

Alternativas verdes contra los vectores de la enfermedad de Chagas

José Rafael Delgado López¹ y Reyna Vargas-Abasolo^{2*}

¹ Universidad Tecnológica de la Selva, Chiapas

² Departamento de Ecología Evolutiva, Instituto de Ecología, UNAM

* Dirección para correspondencia: reynavargas.a@gmail.com

La enfermedad de Chagas es una de las principales enfermedades parasitarias en América Latina. Es causada por el protozoo *Trypanosoma cruzi* y transmitida principalmente por chinches hematófagos de la subfamilia Triatominae. Estos vectores, comúnmente conocidos como "triatominos" o "chinches besuconas", representan una grave amenaza para la salud pública. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2024), en América se reportan anualmente cerca de 30,000 casos nuevos de personas infectadas con *T. cruzi*.

El control convencional de los triatominos se basa en estrategias como la aplicación de insecticidas químicos (principalmente piretroides), la mejora de viviendas para reducir hábitats favorables y la vigilancia epidemiológica con participación comunitaria. Si bien, estos métodos han demostrado ser efectivos, resulta fundamental explorar otros enfoques innovadores y sostenibles. En este contexto, los aceites esenciales (AEs) se han perfilado como una alternativa prometedora para el control de triatominos domiciliados. Estos compuestos de origen vegetal pueden presentar propiedades insecticidas, repelentes u ovicidas.

Por ejemplo, se ha observado que, de las plantas *Amomyrtus meli*, *Peumus boldus* y *Senecio nutans*, se pueden obtener AEs con efectos repelentes similares a los del conocido DEET (Dietilmetatoluamida) (Regnault-Roger *et al.*, 2012). Estos aceites no solo alejan a los insectos, sino que también actúan de forma más completa: interfieren con la alimentación y resultan tóxicos tanto para ninfas como para adultos de triatominos.

Los insecticidas botánicos han cobrado relevancia como alternativa sustentable al control convencional debido a sus múltiples ventajas. Por ejemplo, estos compuestos son biodegradables, generalmente tienen baja toxicidad en organismos no objetivo, y baja probabilidad de inducir resistencia en poblaciones de insectos (Pavela y Benelli, 2016). Además, la percepción pública positiva hacia las plantas, al ser consideradas fuentes naturales, ecológicas y seguras, refuerza su aceptación y uso potencial. En este sentido, los AEs podrían complementar las estrategias convencionales en el control de vectores y, con ello, disminuir los casos de enfermos de Chagas, al tiempo que se reducen los impactos ambientales y sanitarios asociados al uso prolongado de insecticidas químicos sintéticos.

De la planta al frasco: ¿cómo se obtienen los aceites esenciales?

Los AEs son mezclas complejas de compuestos volátiles con propiedades aromáticas y bioactivas, extraídos de plantas mediante diferentes técnicas. Estos compuestos son metabolitos secundarios que, aunque no participan directamente

en los procesos vitales de la planta, desempeñan funciones clave en su supervivencia. Por ejemplo, algunos metabolitos secundarios actúan como mecanismos de defensa ante depredadores, patógenos y otros organismos, y también en respuesta a factores abióticos como la sequía, la radiación o los cambios bruscos de temperatura. Cuando la planta percibe una amenaza o sufre daños, activa la producción y liberación de estos compuestos, que le permiten defenderse de forma natural.

