

Caracterización del aceite esencial de *Curcuma longa* L. Y actividad insecticida frente *aedes aegypti*

Characterization of the *Curcuma longa* L. Essential oil and its insecticidal activity against *aedes aegypti*

Dr. C. Quirino Arias-Cedeño^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6024-9877>

Dr. C. Maureen Leyva-Silva² <https://orcid.org/0000-0002-4225-0150>

Dr. Edilfredo Avila-Bornot¹ <https://orcid.org/0000-0001-7320-861X>

Dr. C. Holger Feist³ <https://orcid.org/0000-0002-7359-2524>

Dr. C. Peter Langer³ <https://orcid.org/0000-0002-7665-8912>

¹Centro de Estudios de Química Aplicada, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Granma. Granma, Cuba

²Departamento de Control de Vectores, Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí. La Habana, Cuba

³Departamento de Química Orgánica, Instituto de Química. Universidad de Rostock, Alemania

*Autor para la correspondencia. correo electrónico: qariasc@udg.co.cu

RESUMEN

Con la finalidad de determinar el potencial insecticida frente *Aedes aegypti* del aceite esencial de los rizomas de *Curcuma longa* L., este fue extraído por hidrodestilación y su calidad evaluada por parámetros organolépticos y físico-químicos como índice de refracción (1,496 9), rotación óptica (-33,412), densidad (0,937 3 g/mL) y sus espectros de absorción ultravioleta e infrarrojo. El aceite evidenció actividad larvicida significativa con CL₅₀ inferior a 100 mg/L y por las metodologías de botellas y de papeles impregnados produjo el 100 % de derribo de los mosquitos adultos a dosis de 50 mg/mL. El procesamiento de los datos de los bioensayos se realizó mediante la prueba Probit del programa estadístico SPSS (versión 11 para Windows). Los resultados obtenidos constituyen la primera caracterización del aceite esencial de *C. longa cultivada* en la región oriental cubana y su actividad insecticida una alternativa ecológica y efectiva para el control de mosquitos *Aedes aegypti*.

Palabras clave: *curcuma longa*; aceite esencial; actividad larvicida; actividad adulticida; *Aedes aegypti*.

ABSTRACT

In order to determine the insecticidal potential against *Aedes aegypti* of the essential oil of the rhizomes of *Curcuma longa* L., this was extracted by hydrodistillation and its quality evaluated by organoleptic and physicochemical parameters such as refractive index (1,4969), optical rotation (-33,412), density (0,937 3 g/mL) and its ultraviolet and infrared absorption spectra. The oil showed significant larvicidal activity with LC₅₀ lower than 100 mg/L and by the methodologies of bottles and impregnated papers it produced 100% of the knockdown of adult mosquitoes at doses of 50 mg/mL. The processing of the bioassay data was performed using the Probit test of the SPSS statistical program (version 11 for Windows). The results obtained constitute the first characterization of the essential oil of *C. longa* cultivated in the eastern Cuban region and its insecticidal activity, an ecological and effective alternative for the control of *Aedes aegypti* mosquitoes.

Keywords: *curcuma longa*; essential oil; larvicidal activity; adulticidal activity; *Aedes aegypti*.

Recibido: 12/7/2020

Aprobado: 11/9/2020

Introducción

Los mosquitos de la especie *Aedes aegypti* L. (Díptera: *Culicidae*) son los principales vectores de transmisión al hombre de los virus del Dengue, Zika y las fiebres Chikungunya y Amarilla. Esta especie, es actualmente endémica en más de 100 países y está presente en las zonas que vive más de la mitad de la población mundial.^(1,2) A finales del 2019, en la región de las Américas se reportó más de 3.1 millones de casos de dengue, el mayor número en la historia, y solo por esta enfermedad más de 1500 defunciones. Esta situación implica un globalizado impacto negativo sobre diversas comunidades en el mundo.⁽³⁾

En Cuba, la especie *A. aegypti* se encuentra diseminada en todo el país, sobre todo en los sitios urbanizados asociados a la actividad humana que genera la disponibilidad permanente de sus criaderos potenciales.⁽⁴⁾ La Organización Panamericana de la Salud (OPS) como parte de su gestión integrada para la prevención y control del dengue recomienda el uso de diversas estrategias para reducir las altas densidades de mosquitos.^(3,5) El uso extensivo del control químico, ha favorecido el desarrollo de resistencia fisiológica de los vectores a los insecticidas y efectos secundarios duraderos a organismos y el ambiente. Por consiguiente, es necesario identificar nuevas y efectivas alternativas de insecticidas de mayor especificidad y ecológicamente más seguros.^(5,6)

