

MODIFICACIÓN EN LA ATRACCIÓN QUÍMICA MEDIANTE ADICIÓN DE CO₂ PARA LA RECOLECTA DE MOSQUITOS CULICIDAE

Luz Karime Irurita Jaramillo

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

Correo electrónico: luz.irurita@correounivalle.edu.com

Ranulfo González Obando

Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia.

Correo electrónico: ranulfo.gonzalez@correounivalle.edu.com

RESUMEN

Las hembras de mosquitos realizan la búsqueda y orientación hacia un hospedero guiadas en parte por señales químicas, siendo el ácido láctico (AL), el octenol (O) y el dióxido de carbono (CO₂) unas de las más importantes. Durante el presente estudio, en tres estaciones de campo, se evaluó la atracción de *Aedes aegypti* y *Ae. albopictus*, dos especies de actividad diurna, hacia trampas BG-Sentinel™ (BGS) con AL+CO₂, O+CO₂ y AL+O. Se recolectaron 553 (83,1%) especímenes de *Ae. albopictus* y 102 (16,9%) de *Ae. aegypti*. Ambas especies presentaron mayor actividad en horas de la mañana y una clara preferencia por la combinación de AL+CO₂ (p=0,151; 0,005). Las mezclas de las kairomonas mencionadas también fueron evaluadas en mosquitos de actividad nocturna, en la Laguna de Sonso (Guadalajara de Buga). Se utilizaron tres trampas BGS y dos MM. Se recolectaron 12063 mosquitos pertenecientes a 11 especies de los géneros *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, *Coquillettidia*, *Mansonia*, *Psorophora* y *Wyeomyia*. Las especies más frecuentes — *Cq. venezuelensis* y *Mn. titillans* — fueron más activas en las primeras 12h de muestreo (49,9 al 74% de los mosquitos recolectados). Con las BGS, la frecuencia de mosquitos capturados fue del 40,4% con AL+CO₂, 51,7% con O+CO₂ y 7,9% con AL+O. Con las MM, dicha frecuencia fue del 51,9% para AL+CO₂ y 48,1% para el O+CO₂. En esta localidad, las trampas MM recolectaron una abundancia y una riqueza significativamente mayor que las BGS, pero las BGS modificadas con CO₂ presentaron una mayor frecuencia de captura que una trampa cebada con AL+O.

Palabras clave: *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus*, *Culicidae*, *atrayentes químicos*, *mosquitos*.

ABSTRACT

The female mosquitoes, perform searching and orientation towards a host, guided in part by the chemical signals, being the lactic acid (AL), the octenol (O) and the carbon dioxide (CO₂) the most important ones. During the present study, in three field locations was evaluated the attraction of *Aedes aegypti* and *Ae. Albopictus* to BG-Sentinel™ traps (BGS) baited with AL+CO₂, O+CO₂ and AL+O. 553 (83,1%) specimens of *Ae. albopictus* and 102 (16,9%) of *Ae. aegypti* were collected. Both species showed a higher activity in the morning clear preference for the combination of AL+CO₂ (p= 0.151, 0.005). The kairomone mixtures mentioned also were evaluated with mosquitoes of nocturnal activity in the Sonso lagoon (Guadalajara de Buga) towards the attractants mentioned. Three BGS and two Mosquito Magnet® (MM) traps were used. 12063 mosquitoes belonging to 11 species from the genera *Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, *Coquillettidia*, *Mansonia*, *Psorophora* and *Wyeomyia* were collected. The most collected species were *Cq. venezuelensis* y *Mn. titillans*. The frequency of mosquitoes collected with BGS traps was 40,4% for the AL+CO₂, 51,7% for the O+CO₂ and 7,9% for AL+O. With MM, the frequency was 51,9% for the AL+CO₂ and 48.1% for the O+CO₂. In this location, MM collected an abundance and richness higher than BGS. However, BGS modified with CO₂ showed a higher frequency rate than a baited trap with AL+O.

Key words: *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus*, *Culicidae*, *chemical lures*, *mosquitoes*.

INTRODUCCIÓN

El éxito de la vigilancia y control de mosquitos vectores, requiere del empleo de métodos seguros y eficientes. Kröckel *et al.* (2006), recomiendan que éstos, además de evaluar la relación vector-hospedero, proporcionen una estimación rápida y estandarizada de parámetros biológicos como la abundancia y riqueza de especies, la densidad de poblaciones, la sobrevivencia y circulación de patógenos. Esta información resulta clave para las campañas de prevención de enfermedades transmitidas por dichos organismos (Maciel-de-Freitas *et al.* 2008, Takken & Knols 2010).