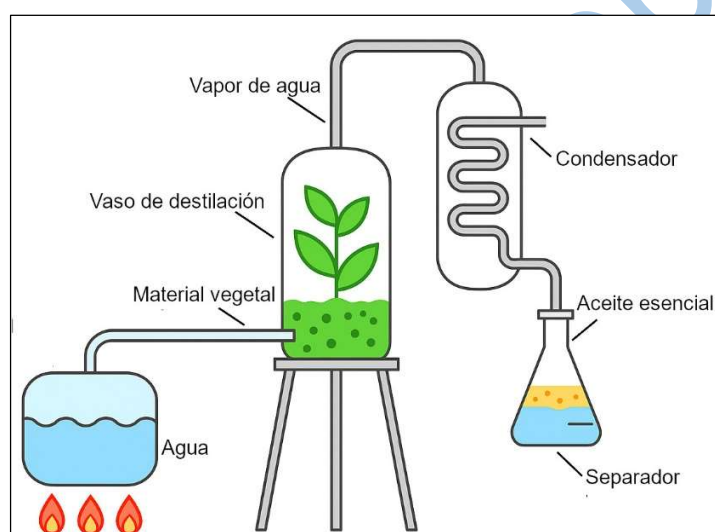


Figura 1. Esquema representativo de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor.

Los AEs se almacenan en distintas partes de la planta, como hojas, flores, frutos, tallos y raíces, y se agrupan principalmente en las familias químicas de los terpenos y los fenoles. Existen varios métodos para extraerlos, y cada uno se elige según el tipo de planta y el compuesto que se busca. El más común es la destilación por arrastre de vapor, en la que el vapor de agua atraviesa el material vegetal y libera compuestos volátiles sin dañarlos. Estos vapores, que contienen tanto agua

como aceites, se enfrían y se condensan, permitiendo la separación natural del aceite esencial puro y del hidrolato. Este proceso, sencillo pero delicado, conserva la integridad de los compuestos aromáticos y es ampliamente utilizado en la obtención de extractos botánicos (Figura 1). Otro método es la extracción con solventes, ideal para flores delicadas como el jazmín, cuyos compuestos se perderían con el calor. También se utiliza la expresión en frío, donde el aceite se extrae directamente de la cáscara mediante presión (Figura 2).

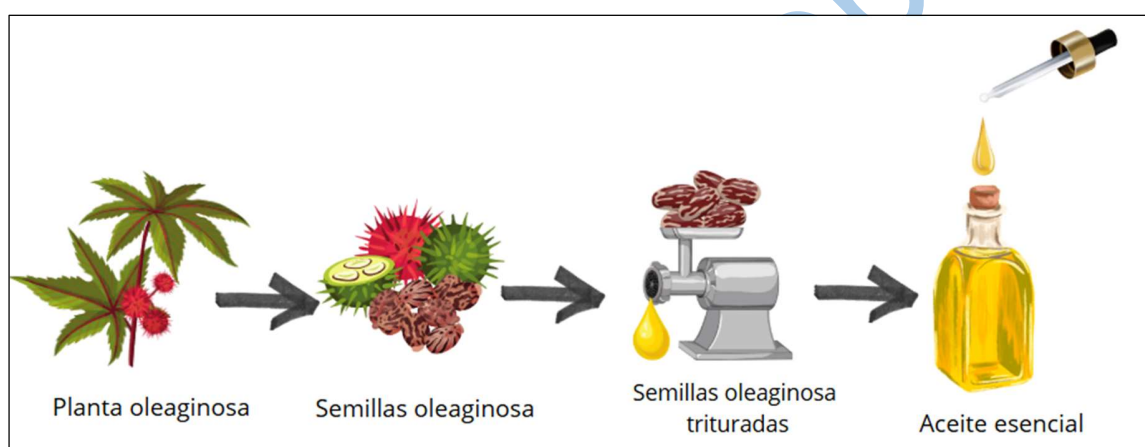


Figura 2. Representación de la extracción de aceite por medio de una prensa.

La extracción con CO_2 supercrítico es otra técnica avanzada que permite obtener aceites esenciales de alta pureza sin dejar residuos químicos. Se utiliza dióxido de carbono en condiciones de alta temperatura y presión, donde se comporta simultáneamente como gas y líquido, actuando como un disolvente selectivo. El CO_2 penetra el material vegetal, disuelve los compuestos deseados y luego se separa fácilmente sin contaminar el producto final, lo que convierte a este

método en una alternativa eficiente y ecológica frente a los solventes tradicionales (Figura 3).

