

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



UANL

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA TRAMPA PEGAJOSA ATRAYENTE PARA
LA VIGILANCIA INTRA Y PERIDOMICILIO DE POBLACIONES DE *Aedes aegypti*
EN MÉXICO

POR:

M. C. KEILA ELIZABETH PAIZ MOSCOSO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN ENTOMOLOGÍA MÉDICA Y VETERINARIA

2025

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA TRAMPA PEGAJOSA ATRAYENTE PARA LA
VIGILANCIA INTRA Y PERIDOMICILIO DE POBLACIONES DE *Aedes aegypti* EN
MÉXICO

Comité de Tesis



Dr. Ildelfonso Fernández Salas

Presidente



Dr. Eduardo Alfonso Rebollar Téllez

Secretario



Dra. Violeta Ariadna Rodríguez Castro

Vocal



Dr. Pedro Cesar Cantú Martínez

Vocal



Dra. Susana Favela Lara

Vocal



Dra. Katiushka Arevalo Niño
Subdirectora de Posgrado



SUBDIRECCIÓN
DE POSGRADO

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA TRAMPA PEGAJOSA ATRAYENTE PARA LA
VIGILANCIA INTRA Y PERIDOMICILIO DE POBLACIONES DE *Aedes aegypti* EN
MÉXICO

Dirección de tesis



Dr. Ildefonso Fernández Salas

Director



Dr. Rogelio Danís Lozano

Director o asesor externo

DERECHOS RESERVADOS©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue financiado por el Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT) 2022 y el Programa a la Ciencia, Tecnología e Innovación (ProACTI) 2023.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por otorgarme una beca de 4 años para la realización de este proyecto.

Al Dr. Ildefonso Fernández Salas por depositar su confianza en mí y dirigir este proyecto de tesis.

Al Dr. Rogelio Danís Lozano y el MC. Luis Cisneros Vázquez por el apoyo a este trabajo y por brindarme el acceso a las instalaciones del CRISP/INSP en Tapachula.

A mi comité de tesis y todos los involucrados en este proyecto. Dra. Adriana Flores Suarez, Dra. Beatriz López Monroy, Dra. Susana Favela Lara, Dra. Violeta Rodríguez Castro, Dra. Katiushka Arévalo Niño, Dra. Rosa Sánchez Casas, Dr. Pedro Cantú Martínez, Dr. Eduardo Rebollar Téllez, Dr. Jorge Rodríguez Rojas y Dr. Gustavo Ponce García (QEPD).

Al personal de posgrado de la Facultad de Ciencias Biológicas (UANL posgrado) Mónica, Mirthala, Francisco y Dr. Pablo Zapata por acompañarnos en este proceso, ayudarnos a superar el caos y los obstáculos para culminar con éxito este proyecto.

A los técnicos Sandra Luz Robres y Crescencio Díaz Espinoza, personal de laboratorio y campo del CRISP/INSP Tapachula, en 2015 me ayudaron a obtener mi título de maestría y ahora el de doctorado. ¡Seguimos cosechando éxitos!

DEDICATORIA

Como un insecto voy y vuelvo a chocar en esa fuente no fungible de luz y de sabiduría, orientado únicamente hacia la luz del amor, hacia el destello deslumbrador de Dios y de su espíritu indefinible e incomprensible (Luis Salazar Retana). Dr. José Luis Torres Estrada gracias por marcar en mi vida un antes y después de la Ecología Química. Su legado académico continua con muchos de los que fuimos sus estudiantes. ¡Aún te extrañamos Pepe Luis!

Elías, atesora y guarda muy bien en tu memoria las pruebas y momentos difíciles que logres superar. Los obstáculos y fracasos son los que nos forjan el carácter y definen la calidad de ser humano que somos; necesitamos de momentos tristes y complicados para poder atesorar las horas de paz, tranquilidad y felicidad. Gracias por enseñarme el límite infinito de la paciencia y lo que es amar a alguien por sobre tu vida misma. Me he comprometido a darte una infancia que no tengas que sanar cuando seas adulto, espero estar cumpliéndolo. ¡Que la ciencia, el arte y la música sean las proteínas que acarreen las mejores experiencias y los recuerdos fantásticos de tu niñez a la vida adulta!

ÍNDICE

Índice	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	ix
Lista de símbolos y abreviaturas	x
Resumen.....	xi
Abstract	xii
1. Introducción	1
2. Antecedentes.....	4
3. Justificación	6
4. Hipótesis	7
5. Objetivos	8
5.1 Objetivo general	8
5.2 Objetivos específicos	8
6. Materiales y métodos	9
6.1 Revisión bibliográfica	9
6.2 Desarrollo del cebo atrayente UANL (UANL <i>Aedes</i> Trap®)	9
6.3 Análisis cromatográfico del cebo atrayente de la trampa estándar BG-Sentinel	9
6.4 Bioensayos de atracción de las mezclas atrayentes UANL sobre hembras de <i>Ae.</i>	
<i>aegypti</i> en laboratorio	11
6.4.1 Material biológico	11
6.4.2 Ensayos en el sistema HITSS	11
6.4.3 Ensayos en jaulas entomológicas 90 x 90 x 90 cm	12
6.5 Bioensayos de atracción de trampa adhesiva atrayente UANL y cebo atrayente	
UANL en condiciones de semicampo y campo	14
6.5.1 Desarrollo de la Trampa Adhesiva Atrayente de la UANL (UANL <i>Aedes</i>	
Trap®)	14
6.5.2 Diseño del cartucho con la mezcla 2 (cebo atrayente UANL)	15
6.5.3 Material biológico	15

6.5.4 Bioensayos de semicampo de la trampa adhesiva atrayente de la UANL a escala de invernadero	15
6.5.5 Bioensayos de campo de la trampa adhesiva atrayente de la UANL en un ambiente intra y peridomicilio	16
7. Análisis estadístico	17
8. Resultados	18
8.1 Revisión bibliográfica	18
8.2 Análisis cromatográfico del cebo atrayente de la trampa estándar BG-Sentinel	18
8.3 Bioensayos de atracción de las mezclas atrayentes sobre hembras de <i>Ae. aegypti</i> en laboratorio	19
8.3.1 Ensayos en el sistema HITSS	19
8.3.2 Ensayos en jaulas entomológicas 90x90x90 cm	20
8.4 Bioensayos de atracción de trampa adhesiva atrayente UANL y cebo atrayente UANL en condiciones de semicampo y campo.....	21
8.4.1 Bioensayos de semicampo de la trampa adhesiva atrayente de la UANL a escala de invernadero	21
8.4.2 Bioensayos de campo de la trampa adhesiva atrayente de la UANL en un ambiente intra y peridomicilio	25
9. Discusiones	29
10. Conclusión	33
11. Bibliografía	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de pruebas en semicampo	24
Tabla 2. Resultados en pruebas de campo	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología cromatografía de gases/espectro de masas	10
Figura 2. Sistema de Investigación de Alto-rendimiento de Procesamiento	12
Figura 3. Jaulas metálicas entomológicas de 90 x 90 x 90 cm	13
Figura 4. Diseño de la Trampa Adhesiva Atrayente UANL	14
Figura 5. Cromatograma obtenido de la muestra de cebo BG-Sentinel analizada	18
Figura 6. Porcentaje de atracción de hembras de <i>Ae. Aegypti</i> en respuesta a cuatro diferentes tratamientos en el sistema HITSS	19
Figura 7. Índices de Actividad Espacial (SAI) de hembras de <i>Ae. Aegypti</i> en respuesta a cuatro diferentes tratamientos en el sistema HITSS	20
Figura 8. Porcentaje de atracción de hembras de <i>Ae. aegypti</i> en jaulas entomológicas de 90 x 90 x 90 cm	21
Figura 9. Detalles de la metodología en bioensayos de semicampo	22
Figura 10. Detalles de la metodología en semicampo y resultados	23
Figura 11. Metodología bioensayos en campo	26
Figura 12. Ejemplo del efecto de atracción de la Trampa Adhesiva Atrayente UANL.....	27

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

BI	Índice de Breteau
CRISP	Centro Regional de Investigación en Salud Pública
GAI	Índice Gravitrap
GAT	Gravitrap
GC	Cromatografía de gases
HISTSS	Sistema de Investigación de Procesamiento de Alto Rendimiento
IA	Índices Aédicos
INSP	Instituto Nacional de Salud Pública
OMS	Organización Mundial de la Salud
SAI	Índice de Actividad Espacial
SSA	Secretaria de Salud

RESUMEN

La vigilancia entomológica y epidemiológica consiste en la recopilación, el análisis y la interpretación sistemática de datos; y es esencial para planificar e implementar actividades en el control de vectores. La falta de éxito en las estrategias de control y vigilancia del mosquito *Aedes aegypti* promueve la necesidad de desarrollar nuevas estrategias accesibles y efectivas para los programas de control. Este trabajo tuvo como objetivo desarrollar y evaluar una trampa adhesiva atrayente para la vigilancia intradomiciliar del mosquito *Ae. aegypti*. Basados en una revisión bibliográfica se identificaron los compuestos atrayentes linalol, ácido láctico, ácido hexanoico y cloruro de amonio; y sus porcentajes de atracción para *Ae. aegypti*. Utilizamos el Sistema de Investigación de Alto-rendimiento de Procesamiento (HITSS) y jaulas entomológicas metálicas de 90 × 90 x 90 cm para realizar pruebas de atracción de los compuestos de forma individual y en mezclas. Diseñamos una trampa de cartón adhesivo, de forma piramidal y de bajo costo para incorporar la mezcla atrayente seleccionada. Para las pruebas de semicampo se utilizaron jaulas entomológicas de monitoreo de 2 × 2 m y para las pruebas de campo se colocaron trampas en casas de diferentes colonias de la ciudad de Tapachula para evaluar la efectividad de la trampa de acuerdo al porcentaje de mosquitos capturados. En las pruebas de laboratorio la mezcla 2 presento un porcentaje de atracción de $47.50 \pm 4.79\%$, en las pruebas de semicampo la mezcla 2 incorporada en las trampas y el uso de un ventilador ofreció un porcentaje de captura de $43.20 \pm 4.00\%$. Los resultados registrados durante las evaluaciones de campo fueron comparados con los obtenidos con la trampa BG-Sentinel. Nuestro prototipo de trampa adhesiva atrayente atrapó un promedio de 6.00 ± 1.50 mosquitos versus 10.00 ± 2.60 con la trampa BG-Sentinel. En la mayoría de países latinoamericanos, se carece de estrategias formales y accesibles para el monitoreo de las poblaciones adultas de *Ae. aegypti* por lo que es necesario desarrollar herramientas que refuercen los métodos de vigilancia entomológica como el dispositivo desarrollado en este trabajo.

