria (Sánchez-Montes et al. 2021, Rodríguez-Vivas et al. 2025). Interesantemente, también se ha documentado a *Amblyomma mixtum*, *A. inornatum*, *Dermacentor nitens* e *Ixodes boliviensis* asociados a perros domésticos; cabe destacar que estos géneros han sido implicados en la transmisión de patógenos zoonóticos (Rodríguez-Vivas et al. 2023).

Dentro de la familia Argasidae, es importante resaltar que las especies documentadas se asocian principalmente en hospederos como murciélagos y en ganado, así como en otros vertebrados, lo cual se relaciona con sus hábitos de vida nidícolas. No obstante, se debe destacar que también son de relevancia epidemiológica, principalmente las especies del género *Ornithodoros*, debido a que sus especies han sido implicadas en la transmisión de bacterias del género *Borrellia* agente causal de la fiebre recurrente y de una amplia variedad de virus (Colunga-Salas et al. 2020, Laredo-Tiscareño et al. 2025).

5. Conclusión

La información recopilada evidencia que la diversidad de garrapatas registradas en el estado de Oaxaca se encuentra mayormente asociada con fauna silvestre, lo cual refleja la diversidad ecológica y la disponibilidad de hospederos. No obstante, la presencia de especies con importancia médica como *Rh. linnaei* y *A. mixtum* asociadas a perros domésticos, sugiere un potencial riesgo de interacción con el humano para la circulación y transmisión de patógenos con potencial epidemiológico. En este contexto, es fundamental fortalecer los estudios de vigilancia acarológica, distribución y asociaciones con hospederos en la región, con la finalidad de tener una mayor comprensión eco-epidemiológica.

Referencias Citadas

- Álvarez-Hernández, G., Roldán, J. F. G., Milan, N. S. H., Lash, R. R., Behraves, C. B., & Paddock, C. D. (2017). Rocky Mountain spotted fever in Mexico: Past, present, and future. *The Lancet Infectious Diseases*, 17(6), e189-e196.
- Azad, A. F., & Beard, C. B. (1998). Rickettsial pathogens and their arthropod vectors. *Emerging Infectious Diseases*, 4(2), 179-186.
- CONABIO, & Gobierno del Estado de Oaxaca. (2022). La biodiversidad en Oaxaca: Estudio de Estado (Vols. I-III).
- Chaves, A., Mendoza, H., Herrera, A., Pacheco-Zapata, M., López-Pérez, A. M., Fernández, A., Arguello-Sáenz, M., Arnal, A., & Suzán, G. (2025). Zoonosis: Social and environmental connections in the Mexico-United States border region. *One Health Outlook*, 7(1), 3.
- Colunga-Salas, P., Sánchez-Montes, S., Volkow, P., Ruíz-Remigio, A., & Becker, I. (2020). Lyme disease and relapsing fever in Mexico: An overview of human and wildlife infections. *PLoS One*, 15(9), e0238496.
- Dantas-Torres, F. (2010). Biology and ecology of the brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus*. *Parasites & Vectors*, 3, 26.

- DGE. (2022). Anuarios de morbilidad durante el período 1984-2022. En: Anuarios de morbilidad, 1984-2023. Secretaría de Salud, Mexico City, Mexico.
- Demma, L. J., Traeger, M. S., Nicholson, W. L., Paddock, C. D., Blau, D. M., Ereemeeva, M. E., Dasch, G. A., Levin, M. L., Singleton, J. Jr., Zaki, S. R., et al. (2005). Rocky Mountain spotted fever from an unexpected tick vector in Arizona. *New England Journal of Medicine*, 353(6), 587-594.
- Dantas-Torres, F. (2007). Rocky Mountain spotted fever. *The Lancet Infectious Diseases*, 7(11), 724-732.
- Dzul-Rosado, K., Cámara Herrera, R., Miranda-Schaeubinger, M., Arias-León, J., Peniche-Lara, G., Gilman, R. H., Mercado-Saavedra, B. N., Lugo-Caballero, C., López Ávila, K., Tello Martín, R., & Omodior, O. (2022). Socio-ecological determinants of rickettsial seroprevalence in a rural community of Yucatán, Mexico. *Infection, Genetics and Evolution*, 102, 105291.
- González-Álvarez, V. H., & Almazán, C. (2022). Identification of *Amblyomma ovale* Koch, 1844 (Acari: Ixodidae) in a Bloodhound dog from Oaxaca, Mexico. *Parasitologia*, 2(3), 249-254.
- Guzmán-Cornejo, C., & Robbins, R. G. (2010). El género *Ixodes* (Acari: Ixodidae) en México: claves de identificación para adultos, diagnosis, huéspedes y distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(2).
- Guzmán-Cornejo, C., Robbins, R. G., Guglielmone, A. A., Montiel-Parra, G., & Pérez, T. M. (2011). The *Amblyomma* (Acari: Ixodida: Ixodidae) of Mexico: Identification keys, distribution and hosts. *Zootaxa*, 2998, 16-38.
- Guzmán-Cornejo, C., Herrera-Mares, A., Robbins, R. G., & Rebollo-Hernández, A. (2019). The soft ticks (Parasitiformes: Ixodida: Argasidae) of Mexico: Species, hosts, and geographical distribution. *Zootaxa*, 4623(3).
- Guzmán-Cornejo, C., Herrera-Mares, A., Paredes-León, R., & García-Prieto, L. (2023). Actualización de la riqueza de garrapatas de los géneros *Ixodes* y *Amblyomma* (Ixodida: Ixodidae) en México. *Dugesiana*, 30(2), 163-176.
- Laredo-Tiscareño, S. V., Garza-Hernandez, J. A., Tangudu, C. S., Dankaona, W., Rodríguez-Alarcón, C. A., Gonzalez-Peña, R., Adame-Gallegos, J. R., Beristain-Ruiz, D. M., Barajas-López, I. N., Hargett, A. M., Munderloh, U. G., & Blitvich, B. J. (2025). Detection of multiple novel viruses in argasid and ixodid ticks in Mexico. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 16(2), 102455.
- Parola, P., Paddock, C. D., Socolovschi, C., Labruna, M. B., Mediannikov, O., Kernif, T., Abdad, M. Y., Stenos, J., Bitam, I., Fournier, P. E., & Raoult, D. (2013). Update on tick-borne rickettsioses around the world: A geographic approach. *Clinical Microbiology Reviews*, 26(4), 657-702.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Ojeda-Chi, M., Bolio-González, M., & Rosado-Aguilar, J. A. (2023). Las garrapatas como vectores de enfermedades zoonóticas en México. *Boletín de la Asociación Científica*.
- Rodríguez-Vivas, R. I., Flota-Burgos, G. J., Bolio-González, M. E., Rosado-Aguilar, J. A., & Gutiérrez-Ruiz, E. (2025). Distribución geográfica de *Ehrlichia canis* en perros de México. *Vanguardia Veterinaria*, 22(128).
- Sánchez-Montes, S., Salceda-Sánchez, B., Bermúdez, S. E., Aguilar-Tipacamú, G., Ballados-González, G. G., Huerta, H., Aguilar-Domínguez, M., Mora, J. D.-d. l., Licona-Enríquez, J. D., Mora, D. D.-d. l., López-Pérez, A. M., Torres-Castro, M. A., Alcántara-Rodríguez, V., Becker, I., & Colunga-Salas, P. (2021). *Rhipicephalus sanguineus* complex in the Americas: Systematic, genetic diversity, and geographic insights. *Pathogens*, 10(9), 1118.
- Šlapeta, J., Halliday, B., Chandra, S., Alanazi, A. D., & Abdel-Shafy, S. (2022). *Rhipicephalus linnaei* (Audouin, 1826) recognised as the “tropical lineage” of the brown dog tick *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato: Neotype designation, redescription, and establishment of morphological and molecular reference. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 13(6), 102024.
- Torres-Castro, M., Reyes-Novelo, E., Bolio-González, M., Lugo-Caballero, C., Dzul-Rosado, K., Colunga-Salas, P., Sánchez-Montes, S., Noh-Pech, H., Puerto, F. I., & Rodríguez-Vivas, R. I. (2022). Epidemiological study of the occurrence of typhus group *Rickettsia* natural infection in domiciliated dogs from a rural community in south-eastern Mexico. *Animals*, 12(20), 2885.