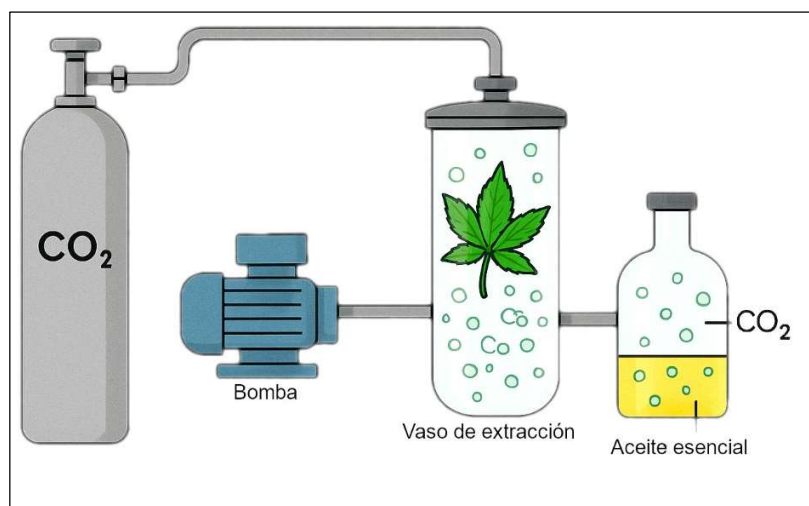


Figura 3. Extracción de aceite esencial con CO₂ supercrítico.

Del aroma a la acción: ¿cómo actúan los AEs en las chinches besuconas?

Los AEs, conocidos por su aroma y propiedades terapéuticas, han demostrado tener potencial para ser empleados como herramientas en el manejo de insectos vectores de enfermedades. Diversas investigaciones han revelado que estos compuestos naturales pueden actuar como insecticidas, causando efectos tóxicos, repelentes, atrayentes, agentes antialimentarios o reguladores del crecimiento de diferentes artrópodos. Estas propiedades permiten que los aceites esenciales afecten el comportamiento y la fisiología de insectos de importancia médica, como los triatominos (Ahmed *et al.*, 2022). Entre los AEs que se han investigado, seleccionamos algunos de los más comunes, muchos de ellos extraídos de plantas

que forman parte de nuestra vida cotidiana, como la lavanda, la menta o el eucalipto (ver Cuadro 1).

Nombre común	Nombre científico	Compuestos bioactivos	Efecto reportado
Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i>	Cis-epoxiyocimeno, crisantenol, 2,6-dimetil-5,7-octadien-2,3-diol, linalol, acetato de crisantenilo, cariofileno	Repelente
Ajo	<i>Allium sativum</i>	Alicina	Toxicidad por contacto y repelencia
Boldo	<i>Peumus boldus</i>	Ascaridol, m-cimeno, 1,8-cineol	Repelente
Canela	<i>Cinnamomum verum</i>	Cinamil acetato, trans- β -Cariofileno, trans-cinamaldeído	Inhibe la muda, repelente
Cempasúchil	<i>Tagetes spp.</i>	Estragol, dihidrotagetona y cis-tagetona	Repelente
Citronela	<i>Cymbopogon winterianus</i>	Geraniol, citronelol, limoneno, citronelal	Repelente y antialimentario
Chichón	<i>Zanthoxylum caribaeum</i>	Sesquiterpenos y monoterpenos	Toxicidad por contacto e ingestión
Clavo	<i>Syzygium aromaticum</i>	Eugenol	Toxicidad por contacto y repelencia
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucaliptol	Toxicidad por contacto y repelencia
Flor amarilla	<i>Senecio nutans</i>	4-terpineol, cinamato de metilo, sabineno	Repelente
Laurel chino	<i>Laurelia sempervirens</i>	Cis-isosafrol, β -terpineno, trans-ocimeno, metileugenol	Repelente
Lavanda	<i>Lavandula spp.</i>	linalool y acetato de linalilo	Repelencia y toxicidad por contacto
Meli	<i>Amomyrtus meli</i>	α -farneseno, germacreno D, α -copaeno, β -cariofileno	Repelente
Menta	<i>Mentha arvensis</i>	Carvona, mentol, 1,8-cineol, mentona	Repelente
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	α -pineno, limoneno	Toxicidad por contacto
Neem	<i>Azadirachta indica</i>	Azadiractina	Toxicidad por contacto e ingestión, repelencia, antialimentario y reducción de fecundidad
Peperina	<i>ippia sidoides</i>	Timol, carvacrol	Toxicidad por contacto y antialimentario
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Timol, p-cimeno, c-terpineno, carvacrol, linalol	repelente
Zacate limón	<i>Cymbopogon flexuosus</i>	Citral (geranial + neral)	Toxicidad por contacto