ABSTRACT

Entomological and epidemiological surveillance consists of the systematic collection, analysis and interpretation of data; and is essential for planning and implementing vector control activities. The lack of success in control and surveillance strategies for the *Aedes aegypti* mosquito promotes the need to develop new accessible and effective strategies for control programs. This work aimed to develop and evaluate an attractive adhesive trap for indoor surveillance of the mosquito *Ae. aegypti*. Based on a literature review, the attractant compounds linalool, lactic acid, hexanoic acid and ammonium chloride were identified; and their percentages of attraction for *Ae. aegypti*. We used the High-throughput Screening System (HITSS) and 90 × 90 cm metal entomological cages to perform attraction tests of the compounds individually and in mixtures. We designed a low-cost, pyramid-shaped, adhesive cardboard trap to incorporate the selected attractant mixture. For the semi-field tests, 2 × 2 m entomological monitoring cages were used and for the field tests, traps were placed in houses in different neighborhoods in the city of Tapachula to evaluate the effectiveness of the trap according to the percentage of mosquitoes captured. In the laboratory tests, mixture 2 presented an attraction percentage of $47.50 \pm 4.79\%$, in the semi-field tests, mixture 2 incorporated into the traps and the use of a fan offered a capture percentage of $43.20 \pm 4.00\%$. The results recorded during the field evaluations were compared with those obtained with the BG-Sentinel trap. Our sticky attractant trap prototype trapped an average of 6.00 ± 1.50 mosquitoes versus 10.00 ± 2.60 with the BG-Sentinel trap. In most Latin American countries, there is a lack of formal and accessible strategies for monitoring adult populations of *Ae. aegypti*, so it is necessary to develop tools that reinforce entomological surveillance methods such as the device developed in this work.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud el dengue es considerada la enfermedad transmitida por vector de más rápida dispersión a nivel mundial (WHO 2022); en el 2010 se estimaron datos históricos que indicaban que por año se estaban presentando 390 millones de infecciones de las cuales 96 millones correspondía a casos asintomáticos y el resto de los casos incluía a los casos leves, graves y fatales (Tozan *et al.* 2014). La fiebre chikungunya se ha detectado en más de 60 países alrededor del mundo, en el 2016 se presentó uno de los brotes epidemiológicos más importantes de esta enfermedad, la Oficina Regional de la OMS en las Américas llevo a notificar 146, 914 casos confirmados y 349, 936 casos sospechosos (WHO 2017). El virus Zika se ha propagado en más de 30 países del continente americano y el Caribe, afectando a más de 1.5 millones de personas (WHO 2016). Por otro lado, la evidencia que confirmo que *Ae. aegypti* es el vector principal en las Américas y el vínculo entre el virus Zika, la microcefalia y otros trastornos neurológicos, como el síndrome de Guillain Barre, llevo a la OMS a declarar esta enfermedad como una emergencia sanitaria de preocupación internacional (Garcez 2016; Miner *et al.* 2016).

La infección por dengue es causa recurrente de hospitalizaciones, especialmente en niños Guzman *et al.* 2016; Gubler 2002; Torres y Castro 2007), con una tasa de fatalidad de 1-5% para pacientes que presentan síndrome de choque por dengue (Gubler 2004). En México, al igual que en la mayoría de países que pertenecen al área subtropical del continente americano, *Ae. aegypti* es el vector principal de los virus de dengue, fiebre Chikungunya y Zika. Hasta la semana epidemiológica número 52 del 2023 en nuestro país se registraron 28,871 casos confirmados de dengue sin datos de alarma, 23,882 casos con datos de alarma, 1,653 casos de dengue severo, 203 defunciones a causa de infección por dengue, 2 casos confirmados de enfermedad por el virus Chikungunya y 29 casos de infección por virus Zika (SSA 2023 A). Igualmente, la Dirección General de Epidemiología determino los grupos de edades más afectados en el 2023 por infecciones por dengue; el grupo de 10-14 años de edad ha sido el más afectado para dengue no grave y los grupos de 10-14 y 15-19 años lo fueron para dengue severo (SSA 2023 B). Para la semana 16 del 2024 se han presentado 5,541 casos confirmados de dengue sin datos de

alarma, 5,121 casos con datos de alarma, 341 casos de dengue severo y 14 defunciones; igualmente nos menciona que los grupos de niños de 10-14 años son los grupos más afectados tanto para los casos no graves y los casos con complicaciones (SSA 2024 A). Para esta misma semana epidemiológica la Secretaria de Salud de México notifico un acumulado de 4 casos confirmados de infección por el virus Zika y cero casos de portados por el virus Chikungunya (SSA 2014 B).

A nivel mundial los esfuerzos actuales para contener la transmisión y dispersión global del dengue, fiebre Chikungunya y Zika no han demostrado ser eficaces. En México la Norma Oficial NOM-032-SSA2-2014 menciona el manejo sostenido de control de vectores con el control químico, biológico y físico para evitar, en la medida de lo posible, el riesgo de transmisión de una o más enfermedades transmitidas por vector (SSA 2014). Es muy probable que la falta de éxito en las estrategias de control se encuentre relacionado con el uso desmedido y generalizado de insecticidas que ha provocado el desarrollo de mosquitos resistentes a estos productos en todo el mundo (Saavedra-Rodríguez *et al.* 2018) y la tendencia de sustituir un pesticida particular, para el que ha sido detectado resistencia, por uno nuevo (mosquito-sensible) aunque presente evidencia de efectos perjudiciales derivados de su uso (Manjarres-Suarez y Olivero-Verbel 2013). Aunado a lo antes mencionado, *Ae. aegypti* es un vector que permanece dentro de las casas durante todo el día, lo que limita algunas de estas estrategias como son el rociado espacial y uso de pabellones tratados o no con insecticidas. Sin embargo, es muy importante mencionar que el control del vector, en nuestro país, es completamente reactivo en respuesta a la aparición de casos clínicos los cuales son muy susceptibles al retraso inherente al sistema de vigilancia pasiva (Vazquez-Prokopec *et al.* 2016) y que esta actividad se realiza con recursos humanos, materiales y financieros limitados (Morrison *et al.* 2008).

En la actualidad los programas de vigilancia entomológica de *Ae. aegypti* en el mundo tienen en común determinar cambios en la distribución geográfica del mosquito, obtener medidas relativas de sus poblaciones a lo largo del tiempo, evaluar la cobertura y el impacto de las intervenciones antivectoriales, así como monitorear la susceptibilidad y la resistencia de sus poblaciones a los principales insecticidas usados en el control vectorial (Lazcano *et al.* 2021). Sin embargo, es necesario reformular las estrategias actuales de

control, pero sobre todo los programas y herramientas utilizados para la vigilancia de las poblaciones adultas de vectores como *Ae. aegypti*, para lograr obtener un impacto significativo y medible en las poblaciones de mosquitos y la transmisión de estas enfermedades (Correa 2021). Es por ello que en este trabajo se propone el diseño y evaluación de una trampa adhesiva liberadora de atrayentes que permita monitorear las poblaciones adultas de *Ae. aegypti* para establecer el momento preciso y la estrategia adecuada a implementar; para con ello obtener un beneficio inmediato y sostenido en el control vectorial.

2. ANTECEDENTES

La persistencia de poblaciones como las de *Ae. aegypti* se basa en ciclos estocásticamente recurrentes de dispersión y extinción, por lo tanto, la disminución de las poblaciones no se vería reflejada si nos centramos únicamente en zonas de alta concentración de adultos y estadios inmaduros; también debemos incluir criaderos y refugios potenciales (Rodríguez 2018). Los protocolos estandarizados para la vigilancia del dengue se basan en índices Aédicos (Breteau, vivienda y contenedores) que se consideran estimadores de riesgo de transmisión, y que se centran fundamentalmente en el muestreo de estados larvales (Bowman *et al.* 2014). En ocasiones lo anterior se puede complementar con el uso de ovitrampas, que son sensibles para detectar la presencia del vector en especial en áreas donde el nivel de infestación de *Ae. aegypti* es bajo. Sin embargo, estos índices no siempre muestran una buena correlación con la abundancia de los mosquitos adultos debido a que una hembra puede repartir sus huevos en más de un criadero (Focks 2003), por lo que se recomienda evaluar índices de pupas ya que se consideran más precisos debido a que la mayoría llega a emerger como adultos. Sin embargo, a pesar de su gran utilidad los índices de pupas son poco usados debido a las dificultades prácticas y al trabajo que supone el recuento de pupas, en particular de las que se encuentran en grandes recipientes (Eiman *et al.* 2010).

Por lo anterior es que, en la actualidad, el número de métodos alternativos para estimar la abundancia de adultos o mejoras de las técnicas disponibles está comenzando a crecer (Barrera *et al.* 2013) y como reflejo de ello nos encontramos con la necesidad de contar con datos demográficos de los vectores adultos. Bowman *et al.* (2014) realizaron una revisión bibliográfica de 18 investigaciones donde se reflejarán datos de vigilancia entomológica de *Ae. aegypti* por un periodo no menor a 3 meses y de manera conjunta analizaron los reportes del número de casos de dengue en las zonas determinadas; como resultado obtuvieron que no se evidencio una asociación consistente entre los índices del vector y los casos detectados. En este mismo trabajo Bowman *et al.* mencionan que los datos colectados provenían de estrategias variadas que incluían índices aédicos y ovitrampas; y que la falta de asociación entre los índices aédicos determinados y el número de casos reportados podría ser el resultado de que en cada uno de los diseños

experimentales no se incluyó un monitoreo para determinar la abundancia de adultos los cuales son los directamente responsables de la transmisión viral.

Parra *et al.* 2018 concuerdan con el supuesto de que los índices tradicionales para medir el riesgo de una infección por dengue en un área determinada no deben basarse únicamente en sus estadios inmaduros ya que únicamente las hembras adultas son capaces de transmitir el virus mediante la picadura. Es por ello que evaluaron el índice entomológico obtenido de una trampa para adultos y la ocurrencia de casos de dengue en áreas hiperendémicas y de manera adicional compararon esto con el costo que conlleva un monitoreo con el índice de Breteau (BI). Como resultado obtuvieron que los aumentos en los casos de dengue ocurrieron en paralelo con aumentos en el número de hembras de *Ae. aegypti*. El índice entomológico que reportaron en su trabajo se correlaciona positivamente con la incidencia de dengue, particularmente durante los intervalos en que las medidas de control de vectores se aplicaron con menor intensidad. Igualmente, los costos operativos del índice de adultos fueron inferiores a los del BI, ellos utilizaron un 71,5% menos de recursos humanos que los necesarios para medir el BI.

En 2020, Ong *et al.*, introducen un nuevo índice entomológico Índice Gravitrap para *Ae. aegypti* (GAI) que estima la población de hembras de *Ae. aegypti* en la comunidad y presentan su asociación con los casos de dengue. Las trampas para hembras grávidas fueron colocadas en 34 sitios de tratamiento y monitoreadas de 2013 a 2016. Como resultado obtuvieron que la distribución de las poblaciones de mosquitos es heterogénea por lo que pudieron clasificar grupos que se encontraban en riesgo bajo, moderado y alto. También se logró demostrar la distribución desigual en las poblaciones de mosquitos en edificios de departamentos y que las viviendas ubicadas en los pisos más bajos tienen más riesgo de enfermar que las de los pisos altos. Igualmente demostraron que esta trampa pegajosa es una herramienta útil para reducir la densidad poblacional del vector y con ello la transmisión del dengue.

3. JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial los esfuerzos actuales para contener la transmisión y dispersión del dengue, fiebre chikungunya y Zika no han probado ser eficaces. *Ae. aegypti* es un mosquito que permanece dentro de las casas durante todo el día, lo que limita algunas de estas estrategias como son el rociado espacial y uso de pabellones tratados o no con insecticidas. También es importante mencionar que el control del vector, en Latinoamérica, es completamente reactivo en respuesta a la aparición de casos clínicos los cuales son susceptibles a retrasos en el reporte de estos y que esta actividad se realiza con recursos humanos, materiales y financieros limitados. Por lo que es necesario la reformulación de las estrategias actuales de control, pero sobre todo la vigilancia de las poblaciones adultas, para lograr obtener un impacto significativo y medible en las poblaciones de mosquitos y la transmisión de estas enfermedades. Es por ello que en este trabajo se propone el diseño y evaluación de una trampa adhesiva atrayente que permita monitorear la presencia y densidad de las poblaciones de *Ae. aegypti* para establecer el momento preciso y la estrategia adecuada a implementar para obtener un beneficio inmediato y sostenido en el control vectorial.

4. HIPOTESIS

El uso de trampas adhesivas atrayentes es una herramienta efectiva para vigilancia entomológica y epidemiológica del mosquito *Aedes aegypti* ya que la recopilación, análisis e interpretación de los datos obtenidos con este tipo de sistemas de monitoreo son esenciales para determinar la variabilidad del espacio-tiempo de las poblaciones del vector en un área determinada y con ello establecer la estrategia de control adecuada a implementar.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Diseñar y evaluar en condiciones de semicampo y campo una trampa adhesiva atrayente para la vigilancia entomológica intra y peridomicilio del mosquito *Aedes aegypti* en México.

5.2 Objetivos específicos

1. Evaluar de manera individual o en mezcla los productos químicos que serán utilizados para la elaboración del cebo atrayente que será incluido en la trampa adhesiva
2. Desarrollar el prototipo de una trampa adhesiva atrayente para el monitoreo de las poblaciones adultas de hembras de *Ae. aegypti*.
3. Evaluar en condiciones de semicampo y campo la trampa adhesiva atrayente para el monitoreo de poblaciones adultas de hembras de *Ae. aegypti*.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Revisión bibliográfica

Mediante el uso del buscador Google académico se realizó una revisión de aquellos artículos publicados en los últimos 10 años (2013-2023) en revistas nacionales e internacionales donde se mencionen las palabras clave trampas adhesivas, atrayentes, vigilancia entomológica, índices Aédicos (IA) y *Ae. aegypti*. Con esto se estableció cuáles son los productos que están siendo evaluados como atrayentes, cuáles de ellos ofrecen resultados alentadores, los vectores en los que están siendo evaluados, los diseños y método de desarrollo de las trampas; así como los costos del producto y de la estrategia de trabajo en campo propuesta.

6.2 Desarrollo del cebo atrayente UANL (UANL *Aedes* Trap®)

Basados en la revisión bibliográfica se identificaron a los compuestos (ácido láctico, ácido hexanoico, cloruro de amonio y linalol) y las concentraciones que han presentado porcentajes significativos de atracción sobre hembras de *Ae. aegypti*. Por lo anterior se prepararon 2 mezclas con los productos y concentraciones seleccionadas, y se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para determinar los porcentajes de atracción sobre hembras de *Ae. aegypti*.

Mezcla 1: Linalol 10% (Sigma Aldrich 97%), Ácido láctico 1% (CTR 88.50%), Ácido hexanoico 0.1% (Sigma Aldrich 97%) y Cloruro de amonio 0.1% (CTR 99%).

Mezcla 2: Linalol 15%, Ácido láctico 10%, Ácido hexanoico 1% y Cloruro de amonio 1%.

6.3 Análisis cromatográfico del cebo atrayente de la trampa estándar BG-Sentinel

Una muestra aleatoria, del cebo atrayente de la trampa BG-Sentinel (BIOGENTS AG), fue enviada al laboratorio de reología y procesamiento de polímeros de la Universidad Autónoma de Nuevo León para ser analizada por medio de la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectro de masas con el fin de identificar y determinar la concentración de los compuestos atrayentes presentes en el producto. Lo anterior se realizó con la finalidad de corroborar lo mencionado por la empresa en su etiqueta de descripción, ya

que la trampa BG-Sentinel fue utilizada como control positivo en nuestros bioensayos de laboratorio, semicampo y campo.

Para el análisis se emplearon 2.5 g del material a analizar. Se realizó extracción soxhlet durante 6 horas con metanol. Una vez concluido este tiempo se aforo a 250 mL para su posterior análisis. Adicionalmente, se construyó una curva de calibración. Se prepararon soluciones estándar con ácido hexanoico marca Sigma-Aldrich $\geq 98\%$ (GC) de pureza en metanol. El equipo empleado para el análisis fue el CGMS-QP2010 SE de la marca Shimadzu, column Rxi-5Sil MS de 30 m y 0.25 mm diámetro interior. Se empleó una velocidad lineal de 36.5 cm/s y Helio como gas de arrastre. Temperatura de la Fuente de Iones: 200 °C, Temperatura de Interface: 250 °C, modo Scan.

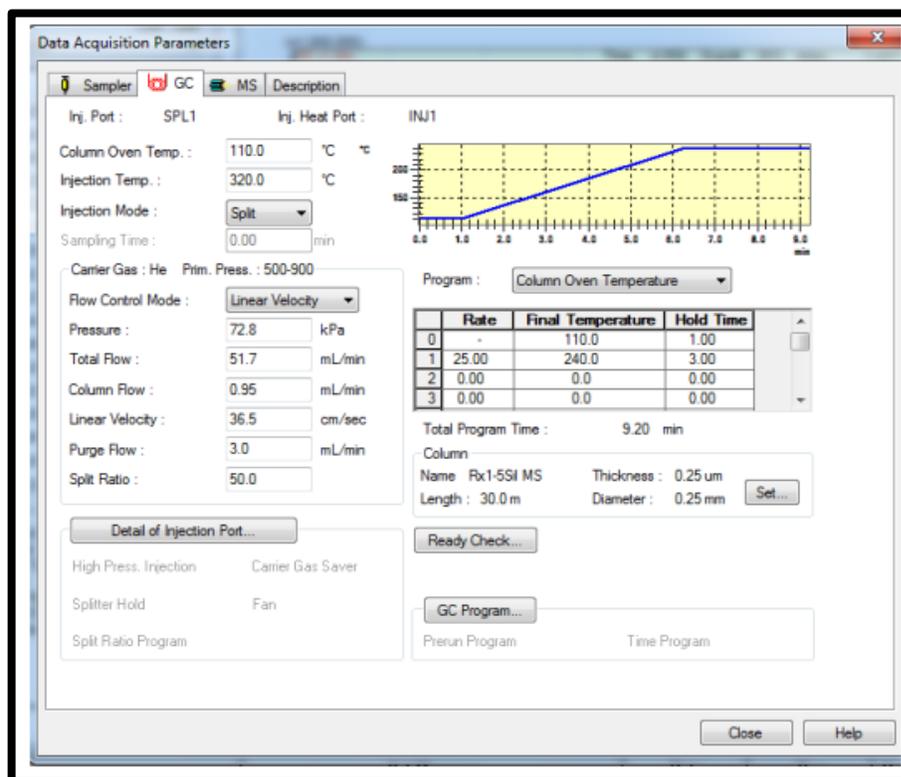


Figura 1. Detalles de la metodología utilizada para el análisis de la muestra de cebo BG-Sentinel enviada a el laboratorio de reología y procesamiento de polímeros de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

6.4 Bioensayos de atracción de las mezclas atrayentes UANL sobre hembras de *Ae. aegypti* en laboratorio

6.4.1 Material biológico

Para los bioensayos se utilizaron hembras *Ae. aegypti* (cepa New Orleans) de 4 a 7 días de edad sin alimentar con sangre obtenidas del insectario del Centro Regional de Investigación en Salud Pública (CRISP).

6.4.2 Ensayos en el sistema HITSS

Para los ensayos de atracción, se utilizó el Sistema de Investigación de Alto-rendimiento de Procesamiento (HITSS por sus siglas en inglés). El sistema tiene un diseño modular que permite evaluar irritación por contacto, repelencia espacial y toxicidad de los productos (Grieco *et al.* 2007). En el cilindro tratamiento se colocó papel filtro Whatman N° 2 (4x2 cm) impregnado con 50 µL de la mezcla a probar. Una vez preparado el cilindro de tratamiento se unió al cilindro de plexiglás en uno de los extremos del sistema HITSS, en el otro extremo se unió el cilindro de control (Whatman N° 2 (4x2 cm) impregnado con 50 µL acetona (Binden 97%). Las válvulas tipo mariposa se mantuvieron cerradas en el punto unión con ambos cilindros. Se colocaron 15 mosquitos en el compartimiento central y todo el sistema fue cubierto totalmente con un paño oscuro para evitar el paso de la luz. Los mosquitos permanecieron en la cámara de plexiglás para su aclimatación por 30 s, posteriormente se abrieron simultáneamente las válvulas y se expusieron a los tratamientos durante 20 min. Transcurrido el tiempo de exposición se realizó el conteo de los mosquitos en cada una de las cámaras (tratamiento, control y central) y se procesaron los datos para obtener el Índice de Actividad Espacial (SAI) y los porcentajes de atracción. Se realizaron 4 repeticiones para cada mezcla, control positivo (0.50 gr del granulado del cebo atrayente BG-Sentinel) y control negativo (50 µL acetona). El sistema fue limpiado con acetona y aireado 30 minutos entre bioensayos con diferente producto o concentración.

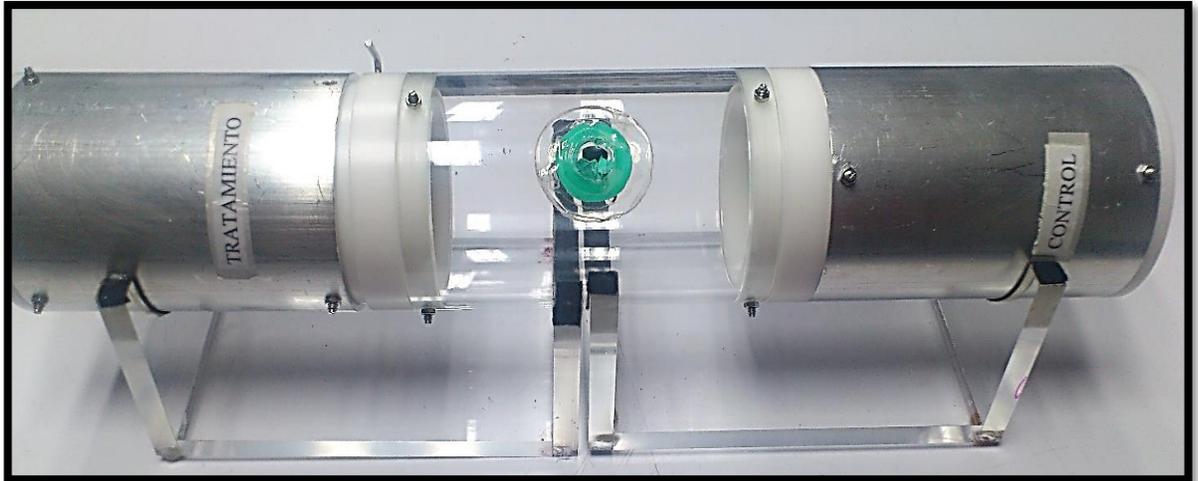


Figura 2. Ensamblado del equipo HITSS (Sistema de Investigación de Alto-rendimiento de Procesamiento) utilizado en las pruebas de atracción de las diferentes mezclas de los atrayentes sobre hembras de *Ae. aegypti*.