Roedores sinantrópicos como reservorios en el ciclo de transmisión de enfermedades Rickettsiales

Christian Mariel Sáenz-Santos^{1*}, Jesús Alejandro Aguilar-Durán¹, Jahir Pérez-Sánchez¹, Mario Alberto Rodríguez-Pérez¹, Nadia Angelica Fernandez¹, Lihua Wei¹, Neshijah Sarah Medina-Castillo², Frida Alejandra Tinajero-Diarte², Esmeraldi Yamileth Vargas-Hernández², Angela Sofia Luna-Hernández², Ángel Alejandro De la Luz-Carrillo², Esperanza Milagros García-Oropesa², Nicole Mendell³, Donald Bouyer³, José Guillermo Estrada-Franco¹ Cesáreo Rodríguez-Hernández

RESUMEN. Las enfermedades rickettsiales son infecciones intracelulares transmitidas principalmente por garrapatas, pulgas, ácaros y piojos. La mayoría zoonóticas ya que se pueden transmitir al humano lo que resalta su importancia clínica, ya que si no se diagnostican a tiempo pueden producir cuadros graves. Es un problema a nivel mundial ya que están ampliamente distribuidas. Por esto la importancia de detectar *Rickettsia* spp. en *Rattus rattus*, *Rattus norvegicus* y *Mus musculus* por técnicas moleculares de PCR y serológicas de IFA. Con el fin de identificar e implicar su participación como reservorios del ciclo transmisión de enfermedades rickettsiales. Como resultados obtuvimos un mapeo de distribución de especies por municipalidad y el predominio del género *Rattus* en las más urbanizadas Reynosa y Matamoros, y a su vez un mayor número del género *Mus* en Camargo un área con menor urbanización. En cuanto a resultados preliminares en la municipalidad de Matamoros se encontró evidencia serológica de la circulación de *Rickettsia* en los roedores lo que nos da un panorama ecológico de la etiología e importancia del control de los reservorios naturales del ciclo de transmisión de la enfermedad.

Palabras clave: Sinantrópicos, roedores, Rickettsiales.

Synanthropic rodents as reservoirs in the transmission cycle of rickettsial diseases. Rickettsial diseases are intracellular infections transmitted mainly by ticks, fleas, mites, and lice. Most are zoonotic, since they can be transmitted to humans, highlighting their clinical importance because, if not diagnosed in time, they can lead to severe illness. This is a global issue, as these pathogens are widely distributed. For this reason, it is important to detect *Rickettsia* spp. in *Rattus rattus*, *Rattus norvegicus*, and *Mus musculus* using molecular PCR techniques and serological IFA methods, in order to identify and determine their role as reservoirs within the transmission cycle of rickettsial diseases. As results, we obtained a species distribution map by municipality and observed a predominance of the genus *Rattus* in the more urbanized areas of Reynosa and Matamoros, while a greater number of *Mus* specimens were found in Camargo, a less urbanized area. Regarding preliminary results in the municipality of Matamoros, serological evidence of *Rickettsia* circulation was detected in rodents, providing an ecological overview of the etiology and underscoring the importance of controlling natural reservoirs involved in the disease transmission cycle. **Keywords:** Synanthropic species, Rodents, Rickettsiales.

1. Introducción

Las enfermedades rickettsiales son causantes de enfermedades zoonóticas de amplia distribución mundial y de importancia médica. Estos patógenos se asocian a vectores artrópodos para su transmisión, incluyendo pulgas, garrapatas y piojos. Se reconocen los roedores como sus principales reservorios. Dentro del género *Rickettsia* existen cuatro grupos clásicos: el de las fiebres manchadas

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica, Reynosa, Tamaulipas, México.

²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán, Tamaulipas, México.

³University of Texas Medical Branch, Galveston, Texas, Estados Unidos.

*Autor para correspondencia: chris_mariel@hotmail.com

(GFM), el de las fiebres tíficas (GFT), grupo ancestral y transicional. De estos, los clínicamente más relevantes son el de las fiebres manchadas y el de las fiebres tíficas¹. En el primero destaca *Rickettsia rickettsii*, agente etiológico de la Fiebre Manchada de las Montañas Rocosas, registrada en la zona norte y sur de EE. UU., y al noroeste de México. *Rickettsia typhi* se ha detectado como causante de infecciones en humanos y roedores en Yucatán³, además de reportarse evidencias serológicas en humanos y perros² del noreste de Tamaulipas, así como en humanos en el estado de Texas⁴ colindante al norte y noreste de México.

2. Materiales y métodos

Trampeo De Roedores Sinantrópicos. Se utilizaron trampas Sherman y tipo jaula, se utilizaron cebos como, tortilla con crema de maní, chicharrón, camarón, queso manchego, salchicha, etc. se colocaron en establecimientos, casa habitación, baldíos de 3 diferentes municipalidades, Matamoros, Reynosa y Camargo Tamaulipas.

Extracción de muestra y tejidos. Una vez capturados se realizó anestesia con cloroformo, y se procedió a realizar punción cardiaca para extracción de muestra sanguínea, se colectaron en microtainers, se centrifugaron a 5,000 rpm por 5 minutos para extraer el suero obtenido, posteriormente confirmada la eutanasia por volumen extraído se procedió a realizar la disección tomando tejido de hígado, bazo, riñón, intestino, pulmón, se colocaron en crioviales y se añadió 500µl de alcohol etílico al 75%. Posteriormente se utilizó el kit de extracción y purificación de ADN QIAGEN, se almacenaron en refrigeración 4°C para su posterior uso.

Identificación fenotípica mediante claves morfológicas por Taxonomía Clásica. Los ejemplares recolectados se identificaron según las claves morfológicas descritas por Godínez y Guerrero 2014 para diferenciar género y especie *Rattus rattus*, *Rattus norvegicus* y *Mus musculus* respectivamente. Utilizando el vernier para toma de medidas longitud de la cola, cuerpo, pata trasera, identificación de muesca en incisivos, color del pelaje y forma y longitud de orejas.

Identificación Molecular PCR. Se utilizaron los extractos de ADN obtenidos para su análisis por la técnica de reacción en cadena de la polimerasa, se utilizaron Primers específicos para confirmar la amplificación y validación de las muestras e identificación de especies, así como para identificación de presencia de *Rickettsia* spp. en las muestras. Se utilizaron gen *gltA* para identificación de presencia de *Rickettsia* spp., gen LGL765/LGL766 y F1/870R (whiting 2003) para diferenciar género *Rattus* y *Mus*, se realizó electroforesis en gel de agarosa al 1% y se añadió Sybergreen para su visualización. Condiciones de amplificación gen *gltA* desnaturalización inicial 95°C x 3 min, desnaturalización 95°C x 15seg, hibridación 48°C x 30 seg, extensión 72°C x 30 seg y extensión final 72° C x 7 min por 40 ciclos. Condiciones de amplificación gen LGL765/LGL766, f1/870R La reacción comenzó con desnaturalización a 94 °C x 2 minutos, x 35 ciclos de desnaturalización a 94 °C x 45 segundos, alineamiento a 49 °C x 1 minuto y extensión a 72 °C x 1 minuto 15 segundos, además de una extensión final a 72 °C x 10 minutos

IFA. Ensayos de Inmunofluorescencia es realizado en dos etapas, primero se realizó la fijación del antígeno usando células Vero infectadas, con *R. rickettsii* la segunda etapa consistió en realizar el “sándwich” siguiendo el protocolo del Departamento de Patología de UTMB. Posteriormente observadas en un microscopio de fluorescencia, Olympus BX31 a una amplificación de 200X, las muestras positivas se utilizaron para determinar su dilución final hasta un límite de 1:1024.

3. Resultados y Discusión

Se puede observar por municipalidad el género y las especies dominantes en la figura 1 se muestran tres gráficos de pasteles uno por cada municipalidad y la distribución de género y especie de *Rattus*

y *Mus*, podemos observar que existe un predominio del género *Rattus* en las municipalidades con mayor urbanización como Reynosa y Matamoros en comparación con Camargo.

