

Control de larvas de *Aedes aegypti* con extractos de *Allium sativum* y *Annona muricata* como larvicidas

Control of larvae *Aedes aegypti* with extracts of *Allium sativum* and *Annona muricata* as larvicides

Ronald A. Prada-Ardila, Sergio E. Jiménez-Umbarila,
Nelsy M. Dussán-Cárdenas y Diego T. Corradine-Mora

Recibido 13 julio 2020 / Enviado para modificación 25 abril 2021 / Aceptado 30 abril 2021

RESUMEN

Objetivo Evaluar el efecto larvicida en éter de petróleo de los extractos de *Allium sativum* (ajo) y *Annona muricata* (guanábana) sobre larvas en IV estadio de *Aedes aegypti* en condiciones de laboratorio.

Métodos Se realizaron diferentes bioensayos (tratamientos) en 6 concentraciones para *Annona muricata* y 7 concentraciones de *Allium sativum*, con cuatro repeticiones y un control. Se tuvo lecturas de mortalidad a las 2, 12, 24, 36 y 48 horas. Se validaron los datos obtenidos estadísticamente (corrección de Abbott y Análisis ANOVA). Además, se determinaron las concentraciones y tiempos letales para ambos extractos con un análisis Probit.

Resultados Se obtuvo que, en un periodo de 48 horas, el tratamiento de 500 ppm del extracto de *Annona muricata* logró una mortalidad del 97%, mientras que el tratamiento de 2000 ppm con *Allium sativum* logró alcanzar una mortalidad del 85%. El tiempo letal 50 (50% de mortalidad) para *Annona muricata*, se obtuvo en el tratamiento de 200 ppm antes de 24 horas, para el caso de *Allium sativum* fue en el tratamiento de 1200 ppm antes de 48 horas. Para el tiempo letal 90 (90% de mortalidad) para *Annona muricata*, se obtuvo en el tratamiento de 400 ppm antes de 40 horas. Para el caso de *Allium sativum*, el tiempo letal 90 no fue posible obtenerlo experimentalmente. Se determinó por medio de un modelo matemático lineal, que dio como resultado 51 horas.

Conclusión Ambas especies poseen efecto larvicida. Sin embargo, el extracto más eficiente y efectivo como larvicida es el de *Annona muricata*, lo que permite dar una alternativa natural, viable, económica y biodegradable para el control de larvas de esta especie.

Palabras Clave: *Annona allium*; *aedes aegypti*; salud pública; control biológico de vectores; control de mosquitos (*fuente: DeCS, BIREME*).

ABSTRACT

Objective To evaluate the larvicidal effect in petroleum ether of the extracts of *Allium sativum* (garlic) and *Annona muricata* (soursop) on larvae in stage IV of *Aedes aegypti* under laboratory conditions.

Methods Different bioassays (treatments) were performed in 6 factors for *Annona muricata* and 7 concentrations of *Allium sativum*, with four replications and one control. Mortality readings were taken at 2, 12, 24, 36 and 48 hours. The data obtained statistically (Abbott correction and ANOVA analysis) were validated, in addition, the concentrations and lethal times for both extracts were determined with a Probit analysis.

Results It was obtained that, in a 48 hour period, the treatment of 500 ppm of the extract of *Annona muricata* resulted in a mortality of 97%, while the treatment of 2000 ppm with *Allium sativum* reached a mortality of 85%. The lethal time 50 (50% mortality) for *Annona muricata*, was obtained in the treatment of 200 ppm within 24 hours, in the case of *Allium sativum* it was in the treatment of 1200 ppm before 48 hours. For the

RP: Ing. Ambiental y Sanitario. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

rprada63@unisalle.edu.co

SJ: Ing. Ambiental. Universidad Central. Bogotá, Colombia.

sjimenezu@ucentral.edu.co

ND: Ing. Ambiental y Sanitaria. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

ndussan59@unisalle.edu.co

DC: MDV. M.Sc. Salud Pública. Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

dtcorradinem@udistrital.edu.co

lethal time 90 for *Annona muricata*, obtain the treatment of 400 ppm before 40 hours, for the case of *Allium sativum*, the lethal time 90 (90% mortality) could not be obtained experimentally, it was determined by means of a linear mathematical model, resulting in 51 hours.

Conclusion Both species affected larvicidal effect. However, the most efficient and effective extract as a larvicide is that of *Annona muricata*, which allows giving a natural, viable, economical and biodegradable alternative for the control of larvae of this species.

Key Words: *Annona allium*; aedes aegypti; public health; biological pest control; mosquito control (source; MeSH, NLM).

La especie de mosquito *Aedes aegypti* es el vector del dengue, la fiebre amarilla, la fiebre chikungunya y el virus de Zika, que se transmiten mediante la picadura del mosquito. La Organización Mundial de la Salud menciona que son enfermedades de interés en salud pública en comunidades de gran densidad poblacional como Colombia (1,2).

