

Tlamati Sabiduría



***Argemone mexicana*: una alternativa para el control de mosquitos vectores (Díptera: Culicidae) de importancia médica**

Diana Monserrath Osorio-Palacios¹
Itzel Celic Evaristo-Ortiz¹
Cielma Jazmin Alfaro-Campos¹
Dalia Vanesa Ignacio-Díaz¹
Cinthia Moya-Álvarez¹
Rebeca Salazar-Dorantes¹
Erika Jaqueline de Jesús-Reyes¹
Leticia Lucena¹
César Sotelo-Leyva^{1*}

¹Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria Sur, 39070, Chilpancingo, Guerrero, México.

*Autor de correspondencia

cesarsotelo@uagro.mx

Resumen

Los mosquitos vectores son insectos voladores comunes que se encuentran distribuidos en la mayor parte del mundo. Los mosquitos vectores de importancia médica pertenecen a la familia Culicidae, y abarcan actualmente 3,556 especies. Las principales especies pertenecen a tres géneros: *Anopheles*, *Aedes* y *Culex*, los cuales son transmisores de distintas enfermedades como: el virus del dengue, la chikungunya, la fiebre amarilla, el virus del Nilo Occidental y malaria. Dentro del control químico se utilizan insecticidas que son eficaces para su control. Diversas investigaciones han tomado como alternativa el uso de plantas medicinales para la prevención de la reproducción de los mosquitos vectores. Existe una variedad de plantas

Información del Artículo

Como citar el artículo:

Osorio-Palacios D.M., Evaristo-Ortiz I. C., Alfaro-Campos C. J., Ignacio-Díaz D. V., Moya-Álvarez C., Salazar-Dorantes R., de Jesús-Reyes E. J., Lucena L., Sotelo-Leyva C. (2023). *Argemone mexicana*: una alternativa para el control de mosquitos vectores (Díptera: Culicidae) de importancia médica. *Tlamati Sabiduría*, 15, 64-73.

Editores Invitados: Dr. Carlos Ortuño-Pineda; Dra. Mayrut Osdely Urióstegui-Acosta

Recibido en la versión aceptada por los editores invitados: 19 de marzo 2023; Publicado: 18 de agosto 2023



medicinales, siendo *Argemone mexicana* una planta de interés ya que contiene metabolitos secundarios que han demostrado bioactividad contra diversos insectos. En este trabajo de investigación se presenta la actividad insecticida de extractos de la *A. mexicana* contra los mosquitos vectores (Díptera: Culicidae). Se informa la parte de la planta utilizada, solvente utilizado, especie de mosquito vector, tipo de bioensayo, metodología, resultados y metabolitos secundarios identificados.

Palabras clave: Mosquitos vectores, *Argemone mexicana*, Vectores, Plantas, Díptera, Metabolitos.

Abstract

Mosquito vectors are common flying insects that are distributed in most parts of the world. Mosquito vectors of medical importance belong to the Culicidae family, currently comprising 3,556 species. The main species of vector mosquitoes belong to three genera: *Anopheles*, *Aedes* and *Culex*, which transmit different diseases among the main diseases transmitted by these dipterans are: dengue virus, chikungunya, yellow fever, West Nile virus and malaria. Within the chemical control, insecticides are used that are effective for their reduction, due to their already known toxic effects on human health and the environment. Various investigations have taken as an alternative the use of medicinal plants for the prevention of the reproduction of vector mosquitoes. There is a variety of medicinal plants, *Argemone mexicana* being the most important, since it already has secondary metabolites. In this review, the insecticidal activity of extracts from the *A. mexicana* plant against the mosquito vector (Diptera: Culicidae) is presented, the part of the plant used, the solvent used, the type of mosquito vector with which it presents larvicidal activity, are reported. type of bioassay, methodology, results and identified metabolites.

Key words: Mosquitoes vectors, *Argemone mexicana*, plants, Diptera, Metabolites.