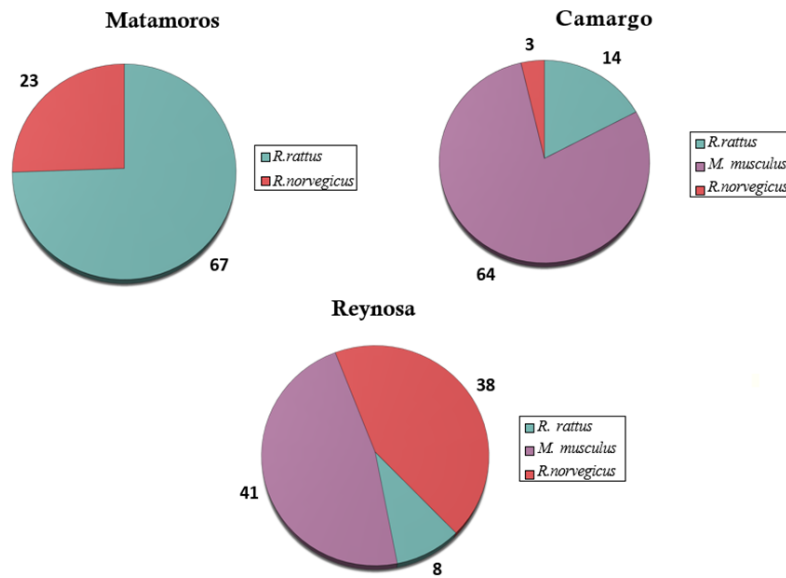


Figura 1. Número de roedores capturados por municipio: (*R. rattus*, *M. musculus* y *R. norvegicus*) en Camargo (N=81), Matamoros (N=90) y Reynosa (N=87), Tamaulipas.

En la Figura 2 podemos observar los resultados preliminares de Reynosa y Matamoros con un total de 90 muestras de las cuales 36 fueron positivas al grupo de las fiebres manchadas y 3 a fiebres tíficas en Matamoros y 5 muestras positivas a fiebres manchadas y 2 a fiebres tíficas en Reynosa, el estudio continua en proceso sin embargo los resultados preliminares nos demuestran evidencia de la circulación serológica en los principales reservorios.

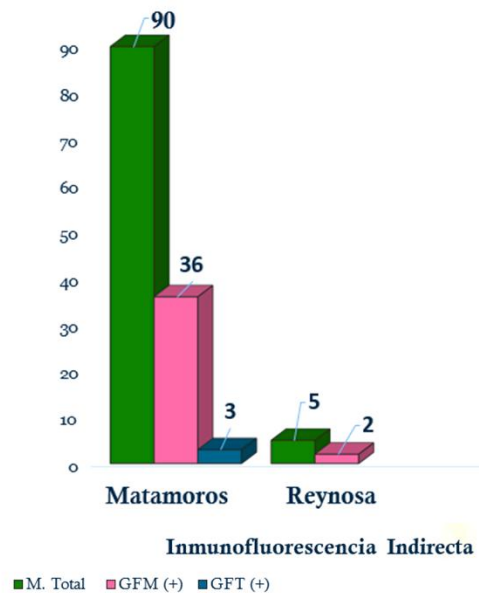


Figura 2. Número de roedores capturados por municipio: (*R. rattus*, *M. musculus* y *R. norvegicus*) en Camargo (N=81), Matamoros (N=90) y Reynosa (N=87), Tamaulipas.

4. Conclusión

Se concluye que la antropización favorece la invasión de los roedores mурidos *M. musculus* y *Rattus* spp. y al mismo tiempo genera una pérdida de diversidad de roedores nativos en aquellos sectores. Así mismo se muestra evidencia de la presencia de *Rickettsia* spp. en roedores de Matamoros y Reynosa demostrando el potencial riesgo a la población Tamaulipeca. Esto incita al aumento de esfuerzos en la epidemiología de las enfermedades bacterianas asociadas a roedores y su impacto presuntivo en la salud pública y veterinaria de México.

Referencias Citadas

- Blanco, J. R., Jado, I., Marín, M., Sanfeliu, I., Portillo, A., Anda, P., Pons, I., & Oteo, J. A. (2008). Diagnóstico microbiológico de las infecciones por patógenos bacterianos emergentes: *Anaplasma*, *Bartonella*, *Rickettsia* y *Tropheryma whipplei*. *Enferm Infecc Microbiol Clin*, 26(9), 573-580.
- Godinez, E. G., & Guerrero, S. (2014). Los roedores de Jalisco, México: clave de determinación. *Therya*, 5(2), 633-678.
- Palacios-Santana, R., Wei, L., Fernández-Santos, N. A., Rodríguez-Pérez, M. A., Uriegas-Camargo, S., Mendell, N. L., Bouyer, D. H., & Estrada-Franco, J. G. (2023). Spotted fever and typhus group *Rickettsiae* in dogs and humans, Mexico, 2022. *Emerg Infect Dis*, 29(7), 1443-1446.
- Texas Department of State Health Services. (2015). *Rickettsiosis*, unspecified replaced “dual reporting” in typhus/spotted fever cases in 2015.
- Torres-Castro, M., Martínez-Ortiz, D., Panti-May, A., Koyoc-Cardena, E., López-Ávila, K., Dzul-Rosado, K., et al. (2018). *Rickettsia typhi* en roedores de una comunidad con antecedentes de tifo murino, de Yucatán, México. *Rev MVZ Córdoba*, 23(S), 6974-6980.
- Whiting, A. S., Bauer, A. M., & Sites, J. W. Jr. (2003). Phylogenetic relationships and limb loss in sub-Saharan African scincine lizards (Squamata: Scincidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 29, 583-598.

Larvaterapia como alternativa al desbridamiento convencional: revisión de su aplicación en especies animales

Agustín Hernández-Ramos^{1*}, Alicia Fonseca-Muñoz^{1,2}, Baldomero, Hortencio Zárate-Nicolás¹, Hugo Edgardo Sarmiento Jiménez³

RESUMEN. La larvaterapia, también conocida como miasis inducida o terapia de desbridamiento con gusanos, consiste en el uso controlado de larvas estériles de moscas, principalmente *Lucilia sericata*, para eliminar tejido necrótico, reducir la infección y favorecer la cicatrización de heridas. Aunque su uso está mejor documentado en medicina humana, también ha mostrado resultados favorables en medicina veterinaria. En équidos, bovinos, caprinos y animales pequeños como ovejas, perros, gatos y conejos, la aplicación de larvas ha permitido disminuir edema, exudado, inflamación y mal olor, además de promover la formación de tejido de granulación y acelerar el cierre de heridas complejas o infectadas. En caballos y asnos, se ha utilizado con éxito en laceraciones, abscesos, laminitis y paniculitis supurativa, mientras que en bovinos se observaron mejoras importantes en abscesos profundos. En perros y gatos, la terapia resultó útil en heridas postoperatorias infectadas, úlceras por presión y traumatismos severos, incluso evitando amputaciones o eutanasia en algunos casos. En conejos, su eficacia también se confirmó experimentalmente al compararse con tratamientos convencionales. Además, aunque *L. sericata* es la especie regulada y más empleada, otras especies como *Sarconesiopsis magellanica* han mostrado potencial terapéutico en modelos animales. La evidencia indica que la larvaterapia es un método eficaz, rápido y seguro para el desbridamiento y la cicatrización de heridas en animales, aunque su uso aún es limitado por la escasa difusión y por prejuicios asociados a las larvas y la miasis.

Palabras clave: Larvaterapia; desbridamiento biológico; cicatrización de heridas.

Larval therapy as an alternative to conventional debridement: a review of its application in animal species. Larval therapy, also known as induced myiasis or maggot debridement therapy, involves the controlled use of sterile fly larvae, mainly *Lucilia sericata*, to remove necrotic tissue, reduce infection, and promote wound healing. Although its use is better documented in human medicine, it has also shown favorable results in veterinary medicine. In equids, cattle, goats, and small animals such as sheep, dogs, cats, and rabbits, the application of larvae has reduced edema, exudate, inflammation, and foul odor, while promoted granulation tissue formation and accelerated the closure of complex or infected wounds. In horses and donkeys, it has been successfully used in lacerations, abscesses, laminitis, and suppurative panniculitis, whereas in cattle significant improvement was observed in deep abscesses. In dogs and cats, the therapy proved useful in infected postoperative wounds, pressure ulcers, and severe traumatic injuries, even preventing amputation or euthanasia in some cases. In rabbits, its efficacy was also experimentally confirmed when compared with conventional treatments. Furthermore, although *L. sericata* is the regulated and most widely used species, other species such as *Sarconesiopsis magellanica* have shown therapeutic potential in animal models. The available evidence indicates that larval therapy is an effective, rapid, and safe method for wound debridement and healing in animals, although its use remains limited due to insufficient dissemination and prejudice associated with larvae and myiasis. **Keywords:** larval therapy; biological debridement; wound healing.

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Santa Cruz, Xoxocotlán, Oaxaca, México, México.

²Escuela Nacional de Ciencias Forenses (ENaCiF), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Ciudad de México. México.