La historia de este vector en Colombia fue descrita por Gast-Galvis, quien menciona que *Aedes aegypti* fue importado de África en los barcos con esclavos que venían a Cartagena. Posteriormente, al establecerse la navegación por la ruta del río Magdalena, el vector se introdujo al interior del país (3). Además, Hernández-Galvis J et ál. informan (4) que el médico santandereano Gast-Galvis en 1958, realizó un análisis epidemiológico de la fiebre amarilla en Colombia y mostro la distribución geográfica de los brotes epidémicos a lo largo del río Magdalena, que representaba el 70% de los casos, así como en la Amazonia, el Piedemonte Llanero y la cuenca del río Catatumbo.

Por ejemplo, en Colombia en los años noventa se presentaban cada año 30 000 reportes en promedio de dengue y, durante la última década, ese índice se elevó a 50 000. El 76,1% de los casos de dengue procedían de 10 departamentos: Tolima, Valle, Santander, Norte de Santander, Cundinamarca, Meta, Cesar, Huila, Antioquia y Putumayo, lo cual generó un gran impacto en la salud de la población colombiana, a causa de la falta de control y estrategias para mitigar o minimizar la reproducción del mosquito transmisor (5).

De acuerdo con lo anterior, es indispensable implementar y conservar herramientas en el control de enfermedades transmitidas por vectores, como las que transmite el *Aedes aegypti* y, más aún, cuando no se conoce una vacuna. La única forma de realizar un control efectivo es mediante la erradicación o reducción a niveles extremadamente bajos del vector, usando, la mayoría de veces, insecticidas químicos, los cuales son tóxicos para el medio ambiente y la salud del ser humano, pues contaminan cuerpos de agua, el suelo y el aire. En la actualidad los más utilizados son los siguientes: el malathion, fenitrothion, fenthion, temephos, chlorpyrifos (6-8). Sin embargo, también existen medidas de control y prevención del vector transmisor de estas enfermedades que no

afectan el medio ambiente, como el control biológico o natural, de donde surge la premisa del presente estudio.

Cada especie vegetal ha desarrollado un complejo de sustancias químicas únicas de origen natural que la protegen de sus depredadores y que ofrecen una gran variedad de principios activos (9). Por ejemplo, se ha reportado que el *Allium sativum* (ajo) tiene actividad larvicida, que está asociada a la alicina. Este principio activo provoca trastornos digestivos en el insecto que hacen que este deje de alimentarse (10).

En otras investigaciones, se ha reportado que el ajo sirve tanto como repelente efectivo contra mosquitos y mosca negra como antiparasitario. Por ejemplo, Navarro et ál. (11) estudiaron la actuación *in vitro* de sobrenadantes de licuado de *Allium sativum* frente a larvas de *Anisakis simplex*, un nemátodo que infecta una amplia variedad de peces. Los resultados obtenidos muestran una mortalidad del 100% de las larvas en 4 horas de exposición (12).

Por otro lado, la *Annona muricata* (guanábana) tiene como principio activo las acetogeninas anonáceas, que han sido implementadas como fungicidas, bactericidas, antihelmínticos, antivirales e insecticidas (11). Por ejemplo, el estudio realizado por Bobadilla (13), evaluó la efectividad de la semilla de la guanábana y chirimoya sobre larvas de IV estadio de *Anopheles sp*, lo que da como resultado el 100% de mortalidad a las 24 horas de exposición con ambos extractos a concentraciones de 0,8 y 1,20 ml/100 ml (13-15).

De acuerdo con lo anterior, en este estudio se evaluó el efecto larvicida de los extractos de éter de petróleo, a nivel laboratorio, del bulbo de *Allium sativum* (ajo) y semillas de *Annona muricata* (guanábana) sobre larvas en cuarto estadio de *Aedes aegypti*. Es de resaltar que el desarrollo normal del mosquito se da en los estados de huevos, larvas, pupas (fase acuática) y finalmente mosquitos maduros (fase aérea), en donde la fase acuática toma un valor importante, debido a que allí se encuentran las larvas en sus diferentes estados (I, II, III y IV). El IV estadio corresponde a las larvas más desarrolladas y, por ende, se realizaron los bioensayos sobre estas, ya que, al realizar un control en esta etapa larvaria, indirectamente el efecto larvicida de los extractos será efectivo para larvas menos desarrolladas (I, II y III).

MÉTODOS

Para evaluar el efecto larvicida de *Allium sativum* y *Annona muricata* sobre larvas de IV estadio de *Aedes aegypti*, se utilizó la investigación experimental en condiciones de laboratorio, desarrollada en el laboratorio de zoonosis de la Facultad del Medio ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (en Bogotá), por medio de siete procedimientos diferentes, los cuales se ejecutaron en el siguiente orden:

Obtención y crianza de larvas y adultos de *Aedes aegypti*

Se usaron huevos de mosquitos de la especie *Aedes aegypti*, de la cepa Rockefeller, proveniente del Instituto Nacional de Salud, suministrada por el laboratorio de Zoonosis de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Los huevos se introdujeron en recipientes de polipropileno, con agua a una temperatura de 27 °C, hasta alcanzar la etapa de adulto. Posteriormente, las larvas se alimentaron con concentrado para peces y, en su etapa adulta, con una dieta a base de sacarosa. Fue necesario que las hembras se reprodujeran y pusieran huevos, alimentándose por medio de hematofagia. Este procedimiento se realizó hasta obtener la cantidad necesaria de larvas en IV estadio de desarrollo para poder realizar los bioensayos.