Introducción

Los mosquitos vectores pueden transmitir diversos microorganismos patógenos, incluidos arbovirus, protozoos y filarias, los cuales causan enfermedades infecciosas que ponen en riesgo la salud pública (Becker *et al.*, 2010). Pertenecen principalmente a tres géneros: *Anopheles*, *Aedes* y *Culex*. El género *Anopheles* comprende 488 especies de las que derivan 60 especies con importancia médica, pues transmiten la malaria, la filariasis linfática y los arbovirus (Camevale *et al.*, 2009). El género *Aedes* incluye mosquitos vectores de arbovirus, incluidos los virus de la fiebre amarilla, el dengue, el chikungunya, la fiebre del valle del Rift y el Zika (Caglioti *et al.*, 2013). Por otro lado, el género *Culex* incluye diversos vectores para la microfilaria *Wuchereria bancrofti* y los flavivirus (Weaver y Reisen, 2010). Existen diversas medidas para el control de enfermedades para mosquitos vectores, como los

mosquiteros insecticidas de larga duración y la fumigación de interiores con efecto residual que son dirigidos contra los mosquitos vectores (WHO, 2013). La inhibición de la población de vectores ha sido uno de los principales avances para reducir la transmisión de enfermedades a través de métodos químicos y no químicos (Wilson *et al.*, 2020). Sin embargo, el uso de insecticidas contra adultos y larvas provocó una resistencia a los insecticidas en las poblaciones de los vectores (García *et al.*, 2018). Por su parte, algunos de estos insecticidas tienen efectos tóxicos en el ser humano, por vía oral respiratoria, causando daños en la vía respiratoria y pulmonar (Muñoz-Quezada *et al.*, 2016). Por lo que el presente trabajo busca promover alternativas de plantas medicinales a través de *Argemone mexicana* para el control de mosquitos vectores, toda vez que son seguros para el medio ambiente y no son tóxicos para los organismos no objetivo.

Se ha demostrado que *A. mexicana* tiene actividad larvica, ovicida y pupal contra los mosquitos vectores a través de extractos de tallo, hojas y semillas. Es probable que la variedad de tipos y niveles de constituyentes bioactivos en cada extracto puedan ser responsables de su potencial variable contra los mosquitos vectores, por lo cual se recomienda establecer investigaciones a fondo.

Mosquitos vectores (Diptera: culidae)

Los mosquitos son insectos voladores comunes que se encuentran distribuidos en la mayor parte del mundo. Hay más de 3,500 tipos de mosquitos a nivel mundial y algunos de estos pueden ser vectores, propagando patógenos (microbios) a las personas y los animales (CDC, 2020). Las enfermedades transmitidas por vectores (ETVs) tienen un alto impacto sobre la salud pública de diversas comunidades, la única manera de prevenir estas enfermedades es evitar el contacto entre vectores y humanos, puesto que en la actualidad no existe una vacuna para todas las enfermedades que los vectores pueden transmitir (Gorla, 2021).

Principales especies de mosquitos vectores

Los mosquitos de importancia médica pertenecen a la familia Culicidae, que engloba actualmente 3,556 especies, los géneros con mayor importancia médica son *Anopheles*, *Aedes* y *Culex* (Ulloa, 2019). Los mosquitos que pertenecen al género *Aedes*, son los vectores dominantes de la mayoría de los arbovirus que infectan tanto a humanos y a animales; están presentes en todo el mundo (Europa mediterránea, África, Asia, América, Pacífico Occidental) aunque la mayor diversidad se encuentra en las regiones Neártica y el viejo mundo (Portillo *et al.*, 2018). Los vectores que destacan por su incidencia sanitaria son a *Aedes albopictus* o *Aedes aegypti* (Ulloa, 2019).

Principales enfermedades transmitidas por mosquitos vectores

Los mosquitos vectores pueden transmitir distintos patógenos, que provocan enfermedades responsables de una gran tasa de morbilidad y mortalidad humana en todo el mundo; también se