La estrategia del uso de insecticidas botánicos es una alternativa de control accesible y de bajo costo, debido a que diversas especies vegetales con actividad reconocida crecen con facilidad o son endémicas de áreas geográficas en las que se desarrolla esta especie de mosquito. Además,

la obtención de estos bioproductos no requiere de metodologías complejas, tienen la ventaja de ser más biodegradables que los sintéticos y no afectar la fauna benéfica. La actividad insecticida de aceites esenciales (AE) aislados de plantas aromáticas para el control vectorial ha sido demostrada y son alentadores los efectos ovicidas, larvicidas, reguladores del crecimiento, adulticida-repelentes evidenciados frente a poblaciones de mosquitos *A. aegypti*.^(7,8)

Entre las plantas aromáticas con acción insecticida se encuentra la *Curcuma longa* L., especie herbácea, rica en aceite esencial en sus rizomas, perteneciente a la familia *Zingiberaceas*. Esta especie, originaria del Sudeste de Asia se ha extendido a la mayoría de los países tropicales de América, África y las islas del Pacífico. Sus rizomas han sido usados tradicionalmente como fuente de colorantes para alimentos, cosméticos, textiles y por sus muy apreciadas propiedades medicinales. El mayor productor, consumidor y exportador de *C. longa* es la India.^(9,10) En Cuba, actualmente el cultivo y producción de *Curcuma* se ha extendido a todas las provincias en condiciones de agricultura urbana y los rendimientos en plantas provenientes de cultivo de tejidos fueron superiores en comparación con las propagadas por el método tradicional, lo que favorece la necesaria disponibilidad de la especie.⁽¹¹⁾

Curcuma longa es la especie más investigada del género *Curcuma*. Estudios realizados en diversas regiones geográficas del mundo han demostrado que el contenido y composición del AE de los rizomas de *Curcuma longa* varía con genotipos, variedades, condiciones climatológicas, condiciones de cultivo, madurez y almacenaje de la especie; así como con los métodos de secado y extracción del aceite, entre otros factores.^(10,12-15) Reportes de la composición química de los componentes mayoritarios en estudios realizados en diferentes regiones de un mismo país, muestran variaciones significativas.^(12,14,15) Por lo tanto, el análisis químico se convierte en una herramienta particularmente necesaria para demostrar la calidad del AE y su relación con la actividad biológica.

El AE de *C. longa* es una mezcla compleja y muy variable de compuestos orgánicos volátiles en concentraciones muy diferentes. La caracterización físico-química del AE de los rizomas de *Curcuma longa* L. cultivada en la región oriental de Cuba no ha sido reportada y considerando la demanda de productos naturales con acción insecticida, inocuos o pocos invasivos que puedan contribuir al control integral de este vector, fue objetivo determinar sus parámetros físico químicos y la potencial actividad insecticida (larvicida y adulticida) frente a poblaciones de mosquitos *A. Aegypti*.

Materiales y métodos

El trabajo experimental se realizó en los laboratorios de Productos Naturales del Centro de Estudios de Química Aplicada (CEQA) de la Universidad de Granma, de Química Orgánica del Instituto de Química de la Universidad de Rostock en Alemania y de Control Químico de Vectores del Instituto de Medicina Tropical “Pedro Kouri”(IPK), en La Habana, Cuba.

El material vegetal de *Curcuma longa* L. se recolectó de forma aleatoria, en áreas del Parque Nacional Sierra Maestra, de la provincia Granma, en marzo de 2019, a temperatura de 23 °C y fue

clasificado con el objetivo de eliminar la parte del material que no reunía las condiciones óptimas para el estudio. Los rizomas fueron desinfectados con agua potable e hipoclorito de sodio (0,1 %) y posteriormente cortados y triturados. Para la identificación de la especie se herborizó un ejemplar representativo que fue depositado en la colección del Departamento de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Granma (UDG H 012).

El proceso de extracción del AE de los rizomas frescos de *C. longa* se realizó por hidrodestilación en un aparato tipo Clavenger. El aceite fue colectado en diclorometano, separado y secado sobre sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4). El disolvente fue separado del AE a temperatura de 40 °C y presión atmosférica en un rotoevaporador IKA RV10, de fabricación alemana, hasta su total eliminación. El AE fue medido para calcular el rendimiento porcentual (masa/masa) y reportado como el promedio de los rendimientos de tres extracciones sucesivas. El AE extraído fue conservado en frascos ámbar a temperatura de 4 °C.