Preparación del extracto

Se utilizaron 500 gramos de ajo y 1000 gramos de semillas de guanábana en peso seco. Las semillas se trituraron con un molino manual por separado. Luego, se pesaron 500 gramos de molido de cada uno de ellas y, por separado, se dispusieron en 3 litros de éter de petróleo. Se usó este solvente debido a que remueve sustancias no polares, por lo cual, al estar en contacto con los extractos (ajo y guanábana) posiblemente hará que estos tengan una mayor concentración de principios activos o sustancias tóxicas para las larvas (alicina y acetogeninas anonáceas) (14).

Con el fin de liberar los principios activos, la solución se dejó en reposo aproximadamente 72 horas. Posteriormente, por medio de un equipo de ultrafiltración al vacío con embudo Buchner y papel filtro número uno, se realizó el filtrado de cada solución por separado para de retirar los sólidos. Los dos extractos obtenidos se sometieron a evaporación rotatoria con un Rotaevaporador IKA RV10, a fin de evaporar y destilar el éter de petróleo y así separar cada extracto o solución madre. Las dos soluciones madre obtenidas se almacenaron en frasco ámbar y se refrigeraron para evitar cualquier tipo de cambio en sus principios activos.

Preparación de las disoluciones

En el caso del extracto de *Annona muricata*, se trabajaron concentraciones de 50, 100, 200, 300, 400 y 500 partes por millón (ppm); y para el caso de *Allium sativum*, concentraciones de 200, 300, 400, 800, 1200, 1500 y 2000 partes por millón (ppm).

Bioensayos

Los bioensayos con múltiples concentraciones fueron realizados con cuatro réplicas, cada uno acompañado con cuatro réplicas del testigo. Se usaron vasos de polipropileno, que contenían la concentración de cada extracto por evaluar y 25 larvas de IV estadio de *Aedes aegypti* en cada uno. Para los testigos, se agregó agua destilada y la misma cantidad de larvas. Cabe resaltar que a cada uno de los vasos, tanto experimentales como testigos, se les agregó concentrado para peces como fuente de alimento para las larvas y, de esta manera, se descartó que estas murieran por inanición.

Evaluación de la letalidad

Las lecturas de letalidad se realizaron a las 2, 12, 24, 36 y 48 horas de exposición. Las larvas se consideraron muertas cuando no reaccionaron al momento de ser tocadas, con un puntero metálico de punta roma en la región cervical.

Análisis estadístico

Al obtener los datos completos del tiempo, concentración y mortalidad durante cada bioensayo, se utilizó la fórmula de Abbott para corregir el porcentaje de mortalidad en función de la mortalidad de los testigos. Posteriormente, se realizaron dos análisis estadísticos: el primero, con un análisis de varianza (ANOVA), en el cual se comparan las medias de dos o más poblaciones a partir del contraste de las hipótesis, con el fin de comprobar la veracidad de esta, con ayuda del *software* de analítica predictiva (SPSS, por sus siglas en inglés). El segundo análisis fue el de Probit, el cual evaluó la dosis letal efectiva en los ensayos, calculando las concentraciones y tiempos letales 50 y 90, es decir, la mortalidad al 50% y 90% y el tiempo que se llevó a cabo para ello. Este análisis se realizó por medio de la herramienta Excel Office.

Para llevar a cabo dichos análisis, se propusieron las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula (H₀): con las concentraciones propuestas para ambos extractos, no se espera ninguna mortalidad sobre larvas de IV estadio de *Aedes aegypti*.
- Hipótesis alterna (H₁): a mayor concentración de los extractos a evaluar, se espera una mayor mortalidad sobre larvas de IV estadio de *Aedes aegypti*.

Comparación de los resultados de ambos extractos

Para determinar las diferencias entre la efectividad de la mortalidad en ambos extractos, se graficó la mortalidad acumulada de cada extracto con respecto al tiempo de exposición y se verificó su comportamiento, observando cuál fue más letal para las larvas.

RESULTADOS

Se tabularon las mortalidades como se muestra en las Tablas 1 y 2. Posteriormente, se usó la ecuación de Abbott para verificar que la mortalidad de los individuos expuestos solo se dio por las condiciones de

toxicidad de las concentraciones de los bioensayos. Esto se obtuvo a partir de los porcentajes de mortalidad de testigos y de la mortalidad en cada tratamiento, para cada extracto. Para el caso de los tratamientos con *Annona muricata*, la diferencia de mortalidad entre el grupo testigo y las concentraciones no superó el 1,9%. De manera similar, los tratamientos con *Allium sativum* no superaron el 1%.

Seguidamente, para cada una de las concentraciones evaluadas de ambos extractos, se realizó la búsqueda de los tiempos letales TL50 y TL90, por interpolación y tendencia de los puntos generados entre las variables de mortalidad vs. tiempo (Tabla 3).