6.4.3 Ensayos en jaulas entomológicas 90 x 90 x 90 cm

Como primer paso se impregnaron porciones de papel filtro Whatman N° 2 (4x2 cm) con 100 μ L del tratamiento. Se realizaron dos tipos de experimentos, en el primero se colocaron 20 mosquitos dentro de una jaula entomológica metálica (90 x 90 x 90 cm) y se dejaron aclimatar durante 5 min; transcurrido el tiempo se introdujo el sustrato impregnado con el tratamiento a evaluar: control negativo (acetona), control positivo (cebo BG-Sentinel), mezcla 1 y mezcla 2. En el segundo tipo de experimento se introdujeron 20 mosquitos en la jaula, el tratamiento y se agregó un ventilador (Stereon SA. De C.V, 1.0 m/s, 8") para favorecer la dispersión del producto. Cada experimento tuvo una duración de 3 horas con observaciones e introducción de mosquitos nuevos cada 30 minutos, se realizó el conteo del número de mosquitos que se acercaron, aterrizaron en cebo (papeleta con tratamiento) para conocer los porcentajes de atracción en diferentes tiempos. Se realizaron cuatro repeticiones, se limpiaron las jaulas entomológicas con acetona y el laboratorio fue aireado 30 minutos entre bioensayos con diferente producto o concentración.

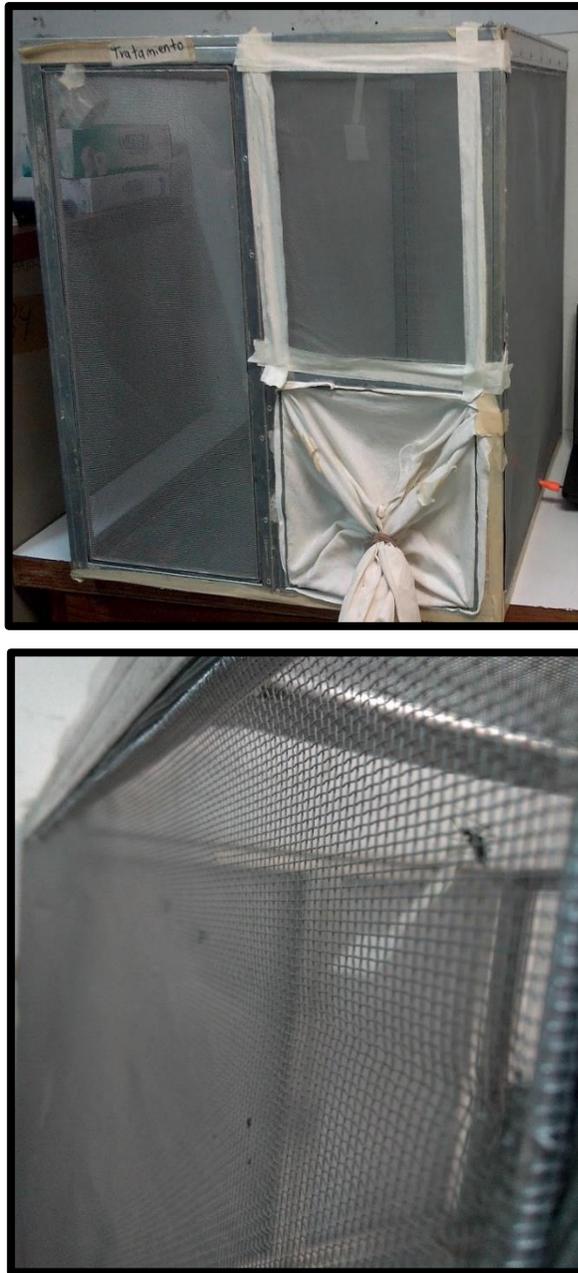


Figura 3. Jaulas metálicas entomológicas de 90 x 90 x 90 cm donde se llevaron a cabo las pruebas de atracción de los cebos desarrollados (mezclas de productos atrayentes) en un área semi-abierta y a mayor escala de espacio.

6.5 Bioensayos de atracción de trampa adhesiva atrayente UANL y cebo atrayente UANL en condiciones de semicampo y campo

6.5.1 Desarrollo de la Trampa Adhesiva Atrayente de la UANL (UANL *Aedes* Trap®)

Como base para el diseño de nuestra trampa se utilizó un molde piramidal de cartón (13x24 cm, Multi Empaque Monterrey S.A de C.V), las paredes interiores fueron forradas con papel adhesivo Sku Travol0001 (TeTengo S. de R.L de C.V) y el piso de la trampa con papel adhesivo tipo papel gato (ECO Company S.A). En la parte superior de la trampa fue colocado un ventilador (Steren SA. De C.V, 4", 12 V, 1.44 W, 150 mAm de consumo de corriente, versión 1.3, función silenciosa: 29.8 dBA) que permitía la succión de los mosquitos y la dispersión del cebo atrayente.

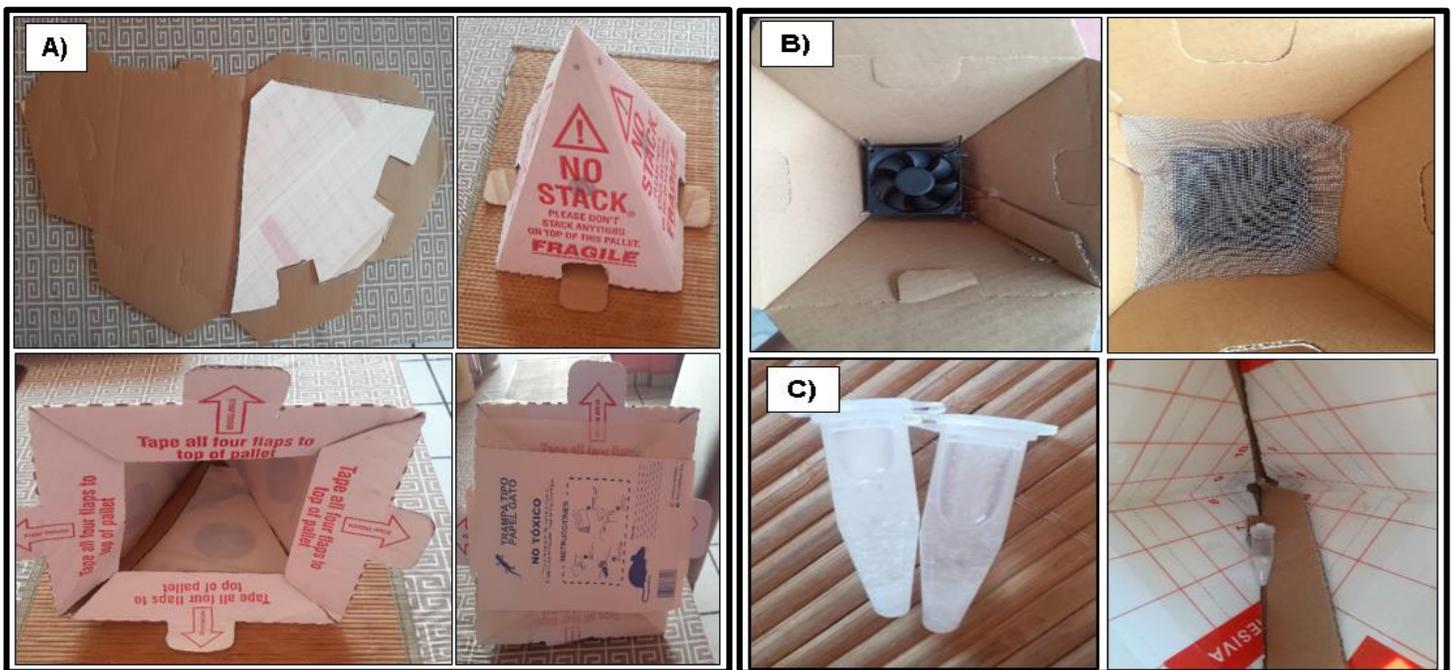


Figura 4. A) Molde piramidal de cartón (13x24 cm, Multi Empaque Monterrey S.A de C.V), las paredes interiores fueron forradas con papel adhesivo Sku Travol0001 (TeTengo S. de R.L de C.V) y el piso con papel adhesivo tipo papel gato (ECO Company S.A). B) En la parte superior de la trampa fue colocado un ventilador, protegido con malla mosquitera, que permitía la succión de los mosquitos y la dispersión del cebo atrayente. C) Tubo eppendorf con 1 mL del cebo atrayente (mezcla 2) y colocado en las paredes interiores de la trampa.

6.5.2 Diseño del cartucho con la mezcla 2 (cebo atrayente UANL)

A un tubo eppendorf (1.5 mL) le fue agregado 0.5 gr de hidrogel (Hidro Gel) activado con agua y 1 mL del cebo atrayente (mezcla 2). El cebo fue preparado 24 horas antes de los bioensayos y colocado dentro de la trampa 5 minutos antes de iniciar cada ensayo.

6.5.3 Material biológico

Para los bioensayos se utilizaron hembras *Ae. aegypti* de campo (F1-F5) de 4 a 7 días de edad sin alimentar con sangre obtenidas mediante pesquisa larvaria en diferentes colonias de la ciudad de Tapachula, Chiapas. Las larvas fueron llevadas al insectario de insecticidas del CRISP/INSP para ser criadas hasta adultos (F0) y obtener descendencia.

6.5.4 Bioensayos de semicampo de la trampa adhesiva atrayente de la UANL a escala de invernadero

Los bioensayos fueron llevados a cabo en el campo experimental del Centro Regional de Investigación en Salud Pública (CRISP-INSP) ubicado en el ejido Río Florido, Tapachula, Chiapas de marzo a mayo 2023. Durante los bioensayos el promedio de temperatura ambiental fue de 35.6 °C y 62% de humedad relativa.

Cuatro tipos de bioensayos fueron llevados a cabo en jaulas entomológicas de 2 x 2 mts. En el primero de los bioensayos se colocó la trampa adhesiva atrayente, una planta (*Mentha spicata*) como refugio y un recipiente con glucosa al 10% como alimento para los mosquitos; en el segundo tipo de bioensayo la trampa adhesiva atrayente, cebo atrayente (mezcla 2), una planta (*Mentha spicata*) y un recipiente con glucosa al 10%; en el tercer tipo de experimento la trampa adhesiva atrayente con el ventilador, cebo atrayente (mezcla 2), una planta (*Mentha spicata*) y un recipiente con glucosa al 10% y en el cuarto tipo de bioensayo la trampa atrayente BG-Sentinel con el cebo atrayente BG-Sentinel, una planta (*Mentha spicata*) y un recipiente con glucosa al 10%.