La calidad del AE se evaluó mediante los parámetros organolépticos y químico – físicos. El índice de refracción (n_D^{20} , 20 °C) fue determinado en un equipo KRÜSS, modelo AR-4, la rotación óptica (C:1, 24 °C, CHCl_3) medida en tubos de 2 cm de largo en un polarímetro GYROMAT-HP, modelo DR. KERNCHEN y la densidad relativa expresada en g/mL determinada por picnometría, utilizando un micro picnómetro BRABD WERTHEIM de 1 ml a la temperatura de 22 °C. Todos los resultados se reportaron como la media de tres mediciones sucesivas. Los perfiles de los espectros ultravioleta (UV-vis) e infrarrojo (IR) fueron realizados en equipos Perkin-Elmer Lambda 2UV-Spectrometer y 380 FT-IR Spectrometer, respectivamente. Los espectros UV fueron obtenidos de disoluciones de etanol utilizando celdas de cuarzo de 1 cm de espesor y los espectros IR registrados en bromuro de potasio. Todos los equipos usados son de procedencia alemana.

Para evaluar la actividad insecticida, los bioensayos se realizaron en dos poblaciones de mosquitos *A. aegypti*; la población Rockefeller, cepa de referencia susceptible a insecticidas suministrada por el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) de San Juan, Puerto Rico y la población Marianao 2013, cepa colectada en los estados de larva y pupa, en un tanque bajo que contenía Temefos, del área de salud Finlay, municipio Marianao, La Habana, Cuba, en el año 2013 durante una etapa intensiva de control vectorial.

La actividad larvicida del aceite esencial se determinó según la metodología de la OMS.⁽¹⁶⁾ Se prepararon disoluciones etanólicas de diferentes concentraciones de manera que al añadir 1 mL en 99 mL de agua de clorinada, se lograron concentraciones finales que oscilaron entre 8 y 150 mg/L. Por cada disolución evaluada, se utilizaron 125 larvas de tercer estadio tardío o cuarto temprano distribuidas en un control y cuatro réplicas a razón de 25 larvas por recipiente. Se utilizó como control positivo Temefos grado técnico y como control negativo 1ml de etanol en 99 mL de agua. Transcurridas 24 h de añadir las diferentes disoluciones del aceite esencial se determinó la mortalidad. Se tomó como criterio de mortalidad; la ausencia de nado, incapacidad para flotar y la inmovilidad de las larvas ante el estímulo de un alfiler entomológico. Las concentraciones letales 50 (CL_{50}) y 90 (CL_{90}) se calcularon teniendo en cuenta el número de individuos muertos por concentración.

Los bioensayos para determinar la actividad adulticida fueron realizados por dos métodos diferentes, la metodología de botellas impregnadas siguiendo el protocolo del Centro para el

Control de Enfermedades (CDC) ⁽¹⁷⁾ modificado por la utilización de botellas de vidrio de 250 mL de capacidad con tapa esmerilada ⁽¹⁸⁾ y la metodología de papeles impregnados de la Organización Mundial de la Salud (OMS).⁽¹⁹⁾

Mediante la metodología de botellas impregnadas el tiempo diagnóstico (TD) se estableció para 30 min según CDC /17/. Se aplicó 1 mL de las disoluciones de los aceites a diferentes concentraciones a cada botella y el control se impregnó con un 1mL de acetona. Las botellas se cubrieron con papel de aluminio culminada la impregnación y se taparon transcurridas 24 h. Para los bioensayos se colocaron 15 hembras de tres días de edad en cada botella, comenzando por el control. Durante 1 h los individuos se observaron y contabilizó el número de derribados cada 5 min. Fueron considerados muertos aquellos mosquitos que no pudieron volar cuando se movía la botella con suavidad o los que se mantuvieron inmóviles en el fondo de la botella.

Para determinar la actividad adulticida mediante papeles impregnados de soluciones del aceite esencial se impregnaron papeles de filtro (12 x 15 cm) con 2 mL de disoluciones cetónicas a igual concentración que las utilizadas con las botellas. En cada tubo se colocaron en su interior 20 hembras de 3 días de edad. Se expusieron por un período de 1 h y posteriormente los mosquitos adultos se transfirieron a tubos de reposo y mantenidos en posición vertical por 24 h, según metodología de la OMS.⁽¹⁹⁾

En ambos métodos se utilizó 50 mg/mL de las disoluciones del AE como dosis diagnóstica y se conformaron para el estudio un grupo control y 4 réplicas de cada población de mosquitos por concentración a evaluar. Además, como control positivo se utilizaron papeles impregnados con malation al 5 % por ser la dosis diagnóstico más alta que describen los informes de la OMS. Los tiempos de derribo que provocaron el 50 y el 90 % de derribo (TD₅₀ y TD₉₀) para cada población fueron calculados con el número de individuos derribados cada 5 minutos, usando la dosis mínima que provocó el 100 % de derribo a los 30 min.