Tabla 1. Mortalidad en larvas del IV estadio de *Aedes aegypti* con extracto de semillas de *Annona muricata*

Concentración tratamiento (ppm)	Número total de larvas muertas en las 4 repeticiones					
	2 horas	12 horas	24 horas	36 horas	48 horas	Total, mortalidad
Testigo 0	2	1	0	0	0	3
T1 50	4	13	11	8	3	39
T2 100	8	13	11	9	7	48
T3 200	10	20	20	17	2	69
T4 300	10	52	8	3	5	78
T5 400	4	77	7	1	4	93
T6 500	10	72	9	2	4	97

Tabla 2. Mortalidad en larvas del IV estadio de *Aedes aegypti* con extracto del bulbo de *Allium sativum*

Concentración tratamiento (ppm)	Número total de larvas muertas en las 4 repeticiones					
	2 horas	12 horas	24 horas	36 horas	48 horas	Total, mortalidad
Testigo 0	0	0	0	0	1	1
T1 200	0	0	2	1	4	7
T2 300	1	13	2	2	4	22
T3 400	1	20	5	1	5	32
T4 800	1	10	6	12	12	41
T5 1200	5	13	11	7	16	52
T6 1500	11	10	14	19	15	69
T7 2000	11	11	24	19	20	85

Tabla 3. Tiempos letales para cada concentración evaluada

Extracto	Tratamiento	Concentración (ppm)	TL50 (horas)*	TL90 (horas)**
<i>Annona muricata</i>	T1	50	NAM	NAM
	T2	100	NAM	NAM
	T3	200	24	NAM
	T4	300	24	NAM
	T5	400	10	40
	T6	500	10	20
<i>Allium sativum</i>	T1	200	NAM	NAM
	T2	300	NAM	NAM
	T3	400	NAM	NAM
	T4	800	NAM	NAM
	T5	1200	48	NAM
	T6	1500	36	NAM
	T7	2000	30	NAM

* TL50 (horas): Tiempo en el cual alcanza 50% de la mortalidad de las larvas; ** TL90 (horas): Tiempo en el cual alcanza 90% de la mortalidad de las larvas; NAM: No alcanzo el 50% o 90% de mortalidad de las larvas.

Posteriormente, se realizó un análisis ANOVA con el fin de validar alguna de las hipótesis propuestas y confirmar la tendencia de los datos experimentales. Para

ello, se procedió a realizar varios supuestos: supuesto de normalidad, supuesto de independencia, supuesto de equivalencia entre grupos y homocedasticidad u

homogeneidad de las varianzas. De ellos, se debe cumplir por lo menos con tres.

El supuesto de normalidad $K-S$ (kolmogorov-smirnov) arrojó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos realizados con las concentraciones 50, 100 y 200 ppm de *Annona muricata* y en concentraciones de 200, 300, 400, 800, 1200, 1500 y 2000 ppm para *Allium sativum* con respecto a los testigos, ya que se obtiene un valor de “p” (Sig.) mayor a 0,05, lo que indica que todos los datos obtenidos se distribuyen normalmente en las diferentes concentraciones. Por otro lado, en las concentraciones de 300, 400, y 500 ppm con el extracto de *Annona muricata* con respecto al testigo su valor de “p” (Sig.) es menor a 0,05, lo que indica que a altas concentraciones los datos de mortalidad no llevan una tendencia normal y se dieron mucho más rápido que como se mostraba en concentraciones menores.

Seguidamente, se calculó el supuesto de independencia de las observaciones, el cual se cumplió debido a que cada tratamiento es independiente, puesto que se trabajó con diferentes individuos (larvas) y con diferentes concentraciones en tiempos establecidos de exposición distintos.

Adicionalmente, se realizó el supuesto de equivalencia entre grupos, el cual se cumplió ya que en los diferentes tratamientos se trabajó con la misma cantidad de individuos (larvas) expuestos a cada uno de los extractos.

Para el análisis de homogeneidad de varianzas de Levene, se cumplió para las pruebas realizadas con los tratamientos con el extracto de *Annona muricata*; sin embargo, para los tratamientos con el extracto de *Allium sativum* no se cumplió y es por esta razón que no se tuvo

en cuenta en este análisis estadístico; sin embargo, como ya se había cumplido con los tres supuestos de la prueba del ANOVA, tuvo una validez estadística.

Finalmente, se ejecutó la prueba ANOVA unifactorial para los datos obtenidos de los extractos de *Annona muricata* y *Allium sativum*, los cuales dieron un valor de Sig = 0,001, siendo menor a 0,05 para ambos. Si esta significancia era menor a 0,05, se rechazaba la hipótesis nula (H_0) y se aceptaba la hipótesis alterna (H_1) (16), es decir, a mayor concentración de los extractos a evaluar, se espera una mayor mortalidad sobre larvas de IV estadio de *Aedes aegypti*.

El cálculo de las concentraciones letales CL_{50} y CL_{90} se obtuvo por medio de la tendencia de los puntos generados entre el total de muertes de larvas y el aumento de las concentraciones para cada extracto. Cabe mencionar que, para los datos de *Annona muricata*, la tendencia fue logarítmica. Por el contrario, para los datos de *Allium sativum*, su tendencia fue lineal, como se muestra en las Figuras 1 y 2.