Cuadro 1. Aceites esenciales con propiedades insecticidas y repelentes sobre chinches besuconas.

Estos aceites han sido objeto de diversos estudios en laboratorio, donde se ha demostrado su eficacia frente a distintas especies de chinches besuconas, entre las que se incluyen *Triatoma pallidipennis*, *Triatoma infestans* y *Rhodnius prolixus* (Sainz *et al.*, 2012; Rito-Rueda *et al.*, 2023; Vargas-Abasolo *et al.*, 2023).

Algunos AEs ejercen un efecto tóxico por contacto o ingestión. Estos compuestos pueden atravesar la cutícula del insecto o ser absorbidos durante la alimentación, interfiriendo con funciones vitales. Por ejemplo, la azadiractina, presente en el aceite de neem (*Azadirachta indica*), inhibe la síntesis de quitina, una proteína clave para el desarrollo del exoesqueleto, afectando así el crecimiento y la muda de los insectos. Otros compuestos como el eugenol (presente en el aceite de clavo) y el eucaliptol (en el aceite de eucalipto) alteran la actividad del sistema nervioso, provocando hiperexcitación, parálisis y, eventual muerte del insecto.

Los aceites también afectan el comportamiento alimentario de los insectos al interferir con sus receptores gustativos y olfativos. Por ejemplo, el aceite de ajo (*Allium sativum*) contiene compuestos sulfurados que reducen la capacidad de las chinches para alimentarse de sangre. Además, se ha observado que ciertos AEs disminuyen la fecundidad de las hembras y reducen la viabilidad de los huevos, afectando directamente la dinámica poblacional de estos vectores.

Uno de los mecanismos más aprovechados en el control vectorial es la repelencia (Figura 4). Esta se produce cuando los compuestos volátiles de los AEs saturan los receptores sensoriales de las antenas de los insectos, bloqueando su capacidad para detectar señales esenciales como el calor corporal, el dióxido de

carbono o los compuestos presentes en el sudor humano. Sustancias como citronelal, linalool, carvacrol, carveol, citronelol, mentol, α -terpineol, timol, verbenol y eugenol son especialmente eficaces en este aspecto. Por ejemplo, el aceite de citronela, reduce significativamente el acercamiento de los triatominos al hospedador, y con ello disminuye el riesgo de picadura.