considera que transmiten, aunque en menor medida, enfermedades bacterianas (Tandina *et al.*, 2018). Existen diversas enfermedades que son transmitidas por mosquitos vectores, una de las más importantes es el dengue, es una enfermedad arboviral grave de Asia, América del Sur y Central y África, aunque cuenta con una baja mortalidad, presenta síntomas muy debilitantes, *Aedes aegypti* y *Ae. albopictus* son los vectores comunes del dengue, se les considera de fácil adaptación por lo que pueden proliferar fácilmente en nuevas áreas (Rueda, 2008). El virus del dengue tiene serotipos y cuando un individuo se infecta se vuelve inmune para ese serotipo (Hobart *et al.*, 2018). El chikungunya es una de las enfermedades transmitidas por mosquitos que no llega a causar mortalidad, sin embargo, afecta a personas en más de 60 países, aunque no es grave, del 87% al 95% de las personas que llegan a presentarla, sufren artralgia, que puede persistir durante años; sus principales vectores son *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (Hobart *et al.*, 2018). La fiebre amarilla también es una enfermedad que se transmite principalmente por *Ae. Aegypti*, siendo importante en África, América del Sur y América Central, con alrededor de 200,000 casos y 30,000 muertes en 33 países cada año (Rueda, 2008). El virus del Nilo Occidental es una enfermedad transmitida principalmente por mosquitos del género *Culex*, en particular *Culex pipiens* (OMS, 2017). Se ha propagado desde África (Uganda) en 1937 hacia Europa y el oeste y el centro de Asia y se encuentra muy extendida en los Estados Unidos, Canadá, México y las islas del Caribe (Kramer *et al.* 2008). Así mismo, la malaria es una enfermedad muy grave que afecta a alrededor del 40 % de la población mundial, principalmente en las zonas tropicales y subtropicales; *A. gambiae*, es el vector más importante de la malaria en África, aunque se considera que es el mayor responsable de la transmisión y mortalidad de esta enfermedad (Beerntsen *et al.*, 2000). Otros mosquitos vectores pueden transmitir varios patógenos, incluidos arbovirus, protozoos y filarias que causan enfermedades infecciosas como: Fiebre de Oropuche, Mansonelosis, Malaria, Filariasis, Tripanosomiasis, Leishmaniasis, Bartonelosis, Estomatitis

vesicular, Oncocercosis, Loiasis, y Tularemia (Portillo *et al.*, 2018). Una de las causas que ha agravado la propagación de las enfermedades por mosquitos es el cambio climático, esto ha causado cambios en su distribución, lo cual ocasionaría que se presenten más casos de enfermedades humanas (Andrade-Ocha *et al.*, 2017).

Control químico

Los mosquitos vectores tienen una gran importancia médica. Debido a su reproducción, implica una serie de enfermedades para la salud humana, siendo los principales vectores de enfermedades de orden vírico (López-Solís *et al.*, 2020). Es por ello que se llevan a cabo alternativas para combatir su expansión y que sirven como métodos de control, estas se clasifican en: manejo ambiental, control químico, control biológico, protección personal y manejo integrado (Wilson *et al.*, 2017).

Dentro del control químico se utilizan insecticidas que son eficaces para su disminución, pero tienen una gran desventaja en la salud humana debido a que tienen efectos tóxicos. Los insecticidas son compuestos químicos utilizados para controlar o matar insectos portadores de enfermedades. Para el caso de insectos vectores, los insecticidas pueden además de evitar el contacto de los insectos con el humano, disminuir su propagación, y están dirigidos a cualquiera de sus estadios de desarrollo (huevo, larva, pupa, adulto). Están disponibles de formas diferentes, las cuales incluyen polvos humectables, aerosoles, gases, gránulos, soluciones oleosas, concentrados emulsionables, tratamientos de semillas, aerosoles líquidos a base de aceite, concentrado de nebulización, líquidos de ultra bajo volumen y aerosoles de volumen ultra bajo (Van den Berg *et al.*, 2021). De acuerdo con su composición química, acción toxicológica o método de penetración, los insecticidas se clasifican en orgánicos (contienen carbono) e inorgánicos (Farag *et al.*, 2021). Los insecticidas orgánicos incluyen compuestos organofosforados (como el malatión), compuestos organoclorados (como el DDT), carbamato, piretroides sintéticos, reguladores del crecimiento de insectos y fumigantes (Mills *et al.*, 2018). La sílice y el ácido

bórico son dos tipos de insecticidas inorgánicos. El primero es un agente desecante que absorbe la capa cerosa de los insectos, llevándolo a la deshidratación y asfixia, este tipo de insecticida es ligero, blanco y esponjoso. El ácido bórico, mientras tanto, es una cera de absorción, así como un veneno estomacal, cuando se mantiene seco y se coloca en los lugares apropiados en la concentración adecuada, es útil en el control de insectos (Moyes *et al.*, 2017).

Los tipos de aplicación de insecticidas más comunes son: a) el rociado intradomiciliario con insecticidas residuales, b) el tratamiento de materiales con insecticidas, c) el rociado o nebulización espacial y d) la aplicación de larvicidas (Farag *et al.*, 2021). El método más utilizado es el rociado acaso probable (RCP); es dirigido sobre la base de los casos probables de enfermedades que son notificadas por sectores de salud aplicándose como termo nebulizador (nebulización térmica) en áreas de alta concentración poblacional, como iglesias, escuelas, panteones, balnearios, etcétera (Maha, 2019).