Por medio de cada ecuación obtenida de cada modelo de regresión, se calcularon las dosis letales, obteniendo para *Annona muricata* una dosis letal del 50% (CL_{50}) de 90,2 ppm y dosis letal del 90% (CL_{90}) de 412,7 ppm. De manera similar, para *Allium sativum* dosis letal del 50% (CL_{50}) de 1067,5 ppm y dosis letal del 90% (CL_{90}) con valor de 2093,0 ppm.

Finalmente, se muestra el porcentaje de mortalidades vs. la concentración de ambos extractos, como se observa en la Figura 3, donde se visualizó el comportamiento y efectividad de cada uno.

Figura 1. Distribución y tendencia de los datos del extracto de *Annona muricata* (guanábana) para el cálculo de CL_{50} y CL_{90}

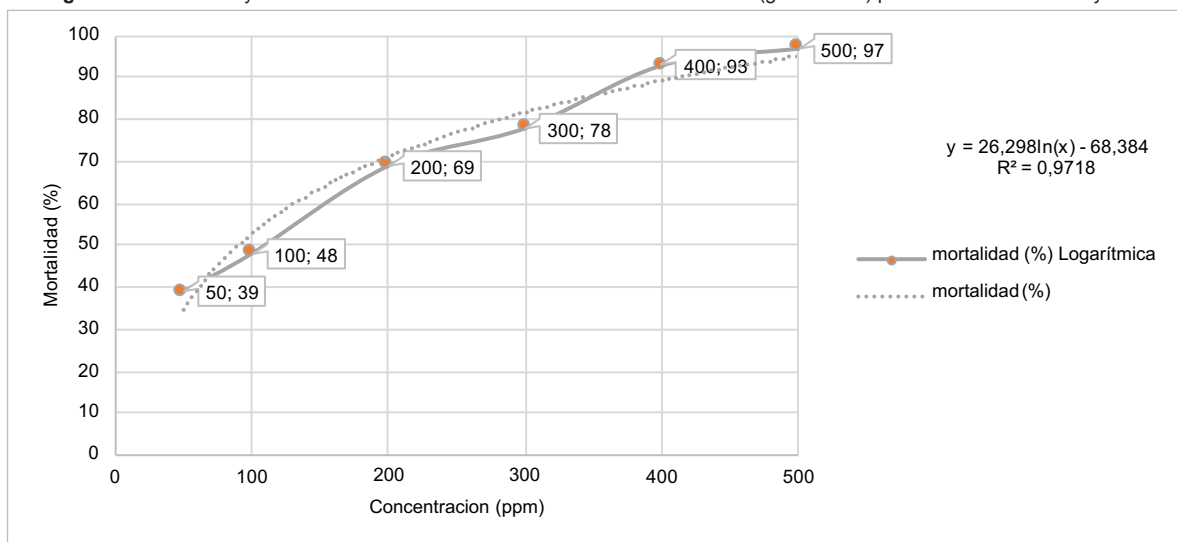


Figura 2. Distribución y tendencia de los datos del extracto de *Allium sativum* (ajo) para el cálculo de CL50 y CL90