Las concentraciones letales (CL₅₀ y CL₉₀) y tiempos de derribo (TD₅₀ y TD₉₀) y otros parámetros calculados posterior a la exposición de los aceites esenciales en estudio sobre las poblaciones de *Ae. Aegypti* se obtuvieron mediante la prueba Probit del programa estadístico SPSS (versión 11 para Windows). A todos los datos obtenidos se le comprobó la normalidad por la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogenidad de varianza según Bartlett, se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple y comparación múltiple de medias según la prueba paramétrica de Tukey a una probabilidad de error al 1 % ($p < 0,01$).

Resultados y discusión

El AE de los rizomas frescos de *Curcuma longa* L. fue extraído por hidrodestilación, uno de los métodos más utilizados.^(12,13,15) Los compuestos volátiles fueron colectados en diclorometano, para evitar la formación de emulsiones con el agua y solubilizar los componentes menos volátiles. El tiempo de extracción fue de tres horas, incrementos de tiempos no provocaron aumentos significativos del rendimiento y pueden inducir la oxidación de componentes del AE disminuyendo la calidad del mismo.

Determinación de los parámetros químico-físicos del aceite esencial de *C. longa*

La técnica usada para la extracción del AE garantizó eficiencia y rendimiento (Tabla 1), similar al reportado por Usan *et al.* ⁽¹²⁾ en Nigeria (1,24 %) y superior a los reportados por éste método para la especie por Chowdry *et al.* en Bangladesh ⁽¹⁵⁾, Awasthi *et al.* en la India ⁽²⁰⁾; así como por Torres *et al.* para aceite de rizomas de *C. longa* cultivados en la región oriental de Cuba, pero en la zona del Valle del Cauto.⁽²¹⁾

Tabla 1 - Rendimiento y parámetros químico-físicos del AE extraído de los rizomas de *Curcuma longa* L.

Aceite Esencial Especie	Rendimiento (%, m/m)	Índice de refracción (n_{20D} , 20 °C)	Rotación óptica (C:1,24 °C, CHCl ₃)	Densidad (g/mL) T: 23 °C
<i>Curcuma longa</i>	1,20	1,496 9	-33,412	0,937 3

El AE es un líquido oleoso, de aspecto claro y transparente, de color amarillo muy tenue, olor fuerte penetrante y textura característica de aceite de plantas aromáticas. Estas propiedades organolépticas son evidencia de buena calidad y de que no se produjeron procesos de oxidación natural durante el proceso de extracción.

El índice de refracción determinado es una magnitud que está estrechamente relacionada con la composición química y su valor cambia si el AE se diluye o mezcla con otras sustancias; por lo tanto, es considerado una medida de la calidad y un parámetro que ayuda a controlar la adulteración del mismo.

El AE de *C. longa* es levógiro como muestra el valor de la rotación óptica en la tabla 1. Es ligeramente menos denso que el agua y demostró buena solubilidad en disolventes orgánicos; en disolventes poco polares como éter de petróleo y diclorometano, medios como el acetato de etilo y polares como la acetona, el etanol y mezclas acuoetanólicas. Este patrón de solubilidad es típico de los aceites de alto contenido de constituyentes oxigenados en su composición, como pueden ser los sesquiterpenos oxigenados.^(9,10)

En la figura 1, se muestra el perfil de intensidad (absorbancia, A) / posición (longitud de onda, $\lambda_{\text{máx}}$, en nm) del espectro de UV-Vis del AE, caracterizado por una banda de máxima absorción e intensidad media a 237,2 nm que puede ser asociada a las transiciones electrónicas solapadas de varios componentes con anillos aromáticos y con enlaces dobles carbono-carbono, como monoterpenos y sesquiterpenos en los que se producen transiciones de tipo $\pi \rightarrow \pi^*$, esta banda por su intensidad puede ser usada para realizar determinaciones semicuantitativas y ofrecer para el análisis químico valores proporcionales a su concentración; así como podría ser útil para estudios de estabilidad.

La mayor intensidad de absorción de las transiciones antes referidas está relacionada directamente con la mayor abundancia relativa estimada para los compuestos oxigenados

conjugados y que ha sido reportado en los estudios de composición química realizados al aceite esencial de la especie en diversas regiones.^(13,14,20)

Las restantes señales del espectro UV-vis corresponden a dos bandas de muy baja intensidad en 306 y 375 nm, que pudieran ser resultado de las contribuciones a la absorbancia total de las transiciones electrónicas $\eta \rightarrow \pi^*$ de los heteroátomos presentes en diversos componentes sesquiterpénicos y monoterpenos oxigenados con grupos carbonilos e hidroxílicos respectivamente.⁽²²⁾