³Hospital Bianni San José, Oaxaca. Miguel Cabrera 402, Centro, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: ahernandezr2100@alumno.ipn.mx

1. Introducción

La miasis es la infestación de tejido vivo o necrótico en mamíferos, causada principalmente por larvas de moscas (Díaz y Villa, 2017), y se considera una zoonosis. Históricamente, la miasis ha sido utilizada por el ser humano para el tratamiento de heridas infectadas y, en la actualidad, constituye una técnica de desbridamiento biológico conocida como terapia de desbridamiento con gusanos (Maggot debridement therapy), terapia de desbridamiento larval, terapia larval (Maggot therapy), larvaterapia o miasis inducida. Esta técnica emplea larvas de mosca estériles de la especie *Lucilia sericata* (Mohd Zubir, et al., 2020; Morris, et al., 2023). Sin embargo, existen reportes sobre el uso de otras especies, como *L. cuprina* y *L. eximia*, que han mostrado resultados positivos comparables con algunos métodos de desbridamiento convencionales (Paul, et al., 2009; Wolff Echeverri, et al., 2010). La especie *L. sericata* es la más utilizada para este tratamiento y cuenta con la aprobación de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (Food and Drug Administration, FDA). Esta mosca es criada bajo condiciones controladas en laboratorios; los huevos obtenidos pasan por un proceso especializado de esterilización y empaquetado. A las 24 horas, los huevos eclosionan y las larvas quedan listas para su uso (Figura 1). Aunque la miasis inducida ha demostrado éxito en el tratamiento de heridas infectadas, la terapia también se ha empleado, con menor frecuencia pero con resultados favorables, en animales. El objetivo de este capítulo es revisar las aplicaciones de la larvaterapia (miasis inducida) en heridas infectadas de animales.

2. Aplicación de la larvaterapia en équidos

La larvaterapia en animales se ha utilizado con mayor frecuencia en équidos, específicamente en caballos (Sherman et al., 2007a; Rey et al., 2010; Morrison, 2010; Lepage et al., 2012) y asnos (Bell y Thomas, 2001; Thiemann, 2001). En 2010, un équido con una laceración y herida abierta y contaminada en la cara medial del miembro anterior izquierdo fue tratado con dosis de larvas, lo que resultó en una mejoría significativa entre los días tres y seis. Se observó disminución del edema, reducción del mal olor y formación de tejido de granulación (Figura 1) (Rey et al., 2010). Asimismo, la larvaterapia se aplicó en casos de laminitis, una enfermedad caracterizada por inflamación grave y dolorosa de las láminas dentro del casco. Los resultados demostraron que la aplicación de larvas en estas circunstancias constituye un método eficaz para el tratamiento de este tipo de afecciones en caballos (Figura 2). Además, la combinación de larvaterapia con otros tratamientos, como inyecciones sistémicas de antibióticos, perfusión regional de las extremidades con antibióticos o la inmersión de las patas en desinfectantes antes de la aplicación (betadine diluido o dióxido de cloro), no parece afectar la viabilidad de las larvas y favorece un entorno más adecuado para su acción (Morrison, 2010).



Figura 1. (A) Lesión en el miembro inferior posterior de un equino antes de iniciar el tratamiento larval; (B) Aspecto macroscópico de la lesión a los ocho días de la larvaterapia; (C) Efecto de la larvaterapia a los 12 días (Rey et al., 2010).



Figura 2. Terapia multidisciplinaria en la región de los dedos de un caballo con corion de la planta expuesto. Este caso mostró una tenotomía profunda del flexor digital y herraje de realineación (Morrison, 2010).

En 2012 se reportó la aplicación de larvas de *L. sericata* en 41 équidos. El desbridamiento, la desinfección y la curación de las heridas se lograron en todos los casos, excepto en tres, donde el tratamiento se complicó por la presencia de melanomas, un carcinoma de células escamosas y una hendidura sobre el tercer hueso metacarpiano dorsoproximal. Estos resultados indican que la larvaterapia es una alternativa eficaz para tratar diversos tipos de lesiones en équidos, incluidas laceraciones complicadas, abscesos profundos, dehiscencia de heridas abdominales e infecciones, incluso cuando existe fijación interna. No obstante, no se recomienda su uso en heridas asociadas con neoplasias o cuando se sospecha secuestro óseo (Lepage et al., 2012).

La terapia también se ha aplicado en asnos, específicamente en un caso de paniculitis supurativa localizada grave (Figura 4) con una herida de 10 cm², en la que se utilizaron 15 larvas por cm² (Bell y Thomas, 2001). En otro caso, se trató una herida de 15 cm de diámetro (Figura 5) utilizando 150 larvas (Thiemann, 2001). En ambos casos, las heridas sanaron y cicatrizaron sin efectos adversos, lo que contribuyó a limitar el uso de antibióticos y a reducir los efectos negativos asociados a su uso prolongado.



Figura 3. Équido adulto con dehiscencia de la línea alba después de una laparotomía exploratoria. (A) Aspecto de la herida antes de la larvaterapia; (B) Aplicación de las larvas; (C) Aspecto de la herida después de 4 días de contacto con larvas (Lepage, et al., 2012).

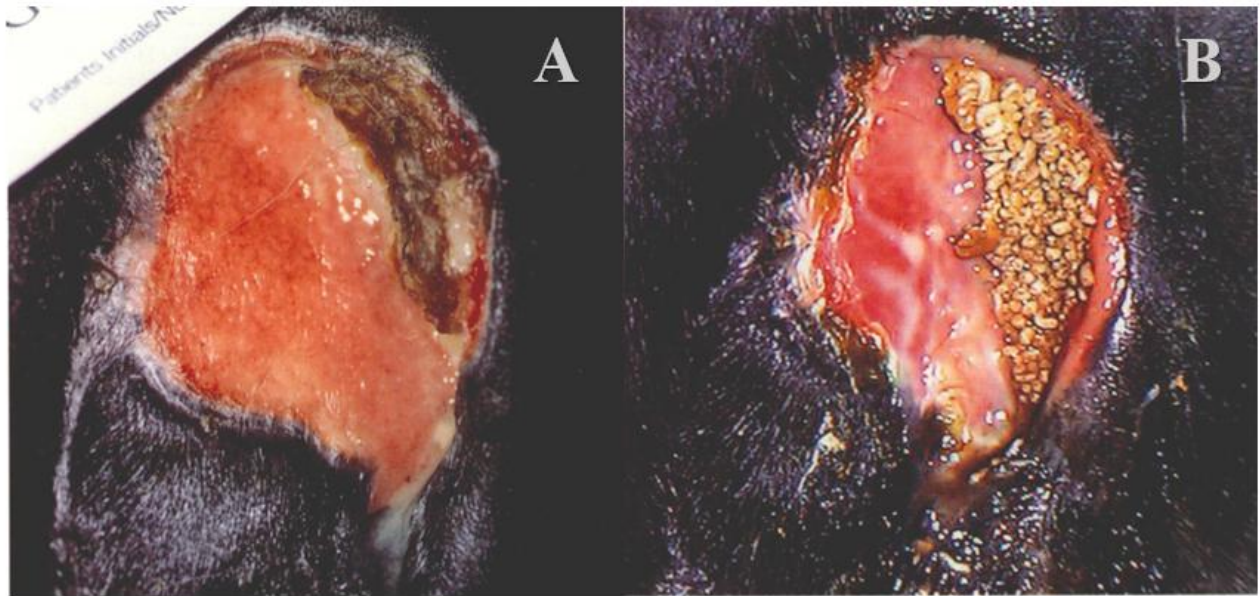


Figura 4. (A) Herida antes de la aplicación de larvas que muestra tejido adiposo expuesto; (B) Segunda aplicación de larvas, las larvas se alimentaban exclusivamente de tejido adiposo (Bell y Thomas, 2001).



Figura 5. (A) Absceso ocho días después de cirugía, tejido necrótico visible ventralmente; (B) Absceso con aplicación de larvas; (C) Absceso, dos semanas después de la larvaterapia (Thiemann, 2001).

Varios veterinarios estadounidenses que trataron caballos con larvaterapia entre 1997 y 2007 sugirieron que este método puede constituir un tratamiento seguro y eficaz para heridas problemáticas en caballos (Sherman et al., 2007a). La evidencia indica que la aplicación de larvas en équidos produce resultados favorables en diversos tipos de lesiones y puede lograr la curación completa en

animales lesionados o cojos que no respondieron inicialmente a terapias médicas y quirúrgicas convencionales.