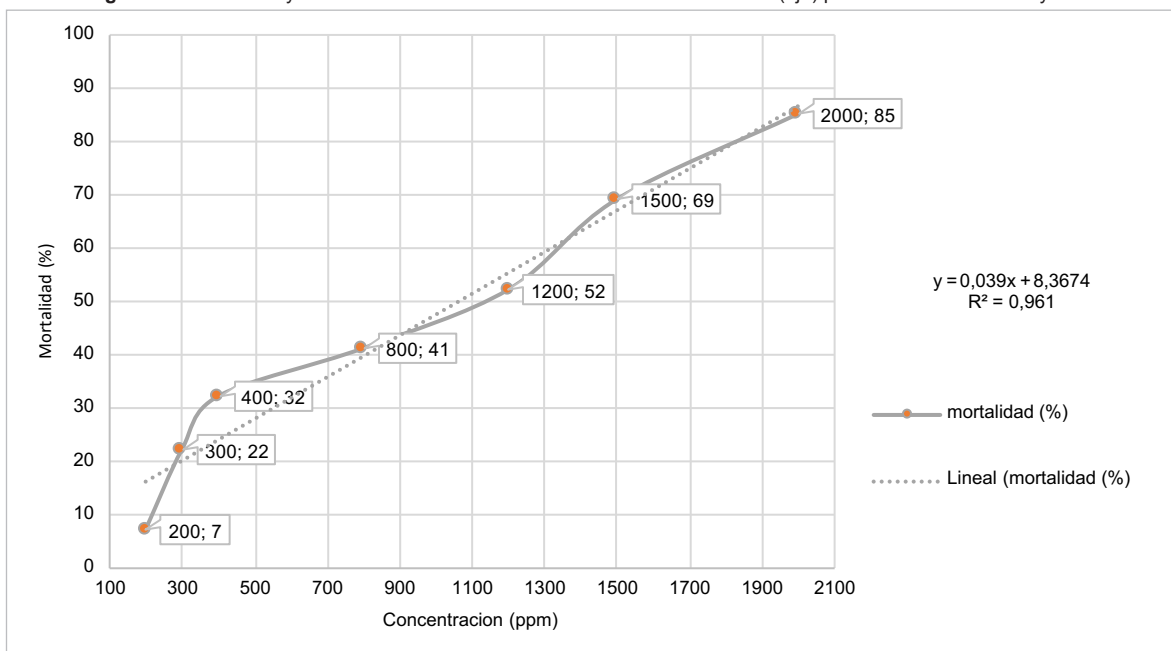
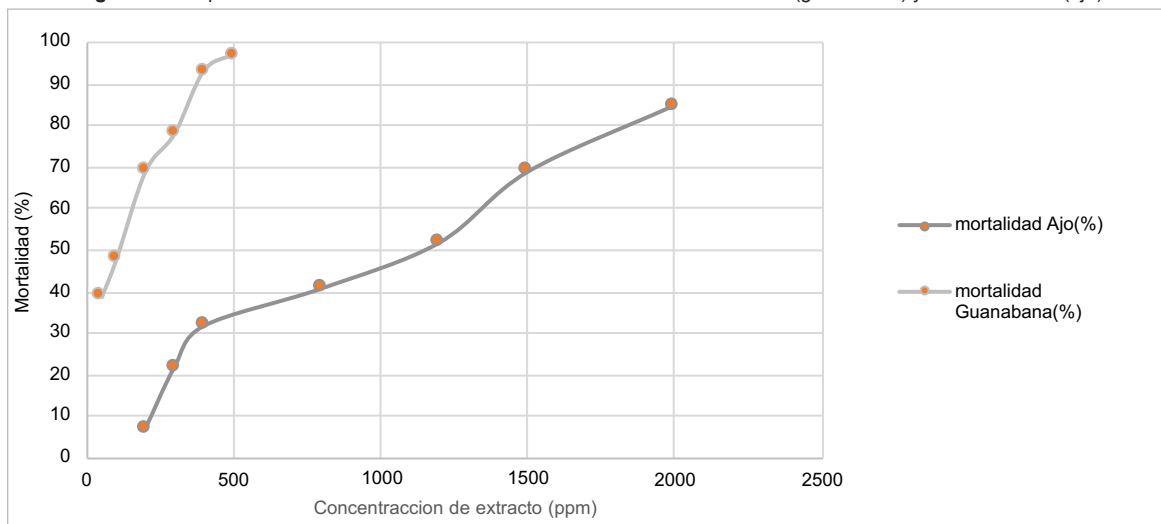


Figura 3. Comparación de la efectividad entre los extractos de *Annona muricata* (guanábana) y *Allium sativum* (ajo)



DISCUSIÓN

Como se observa en las Tablas 1 y 2, se presentó la mortalidad de 4 larvas en los testigos en los dos extractos, posiblemente por una causa natural o como resultado del estrés por la manipulación al realizar los conteos e introducción en los vasos plásticos con pipeta. Por otro lado, se observa que, a mayor concentración, el porcentaje de mortalidad aumenta. Para el extracto de *Annona muricata*, los resultados demuestran la toxicidad del extracto en éter de petróleo y su eficiencia en la eliminación de las larvas de estadio IV de *Aedes aegypti*. Sin embargo, la toxicidad del extracto en éter de petróleo de *Allium*

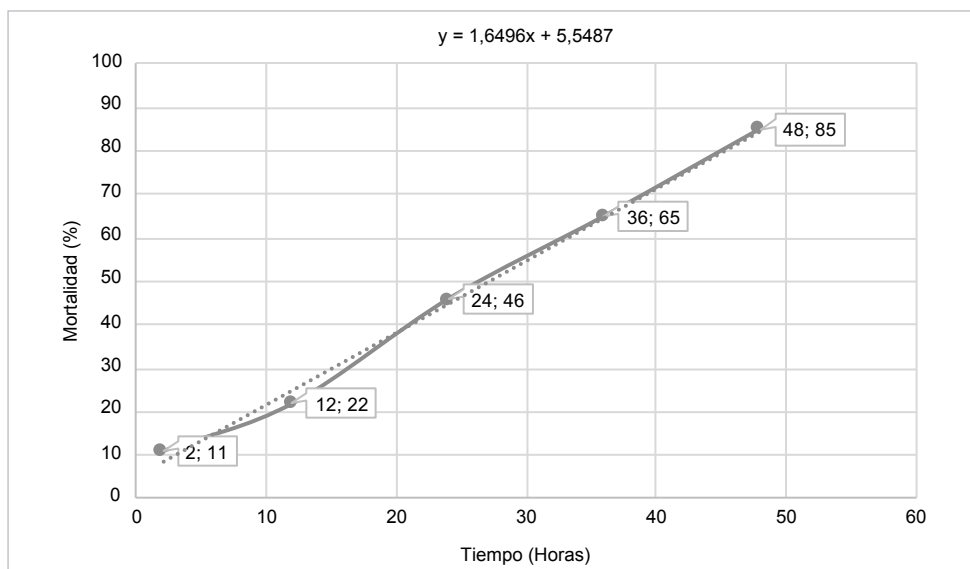
sativum mostró una menor eficiencia en la mortalidad de estas larvas, ya que fue necesario tener concentraciones altas; la mayor para este extracto correspondió a 2000 ppm, en comparación con la de *Annona muricata*, que fue de 500 ppm.