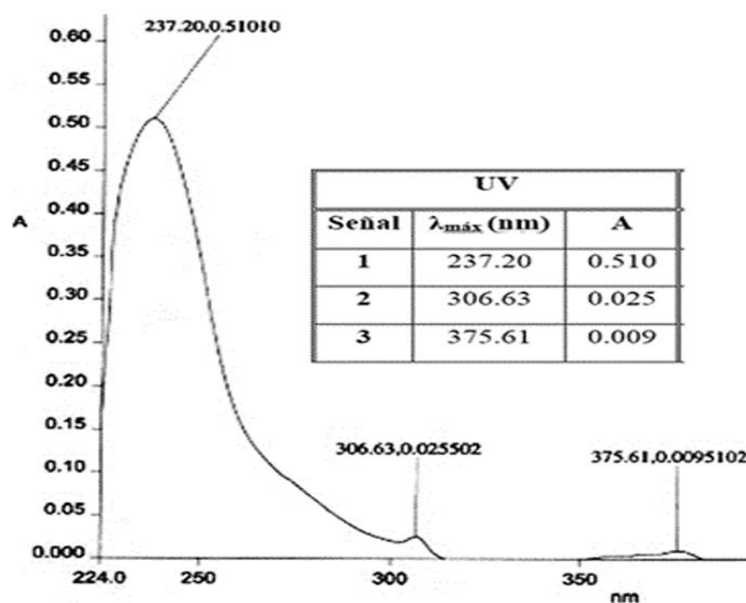


Fig. 1 - Perfil del espectro de absorción UV-Vis del AE del rizoma de *C. longa* L

Por otro lado, el perfil del espectro infrarrojo del AE (Figura 2) muestra las frecuencias (en cm^{-1}) de las señales más significativas, que corresponden a las vibraciones de enlaces dobles carbono-carbono conjugados y de núcleos aromáticos en $1617,2$ y $1514,5 \text{ cm}^{-1}$ y las vibraciones de $1680,9 \text{ cm}^{-1}$ característico de grupos carbonilos conjugados a insaturaciones que pudiesen corresponder a sesquiterpenos cetónicos. Además, con intensidad media las señales por debajo de 3000 cm^{-1} típicas de corrimiento hipsocrómico de grupos hidroxilos y del estiramiento típico de los enlaces de átomos de carbono-oxígeno (C-O) en alcoholes alifáticos y asociado también a fenilheptanos hidroxilados.

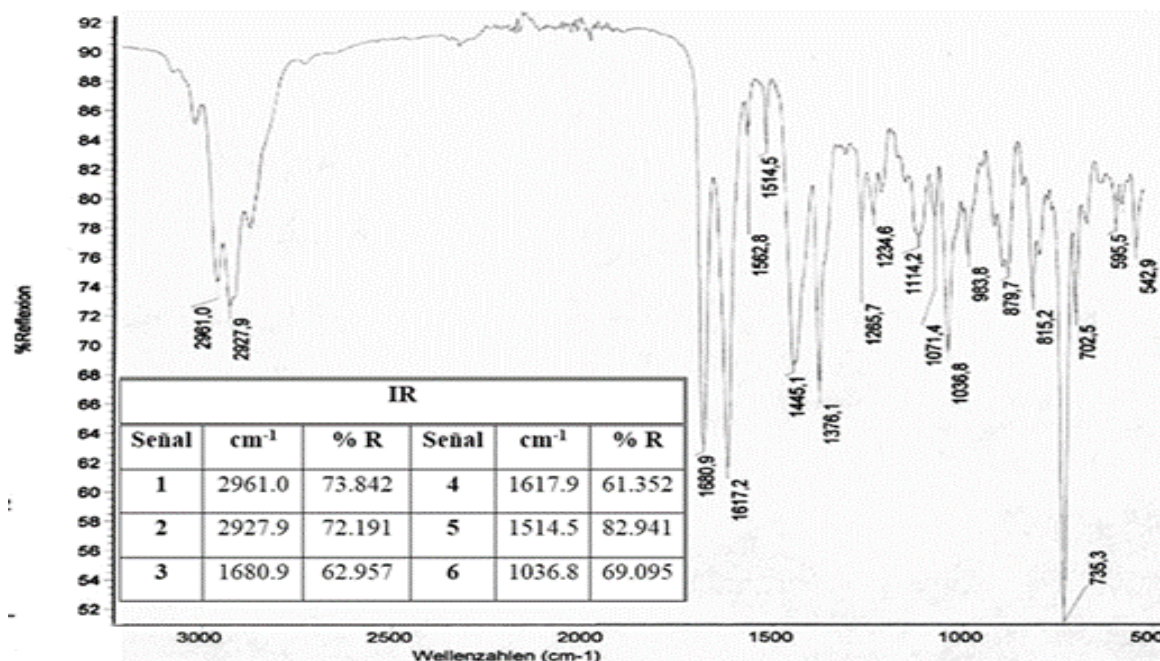


Fig. 2 - Perfil del espectro de absorción IR del AE del rizoma de *C. longa* L

Las características descritas del espectro IR evidencian que el AE es una mezcla que contiene compuestos de los grupos principales de componentes mayoritarios en este tipo de sustancia, monoterpenos, sesquiterpenos y fenilalcanos que pueden contener diversos grupos funcionales oxigenados. Además, se corresponde con la presencia de Ar-turmerona y sus isómeros como componentes de mayor abundancia relativa en la composición química del aceite de los rizomas de la especie reportados entre otros por Zhang *et al.* en China ⁽¹³⁾, Pino *et al.* en la región amazónica de Ecuador ⁽¹⁴⁾; así como, por Awasthi y Dixit del norte de la India. ⁽²⁰⁾