Una vez preparada nuestra jaula entomológica de liberaron 100 hembras de *Ae. aegypti* de campo y se hicieron observaciones durante 10 minutos para asegurarnos de la aclimatación de los mosquitos y la capacidad de vuelo. Se hizo la primera lectura de mosquitos capturados a las 24 horas y 7 días posterior a la primera liberación. Una vez realizada la lectura de los 7 días se realizó una segunda liberación (100 mosquitos hembra)

en las mismas condiciones en que se encontraba el espacio de trabajo y sin recambio de trampas, como último paso se tomó una última lectura a las 24 horas posteriores a la segunda liberación. Se realizaron 5 repeticiones para la trampa adhesiva atrayente y 3 repeticiones para la BG-Sentinel. Las jaulas entomológicas fueron aireadas 24 horas entre bioensayos.

6.5.5 Bioensayos de campo de la trampa adhesiva atrayente de la UANL en un ambiente intra y peridomicilio

Se seleccionaron 5 casas en diferentes colonias de la ciudad de Tapachula, Chiapas (La Primavera, 5 de febrero, Barrio Nuevo y fraccionamiento Libertad), en cada una de ellas, con la previa autorización y capacitación del jefe de familia, se colocó una trampa adhesiva atrayente que incluía el cebo y el uso del ventilador. La trampa fue retirada 7 días después y se realizó el conteo y la identificación del material biológico capturado. Igualmente, en 3 hogares de las casas seleccionadas (Barrio Nuevo y 5 de febrero) se colocaron trampas BG-Sentinel y se retiraron 7 días después para el conteo e identificación del material biológico obtenido.

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todos los datos generados fueron verificados para determinar los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilks y Levine, respectivamente. Los datos obtenidos en el sistema HITSS, en las jaulas entomológicas (90 × 90 × 90 cm); así como los porcentajes de captura obtenidos de los ensayos de semicampo a las 24 horas, 7 días después de la primera liberación y 24 horas después de la segunda liberación siguieron una distribución normal. Estos se analizaron utilizando un ANOVA unidireccional y una prueba de Tukey para determinar la diferencia entre los tratamientos con AMOVI Statistical Packages 3.2.21 (The Jamovi Project (2023) Sydney, Australia y Bernhard Klöngenberg (<https://artofstat.com/web-apps> 2022) (consultado el 16 de agosto 2023). Para los datos obtenidos en campo, se calculó la prueba t de Welch para comparar las proporciones de mosquitos capturados entre los dos tipos de trampas y las proporciones de sexos. Asimismo, para los datos obtenidos en el HITSS se calculó el índice de actividad espacial ($SAI = ((N_c - N_t) / (N_c + N_t)) \times (N_m / N)$), donde N_c = el número de mosquitos en el control. cilindro, N_t = el número de mosquitos en el tratamiento del cilindro, y N_m = el número total de mosquitos. Los resultados más cercanos a -1 indican una mayor atracción espacial hacia el tratamiento (Grieco *et al.* 2007).

8. RESULTADOS

8.1 Revisión bibliográfica

De acuerdo a los resultados arrojados por el buscador (Google Académico) se encontraron más de 50 artículos de interés para los criterios buscados. Se realizó la lectura y análisis de 10 de ellos, incluyendo la revisión bibliográfica realizada por Satoto *et al.* en el 2021. Basados en lo anterior se identificaron 9 productos atrayentes de interés: ácido láctico, ácido hexanoico, cloruro de amonio, linalol, octenol, CO₂, compuestos cetónicos, sulfuros y cloroalcanos. De los antes mencionados se seleccionó el ácido láctico, ácido hexanoico, cloruro de amonio y linalol ya que presentan porcentajes significativos de atracción solos o en mezclas; al contrario del resto de los demás productos que desempeñan un mejor papel atrayente únicamente en mezclas.

8.2 Análisis cromatográfico del cebo atrayente de la trampa estándar BG-Sentinel

De acuerdo al cromatograma obtenido se obtuvieron 2 compuestos de interés en la muestra analizada. El primer compuesto es el ácido láctico. El cual eluye a un tiempo de 1.82 min y el segundo compuesto es el ácido hexanoico, el cual eluye a un tiempo de 2.17 min (Nº de servicio: 22/1781).

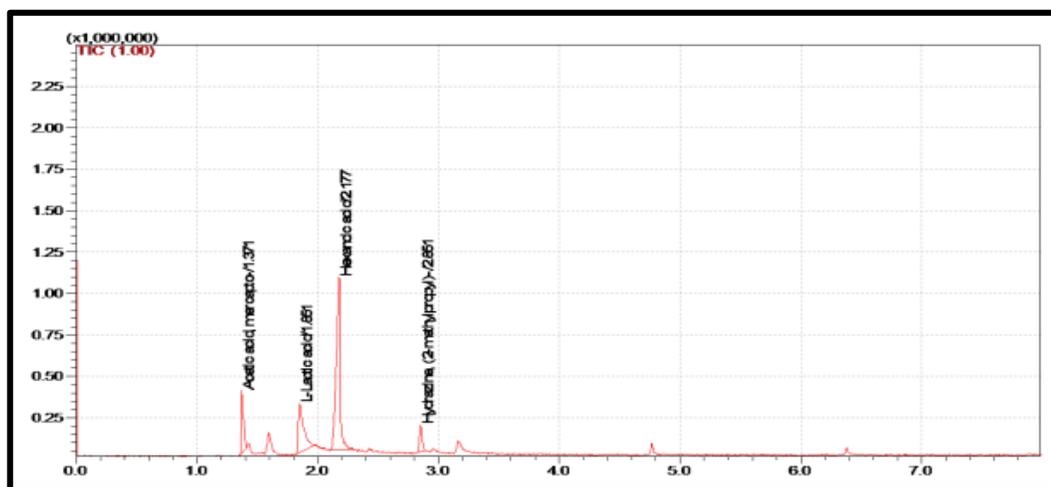


Figura 5. Cromatograma obtenido de la muestra de cebo BG-Sentinel analizada.

8.3 Bioensayos de atracción de las mezclas atrayentes sobre hembras de *Ae. aegypti* en laboratorio

8.3.1 Ensayos en el sistema HITSS

Se presentaron diferencias significativas en los porcentajes de atracción obtenidos en el sistema HITSS. El porcentaje de atracción para el control negativo (acetona) fue $10.00 \pm 4.08\%$, $27.50 \pm 2.50\%$ para el control positivo (50 gr del cebo BG-Sentinel), $42.50 \pm 4.79\%$ para la mezcla 1 y $47.50 \pm 4.79\%$ para la mezcla 2 ($F= 16.6$, $gl= 3$, $P= < .001$). De acuerdo a los cálculos del SAI el control negativo obtuvo un Índice de Actividad Espacial de -0.03 ± 0.00 , el control positivo -0.18 ± 0.05 , -0.20 ± 0.00 la mezcla 1 y -0.45 ± 0.05 la mezcla 2.

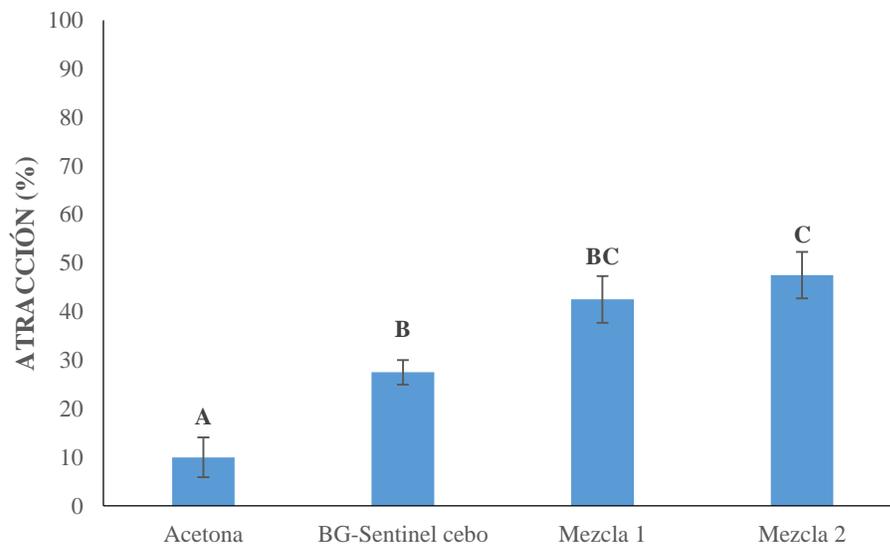


Figura 6. Porcentaje de atracción de hembras de *Ae. Aegypti* en respuesta a cuatro diferentes tratamientos en el sistema HITSS ($F= 16.6$, $gl= 3$, $P= < .001$). Letras iguales indican no diferencia significativa entre tratamientos.

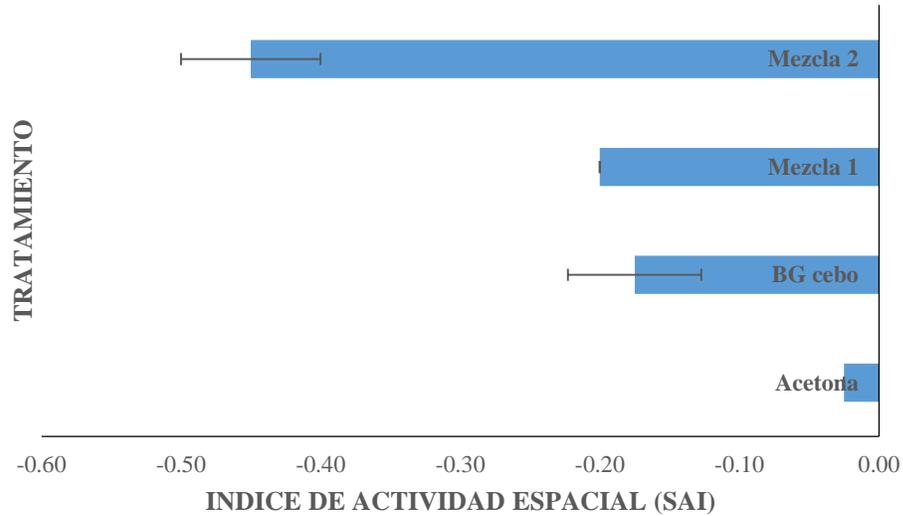


Figura 7. Índices de Actividad Espacial (SAI) de hembras de *Ae. Aegypti* en respuesta a cuatro diferentes tratamientos en el sistema HITSS. Resultados más cercanos a -1 indican mayor atracción.

8.3.2 Ensayos en jaulas entomológicas 90 x 90 x90 cm

En las pruebas sin el uso de un ventilador el control negativo obtuvo $0.83 \pm 0.84\%$ de atracción, el control positivo $8.33 \pm 3.09\%$, la mezcla 1 obtuvo $9.17 \pm 3.53\%$ y la mezcla 2 presento un $15.83 \pm 4.38\%$. En las pruebas donde sí se utilizó un ventilador el control negativo obtuvo $0.00 \pm 0.00\%$ de atracción, el control positivo $34.17 \pm 5.56\%$, la mezcla 1 obtuvo $28.33 \pm 4.79\%$ y la mezcla 2 presento un $40.83 \pm 6.27\%$ ($F = 34.9$, $df = 5$, $p = < 0.001$).