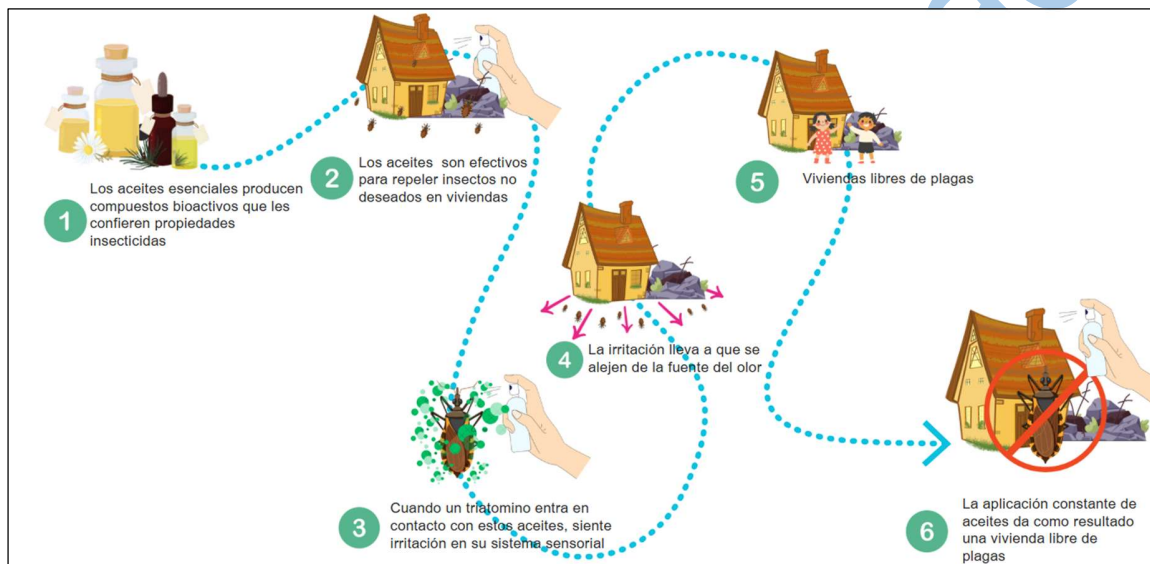


Figura 4. Esquema representativo de la aplicación de un aceite esencial con efecto repelente.

Limitaciones y nuevas estrategias

El empleo de AEs en el control de vectores representa oportunidades significativas, pero también enfrenta desafíos importantes que deben abordarse mediante investigación multidisciplinaria y desarrollo tecnológico. Por ejemplo, los AEs son muy volátiles, lo que implica una rápida evaporación y, por tanto, una acción residual limitada en el ambiente. Esto reduce su eficacia prolongada, especialmente en

condiciones climáticas adversas. Para superar este obstáculo, la ciencia ha desarrollado nuevas estrategias como, la encapsulación de los aceites en microcápsulas, nanocápsulas, ciclodextrinas, micelas poliméricas o hidrogeles. Estas tecnologías permiten una liberación controlada del compuesto activo y lo protegen de factores ambientales como la luz, el oxígeno y la temperatura, lo que puede prolongar su efecto biológico (Juica *et al.*, 2025).

Además, en diferentes estudios se ha explorado el uso combinado de aceites esenciales con insecticidas sintéticos, con el fin de potenciar su acción mediante un efecto sinérgico. Un caso destacado es la mezcla de eugenol y mentol con permetrina, que ha mostrado eficacia en el control de *T. infestans*, uno de los principales vectores de la enfermedad de Chagas (Reynoso *et al.*, 2023). Estas estrategias abren nuevas posibilidades para integrar los aceites esenciales en programas de manejo integrado de vectores, ofreciendo alternativas más sostenibles y efectivas.

No obstante, a pesar de que se ha demostrado la efectividad de los AEs para mitigar a los triatominos, los estudios se han realizado exclusivamente en condiciones de laboratorio. Para avanzar a su aplicación práctica es indispensable la validación de su efectividad en condiciones reales de campo. Además, se requiere de una evaluación rigurosa que considere la eficacia, estabilidad y seguridad de esta estrategia en el contexto operativo. De este modo, es fundamental diseñar formulaciones estables y de fácil aplicación que mantengan su eficacia bajo condiciones ambientales variables.

Una ventaja que tienen los AEs es que presentan menor toxicidad hacia organismos no objetivo en comparación con los productos químicos sintéticos. Sin embargo, su inocuidad en muchos casos ha sido asumida más que demostrada, ya que hacen falta evaluaciones exhaustivas de sus efectos secundarios específicos en organismos no blanco. En este sentido, es fundamental establecer umbrales seguros de concentración y pautas de aplicación que minimicen impactos sobre la biodiversidad.