Las muestras del AE fueron conservadas en frascos ámbar a 4 °C durante 6 meses, y mantuvieron transparencia, textura, olor característico, un pequeño incremento en la coloración amarilla y la variación máxima del índice de refracción fue de (+0.0069), no se observó variaciones significativas de los restantes parámetros físico químicos y en sus espectros de absorción, lo que evidencia poca variación de la composición química, estabilidad y calidad del aceite.

Determinación de la actividad insecticida del AE de *C. longa* sobre *Aedes aegypti*

En la tabla 2 se muestran los resultados de la actividad larvica del aceite esencial sobre la especie *A. aegypti*. Las disoluciones evaluadas, a diferentes concentraciones, provocaron entre un 10 y 100 % de mortalidad, lográndose calcular, las CL₅₀ y CL₉₀, pendientes de la recta de regresión (b) y sus respectivos χ^2 . Se evidencia una actividad larvica significativa, al presentar CL₅₀ inferiores a 100 mg/L sobre las dos poblaciones de mosquitos de la especie estudiada.

Tabla 2 - Valores de concentraciones letales y otros parámetros calculados posterior a la exposición de los aceites esenciales en estudio sobre las poblaciones de *A. aegypti*

Población de mosquitos	b ±DE	AE de <i>Curcuma longa</i>			Temefos			
		CL50 (LC)	CL90 (LC)	χ ² (p)	b ± DE	CL50 (LC)	CL90 (LC)	χ ² (p)
Rockefeller	6,6± 0,95	25,3 (22,3-26,4)	39,6 (36,2-44,2)	3,0 (0,021)	2,15± 0,46	0,005 35 (0,005-0,005 5)	0,016 2 (0,015 8-0,017 5)	1,5 (0,23)
Marianao 2013	5,5± 0,63	46,4 (40,2-66,3)	86,4 (81,7-92,9)	5,2 (0,97)	2,55± 0,1	0,018 (0,015-0,02)	0,256 (0,23-0,28)	1,8 (0,24)

Leyenda: b (pendiente); DE (desviación estándar) CL₅₀ y CL₉₀ (concentraciones de la sustancia tóxica que provocan el 50 y el 90 por ciento de mortalidad respectivamente expresada en mg/L; LC (límite de confiabilidad 95%); χ² (chi cuadrado y su probabilidad).

Ali *et al.* en 2015 ⁽²³⁾, informaron para *A. aegypti* una CL₅₀ para el aceite esencial del rizoma de *C. longa* igual a 12,7 mg/L (10,7-14,9 mg/L), sin embargo, Kalaivani *et al.*, en 2012 ⁽²⁴⁾ obtuvieron una CL₅₀ muy superior (115,6 mg/L) al evaluar *C. longa* en larvas de *A. aegypti*. Todas las concentraciones mencionadas se encuentran en un intervalo similar a los obtenidos en el presente estudio.

Como se observa en la tabla 3, mediante la metodología de papeles impregnados en la evaluación de la actividad adulticida *Curcuma longa* mostró similares resultados frente a las dos poblaciones en cuanto al tiempo en que se logró el 50 % de derribo de los mosquitos, existió mayor diferencia en cuanto al tiempo en que se logró la caída del 90 % de los mosquitos para la población Marianao 2013.

Tabla 3 - Tiempos letales obtenidos y otros parámetros calculados posteriores a la exposición, utilizando botellas y papeles impregnados, del aceite esencial en estudio sobre *A. Aegypti*.