3. Aplicación en bovinos y caprinos

La aplicación de las larvas en dos bovinos con absceso en la fosa iliaca izquierda también demostró resultados positivos, en el primer caso entre los días tres y seis disminuyó el edema, exudado e inflamación, con presencia de tejido de granulación, a los ocho días después de establecido el tratamiento de larvaterapia, no se observó tejido necrótico macroscópico y se registró un excelente tejido de granulación en el área afectada, el cual sentó las bases para el inicio del proceso de cicatrización (Figura 6), respecto al segundo bovino, en el día seis del tratamiento la inflamación y el edema disminuyó, también se observó tejido de granulación, reduciéndose el grado de inflamación y el exudado (Figura 7), los bovinos mostraron significativa mejoría hasta que la herida cerró casi por completo.



Figura 6. (A) Característica morfológica inicial de la lesión; (B) Lesión a los 8 días de la aplicación de las larvas; (C) Lesión cerrada en avanzado estado de cicatrización (Rey et al., 2010).



Figura 7. (A) Absceso inicial con material encapsulado en su interior; (B) Colocación de larvas asépticas de *L. sericata*; (C) Lesión casi completamente cerrada al día nueve (Rey et al., 2010).

4. Aplicación en animales pequeños

Los animales de menor tamaño también son aptos para la aplicación de larvas, se han aplicado a ovejas con inflamación aguda de la piel interdigital e inflamación purulenta del pododermo las cuales después de cuatro días de la aplicación de larvas presentaron mejoría sin inflamación en la herida (Figura 8) (Kocisova, et al., 2006), de igual manera en perros (Sherman, et al., 2007b; Rey et al., 2010; Uslu, et al., 2023), gatos (Sherman, et al., 2007b; Uslu, et al., 2021) y conejos (Sherman, et al., 2007a; Rey, et al., 2008; Díaz-Roa, et al., 2016) con resultados positivos de su utilización.

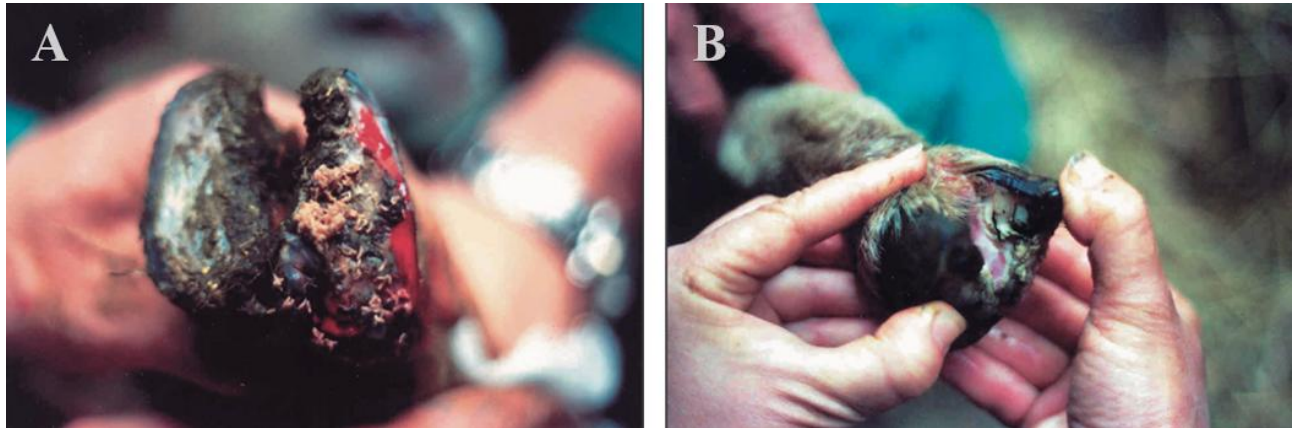


Figura 8. (A) Aplicación de larvas *L. sericata* de primer estadio; (B) Cicatrización de la herida y producción de nuevo tejido granular (Kocisova, et al., 2006).

Uslu, et al., (2023) utilizaron la larvaterapia para el caso de una herida infectada postoperatoria de un perro dóberman de 5 meses que no respondió al tratamiento con antibióticos (Figura 9), durante el tratamiento se detectó la disminución del mal olor de la herida y una decoloración de la secreción, al finalizar el tratamiento las larvas promovieron la cicatrización de la herida y posteriormente se continuó con tratamiento de antibióticos tópicos, gracias a estos resultados se puede utilizar la larvaterapia antes llegar a considerar una amputación y así prevenirla en algunos animales.



Figura 9. Aplicación de las larvas estériles de *L. sericata* en la herida infectada. (A) Larvas estériles; (B) Aplicación de las larvas en el sitio de la herida; (C) Aspecto de las larvas en la herida; (D) Aspecto de las larvas después de 24 horas de la aplicación (Uslu, et al., 2023).

Por otra parte, un canino, con una úlcera por presión a causa de un yeso colocado por una fractura previa de la pata delantera con una posible amputación fue tratado con larvas (Figura 10), después de dos ciclos de larvas la herida se desbridó por completo, sanó y se recuperó la anatomía y funcionalidad de la pata (Sherman, et al., 2007b), de igual manera, para un canino con laceración profunda y extensa por trauma (Figura 11) en el tercer día después de la aplicación de la larvaterapia se registraron resultados favorables (disminución del edema, del mal olor, inflamación y aumento en el tejido de granulación) para la cicatrización de la herida (Rey et al., 2010).



Figura 10. Vista de la herida en diferentes fases del tratamiento (A) Antes de la aplicación de las larvas; (B) Dos días después del tratamiento; (C) Tiempo después de la aplicación de las larvas (Sherman, et al., 2007b).



Figura 11. Vista de la herida en diferentes fases del tratamiento (A) Estado inicial de la lesión del canino; (B) Proceso de aplicación de larvas; (C) Estado de la lesión a los tres días de tratamiento larval (Rey et al., 2010).

Los gatos también han sido considerados para la implementación de la larvaterapia, en un caso donde los tamaños de heridas que presentaban eran considerablemente grandes (Figura 12), incluso en el momento de la larvaterapia se aconsejó la eutanasia en los 4 gatos, esto debido a la extensión de la necrosis y la propagación de la infección, sin embargo, la implementación de las larvas demostró un buen desbridamiento para las heridas de los gatos (Sherman, et al., 2007b), otro caso registrado de un gato con una herida infectada postoperatoria que cubría la región abdominal e inguinal utilizando cinco ciclos de larvas presentó una curación casi por completo (Figura 13) (Uslu, et al., 2021).



Figura 12. (A) Herida antes de la aplicación de la larvaterapia; (B) Larvas colocadas en la herida; (C) Después de la larvaterapia (Sherman, et al., 2007b).



Figura 13. Aspecto de la herida. (A) Antes de la larvaterapia; (B) Después de la primera aplicación; (C) Después de la segunda aplicación; (D) Después de la tercera aplicación; (E) Después de la cuarta aplicación; (F) Después de la quinta aplicación; (I y J) Aspecto de la herida después del tratamiento (Uslu et al., 2021).

Animales de un menor tamaño como los conejos también son susceptibles a la aplicación de las larvas, sin embargo, utilizados como unidades experimentales con el fin de evaluar la efectividad de la larvaterapia a diferencia de los casos anteriores que pertenecen a estudios de caso, ejemplo de ello es el trabajo realizado por Rey et al., (2008) en el cual se evaluó la utilización de las larvas en heridas infectadas con *Pseudomonas aeruginosa*, demostrando la eficacia de la larvaterapia en este tipo de heridas y mostrando claras diferencias con aquellas que llevaron un tratamiento convencional (Figura 14), obteniendo una cicatrización de la herida de 10 días con un grupo tratado con larvas y de 20 días para un grupo con tratamiento convencional.

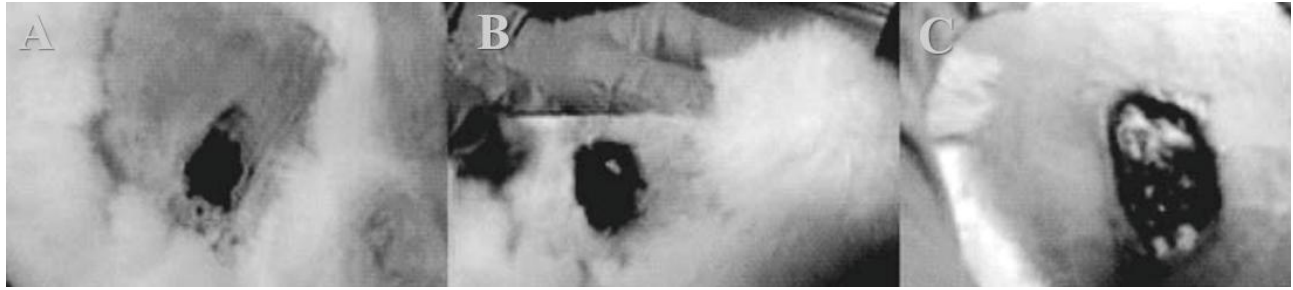


Figura 14. Inicio del proceso de cicatrización en el día 5. (A) Grupo tratado con larvaterapia; (B) Grupo tratado con antibióticos (tratamiento convencional); (C) Grupo control (Rey, et al., 2008).