Impacto al medio ambiente

A pesar de que menos del 1% de las 4,200 especies de insectos que atacan frutales de importancia económica, los tefritidos se ubican entre las diez plagas de mayor importancia para la fruticultura en México, limitando la producción y comercialización de los productos frutícolas, además de los daños causados directamente a los frutos, provocan daños indirectos como el incremento de los costos de producción y demérito de la calidad del fruto, lo que repercute de manera directa en la economía del agricultor. Para el control de mosca de la fruta se han empleado de forma tradicional cebos tóxicos, a base de una mezcla de un insecticida de origen químico y un atrayente alimenticio. Los insecticidas químicos, como el malatión, han sido utilizados tradicionalmente para el control de la mosca de la fruta. Sin embargo, estos tratamientos presentan una serie de inconvenientes, tales como la contaminación del ambiente, peligro para las personas que lo aplican, necesidad de períodos cuarentenarios antes de comercializar el producto,

así como resistencia en los insectos plaga (Brenner, 1992).

En los últimos años, el control químico de la mosca de la fruta se ha visto afectado por las restricciones en el uso de plaguicidas organofosforados, lo que ha generado la necesidad de desarrollar y evaluar alternativas de menor impacto ambiental, buscando métodos alternativos de manejo de plagas que tienen como propósito encontrar técnicas que permitan manejar la resistencia de las mismas a los insecticidas orgánicos, así como estrategias que proporcione una alternativa de manejo que evite la eliminación de enemigos naturales y la contaminación de los agroecosistemas (Rodríguez y López, 2001).

En la actualidad se ha enfatizado la búsqueda de medios de control basados en la actividad insecticida de las plantas, pues la mayoría de ellas producen metabolitos secundarios, como: fenoles, treptenoides, alcaloides, ácidos carboxílicos y ácidos grasos, con propiedades insecticidas, que pueden aprovecharse mediante la preparación de extractos acuosos o infusiones para el control de insectos nocivos (Avalos y Perez-Urrial 2009).

Los productos vegetales para el control de plagas que afectan a los cultivos frutícolas son una buena opción para los agricultores, toda vez que son considerados como promotores de la inocuidad de frutas frescas y secas, al ser aplicados de manera exógena, o bien al promover su actividad mecánica ante el estrés biótico, puesto que al ser biodegradables no afectan el medio ambiente y evitan el desarrollo de la resistencia en los insectos (Sotelo-Leyva *et al.*, 2020). Por otra parte, los productos químicos de bajo impacto ambiental, también forman parte del manejo alternativo de plagas que afectan al sector frutícola. Entre estos productos, los colorantes fotoactivos, en particular el Floxin-B fue una de las primeras opciones evaluadas para sustituir el uso del malatión en el control químico de la mosca de la fruta (Torija-Torres *et al.*, 2014).

Impacto en la salud de los humanos

Los insecticidas presentan serios riesgos para la salud derivados de la exposición de los usuarios. Las principales vías por las cuales ingresan al

cuerpo humano son: dérmica, oral, ocular y respiratoria (inhalación). La distribución en el cuerpo humano es a través del torrente sanguíneo y excretados vía la orina, la piel y el aire exhalado. Asimismo, la peligrosidad de la exposición aumenta dependiendo de la concentración y la toxicidad del plaguicida (Kim *et al.*, 2017).

Las formas en que los insecticidas afectan a la salud humana pueden ingresar al cuerpo de dos formas: la exposición oral produce un envenenamiento severo, resultado de la ingesta de plaguicida. Los casos más frecuentes se deben por la transferencia de plaguicidas o insecticidas a un recipiente de comida, tomar algún líquido en botellas contaminadas por plaguicidas o por no lavarse las manos después de haber manejado plaguicidas. Exposición respiratoria: La exposición es alta debido a la presencia de componentes volátiles que pueden causar daños en la nariz, garganta y tejidos pulmonares (Muñoz-Quezada *et al.*, 2016). El riesgo de exposición depende del tamaño de la gota de pulverización, a menor tamaño de gota el riesgo es mayor que a mayor tamaño de gota. Otro factor que aumenta el riesgo es la temperatura, pues a mayor temperatura, mayor evaporación, provocando un riesgo alto de envenenamiento (Kim *et al.*, 2017).