Insecticidas	Población de mosquitos <i>Rockefeller</i>					
	Botellas impregnadas			Papeles Impregnados		
	Dosis (mg/mL)	TD ₅₀ (h) (LC)	TD ₉₀ (h) (LC)	Dosis (mg/mL)	TD ₅₀ (h) (LC)	TD ₉₀ (h) (LC)
<i>AE C. longa</i>	50	0,35 (0,30-0,39)	0,55 (0,48-0,7)	50	0,39 (0,33-0,45)	0,6 (0,51-0,84)
<i>Malation</i>	-			5 %	0,5 (0,43-0,56)	0,41 (0,38-0,47)
	Población de mosquitos <i>Marianao 2013</i>					
	Dosis (mg/mL)	TD ₅₀ (h) (LC)	TD ₉₀ (h) (LC)	Dosis (mg/mL)	TD ₅₀ (h) (LC)	TD ₉₀ (h) (LC)
	Dosis (mg/mL)	TD ₅₀ (h) (LC)	TD ₉₀ (h) (LC)	Dosis (mg/mL)	TD ₅₀ (h) (LC)	TD ₉₀ (h) (LC)
<i>AE C. longa</i>	50	0,39 (0,31-0,47)	0,68 (0,55-22)	50	0,43 (0,35-0,52)	0,7 (0,57-1,29)
<i>Malation</i>	-			5 %	1,6 (1,5-1,68)	2,63 (2,58-2,7)

Leyenda: TD₅₀ y TD₉₀ (Tiempos que provocan el 50 y el 90 por ciento de derribo (h) respectivamente); LC (límite de confiabilidad 95 %). Malation se utilizó como control positivo de ambos métodos.

La actividad adulticida (tabla 3) evidencia que la respuesta de todas las poblaciones ocurrió de forma homogénea debido a que se logró el 100 % de derribo por ambas metodologías a la misma dosis (50 mg/mL). Por lo cual el AE puede ser efectivo para el control adulticida en esta especie de mosquitos.

El estudio de la actividad insecticida en plantas medicinales que no poseen efectos tóxicos secundarios para la salud humana, como la *C. longa*, le otorga a la especie un valor complementario invaluable y permitirá ofrecer formulados naturales que facilitarán, de forma racional y sistémica un control efectivo contra especies vectoras de enfermedades tropicales, además de contribuir a la protección del medio ambiente.

Conclusiones

El aceite esencial de los rizomas de *C. longa* L. fue extraído con buen rendimiento por hidrodestilación y evaluadas sus propiedades organolépticas y parámetros químico-físicos. Los parámetros establecidos para este aceite y los perfiles de sus espectros UV e IR podrían ser usados como patrones de su calidad, constituyendo la primera caracterización reportada para el AE de esta especie cultivada en la región oriental cubana. Los bioensayos realizados, a diluciones muy diluidas del aceite, evidenciaron actividad larvicida significativa y efectivo control adulticida frente a las poblaciones de mosquitos estudiadas, demostrando el potencial insecticida de la *C. longa* como una alternativa ecológica y efectiva para el control de mosquitos *Aedes aegypti*.

Referencias bibliográficas

1. FAUCI, A.S.; MORENS, D.M. "Zika Virus in the Americas-Yet Another Arbovirus Threat". *N. Engl. J. Med.* 2016, **374**, 601–604. ISSN: 1533-4406
2. MERLE, H. *et al.* "Ocular manifestations of emerging arboviruses: Dengue fever, Chikungunya, Zika virus, West Nile virus, and yellow fever". *J Fr Ophtalmol.* 2018, **41**(6), e235-e243. ISSN: 0181-5512
3. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Actualización Epidemiológica: Dengue. 7 de febrero de 2020, Washington, D.C. OPS/OMS, 2020. [en línea] [fecha de consulta:18.04.2020]. Disponible en: <http://www.paho.org>
4. GÓMEZ-GARCÍA, G.F. "*Aedes (Stegomyia) aegypti* (Diptera: *Culicidae*) y su importancia en salud humana". *Revista Cubana de Medicina Tropical.* 2018, **70**(1), 55-70. ISSN: 0375-0760
5. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. "*Estrategia de Gestión Integrada para la prevención y control del dengue en la Región de las Américas*". Washington DC, OPS/OMS, 2017. [en línea] [fecha de consulta: 18.04.2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2INL7gB>