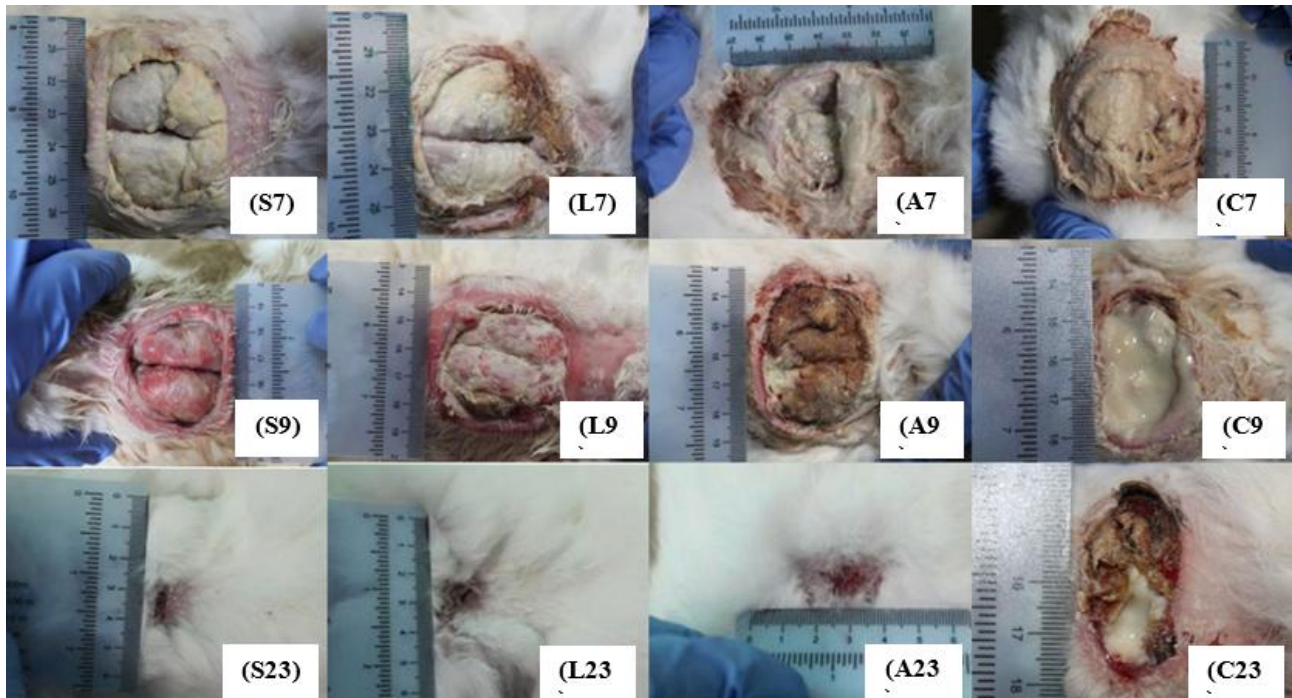


Figura 15. Evolución de las heridas en conejos diabéticos después del día 7, 9 y 23. S= *Sarconesiopsis magellanica*; L= *Lucilia sericata*. A= Antibiótico y C= Control (Díaz-Roa, et al., 2016).

3. Conclusión

Los resultados mostrados anteriormente en cada uno de los casos indican la efectividad del tratamiento para el desbridamiento de heridas en animales y su eficacia para inducir la cicatrización, sin embargo, en la actualidad no existen muchos registros de su utilización en comparación con su aplicación en la medicina humana a pesar de ser un método con muchas ventajas sobre los métodos tradicionales, esto está relacionado principalmente por la desinformación y la asociación de las larvas con enfermedades infecciosas (zoonosis). La larvaterapia puede ser catalogada como una miasis inducida con buenos resultados para reducir la infección y ayudar a la cicatrización de heridas en animales, siendo un método eficaz, rápido y seguro.

Referencias Citadas

- Bell, N. J., & Thomas, S. (2001). Use of sterile maggots to treat panniculitis in an aged donkey. *Vet Rec*, 149, 768-770.
- Díaz, R., & Villa, L. C. (2017). Identificación de larvas productoras de miasis obtenidas del cepario de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca con importancia en salud pública. *NOVA*, 15(28), 79-91.
- Díaz-Roa, A., Gaona, M. A., Segura, N. A., Ramírez-Hernández, A., Cortés-Vecino, J. A., Patarroyo, M. A., & Bello, F. (2016). Evaluating *Sarconesiopsis magellanica* blowfly-derived larval therapy and comparing it to *Lucilia sericata*-derived therapy in an animal model. *Acta Tropica*, 154, 34-41.
- Kocisova, A., Pistl, J., Link, R., Conková, E., & Goldová, M. (2006). Maggot debridement therapy in the treatment of footrot and foot scald in sheep. *Acta Veterinaria Brno*, 75, 277-281.
- Lepage, O. M., Doumbia, A., Perron-Lepage, M. F., & Gangl, M. (2012). The use of maggot debridement therapy in 41 equids. *Equine Vet J*, 44, 120-125.
- Mohd Zubir, M. Z., Holloway, S., & Mohd Noor, N. (2020). Maggot therapy in wound healing: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6103.
- Morris, D., Flores, M., Harris, L., Gammon, J., & Nigam, Y. (2023). Larval therapy and larval excretions/secretions: A potential treatment for biofilm in chronic wounds? A systematic review. *Microorganisms*, 11, 457.
- Morrison, S. (2010). Maggot debridement therapy for laminitis. *Vet Clin Equine*, 26, 447-450.
- Paul, A. G., Ahmad, N. W., Lee, H. L., Ariff, A. M., Saranum, M., Naicker, A. S., & Osman, Z. (2009). Maggot debridement therapy with *Lucilia cuprina*: A comparison with conventional debridement in diabetic foot ulcers. *Int Wound J*, 6, 39-46.
- Rey, M., Castañeda, A., Gonzales, J., Acero, V., Segura, A., Zapata, C., Gaona, M. A., Rios, D., & Bello, F. J. (2008). Evaluación de la terapia larval en el proceso de curación de heridas infectadas con *Pseudomonas aeruginosa* en conejos. *Rev Cienc Salud*, 6(2), 9-24.
- Rey, M., Castañeda, A., Gonzales, J., Acero, V., Segura, A., & Bello, F. (2010). Evaluación de la terapia larval aplicada a cuatro casos clínicos de animales en Bogotá (Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 36(2), 254-259.
- Sherman, R. A., Morrison, S., & Ng, D. (2007a). Maggot debridement therapy for serious horse wounds - A survey of practitioners. *Vet J*, 174, 86-91.
- Sherman, R. A., Stevens, H., Ng, D., & Iversen, E. (2007b). Treating wounds in small animals with maggot debridement therapy: A survey of practitioners. *Veterinary Journal*, 173(1), 138-143.
- Thiemann, A. (2001). Treatment of a deep injection abscess using sterile maggots in a donkey: A case report. *Veterinary Record*, 149, 768-770.
- Uslu, U., Ceylan, O., Küçükyazgılıoğlu, A., & Akdeniz, H. K. (2021). Treatment of a post-operative infected wound of a cat with maggot debridement therapy. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 27(4), 539-542.
- Uslu, U., Evci, A., Akdeniz, H. K., & Ceylan, O. (2023). Maggot debridement therapy in an infected wounded dog: A case report. *Ankara Univ Vet Fak Derg*, 70(3), 349-352.
- Wolff Echeverri, M. I., Rivera Álvarez, C., Herrera Higueta, S. E., Wolff Idárraga, J. C., & Escobar Franco, M. M. (2010). *Lucilia eximia* (Diptera: Calliphoridae), una nueva alternativa para la terapia larval y reporte de casos en Colombia. *Iatreia*, 23(2), 107-116.