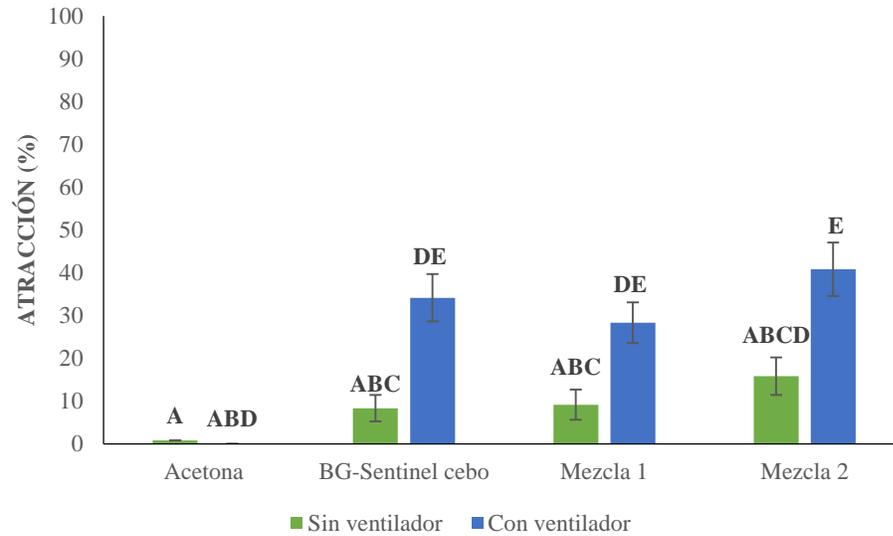


Figura 8. Porcentaje de atracción de hembras de *Ae. aegypti* expuestas a cuatro diferentes tratamientos con y sin uso de un ventilador (8") en jaulas entomológicas de 90 x 90 x 90 cm ($F = 34.9$, $df = 5$, $p < 0.001$). Letras iguales indican no diferencia significativa entre tratamientos ($P > 0.05$).

8.4 Bioensayos de atracción de trampa adhesiva atrayente UANL y cebo atrayente UANL en condiciones de semicampo y campo

8.4.1 Bioensayos de semicampo de la trampa adhesiva atrayente de la UANL a escala de invernadero

Los porcentajes de captura en las pruebas de semicampo a las 24 horas posteriores a la primera liberación fueron $8.90 \pm 2.10\%$ para la trampa adhesiva; $21.60 \pm 3.55\%$ para la trampa adhesiva más el cebo atrayente (mezcla 2); $43.20 \pm 4.00\%$ para la trampa adhesiva, más el cebo atrayente (mezcla 2) y el uso del ventilador; y $63.67 \pm 11.11\%$ para la trampa BG-Sentinel ($F=17.2$, $gl= 3$, $P= 0.002$).

Para las lecturas realizadas 7 días posteriores a la primera liberación se obtuvo $12.10 \pm 3.30\%$ para la trampa adhesiva; $27.00 \pm 5.80\%$ para la trampa adhesiva más el cebo atrayente (mezcla 2) y $64.33 \pm 11.64\%$ para la trampa BG-Sentinel ($F= 13.7$, $gl= 2$, $P= 0.001$). Debido a condiciones climatológicas adversas, que comprometían el estado físico de las trampas si eran manipuladas, no se pudo realizar el conteo de los porcentajes de captura a los 7 días posteriores a la primera liberación para el tratamiento trampa adhesiva más atrayente y ventilador.

Por último, los porcentajes de captura en las pruebas de semicampo a las 24 horas posteriores a la segunda liberación fueron $2.40 \pm 0.79\%$ para la trampa adhesiva; $10.00 \pm 1.79\%$ para la trampa adhesiva más el cebo atrayente (mezcla 2); $40.80 \pm 2.91\%$ para la trampa adhesiva, más el cebo atrayente (mezcla 2) y el uso del ventilador; y $65.33 \pm 7.45\%$ para la trampa BG-Sentinel ($F= 13.77$, $gl= 3$, $P= 0.0028$).

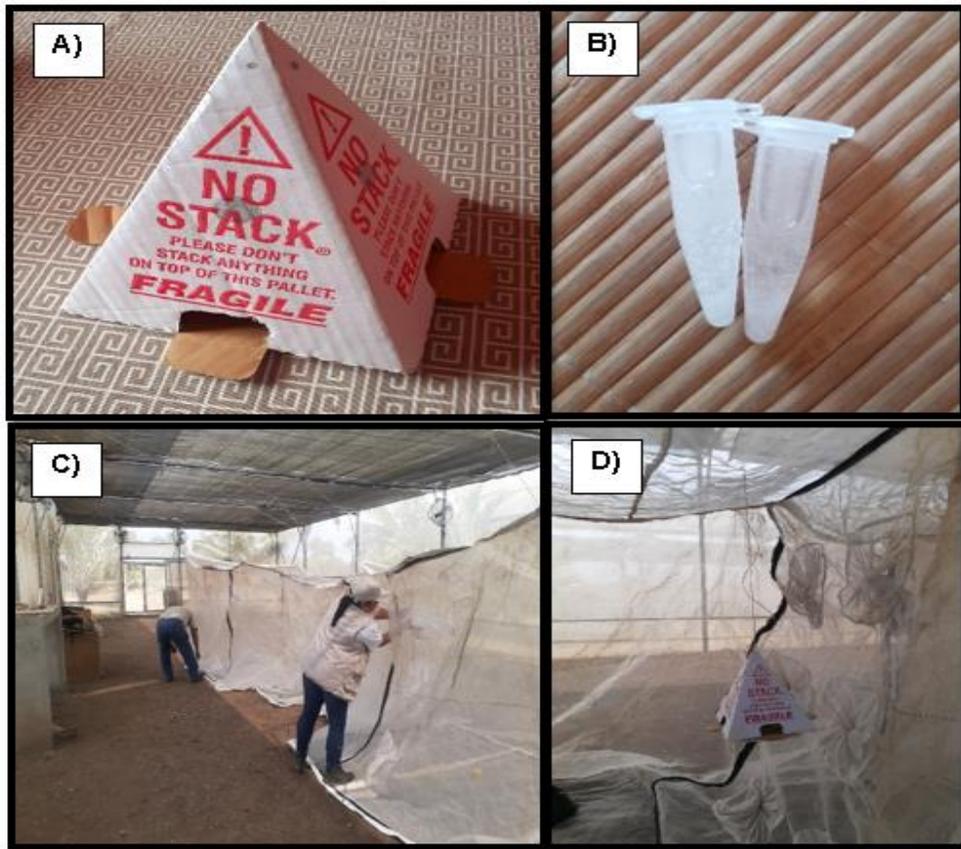


Figura 9. A) Diseño de la trampa adhesiva; B) presentación del cebo atrayente seleccionado (mezcla 2) para incluirse en las rampas adhesivas; C) Jaulas entomológicas de 2 x 2 metros ubicadas en el centro experimental del CRISP-INSP en el ejido Río Florido y D) Posición elevada en que las trampas fueron colocadas dentro de las jaulas entomológicas.

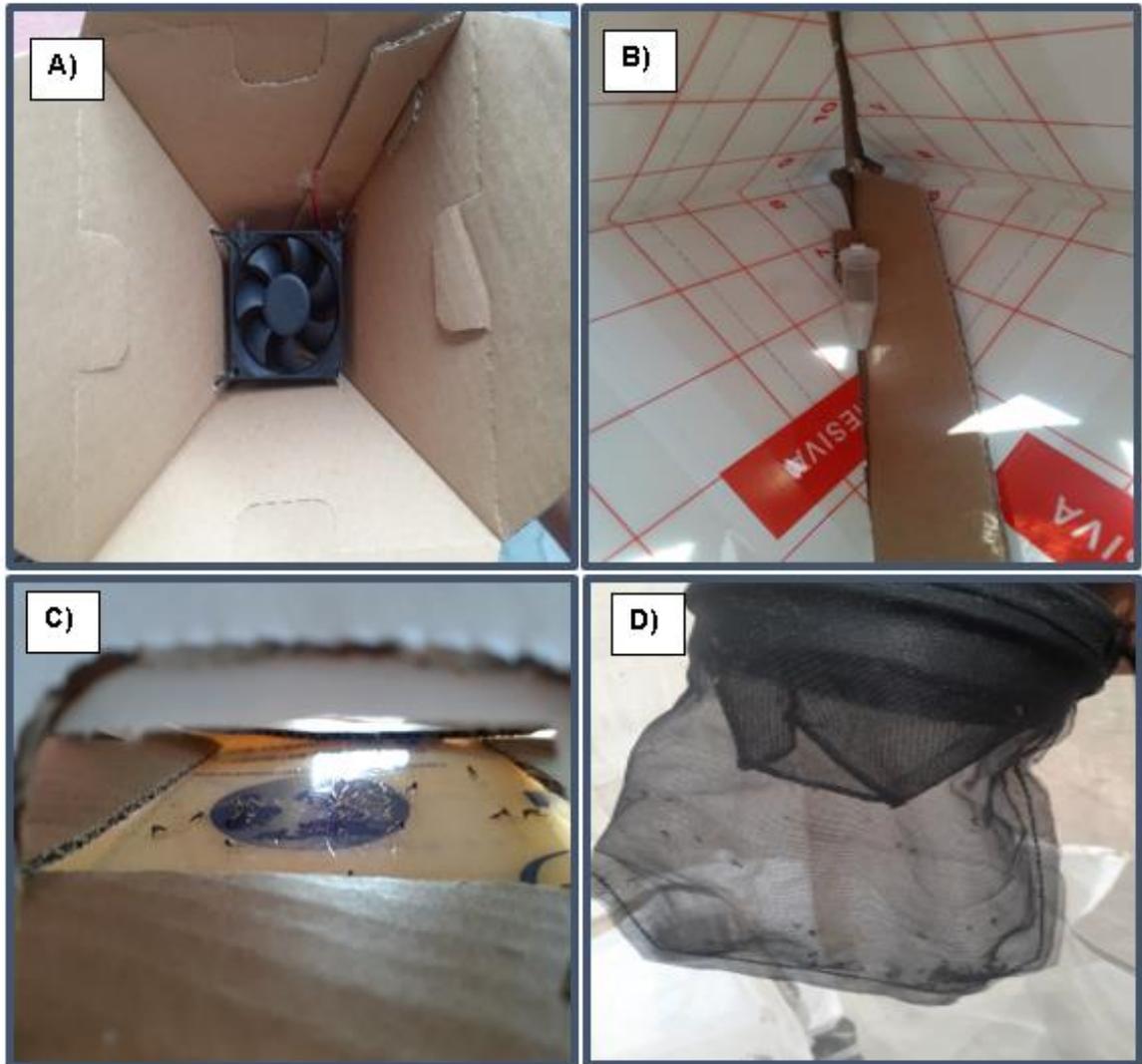


Figura 10. A) Posición del ventilador dentro de la Trampa Adhesiva Atrayente UANL; B) Posición del cebo (mezcla 2) dentro de la Trampa Adhesiva Atrayente UANL; C) Ejemplo de capturas de mosquitos *Ae. aegypti* de la Trampa Adhesiva Atrayente UANL en bioensayos de semicampo; D) Ejemplo de capturas de mosquitos *Ae. aegypti* de la trampa BG-Sentinel en bioensayos de semicampo.