6. ALI, A.; CANTRELL, C.; KHAN, I. "A New In Vitro Bioassay System for the Discovery and Quantitative Evaluation of Mosquito Repellents". *Journal of Medical Entomology*. 2017, **54**(5), 1328-1336. ISSN: 0022-2585
7. MANIMARAN, A.; JEE-JEECRUZ, M. M. "Plant Based Medicines". En: REMYA MOHANRAJ (Ed.). *Plant Oils to Combat Mosquitoes. Research Signpost*. 2014, 69-91. ISBN: 978-81-308-0547-4
8. LEÓN-MÉNDEZ, G.; *et al.* "Essential oils as a source of bioactive molecules". *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.* 2019, **48**(1), 80-93. ISSN: 0034-7418
9. RAVINDRAN, P.N.; NIRMAL-BABU, K.; SIVARAMAN, K. "Turmeric: the genus *Curcuma*". En: HARDMAN, R. (Ed.) *Medicinal and aromatic plants-industrial profiles*. CRC Press, 2007, **45**, 1-506. ISBN: 978-0-8493-7034-2.
10. DOSOKY, N.S.; SETZER, W. N. "Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oils of *Curcuma* Species". *Nutrients*. 2018, **10**, 1196. ISSN 2072-6643
11. ESPINOSA-REYES, A. *et al.* "Evaluación de plantas de *Curcuma longa* L. obtenidas por cultivo de tejidos en condiciones de organopónico". *Rev. Colomb. Biotecnol.* 2012, **14**(2), 196-202. ISSN: 1609-1841.
12. USMAN, L.A.; *et al.* "Chemical Composition of Rhizome Essential Oil of *Curcuma longa* L. Growing in North Central Nigeria". *World Journal of Chemistry*. 2009, **4**(2), 178-181, ISSN: 1817-3128.
13. ZHANG, L.; *et al.* "Composition and bioactivity assessment of essential oils of *Curcuma longa* L. collected in China". *Ind. Crops Prod.* 2017, **109**, 60-73. ISSN: 0926-6690
14. PINO, J. A. *et al.* "Composición química y actividades biológicas del aceite esencial de rizomas de curcuma (*Curcuma longa* L.) cultivado en el Ecuador amazónico". *Rev. CENIC Cienc. Quím.* 2018, **49**, 1-8. ISSN: 1221-2450.
15. CHOWDHURY, J.U. *et al.* "Essential Oil Constituents of The Rhizomes of Two Types of *Curcuma longa* of Bangladesh". *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.* 2008, **43**(2), 259-266. ISSN: 2224-7157
16. WHO. Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides. WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/Ginebra, 2005.13.
17. CDC. Guideline for Evaluating Insecticide Resistance in Vectors Using the CDC Bottle Bioassay. In: Brogdon, G. & Chan, B. H. (eds.) 2010; 1 ed.: Centers for Disease Control and Prevention.
18. RODRÍGUEZ MM, *et al.* "Diagnostic doses of insecticides for adult *Aedes aegypti* to assess insecticide resistance in Cuba". *J Amer Mosq Control Assoc.* 2017, **33**, 142-144. ISSN: 8756-971X
19. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Prueba OMS de susceptibilidad para mosquitos adultos. En: *Procedimientos de las pruebas para la vigilancia de la resistencia a los insecticidas en los mosquitos vectores del paludismo*. 2da Ed. Ginebra OMS; 2017. ISBN 978-92-4-351157-3
20. AWASTHI, P.K.; DIXIT, S. C. "Chemical Composition of *Curcuma Longa* Leaves and Rhizome Oil from the Plains of Northern India". *J Young Pharm.* 2009, **1**(4), 312-316. ISSN: 0975-1483
21. TORRES-RODRIGUEZ, E., *et al.* "Estudio de la actividad antibacteriana del aceite esencial de los rizomas de *Curcuma longa* L." *Química Viva*, 2014, **13**(2), 123-129. ISSN: 1666-7948
22. LIU, X.; XU, Z.; COLE, J. M. "Molecular design of UV-Vis absorption and emission properties in organic fluorophores: Toward larger bathochromic shifts, enhanced molar extinction coefficients, and greater stokes shifts". *J Phys Chem C*. 2013, **117**, 16584-16595. ISSN: 1932-7447

23. ALI A.; WANG, YH.; KHAN, I. "Larvicidal and biting deterrent activity of essential oils of *Curcuma longa*, Ar-turmerone, and Curcuminoids against *Aedes aegypti* and *Anopheles quadrimaculatus* (Diptera: *Culicidae*)" *J. Med. Entomol.* 2015, **52**(5), 979–986. ISSN: 0022-2585
24. KALAIVANI, K.; SENTHIL-NATHAN, S.; MURUGESAN, AG. "Biological activity of selected *Lamiaceae* and *Zingiberaceae* plant essential oils against the dengue vector *Aedes aegypti* L. (Diptera: *Culicidae*)". *Parasitol Res.* 2012, **110**, 1261–1268. ISSN: 1432-1955.

Conflicto de interés

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

Contribución de los autores

Dr. C. Quirino Arias-Cedeño: planificación y organización del trabajo experimental, análisis e interpretación de los resultados, discusión de los resultados, redacción de los resultados, revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

Dr. C. Maureen Leyva-Silva: planificación y organización de la evaluación biológica, trabajo biológico experimental. Análisis e interpretación de los resultados. Análisis estadístico, redacción de los resultados MVZ.

Edilfredo Avila-Bornot: trabajo experimental, análisis e interpretación de los resultados. Análisis estadístico, redacción de los resultados.

Dr. C. Holger Feist: trabajo experimental, análisis e interpretación de los resultados.

Dr. C. Peter Langer: participó activamente en la discusión de los resultados y revisión de la versión final del trabajo.