Guardianes invisibles: el rol estratégico de la vigilancia entomológica en salud pública

Gerson Hernández Gaona^{1*}

RESUMEN. La vigilancia entomológica constituye un componente esencial de la salud pública, ya que permite monitorear de manera sistemática las poblaciones de artrópodos de importancia médica, identificar especies que son vectores, detectar patógenos y orientar intervenciones oportunas para la prevención y control de enfermedades transmitidas por vectores. Su valor estratégico radica en que integra el muestreo de campo, la identificación taxonómica, el análisis de índices entomológicos, la detección molecular de agentes infecciosos y la evaluación de la resistencia a insecticidas. En un contexto de urbanización acelerada, cambio climático y movilidad humana, esta vigilancia fortalece la capacidad de anticipar riesgos, delimitar áreas prioritarias y optimizar la respuesta sanitaria. Además, la vigilancia entomoviroológica permite detectar la circulación viral en los vectores antes de la aparición de casos humanos, lo que la convierte en una herramienta clave para la alerta temprana. La experiencia de vigilancia en Xochimilco, Ciudad de México, ejemplifica cómo la colecta sistemática, la identificación especializada y el seguimiento de especies como *Aedes dorsalis* pueden aportar información relevante sobre cambios en la composición de la fauna vectorial y sus posibles implicaciones epidemiológicas. La vigilancia entomológica representa un pilar técnico y operativo indispensable para el diseño de estrategias de control más eficaces, focalizadas y sostenibles.

Palabras clave: Vigilancia entomológica, vectores, salud pública.

Invisible guardians: the strategic role of entomological surveillance in public health. Entomological surveillance is an essential component of public health because it enables the systematic monitoring of medically important arthropod populations, the identification of vector species, the detection of pathogens, and the guidance of timely interventions for the prevention and control of vector-borne diseases. Its strategic value lies in integrating field sampling, taxonomic identification, analysis of entomological indices, molecular detection of infectious agents, and evaluation of insecticide resistance. In a context of accelerated urbanization, climate change, and human mobility, this surveillance strengthens the capacity to anticipate risks, define priority areas, and optimize the public health response. In addition, entomovirological surveillance makes it possible to detect viral circulation in vectors before human cases occur, making it a key tool for early warning. The surveillance experience in Xochimilco, Mexico City, illustrates how systematic collection, specialized identification, and monitoring of species such as *Aedes dorsalis* can provide relevant information on changes in vector fauna composition and their possible epidemiological implications. Entomological surveillance represents an indispensable technical and operational pillar for the design of more effective, targeted, and sustainable control strategies. **Keywords:** entomological surveillance; vectors; public health.

1. Introducción

La vigilancia entomológica es el conjunto sistemático y continuo de actividades orientadas a monitorear, identificar, cuantificar y analizar las poblaciones de artrópodos de importancia médica, especialmente aquellos que participan en la transmisión de agentes patógenos al ser humano. Su propósito principal es generar información científica y operativa que permita anticipar riesgos, detectar cambios epidemiológicos y orientar estrategias de prevención y control de enfermedades transmitidas por vectores.

¹Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia: ahernandezr2100@alumno.ipn.mx

En salud pública, su importancia radica en que permite comprender la interacción entre el vector, el agente etiológico y el ambiente. Esta relación resulta indispensable para sustentar decisiones técnicas, establecer prioridades de intervención y fortalecer la respuesta frente a enfermedades emergentes y reemergentes. En el contexto actual, marcado por el cambio climático, la urbanización acelerada y la movilidad global, la vigilancia entomológica se ha convertido en una herramienta estratégica para reducir la vulnerabilidad sanitaria de las poblaciones.

La vigilancia entomológica tiene varios objetivos interrelacionados. En primer lugar, permite detectar la presencia, distribución y abundancia de los vectores, con lo cual se identifican especies de importancia médica, se delimitan zonas de riesgo y se reconoce su variación espacial y temporal. En segundo término, facilita el monitoreo de la transmisión de patógenos mediante pruebas de laboratorio dirigidas a detectar virus, bacterias o parásitos en los artrópodos colectados.

Asimismo, permite evaluar la eficacia de las acciones de control vectorial, como la fumigación, el control larvario, la eliminación de criaderos o el manejo ambiental. También es fundamental para detectar especies invasoras o cambios en la composición de la fauna, situaciones que pueden modificar el panorama epidemiológico de una región. Finalmente, los datos generados constituyen evidencia clave para la elaboración de alertas epidemiológicas, el diseño de campañas preventivas y la formulación de políticas públicas en salud.

2. Componentes operativos y metodológicos

La vigilancia entomológica integra actividades de campo, laboratorio y análisis epidemiológico. En el trabajo de campo se emplean diversos métodos de captura y monitoreo, seleccionados en función de la especie objetivo, el estadio biológico y las características ecológicas del sitio. Entre las herramientas más utilizadas destacan las ovitrampas, larvitrapas, aspiradores manuales y eléctricos, trampas de luz, trampas CDC o Shannon, así como la inspección de criaderos urbanos y rurales. Una vez recolectados, los ejemplares son transportados bajo condiciones adecuadas de preservación. Cuando se prevén análisis entomoviológicos, es indispensable mantener la cadena de frío, generalmente alrededor de 4 °C, para conservar el material genético de los posibles patógenos presentes en los especímenes. En el laboratorio, los artrópodos son clasificados por sexo, estadio y especie. La identificación taxonómica se realiza mediante claves morfológicas especializadas y, cuando es necesario, puede complementarse con herramientas moleculares como PCR o barcoding. Esta etapa es crítica, ya que el riesgo epidemiológico depende en gran medida de la correcta determinación taxonómica y de la capacidad vectorial de cada especie.

3. Vigilancia entomoviológica y análisis molecular

La vigilancia entomológica moderna incorpora un componente entomoviológico que permite detectar de manera temprana la circulación de patógenos en los vectores. Tras la identificación taxonómica, los ejemplares suelen agruparse en pools, generalmente de hasta diez individuos, para su procesamiento. Posteriormente, se realiza la maceración de las muestras, la extracción de ácido ribonucleico y el análisis mediante RT-qPCR u otras técnicas moleculares. Este enfoque permite identificar virus como dengue, zika, Chikungunya, fiebre amarilla o virus del Nilo Occidental, e incluso parásitos como *Plasmodium* spp. en vectores de malaria. Su principal ventaja es que posibilita detectar circulación viral antes de que se registren casos humanos, lo que fortalece la alerta temprana, la vigilancia clínica y la activación de medidas de control focalizado.

4. Análisis de datos y generación de evidencia

La información obtenida en campo y laboratorio se integra en análisis entomológicos y epidemiológicos orientados a la toma de decisiones. Entre los indicadores más utilizados destacan el índice de Breteau, el índice pupal y el índice de casa positiva. A ello se suman los modelos de riesgo, los mapas geospaciales y los informes técnicos que permiten identificar focos prioritarios, evaluar tendencias temporales y orientar la distribución de recursos. Además, la vigilancia entomológica permite valorar la efectividad de las intervenciones implementadas y detectar oportunamente resistencia a insecticidas, un aspecto crítico para evitar fallas operativas. De esta manera, la evidencia generada contribuye a diseñar estrategias más eficaces, costo-efectivas y adaptadas a las condiciones locales.

5. Tipos de vigilancia entomológica

De acuerdo con los objetivos operativos, la vigilancia entomológica puede clasificarse en rutinaria, intensiva y especial. La vigilancia rutinaria corresponde al monitoreo periódico y continuo de áreas endémicas o de interés sanitario, con el fin de dar seguimiento a la situación habitual. La vigilancia intensiva se implementa durante brotes, emergencias sanitarias o en zonas de alta transmisión, donde se requiere información más frecuente y detallada. Por su parte, la vigilancia especial se orienta a situaciones particulares, como la introducción de nuevas especies, cambios en la distribución de los vectores o eventos ecológicos inusuales.

6. Relevancia de los vectores en salud pública

Entre los artrópodos de mayor importancia médica destacan los mosquitos, flebótomos y algunas moscas, por su papel en la transmisión de virus, bacterias y parásitos. En particular, los mosquitos de los géneros *Aedes* y *Culex* son responsables de la transmisión de arbovirus de alto impacto sanitario. *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* se asocian estrechamente con dengue, zika y Chikungunya, mientras que especies de *Culex*, como *Culex quinquefasciatus*, *Culex pipiens*, *Culex tarsalis* y *Culex nigripalpus*, participan en la transmisión del virus del Nilo Occidental. El monitoreo continuo de estas especies permite identificar cambios en su distribución, abundancia o comportamiento, elementos que pueden modificar el riesgo de transmisión y exigir ajustes en los programas de control vectorial.