Finalmente, los AEs, no están exentos del riesgo de generar resistencia cruzada, dado que algunas enzimas implicadas en la resistencia a insecticidas sintéticos pueden también inactivar compuestos de origen vegetal (Haddi *et al.*, 2023), lo que subraya la necesidad de una vigilancia constante y desarrollo de estrategias combinadas y de rotación.

Hacia un control vectorial más sostenible

La investigación de métodos biorracionales en el control de vectores debe enfocarse en la viabilidad operativa de estas estrategias. El diseño y validación de formulaciones botánicas más robustas adaptadas a distintas condiciones ambientales es esencial para su aplicación práctica. La seguridad de los métodos biorracionales sobre organismos no objetivo y su impacto ecológico deben ser continuamente evaluados. Además, la reducción de poblaciones de chinches vectoras, aunque beneficiosa para la salud pública, puede generar alteraciones

ecológicas que deben anticiparse mediante estrategias de mitigación. Solo a través de un enfoque integral que combine efectividad biológica, sostenibilidad ambiental, viabilidad operativa y respaldo mediante políticas públicas, se podrá garantizar el éxito de estos métodos en el control racional contra los vectores de la enfermedad de Chagas.

Aprovechar el potencial bioactivo de las plantas para controlar los vectores de la enfermedad de Chagas abre nuevas posibilidades hacia un futuro en el que la salud humana y el respeto al ambiente puedan caminar de la mano. Con más investigación y desarrollo, los aceites esenciales podrían convertirse en una herramienta clave en la lucha contra una de las enfermedades olvidadas en América y el mundo.

Agradecimiento

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca posdoctoral a RV-A.

Nota

Este texto fue redactado por los autores, y se apoyó parcialmente en herramientas de inteligencia artificial (IA generativa) para la mejora del estilo y sugerencias gramaticales. Las ideas, interpretaciones, selección de información y conclusiones son responsabilidad exclusiva de los autores.

Referencias

- Ahmed N, Alam M, Saeed M *et al.* (2022). Botanical insecticides are a non-toxic alternative to conventional pesticides in the control of insects and pests. *Global Decline of Insects* 103. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.100416>.
- Haddi K, Nauen R, Benelli G and Guedes RNC (2023). Global perspectives on insecticide resistance in agriculture and public health. *Entomologia Generalis* 43:495-500.
- Juica N, Bustos G, Devis S *et al.* (2025). Acaricidal activity of geraniol-loaded lignin nanoparticles for the control of *Brevipalpus chilensis*: an eco-friendly approach to crop protection. *Environmental Science: Nano*. DOI: <https://doi.org/10.1039/D5EN00155B>.
- Pavela R and Benelli G (2016) Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. *Trends in Plant Science* 21:1000-1007.
- Regnault-Roger C, Vincent C and Arnason JT (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology* 57:405-424.
- Reynoso MN, Zerba EN and Alzogaray RA (2023). Eugenol and menthol synergize the toxicity of permethrin in the blood-sucking bug, *Triatoma infestans*. *Acta Tropica* 241:106900.
- Rito-Rueda A, Flores-Jiménez JE, Gutiérrez-Cabrera AE *et al.* (2024). How to repel a killer; chemical identification and effective repellent activity of commercial essential oils against kissing bugs. *Medical and Veterinary Entomology* 38:148-159.
- Sainz P, Sanz J, Burillo J *et al.* (2012). Essential oils for the control of reduviid insects. *Phytochemistry Reviews* 11:361-369.
- Vargas-Abasolo R, Gutiérrez-Cabrera AE, Cruz-López L *et al.* (2023). Chagas disease vector control strategies: where we are and where we should go from here. *Entomologia Generalis* 43:771-788.
- WHO (World Health Organization) (2024). Chagas disease (American trypanosomiasis). Recuperado de: https://www.who.int/health-topics/chagas-disease#tab=tab_1.