Estudios indican que el uso de plaguicidas puede estar relacionado con diversas enfermedades como cáncer, leucemia, Parkinson, asma, neuropsicológicos y cognitivos, etc. (Mills *et al.*, 2018). Además, señala que el impacto en la salud va a depender de la exposición, concentración, y grupo etario como niños, mujeres embarazadas, trabajadores agrícolas y tercera edad (Loha *et al.*, 2018).

Plantas medicinales

La vida humana depende de las plantas, además de los nutrientes básicos como las proteínas, las grasas o los hidratos de carbono. Las plantas son fuente de productos farmacéuticos, cosméticos, ingredientes alimentarios agroquímicos, insecticidas y pigmentos. Nos proporcionan oxígeno, regulan temperatura y la humedad ambiental, son capaces de fabricar su propio alimento, así como también forman un componente importante de atención de la salud mundial, porque se utilizan

como fuente principal de tratamiento (Alfermann y Petersen, 1995).

Las plantas son parte importante de todos los organismos vivos, toda vez que proporcionan diferentes tipos de productos como frutas, cortezas, hojas y medicamentos. Cerca del 80% de los compuestos de especies vegetales se utilizan como medicina. También han desarrollado estrategias de defensa contra condiciones de estrés biótico y abiótico, estas incluyen el desarrollo de estructuras contra sus depredadores, tales como las espinas, las espigas, los pelos glandulares (Jiménez *et al.*, 2003).

Los estudios de expresión de genes de plantas bajo diferentes condiciones de estrés biótico y abiótico son importantes porque son una estrategia para comprender, a nivel molecular, cómo las plantas actúan en fenómenos de resistencia a patógenos y condiciones abióticas de crecimiento, lo que puede ampliar el conocimiento sobre los mecanismos moleculares de defensa a estos tipos de estrés en las plantas (Rico-Guerrero *et al.*, 2004). Las plantas medicinales son ampliamente empleadas en medicina domiciliaria y fitoterapia en zonas rurales, a menudo por comunidades indígenas, así como también tienen una gran cantidad de sustancias que, usadas adecuadamente, puede tratar todo tipo de afecciones o reforzar nuestro organismo de distintas formas para prepararnos ante ataques de patógenos o ante la degeneración acelerada de las células (Pulido, 2008).

Metabolitos secundarios (MS)

Son compuestos que no son esenciales para la supervivencia pero que confieren ventajas para las células vegetales. Los MS son compuestos de bajo peso molecular que tienen un papel importante en las interacciones ecológicas; una síntesis activa de MS se produce cuando las plantas son expuestas a condiciones adversas como: el consumo por herbívoros (artrópodos y vertebrados), el ataque por microorganismos: virus, bacterias y hongos, la competencia por el espacio del suelo, la luz y los nutrientes entre las diferentes especies de plantas. Y la exposición a la luz solar o factores ambientales que alteran los procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas.

También reciben el nombre de productos naturales y cuentan con valor medicinal, económico y en las últimas décadas con un gran desarrollo (Croteau *et al.*, 2000).

Los MS de plantas suelen clasificarse según su estructura química, en varios grupos de moléculas grandes, incluidos los ácidos fenólicos y los flavonoides, los terpenoides, los esteroides y los alcaloides, se han implicado en la activación y el refuerzo de los mecanismos de defensa en las plantas con notables actividades biológicas. Los MS de plantas se utilizan cada vez más como ingredientes de medicamentos y aditivos alimentarios con fines terapéuticos, aromáticos y culinarios. Varios factores genéticos, ontogénicos, morfogenéticos y ambientales pueden influir en la biosíntesis y acumulación de MS. La acumulación de MS depende en gran medida de una variedad de factores ambientales, como la luz, la temperatura, el agua del suelo, la fertilidad del suelo y la salinidad, y para la mayoría de las plantas, un cambio en un factor individual puede alterar el contenido de MS incluso si otros factores permanecen constantes. Las plantas medicinales tienen dos tipos de metabolitos uno de los cuales es primario y otro secundario. Primario: los metabolitos están involucrados en todos los procesos de forma directa. Muchos metabolitos secundarios tienen funciones medicinales y no participan directamente en los procesos metabólicos (Croteau *et al.*, 2000).