Como hubo mortalidad en los testigos, se realizó el ajuste por medio de la ecuación Abbott, la cual arrojó porcentajes muy bajos, lo que indica que la mortalidad del testigo es insignificante y que la mortalidad de estas larvas ocurrió por causas ajenas a la toxicidad del extracto y no tiene ninguna influencia sobre las mortalidades en las diferentes concentraciones.

Como se mencionó anteriormente, el extracto *Allium sativum* necesitó de concentraciones altas, por lo cual no fue posible determinar experimentalmente el TL₉₀, ya que el tratamiento 7 correspondió a una concentración de 2000 ppm. Antes de las primeras 30 horas tuvo mortalidad del 50% (TL₅₀). Para el TL₉₀, se realizó una regresión lineal,

como se indica en la Figura 4, dando un valor de 51 horas para alcanzar el 90% de la mortalidad con esta concentración. Con lo anterior, se concluye que este extracto tiene poca eficiencia como larvicida de *Aedes Aegypti*, ya que necesita de lapsos de tiempos muy prolongados y concentraciones altas para tener una alta mortalidad.

Figura 4. Tiempos letales (TL₅₀ -TL 90) en *Allium sativum* (ajo) con concentración de 2000 ppm



Por otro lado, para el análisis de varianzas (ANOVA) entre grupos experimentales, se utilizó la hipótesis nula (H₀) e hipótesis alterna (H₁), las cuales se mencionaron en un principio. Esto se realizó para demostrar la existencia de diferencias significativas entre las mortalidades de las concentraciones evaluadas, donde se comparó la varianza entre los distintos tratamientos frente a la hipótesis alternativa de que, por lo menos, uno de los tratamientos difiere de los demás en cuanto a su valor esperado, lo cual hace que esta hipótesis sea válida estadísticamente. Para este estudio, se obtuvo un valor menor de 0,05, lo que indica que hay diferencias entre las varianzas de mortalidad de cada una de las concentraciones definidas en los 5 momentos de conteo; así, estadísticamente, la mortalidad de las larvas en los diferentes tiempos de lectura es diferente, pues se evidencia una discrepancia entre varianzas a causa de que los cinco tiempos de conteo afectaron de diferente manera las larvas; y a una mayor concentración del extracto a evaluar (*Annona muricata* y *Allium sativum*) se esperaba una mayor mortalidad sobre larvas de IV estadio de *Aedes aegypti*, así se validó estadísticamente la hipótesis alterna (H₁).

Por último, se realizó la comparación entre ambos extractos, como se muestra en la Figura 3, donde se observa que el extracto más efectivo es el de *Annona muricata* debido a que logró una mortalidad acumulada del 97%

en una concentración de 500 ppm, mientras que en el extracto de *Allium sativum* solamente logró una mortalidad acumulada del 85% en una concentración de 2000 ppm. Cabe mencionar que, las cantidades de producto necesarias para tener dicha mortalidad fueron bajas.

Como se evidenció en este estudio, los larvicidas de origen botánico están constituidos por ingredientes activos de diversa naturaleza química, por lo cual se recomienda realizar un análisis químico cualitativo y cuantitativo de los extractos de *Allium sativum* y *Annona muricata*, con el fin de conocer con mayor precisión las concentraciones de principios activos. Además, es recomendable probar las posibles consecuencias y efectos en otras especies de importancia pública con estos extractos para evidenciar su comportamiento.

Se concluye que el extracto de semillas de *Annona muricata* (guanábana) tiene propiedades larvicidas sobre larvas de IV estadio de *Aedes aegypti*, de forma tal que es una alternativa de control natural para el vector transmisor de diversas enfermedades, debido a que, con la concentración mínima utilizada y a partir de 2 horas de exposición, ya se evidencia actividad biolarvicida. Por otra parte, para el extracto del bulbo de *Allium sativum* (ajo) en concentraciones altas y lapsos de tiempo prolongados, puede ser una buena alternativa de control natural en larvas del mosquito en estudio.

Se determinó por medio de las dosis letales CL 50 de 90,16 ppm y el CL 90 de 412,67 ppm que el extracto más efectivo es el extracto de *Annona muricata*; así mismo, gracias a los valores de los tiempos letales, se evidencia que en la concentración de 500 ppm del extracto *Annona muricata*, el tiempo letal de la mortalidad al 50% se obtuvo antes de 10 horas y el tiempo letal de mortalidad al 90% se obtuvo antes de las primeras 20 horas. Como consecuencia, se concluye que el extracto más eficiente es el de *Annona muricata*. En cuanto al extracto de *Allium sativum* (ajo), el tiempo letal de mortalidad al 50% se obtuvo cerca de las 30 horas de exposición y el tiempo letal de mortalidad al 90% no fue posible obtenerlo. Este se determinó por medio del comportamiento de las mortalidades y se hizo un modelo matemático para poder encontrarlo, obteniendo un tiempo letal de mortalidad al 90% de 51 horas. Por esta razón, este extracto tiene poca eficiencia como larvicida, ya que necesita de lapsos muy prolongados para tener una alta mortalidad.