7. Experiencia de vigilancia en Xochimilco

La experiencia desarrollada en Caltongo, Xochimilco, Ciudad de México, muestra de manera concreta la utilidad de la vigilancia entomológica de largo plazo. En esta zona, la colecta sistemática de mosquitos adultos se realizó al anochecer mediante cebo humano y aspirador tipo Castro, utilizando una persona como atrayente durante una hora diaria, entre las 19:00 y 20:00 horas. De manera complementaria, se instalaron criaderos artificiales con agua para favorecer la oviposición y permitir el desarrollo larvario. Las pupas obtenidas fueron recolectadas diariamente y transferidas a recipientes cubiertos con malla fina para permitir la emergencia de adultos. Tanto los ejemplares capturados en campo como los emergidos en laboratorio fueron trasladados a la Colección de Artrópodos de Importancia Médica del InDRE, donde se realizó su identificación taxonómica bajo microscopio estereoscópico, utilizando claves especializadas y ejemplares de referencia. Uno de los hallazgos relevantes fue la detección de *Aedes dorsalis* en un entorno urbanizado. Aunque esta especie no se considera un vector primario de arbovirus en humanos, su presencia en una zona densamente poblada resulta importante por sus posibles implicaciones ecológicas y epidemiológicas, especialmente en escenarios donde las condiciones climáticas favorezcan cambios en su abundancia o capacidad vectorial. Este caso evidencia cómo la vigilancia entomológica puede detectar

oportunamente modificaciones en la fauna local y generar información valiosa para la evaluación del riesgo sanitario.

8. Importancia estratégica en el contexto actual

La vigilancia entomológica constituye uno de los pilares fundamentales en la prevención y control de las enfermedades transmitidas por vectores. Su valor no reside únicamente en la detección de insectos de importancia médica, sino en su capacidad para generar conocimiento aplicable a la acción sanitaria. Permite anticipar brotes, fortalecer la respuesta rápida, evaluar intervenciones, identificar amenazas emergentes y optimizar el uso de recursos. En México, estas actividades se desarrollan de manera coordinada entre jurisdicciones sanitarias, laboratorios estatales y centros nacionales de referencia, como el InDRE, lo que favorece la consolidación de una red de vigilancia con cobertura técnica y epidemiológica. Esta articulación institucional es esencial para transformar los datos entomológicos en decisiones concretas de salud pública.

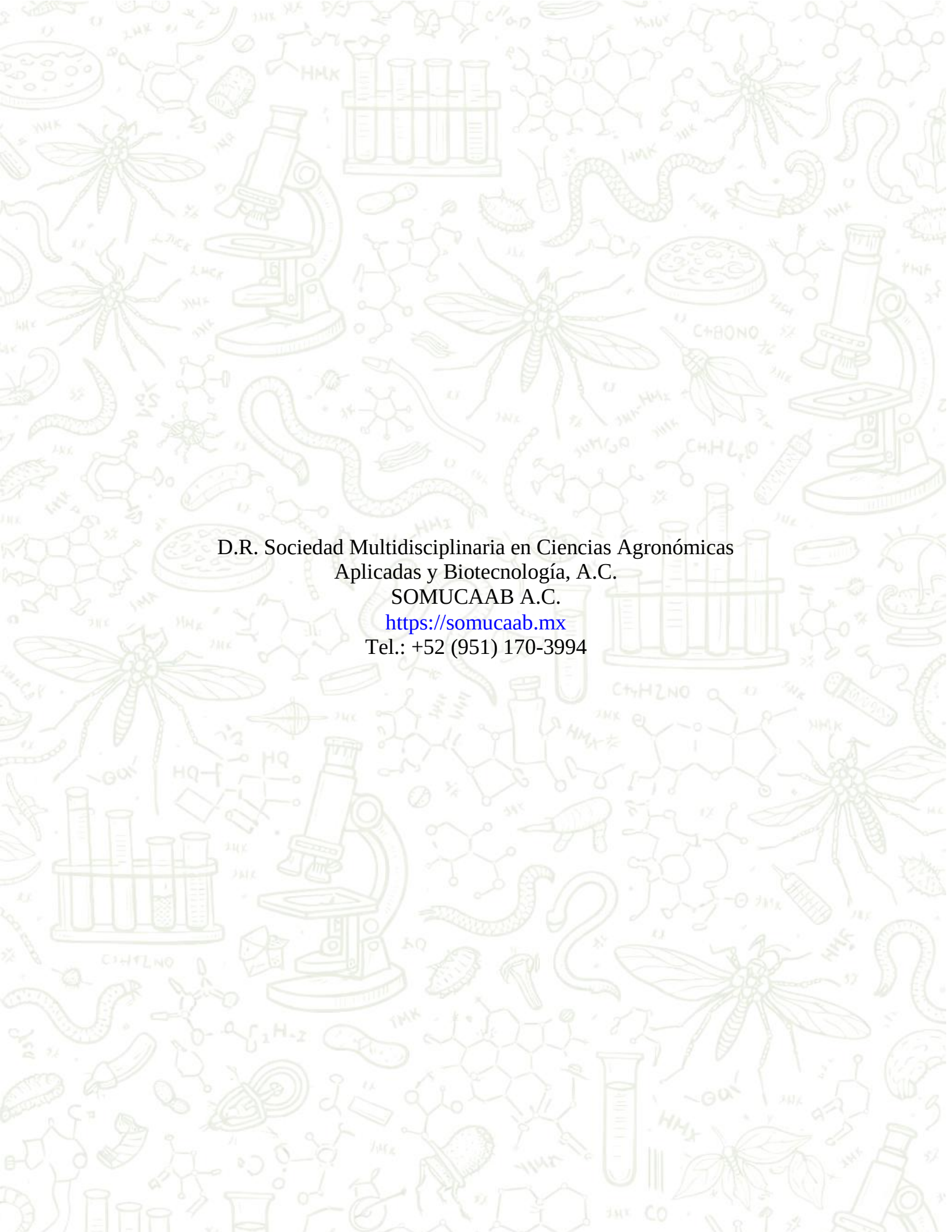
9. Conclusión

La vigilancia entomológica es una herramienta indispensable para la salud pública contemporánea. Su enfoque integral, que combina muestreo sistemático, identificación taxonómica, análisis entomoviológico, modelación de riesgo y monitoreo de resistencia a insecticidas, permite comprender de manera más precisa la dinámica de transmisión de enfermedades vectoriales. Más que una actividad complementaria, representa un componente estratégico para anticipar escenarios epidemiológicos, orientar intervenciones focalizadas y fortalecer la capacidad de respuesta ante amenazas emergentes. En este sentido, los artrópodos vectores pueden entenderse como verdaderos guardianes invisibles del riesgo sanitario: organismos cuya observación sistemática ofrece señales tempranas sobre la circulación de patógenos y la vulnerabilidad de las poblaciones. Fortalecer la vigilancia entomológica significa, por tanto, fortalecer la prevención, la protección de la población y la eficacia de los sistemas de salud.

Referencias Consultadas

- Bowman, L. R., Runge-Ranzinger, S., & McCall, P. J. (2014). Assessing the relationship between vector indices and dengue transmission: A systematic review. *PLoS Neglected Tropical Diseases*.
- CDC. (2017). Mosquito surveillance guidelines.
- CDC. (2022). Surveillance and control of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in the United States.
- Eisen, L., & Moore, C. G. (2013). *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* in the Americas. *Journal of Vector Ecology*.
- Hernández, G. G., et al. (2025). New record of *Aedes* (*Ochlerotatus*) *dorsalis*: a potential arbovirus vector in southern Mexico City. *emca*.
- InDRE / IMSS / SSA. Documentos técnicos de vigilancia entomoviológica.
- Lima, J. B., et al. (2021). Insecticide resistance in *Aedes* mosquitoes. *Parasites & Vectors*.
- OMS. (2003). Guidelines for dengue surveillance and mosquito control. Geneva.
- OMS. (2017). Global vector control response 2017-2030. WHO.
- OPS. (2016). Manual para la vigilancia entomológica y control de vectores.
- Secretaría de Salud – CENAPRECE. (2015-2023). Lineamientos técnicos estandarizados para la vigilancia entomológica de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*.
- Vasilakis, N., & Weaver, S. C. (2017). The history and evolution of human arboviral diseases. *PLoS Biology*.
- WHO. (2020). Vector-borne diseases.





D.R. Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas
Aplicadas y Biotecnología, A.C.

SOMUCAAB A.C.

<https://somucaab.mx>

Tel.: +52 (951) 170-3994

ISBN: 978-607-98745-3-7