La relación entre el metabolito secundario de las plantas y la respuesta de defensa es muy reconocida. Las plantas responden al ataque de patógenos, insectos y herbívoros, otros bióticos y estrés abiótico mediante la activación de una serie de mecanismos de defensa que incluyen la inducción de la biosíntesis de metabolitos como fitoalexinas, respuestas hipersensibles y barreras defensivas estructurales. Así mismo, y como parte de la protección química, es otra estrategia utilizada por las plantas, con actividad antioxidante, antibacteriana, antifúngica, nematocida y farmacológica (Jiménez *et al.*, 2003). En la Tabla 1 se muestra el potencial larvicida de *A. mexicana* contra mosquitos

Parte de la planta	Solventes	Mosquito Vector	Bioensayo	Metodología	Resultados	Metabolitos Identificados	Referencia
Semilla	Acetona	<i>Aedes aegypti</i>	Larvicida	Contacto a 10 ppm	100% en 24hrs	NI	Sakthivadivel y Thilagavathy, (2003)
Hojas	Metanol	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Larvicida	Contacto	2.5% en 72 h	NI	Sharma <i>et al.</i> (2009)
Semilla	Acetona	<i>Aedes aegypti</i>	Larvicida	Contacto a 10 ppm	24% en 24-48 h	NI	Elango <i>et al.</i> (2011)
Tallo	Éter de petróleo	<i>Aedes aegypti</i>	Larvicida	Contacto a 1000 ppm	83,8 % en 24 h.	NI	Warikoo y Kumar (2014)
Semillas	Cloroformo	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Larvicida	Contacto 25 ppm	100 % en 24 h.	NI	Abou-Elnaga (2015)
Hojas	Etanol	<i>Achaea janata L.</i>	Ovicida	Contacto a 25 ppm	70 % en 72 h.	NI	Devarshi y Yanchi, (2017)
Hojas	Etanol	<i>Spodoptera litura</i>	Larvicida	Contacto a 25 mg/mL	60 % en 96 h.	NI	Vetal y Pardeshi, (2019)
Flor	Etanol	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Larvicida	Contacto a 25 ppm	100% en 5 días	Alcaloides, Flavonoides y Taninos	Granados-Echegoyen <i>et al.</i> (2018)

Tabla 1. *Argemone mexicana* en el control de mosquitos vectores. NI = No identificado.

vectores, así como también las diversas metodologías usadas para el control de estos insectos.

Conclusiones

Las especies vegetales han cobrado relevancia en el tratamiento contra vectores. *Argemone mexicana* ha demostrado poseer cualidades en la actividad insecticida. Los resultados obtenidos demuestran que esta planta tiene componentes prometedores para el tratamiento en las diferentes partes que la conforman. Sin embargo, hace falta identificar los metabolitos secundarios que están implicados en dicha actividad por lo que se sugiere seguir los estudios enfocados en aislar y purificar los productos naturales que pueden estar implicados en esta capacidad y motivar a seguir los trabajos de investigación para reconocer a A.

mexicana como una alternativa eficaz y amigable con el ambiente.

Agradecimientos

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Guerrero por las facilidades para realizar este trabajo.

Referencias

- Abou-Elnaga, Z. (2015). Strong larvicidal properties of *Argemone mexicana* L. against medically important vectors *Culex pipiens* and *Aedes aegypti*. International Journal of Mosquito research, 2, 09-12.
- Alfermann, A.W., Petersen, M. (1995). Natural product formation by plant cell biotechnology.

- Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 43, 199-205.
- Avalos, A., Pérez-Urria, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. Reduca (Biología), Serie Fisiología Vegetal, 283, 119-145.
- Andrade-Ochoa, S., Chacón-Vargas, K.F., Rivera-Chavira, B.E., Sánchez-Torres, L.E. (2017). Enfermedades transmitidas por vectores y cambio climático. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 25, 118-128.
- Becker, N., Petric, D., Zgomba, M., Boase, C., Dahl, C., Madon, M. (2010). Mosquitoes and their control. 2. Heidelberg: Springer, 528p.
- Beerntsen, B.T., James, A.A., Christensen, B.M. (2000). Genetics of mosquito vector competence. Microbiology and Molecular Biology, 64, 115-137.
- Brenner, L. (1992). Malathion. Journal of Pesticides Reform. 12(4): 29-37.
- Caglioti, C., Lalle, E., Castilletti, C., Carletti, F., Capobianchi, M.R., Bordi, L. (2013). Chikungunya virus infection: an overview. The New Microbiologica. 36, 211-27.
- Carnevale, P., Robert, V., Manguin, S., Corbel, V., Fontenille, D., Garros, C. (2009). Les anophèles-biologie, Transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle. IRD ed: Marsella, 641p.
- CDC. (2020). Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases ¿Qué es un mosquito?
- [National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases \(NCEZID\) | CDC](#)
- Croteau, R., Kutchan, T.M., Lewis, N.G. (2000). Natural products (Secondary metabolites). In: B. Buchanan., W. Gruissem., y R. Jones R. (eds.). Biochemistry and Molecular Biology of Plants. Vol. 24. American Society of Plant Physiologists, 1250-1318.
- Devarshi, A.A., Yankanchi, S.R. (2017). Ovicidal and toxic effects of certain plant extracts to the castor semilooper, *Achaea janata* L. (Noctuidae: Lepidoptera). Indian Journal of Agricultural Research, 51, 345-349.
- Elango, G., Rahuman, A.A., Kamaraj, C., Bagavan, A., Zahir, A.A. (2011). Screening for feeding deterrent activity of herbal extracts against the larvae of malaria vector *Anopheles subpictus* Grassi. Parasitology Research, 109, 15-726.
- Farag, M.R., Alagawany, M., Bilal, R.M., Gewida, A.G., Dhama, K., Abdel-Latif, H.M.R., Amer, M.S., Rivero-Pérez, N., Zaragoza-Bastida, A., Binnaser, Y.S., Batiha, G.E., Naiel, M.A.E. (2021). An Overview on the Potential Hazards of Pyrethroid Insecticides in Fish, with Special Emphasis on Cypermethrin Toxicity. Animals, 11, 12-25.
- Garcia, G.A., David, M.R., Martins, A.J., Maciel-de-Freitas, R., Linss, J., Araújo, S.C., Lima, J., Valle, D. (2018). The impact of insecticide applications on the dynamics of resistance: The case of four *Aedes aegypti* populations from different Brazilian regions. PLOS Neglected Tropical Diseases, 12, e0006227.
- Granados-Echegoyen, C.A., Chan-Bacab, M.J., Ortega-Morales, B.O., Vásquez-López, A., Lagunez-Rivera, L., Diego-Nava, F., Gaylarde, C. (2019). *Argemone mexicana* (Papaverales: Papaveraceae) as an Alternative for Mosquito Control: First Report of Larvicidal Activity of Flower Extract. Journal of Medical Entomology, 56, 261-267.
- Gorla, D. (2021). Cambio climático y enfermedades transmitidas por vectores en Argentina. Medicina, 81, 432-437.
- Hobart-Lee, M.D., Halverson, S., Ngozi, E. (2018). Mosquito-Borne Diseases. Primary Care: Clinics in Office Practice, 45, 393-407.
- Jiménez, G.S., Ducoing, H.P., Sosa, M.R. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. Revista mexicana de fitopatología, 21, 355-363.
- Kim, K.H., Kabir, E., Jahan, S.A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. Science of the Total Environment, 5, 525-535.
- Kramer, L., Styer, L.M., Ebel, G.D. (2008). A global perspective on the epidemiology of West Nile Virus. Annual Review of Entomology, 53, 61-81.
- Loha, K.M., Lamoree, M., Weiss, J.M., Boer, J. (2018). Import, disposal, and health impacts of pesticides in the East Africa Rift (EAR) zone: a review on management and policy analysis. Crop Protection, 112, 322-231.