Cabe resaltar que, aunque el extracto de *Allium sativum* tiene eficiencia y efectividad más baja en comparación con el de *Annona muricata*, sí logró influenciar sobre el desarrollo normal del ciclo vital, lo cual retrasó el paso de larva a pupa. Esto fue posible evidenciarlo por medio de la observación, ya que las larvas presentaban un deterioro en su morfología en comparación con el tratamiento testigo, haciendo que estas sufrieran un retraso considerable en su ciclo de vida ♣

Agradecimientos: Al laboratorio de Zoonosis de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia), por el apoyo logístico a esta investigación, y a la ingeniera Nelsy Dussan, por la estructuración y redacción de este artículo.

Conflictos de intereses: Ninguno.

REFERENCIAS

- Ministerio de salud y protección social. Plan nacional de respuesta frente a la introducción del virus chikungunya en Colombia [Internet]. Bogotá: República de Colombia; 2014 [cited 2020 Abril 3]. <https://bit.ly/3764Xnu>.
- Organización mundial de la salud. ¿Puede un solo mosquito transmitir varias enfermedades? [Internet]. Geneva: WHO; 2014 [2020 Abril 3]. <https://bit.ly/3vxH81p>.
- Padilla J, Rojas D, Sáenz-Gómez R. Dengue en Colombia: Epidemiología de La Reemergencia a La Hiperendemia [Internet]. 1st ed. Bogotá: Ministerio de Salud; 2012 [cited 2020 Abril 3]. <https://bit.ly/38lh3DG>.
- Hernández-Galvis J, Pizarro AB, Cuestas A, Castañeda-Cardona C, Rosselli D. La fiebre amarilla en Colombia. Acta Med Perú. 2018; 35(1):55-9. <http://dx.doi.org/10.35663/amp.2018.351.517>.
- Zambrano P. Protocolo de Vigilancia en Salud Pública: Dengue [Internet]. Bogotá: Instituto Nacional de Salud; 2014 [cited 2020 Abril 3]. <https://bit.ly/3s60VTt>.
- Rose R. Pesticides and Public Health: Integrated Methods of Mosquito Management. Emerging Infectious Diseases [Internet]. 2001 [cited 2020 Abril 3]; 7(1):17-23. <https://bit.ly/co/BUiL>.
- Devine G, Dominique E, Ogusuku E, Furlong M. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. Rev Peru Med Exp Salud Publica [Internet]. 2008 [cited 2020 Apr 8]; 25(1):74-100. <https://bit.ly/35kXCQd>.
- World Health Organization. Instructions for determining the susceptibility or resistance of mosquito larvae to insecticides [Internet]. Geneva: WHO; 1981 [cited 2020 Apr 8]. <https://bit.ly/3Llulif>.
- Restrepo-Alape L, Toro-Zapata H, Muñoz-Loaiza A. Modelo matemático para el control químico con resistencia del *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). Rev. Salud Pública (Bogotá). 2010; 12(6):1033-41. <http://dx.doi.org/10.1590/S0124-00642010000600015>.
- Arnason J, Philogene B, Morand P. Insecticides of Plant Origin. (Arnason J, Philogene B, Morand P, eds.). USA: America Chemical Society; 1998. USA: America Chemical Society; 1998.
- Navarro C, González P, Hierro I, Pérez P, Adela A. Actividad de un licuado de *Allium sativum* (cultivar morado) frente a larvas L3 de *Anisakis simplex* s. l. Rev Fitoter. 2005; 5(2):149-52.
- Fenwick GR, Hanley AB, Whitaker JR. The genus *Allium*-part 1. Crit Rev Food Sci Nutr. 1985;22:3:199-271. <https://doi.org/10.1080/10408398509527415>.
- Bobadilla-Álvarez M, Zavaleta-Espejo G, Gil-Franco F, Pollack-Velásquez L, Sisniegas-Gonzales M. Efecto bioinsecticida del extracto etanólico de las semillas de *Annona cherimolia* Miller "chirimoya" Y *A. muricata* Linneaus "guanábana" sobre larvas del IV estadio de *Anopheles* sp. Rev peru biol [Internet]. 2002 [cited 2021 Mar 28];9(2):64-73.
- Robledo-Reyes P, Gonzales R, Jaramillo G, Restrepo J. Evaluación de la toxicidad de acetogeninas *Annonaceae* sobre ninfas de *Periplaneta americana* L. (dictyoptera: blattidae). Bol del Mus Entomol la Univ del Val [Internet]. 2008 [cited 2020 Mar 5];9(1):54-61. <https://bit.ly/3JVppFO>.
- Álvarez-Londoño J, Duarte-Gandica I, Aguirre-Obando O, Jiménez-Montoya J. Control del vector del dengue utilizando fracciones etéreas de dos plantas (*Asteraceae*) como larvicidas. Rev salud pública [Internet]. 2013 [cited 2020 Apr 8]; 15(2):227-36. <https://bit.ly/3NxxkRrD>.
- Wayne W. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ta Edición. Mexico: Limusa S.A. De C.V; 2004.