Tabla 1. Porcentaje de mosquitos capturados por trampa para 100 hembras de *Ae. aegypti*. Los mosquitos fueron liberados dos veces: la primera vez 24 horas después de la liberación inicial el día 1 y luego nuevamente después de 7 días. Los datos fueron recolectados a partir de bioensayos de semicampo realizados en jaulas entomológicas de 2 x 2 x 2 m en el centro experimental CRISP-INSP ubicado en el Ejido Río Florido.

Porcentaje de mosquitos capturados por trampa de 100 hembras de <i>Ae. Aegypti</i> liberadas en los bioensayos de semicampo			
(Porcentaje de captura \pm SE)			
Sistema de trampeo	24 hr después de la primera liberación	7 días después de la primera liberación	24 hr después de la segunda liberación
Trampa Adhesiva Atrayente UANL	9.6 \pm 2.7%	12.8 \pm 4.2%	2.4 \pm 0.7%
Trampa Adhesiva Atrayente UANL + cebo	21.6 \pm 3.5%	27.0 \pm 5.8%	10.0 \pm 1.7%
Trampa Adhesiva Atrayente UANL + cebo + ventilador	43.2 \pm 4.0%	*	40.8 \pm 2.9%
BG-Sentinel + BG cebo	63.6 \pm 11.1%	64.3 \pm 11.6%	65.3 \pm 7.4%

* Debido a condiciones climáticas adversas, que comprometían el estado físico de las trampas en caso de ser manipuladas, no se pudieron contabilizar los porcentajes de captura.

8.4.2 Bioensayos de campo de la trampa adhesiva atrayente de la UANL en un ambiente intra y peridomicilio

Sólo la combinación trampa adhesiva + mezcla atrayente + ventilador fue evaluada en condiciones de campo. Esta fue colocada en la sala o dormitorio de las casas seleccionadas durante un período de muestreo de 7 días. Los residentes de las viviendas presentaron quejas sobre el olor del cebo de la trampa BG-Sentinel, por lo que decidimos reubicar estas trampas en el exterior de la casa, en un punto más cercano a la puerta principal de las viviendas elegidas. En total, cinco de nuestras trampas capturaron 28 mosquitos con una media de 6.00 ± 1.50 (64.30% hembras y 37.70% machos), mientras que los BG-SB capturaron un total de 30 mosquitos con una media de 10.00 ± 2.60 (63.30% hembras y 33.70% machos). No se presentaron diferencias significativas en las capturas totales entre la trampa para mosquitos *Aedes* de la UANL y la trampa BG-Sentinel (T-Welch = -0.46 , $gl = 1$, $p = 0.65$). Asimismo, no hubo diferencia significativa en la captura total de hembras (T-Welch = -0.24 , $gl = 1$, $p = 0.81$) y machos (T-Welch = -0.27 , $gl = 1$, $p = 0.78$) para ambas trampas. De acuerdo con los datos obtenidos de las pruebas de campo, no observamos diferencia en el número de capturas de *Ae. aegypti* (sin importar el sexo) para ambas trampas. Por lo tanto, nuestra trampa adhesiva diseñada para la captura de mosquitos *Aedes* presentó un porcentaje de atracción similar a la trampa atrayente estándar oro BG-Sentinel.



Figura 11. Ejemplo de la posición de la A) Trampa Adhesiva Atrayente UANL y B) Trampa BG-Sentinel dentro de los domicilios en las pruebas de campo. La Trampa UANL fue colocada dentro de los dormitorios o salas; por el contrario, las BG-Sentinel tuvieron que reposicionarse en las entradas o zonas de acceso a los domicilios 24 horas después de haberse iniciado el bioensayo.



Figura 12. Ejemplo del efecto de atracción de la Trampa Adhesiva Atrayente UANL para mosquitos *Ae. aegypti* observado en los bioensayos de campo (intra y peridomicilio).

Tabla 2. Número total de mosquitos *Ae. aegypti* capturados en el intra y peridomicilio mediante el uso de la Trampa Adhesiva Atrayente + cebo + ventilador de la UANL y la trampa BG-Sentinel + cebo BG en diferentes localidades de Tapachula, Chiapas y México.

Trampa Adhesiva Atrayente UANL			
	Hembras capturadas	Machos capturados	Total
Total	18	10	28
Promedio	3.60 ± 1.50	2.00 ± 1.00	6.00 ± 1.50

Trampa BG-Sentinel			
	Hembras capturadas	Machos capturados	Total
Total	19	11	30
Promedio	6.30 ± 4.50	3.70 ± 2.10	10.00 ± 2.60

Nota: El cebo de la Trampa Adhesiva atrayente UANL corresponde a linalol 15%, ácido láctico 10%, ácido hexanoico 1% y cloruro de amonio 1%. El cebo de la Trampa BG-Sentinel corresponde al BG-Lure obtenido de forma comercial.

9. DISCUSIONES

Los productos químicos evaluados en este trabajo presentaron porcentajes significativos de atracción, para el vector *Ae. aegypti*, tanto de manera individual como en mezclas. En nuestro trabajo los porcentajes de atracción obtenidos en laboratorio variaron en función de la concentración de los atrayentes y el uso o no de un ventilador. La mezcla 2 fue el tratamiento seleccionado para utilizarse como cebo atrayente, para nuestra trampa, ya que presentó el mejor porcentaje de atracción en el sistema HITSS ($47.50 \pm 4.79\%$), el mejor índice de actividad espacial (-0.45 ± 0.05) y mejor porcentaje de atracción en las pruebas en jaulas entomológicas ($40.83 \pm 4.6.27\%$) con el uso de un ventilador.

Satoto *et al.* realizaron en el 2021 una revisión sistemática de 42 artículos publicados donde se reportaba el uso de trampas para mosquitos donde se utilizaba ácido láctico o la combinación de ácido láctico con otros productos. Y al igual que como observamos en nuestro trabajo, ellos reportan que el ácido láctico en combinación con dos atrayentes efectivos (amoníaco y ácido caproico) resulta en una mezcla sinérgica con la que se obtienen mejores porcentajes de atracción o captura. Y concluyen que el ácido láctico debe ser combinado con otros productos para aumentar su eficacia como atrayente de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*.

En nuestras pruebas de laboratorio se puede notar que con el uso de un ventilador se obtienen mejores porcentajes de atracción, observación que puede corroborarse en las pruebas de semicampo. En las pruebas donde se utilizó únicamente la Trampa Adhesiva Atrayente UANL más el cebo UANL (mezcla 2) se obtiene un porcentaje de captura de $21.60 \pm 3.55\%$ a las 24 horas posteriores a la primera liberación y se observa un aumento del 50% ($43.20 \pm 4.00\%$) cuando se agrega el uso del ventilador. Esto se debe a que la liberación de compuestos químicos volátiles depende de la velocidad de difusión del compuesto a través del sustrato y la velocidad de evaporación de la molécula en el aire (Stipanovic *et al.* 2004). El primero depende de las características del liberador como el tipo de matriz, tamaño, forma, grosor, uso de un ventilador y distribución del producto en la matriz (Alfaro-Cid *et al.* 2009) mientras que el segundo se basa en parámetros ambientales y propiedades físicas del compuesto (Stipanovic *et al.* 2004).

En las pruebas de semicampo podemos observar que la trampa BG-Sentinel es la que presento los mejores porcentajes de captura en los 3 tiempos de lectura (por arriba del 60%) y no así en las pruebas de laboratorio. Es aquí donde se puede notar la importancia de una formulación adecuada del cebo, un diseño adecuado de la trampa y el uso de un ventilador. Sin embargo, en las pruebas de campo no se presenta una diferencia evidente en las capturas de *Ae. aegypti*.

Johnson *et al.* en 2017 reportaron una comparación en el uso de trampas para hembras grávidas de *Aedes* (GAT) como dispositivo de vigilancia para *Ae. albopictus* en comparación con las trampas BG-Sentinel, en resumen, ambas trampas tuvieron éxito en el monitoreo de hembras de *Ae. albopictus* durante sus respectivos intervalos de captura, pero concluyen que sería mejor usarlas para complementarse entre sí. Ambas trampas pueden ser utilizadas para monitorear ambos sexos de *Aedes* y todas las etapas fisiológicas de las hembras. Otro punto importante que mencionan es la versatilidad y el bajo costo del GAT que la convierten en una alternativa más atractiva ya que la trampa BG-Sentinel es más costosa y no siempre tiene buena aceptación (Johnson *et al.* en 2017.) Al igual que Johnson *et al.* en nuestro trabajo notamos la diferencia en precios entre la BG-Sentinel y nuestra trampa adhesiva atrayente manufacturada con productos de venta libre y de bajo costo.

Sin embargo, a pesar de los resultados prometedores que se presentan en este trabajo hay puntos importantes que se deben tomar en cuenta a la hora de realizar las pruebas de campo a una mayor escala o que los sistemas de salud incluyan esta estrategia de monitoreo. Parra *et al.*, en el 2018 realizaron un estudio de casos y controles para predecir áreas con riesgo de transmisión de dengue, durante el periodo de pruebas en campo lograron instalar 2232 trampas de monitoreo; pero durante las 36 semanas de estudio tuvieron 660 trampas perdidas y 40 cambios de ubicación. Las causas más frecuentes de pérdidas fueron las viviendas inaccesibles, los días libres (principalmente festivos) y los días de lluvia. La mayoría de los cambios (60%) de residencia se produjeron en las cinco semanas iniciales del estudio. Y a pesar de los contratiempos sus trampas capturaron 6024 mosquitos *Aedes* y 1333 *Culex*. En nuestro caso se presentaron contratiempos en las pruebas de semi-campo debido a las condiciones climatológicas (lluvia) que impidieron

la lectura de algunos datos, sin embargo, no afectó las condiciones físicas de la trampa y el estudio pudo concluirse. También es importante que mencionemos que en la etapa de campo las trampas adhesivas atrayentes UANL fueron bien aceptas por las jefas de familia, el olor del cebo UANL (mezcla 2) no generó molestia en la familia por lo que los ensayos pudieron llevarse a cabo en el interior de las casas (habitación o sala); en el caso de la BG-Sentinel 24 horas después de haberse iniciado el ensayo, se tuvieron que cambiar de posición las trampas a los corredores o patio de la casa (peridomicilio) y reiniciar el experimento. Ya que el olor del cebo BG-Sentinel generó malestar en algunos miembros de la familia. Para este apartado concluimos que para el monitoreo intradomicilio de *Ae. aegypti* nuestra trampa presentó resultados alentadores y que para las pruebas peridomicilio es necesario mejorar el diseño exterior de la trampa para no comprometer la funcionalidad de esta debido a condiciones meteorológicas.

Como ya mencionamos con anterioridad la importancia del desarrollo de un sistema de monitoreo entomológico de costo accesible y funcional para la vigilancia de las poblaciones de mosquitos *Aedes* en el intra y peridomicilio, como el que estamos proponiendo, recae en que los protocolos ya estandarizados para la vigilancia del dengue que se basan en índices Aédicos (Breteau, vivienda y contenedores) que están considerados como estimadores de riesgo de la transmisión, y que se centran fundamentalmente en el muestreo de estados larvales (Bowman *et al.* 2014). En la mayoría de los casos lo anterior va complementado con el uso de ovitrampas, debido a la capacidad de estas para la detección del vector inclusive en áreas donde el nivel poblacional de *Aedes* es reducido. Pero dentro de las desventajas del uso de estos índices es que no siempre existe una correlación entre la abundancia de mosquitos adultos y los casos de dengue confirmados debido a que una hembra es capaz de repartir sus huevos en diferentes tipos y números de criaderos (Focks 2003). Otra desventaja son las dificultades prácticas y al trabajo que representa estimar un índice de pupas, en particular cuando se deben monitorear recipientes de grandes dimensiones (Eiman *et al.* 2010).