- López-Solís, A.D, Castillo-Vera, A., Cisneros, J., Solís-Santoyo F., Penilla-Navarro, R.P., Black VI, W.C., Torres-Estrada, J.L., Rodríguez, A.D. (2020). Resistencia a insecticidas en *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) de Tapachula, Chiapas, México. *Salud Pública de México*, 62, 439.
- Maha, A.A. (2019). An Analytical Survey of Trace Heavy Elements in Insecticides. *International Journal of Analytical Chemistry*, 8150793.
- Mills, P.K. (2018). Correlation analysis of pesticide use data and cancer incidence rates in California counties. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 53, 410-413.
- Moyes, C.L., Vontas, J., Martins, A.J., Ng, L.C., Koou, S.Y., Dusfour, I. (2017). Contemporary status of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses infecting humans. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 11, 56-25.
- Muñoz-Quezada, M.T., Lucero, B., Iglesias, V., Muñoz, M.P., Achú, E., Cornejo, C., Concha, C., Grillo, A., Brito, A.M. (2016). Plaguicidas organofosforados y efecto neuropsicológico y motor en la Región del Maule, Chile. *Gaceta Sanitaria*, 30, 227-231.
- OMS. (2017). Infección por el Virus del Nilo Occidental. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/west-nile-virus>
- Pulido, M.T., Pagaza-Calderón, E.M., Martínez-Ballesté, A., Maldonado-Almanza, B., Saynes, A., Pacheco, R.M. (2008). Home gardens as an alternative for sustainability: Challenges and perspectives in Latin America. In Ulysses Paulino, Albuquerque y Marcelo Alves-Ramos (eds.), *Current Topics in Ethnobotany*, India, Research Signpost, Kerala, 55-79.
- Portillo, A., Ruiz-Arrondo, I., Oteo, J.A. (2018). Artrópodos como vectores de enfermedades transmisibles en España. *Medicina Clínica*, 151, 450-459.
- Rico-Guerrero, L., Medina-Ramos, S., Muñoz-Sánchez, C.I., Guevara-Olvera, L., Guevara-González, R.G., Guerrero-Aguilar, B.Z., Torres-Pacheco, I., Rodríguez-Guerra, R., González-Chavira, M.M. (2004). Detección de *Phytophthora capsici* Leonian en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) mediante PCR. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22, 284-289.
- Rodríguez, C., López, E. (2001). Actividad insecticida e insectistática de la chilca (*Senecio salignus*) sobre *Zabrotes subfasciatus*. *Revista Manejo Integrado de Plagas*, 59, 19-26
- Rueda, L.M. (2008). Diversidad global de mosquitos (Insecta: Diptera: Culicidae) en agua dulce. In: Balian EV, Lévêque C., Segers H., Martens K. (eds) *Evaluación de la diversidad de animales de agua dulce. Desarrollos en Hidrobiología*, (198). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8259-7_48
- Sakthivadivel, M., Thilagavathy, D. (2003). Larvicidal and chemosterilant activity of the acetone fraction of petroleum ether extract from *Argemone mexicana* L. seed. *Bioresource Technology*, 89, 213-216.
- Sharma, P., Mohan, L., Srivastava, C.N. (2009). Anti-juvenile activity of *Azadirachta indica* extract on the development and morphometry of filaria vector, *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) Say. *Parasitology Research*, 105, 193-203.
- Sotelo-Leyva, C., Salinas-Sánchez, D.O., Peña-Chora, G., Trejo-Loyo, A.G., González-Cortazar, M., Zamilpa, A. (2020). Insecticidal compounds in *Ricinus communis* L. (Euphorbiaceae) to control *Melanaphis sacchari* Zehntner (Hemiptera: Aphididae). *Florida Entomologist*, 103, 91-95.
- Tandina, F., Doumbo, O., Yaro-Alpha, S., Sékou, F., Parola, P., Robert, V. (2018). Mosquitoes (Diptera: Culicidae) and mosquito-borne diseases in Mali, West Africa. *Parasites & Vectors*, 11, 467.
- Torija-Torres, A., Huerta-De la Peña, A., Aragón-García, A. (2014). Evaluación de dos extractos vegetales y el colorante phloxine-B para la captura de la mosca del nogal de castilla, en Puebla, México. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 10(6), 9-22.
- Ulloa-García, A. (2019). Biodiversidad de mosquitos y vectores de enfermedades. *Biomédica*, 30, 103-104.
- 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. 56-70.
- Vetal, D.S., Pardeshi, A.B. (2019). Larvicidal potential of *Argemone mexicana* L. Plant extracts against *Spodoptera litura* fab. *The Pharma Innovation Journal*, 8, 698-702.
- Weaver, S.C., Reisen, W.K. (2010). Present and future arboviral threats. *Antiviral research*, 85, 328-345.
- Wilson, A.L., Courtenay, O., Kelly-Hope, L.A., Scott, T.W., Takken, W., Torr, S.J., Lindsay, S.W. (2020). The importance of vector control for the control and elimination of vector borne diseases. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 14. e0007831.
- Warikoo, R., Kumar, S. (2014). Impact of the *Argemone mexicana* stem extracts on the reproductive fitness and behavior of adult dengue vector, *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). *International Journal of Insect Science*, 6, 71-78.
- WHO. (2013). World malaria report, Geneva. World Health Organization.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241564694>