Por lo anterior es que, en la actualidad, el número de métodos alternativos para estimar la abundancia de adultos o mejoras de las técnicas disponibles está comenzando a crecer (Barrera *et al.* 2013) y como reflejo de ello nos encontramos con la necesidad de contar

con datos demográficos reales de los vectores adultos. Los índices de adultos de *Ae. aegypti* descritos en el trabajo de Parra *et al.* 2018 y Ong *et al.* 2020, así como el uso de trampas adhesivas atrayentes como la que se desarrolló en este trabajo, se pueden aplicar en varios niveles de agregación espacial para un monitoreo completo del área de estudio, así como para sub-áreas, como manzanas (Parra *et al.* 2018; Ong *et al.* 2020). Sin embargo, a pesar de que estos índices y el uso de trampas para adultos son adecuados para predecir el riesgo de dengue, deben probarse y validarse en varios escenarios antes de su uso rutinario. Ya que en un futuro esto podría recomendarse como un indicador para la toma de decisiones en los esfuerzos de control de vectores y para monitorear la variabilidad espacio-temporal de la población adulta de *Aedes* en nuestro país.

10. CONCLUSIÓN

- El desarrollo de nuestra Trampa Adhesiva Atrayente UANL (UANL *Aedes* Trap®) surge de la necesidad de desarrollar trampas de bajo costo para la vigilancia de poblaciones adultas del mosquito *Aedes aegypti* en América Latina y otras zonas.
- Los resultados de una vigilancia entomológica adecuada pueden desencadenar toda una serie de procedimientos de atención médica y actividades de control de vectores. Por el contrario, una vigilancia entomológica débil o la falta de esta tiene graves consecuencias para los sistemas de salud.
- Los mosquitos *Ae. aegypti* son una especie que se sienten muy atraídos por compuestos presentes en la piel humana; por lo que estos compuestos pueden utilizarse para atraerlos y capturarlos. Sin embargo, surge la necesidad de dispersar los compuestos atrayentes mediante el uso de ventiladores eléctricos o de batería lo que aumenta los costos de los prototipos de trampas atrayentes.
- En este estudio, utilizamos un molde piramidal de cartón adhesivo y cuatro compuestos atrayentes (linalol, 15%; ácido láctico, 10%; ácido hexanoico, 1%; y cloruro de amonio, 1%) junto con un ventilador motorizado.
- Se realizaron estudios de semicampo y de campo utilizando la trampa BG-Sentinel como control positivo, la cual es aceptada como el estándar de oro. Curiosamente, después de un período de muestreo de 7 días en el entorno doméstico, cinco de nuestros prototipos capturaron 28 mosquitos con una media de 6.00 ± 1.50 (64.30% hembras y 37.70% machos), mientras que el BG-SB capturó un número similar de 30 mosquitos con una media de 10.00 ± 2.60 (63.30% hembras y 33.70% machos).
- No se observó ninguna diferencia significativa en las capturas totales entre la trampa de *Aedes* de la UANL y la trampa BG-Sentinel.
- Los resultados obtenidos en este trabajo, en condiciones de campo y semicampo, nos permiten demostrar la sensibilidad y especificidad de la trampa, indicando su potencial para ser utilizada en el futuro como indicador de vigilancia de vectores, reemplazando así los tradicionales y débiles índices de casas larvarias.

11. BIBLIOGRAFÍA

Alfaro-Cid E., Esparcia-Alcázar A I, Moya P, Femenia-Ferrer B, Sharman K, Merelo, JJ. 2009. Modeling pheromone dispensers using genetic programming. In Workshops on Applications of Evolutionary Computation. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 635-644.

Barrera, R., Mackay, A. J., & Amador, M. 2013. An improved trap to capture adult container-inhabiting mosquitoes. Journal of the American Mosquito Control Association, 29(4), 358.

Bowman, L. R., Runge-Ranzinger, S., & McCall, P. J. 2014. Assessing the relationship between vector indices and dengue transmission: a systematic review of the evidence. PLoS neglected tropical diseases, 8(5), e2848.

Correa Morales, F. 2021. Desarrollo de un método rápido de rociado residual intradomiciliario para el control de *Aedes aegypti* (L) vector de los virus dengue, chikungunya y zika en México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Eiman, M., Introini, V., Ripoll, C., Almirón, W., De Melo, C., Gorla, D., ... & De Tito, E. 2010. Directrices para la prevención y control de *Aedes aegypti*. Dirección de Enfermedades Transmitidas por Vectores. Buenos Aires: Ministerio de Salud de la Nación.

Focks, D. A. 2003. A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors [Internet]. Geneva, Switzerland: World Health Organization on behalf of the Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases.

Garcez, P. P., & EC, L. 2016. Madeiro da Costa R, Higa LM, Trindade P, Delvecchio R, Nascimento JM, Brindeiro R, Tanuri A, Rehen SK: Zika virus impairs growth in human neurospheres and brain organoids. Science, 352(6287), 816-8.

Grieco J.P, Achee N.L, Chareonviriyaphap T, Suwonkerd W, Chauhan K, Sardelis M.R, *et al.* 2007. A New Classification System for the Actions of IRS Chemicals Traditionally

Used For Malaria Control. PLoS ONE. 2(8): e716.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000716> PMID: 17684562

Gubler D.J. 2002. The global emergence/resurgence of arboviral diseases as public health problems. *Arch Med Res* 33: 330–342.

Gubler D.J. 2004. The changing epidemiology of yellow fever and dengue, 1900 to 2003: full circle? *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 27: 319–330

Guzman, M. G., Halstead, S. B., Artsob, H., Buchy, P., Farrar, J., Gubler, D. J., ... & Peeling, R. W. 2010. Dengue: a continuing global threat. *Nature reviews microbiology*, 8(12), S7-S16.

Johnson, B. J., Hurst, T., Quoc, H. L., Unlu, I., Freebairn, C., Faraji, A., & Ritchie, S. A. 2017. Field comparisons of the Gravid Aedes Trap (GAT) and BG-Sentinel trap for monitoring *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) populations and notes on indoor GAT collections in Vietnam. *Journal of medical entomology*, 54(2), 340-348.

Lazcano, J. A. B., Fernández, M. D. C. M., Dorta, D. M., Contreras, N. H., Silva, M. L., González, O. F., ... & Miró, V. V. 2021. Aportes científicos del Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri a la vigilancia de *Aedes aegypti* (Díptera: Culicidae) en Cuba, 1982-2020. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 73(3), 1-18.

Manjarres-Suarez, A., & Olivero-Verbel, J. 2013. Chemical control of *Aedes aegypti*: a historical perspective. *Revista costarricense de salud pública*, 22(1), 68-75.

Miner, J. J., Cao, B., Govero, J., Smith, A. M., Fernandez, E., Cabrera, O. H., ... & Diamond, M. S. 2016. Zika virus infection during pregnancy in mice causes placental damage and fetal demise. *Cell*, 165(5), 1081-1091.

Morrison, A. C., Zielinski-Gutierrez, E., Scott, T. W., & Rosenberg, R. 2008. Defining challenges and proposing solutions for control of the virus vector *Aedes aegypti*. *PLoS medicine*, 5(3), e68.

Ong, J., Chong, C. S., Yap, G., Lee, C., Abdul Razak, M. A., Chiang, S., & Ng, L. C. 2020. Gravitrap deployment for adult *Aedes aegypti* surveillance and its impact on dengue cases. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 14(8), e0008528.

Parra, M. C. P., Favaro, E. A., Dibo, M. R., Mondini, A., Eiras, Á. E., Kroon, E. G., ... & Chiaravalloti-Neto, F. 2018. Using adult *Aedes aegypti* females to predict areas at risk for dengue transmission: A spatial case-control study. *Acta tropica*, 182, 43-53.

Rodríguez González, C. 2018. Monitoreo y control de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en la ciudad de Córdoba (Bachelor's thesis).

Saavedra-Rodriguez, K., Maloof, F. V., Campbell, C. L., Garcia-Rejon, J., Lenhart, A., Penilla, P., ... & Black, W. C. 2018. Parallel evolution of *vgsc* mutations at domains IS6, IIS6 and IIIS6 in pyrethroid resistant *Aedes aegypti* from Mexico. *Scientific reports*, 8(1), 1-9.

Satoto, T. B. T., Hartini, S., & Tontowi, A. E. 2021. Systematic review: Effectiveness of combination of lactic acid attractants for control of dengue vector: *Aedes* spp. *Journal of Vector Borne Diseases*, 58(2), 99-105.

Secretaria de Salud. 2014. Norma Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2014, para la vigilancia epidemiológica, promoción, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vectores.

A Secretaria de Salud. Direccion General de epidemiologia. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiologica. Sistema Unico de Informacion. Boletin Epidemiológico. Semana 52. 2023. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/879365/sem52.pdf>

B Secretaria de Salud. Direccion General de Epidemiologia. Panomara Epidemiologico de Dengue. Semana Epidemiologica 52. 2023. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/878786/Pano_dengue_52_2023.pdf

A Secretaria de Salud. Direccion General de epidemiologia. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiologica. Sistema Unico de Informacion. Boletin Epidemiológico. Semana 16. 2024. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/912312/sem16.pdf>

B Secretaria de Salud. Direccion General de Epidemiologia. Panorama Epidemiológico de Dengue. Semana Epidemiologica 16. 2024. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/911576/Pano_dengue_16.pdf

Stipanovic A J, Hennessy PJ, Webster F X, Takahashi Y. 2004. Microparticle dispensers for the controlled release of insect pheromones. *J Agric Food Chem.* 52(8), 2301-2308. <https://doi.org/10.1021/jf0352576>

Torres, J. R., & Castro, J. 2007. The health and economic impact of dengue in Latin America. *Cadernos de saude publica*, 23, S23-S31.

Tozan, Y., Ratanawong, P., Louis, V. R., Kittayapong, P., & Wilder-Smith, A. 2014. Use of insecticide-treated school uniforms for prevention of dengue in schoolchildren: a cost-effectiveness analysis. *PLOS one*, 9(9), e108017.

Vazquez-Prokopec, G. M., Kitron, U., Montgomery, B., Horne, P., & Ritchie, S. A. 2010. Quantifying the spatial dimension of dengue virus epidemic spread within a tropical urban environment. *PLoS neglected tropical diseases*, 4(12), e920.

WHO. Zika situation report. Zika and potential complications. 2016. <https://www.who.int/emergencies/zika-virus/situation-report/who-zika-situation-report-12-02-2016.pdf?ua=1>

WHO. Chikungunya. 2017. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chikungunya>

WHO. National Guideline for Clinical Management of Dengue. 2022. Timor-Leste https://cdn.who.int/media/docs/default-source/2021-dha-docs/5_national-clinical-guideline-of-dengue-timor-leste_clean_final-12-dec-2022.pdf?sfvrsn=e80bf9cd_1&download=true.