En este sentido, hace más de dos decenios, se han venido diseñando diferentes tipos y modelos de trampas para la recolecta de mosquitos y muchas están disponibles en el mercado. Dos de ellas son la *BG-Sentinel*[™] (BGS) y la *Mosquito Magnet*[®] (MM). La primera fue diseñada con base en atrayentes visuales (contraste de colores blanco y negro) y químicos para recolectar *Aedes aegypti* y otros mosquitos de actividad diurna. Dicha trampa ha sido reportada por Bhalala & Arias (2009) y Kröckel *et al.* (2006) como una herramienta eficiente para la captura de varias especies de mosquitos. Por otro lado, además de los atrayentes químicos, la MM utiliza una pequeña llama generada con un tanque de propano con el que también se genera CO₂, que es percibido

por los mosquitos como respiración (Hoel *et al.* 2009). Estas trampas tienen una gran capacidad de captura (Hoel *op cit.*, Campbell 2003, Perea 2010), mayor que diseños más pequeños, como los de la BGS. Normalmente, la BGS se usa combinando atracción por color con compuestos químicos (generalmente ácido láctico) y por lo tanto, solamente se utiliza para la recolecta de mosquitos con actividad diurna. Sin embargo, la eficacia de la BGS puede ser mejorada al adicionarle una fuente de dióxido de carbono, lo cual permitirá su uso tanto para mosquitos de actividad nocturna, como diurna. Por esta razón, se debe comparar esta modificación con trampas comerciales como las MM, cuyo diseño incluye el CO₂ en su mecanismo de funcionamiento.

Entre los compuestos químicos o kairomonas más usados para cebar las trampas, se destacan el octenol (1-octen-3-ol) y el ácido láctico (Takken & Knols *op cit.*). Por otro lado, el CO₂ es un atrayente universal de artrópodos hematófagos y al igual que otras kairomonas, es un factor determinante para la atracción de mosquitos (Knols *et al.* 1997, Williams *et al.* 2006). Por lo tanto, el uso de trampas que operen con atrayentes sintéticos combinados con CO₂ puede ser una alternativa de control y monitoreo de las poblaciones de culícidos, siempre y cuando se establezca cuál es la combinación de kairomonas más

adecuada para la recolecta de mosquitos, especialmente aquellos de importancia médica.

En este trabajo se evaluaron dos hipótesis. En la primera, se postula que al agregar una fuente de CO₂ a un modelo de trampa de atracción visual-químico, se mejora no sólo su capacidad de captura de mosquitos hematófagos diurnos, sino también la de mosquitos de actividad nocturna. La segunda hipótesis, plantea que en el transcurso de los muestreos, las combinaciones de kairomonas mantienen una frecuencia de captura similar.

MÉTODOS

El estudio se realizó en tres áreas elegidas por las altas densidades de mosquitos, especialmente por la presencia de especies con importancia médica. La primera fue la Estación Experimental de Biología (3°22'38''N - 76°32'3''O), ubicada en el campus de la Universidad del Valle, en área urbana de Santiago de Cali, a 980 metros de elevación. Tiene un área de tres hectáreas donde se encuentran 63 especies de plantas, pertenecientes a 55 géneros y 23 familias: acacias (*Cassia siamea* y *Delonix regia*), ceibas (*Ceiba pentandra*), limoneros (*Citrus limonum*), guayabos (*Psidium guajava*), cedros (*Cedrela odorata*), chiminangos (*Phitecellobium dulce*), gualandayes (*Jacaranda mimosifolia*), guaduas (*Guadua angustifolia*), plátanos (*Musa paradisiaca*),

marañones (*Anacardium occidentale*), nogales (*Huglans neotropica*) y palmas (Arecaceae) son las más representativas (Obs. per.).

La segunda fue el Centro de Investigación (C.I.) de Corpoica (3°31'38''N - 76°19'3''O), ubicado en el municipio de Palmira a 1.001 msnm. Tiene un área aproximada de 2.500 hectáreas, en su mayoría dispuestas para el cultivo de frutales.

Con el fin de evaluar si la adición de CO₂ a las trampas BGS incrementa su capacidad de captura en mosquitos de actividad diurna, se realizaron 12 jornadas de recolecta (entre enero y junio de 2013), siete en la Estación de Biología y cinco en el C.I. Palmira. Los muestreos se realizaron entre las 06:00 y las 18:00 horas, para un esfuerzo de muestreo de 144 horas. Se usaron tres trampas BGS cebadas con ácido láctico+CO₂ (AL+CO₂), octenol+CO₂ (O+CO₂) y ácido láctico+octenol (AL+O), siendo éste el control. Debido a la disponibilidad de las trampas, no se realizaron réplicas de los ensayos.

El dióxido de carbono fue obtenido a partir de la fermentación alcohólica de 15 gramos de azúcar (C₁₂H₂₂O₁₁) con 30 gramos de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), en 500ml de agua. La fermentación se realizó durante 24 horas previa al inicio de los muestreos, a temperatura ambiente (24-29°C), en una botella plástica transparente de 1.5L, que se ubicó dentro de la trampa, como una fuente

constante de CO_2 (Fig.1). Para garantizar la producción de CO_2 . El funcionamiento de las BGS fue mediante una batería recargable de 12V (5ah). También se usaron dos trampas MM con $\text{AL}+\text{CO}_2$ y $\text{O}+\text{CO}_2$. La fuente de CO_2 y energía de estas trampas fue la combustión de gas propano. Tanto las BGS como las MM, se ubicaron aleatoriamente (rotando diariamente cada tratamiento) en lugares donde hubiese cobertura vegetal y distanciadas 100m entre sí, para evitar la interferencia entre los atrayentes.

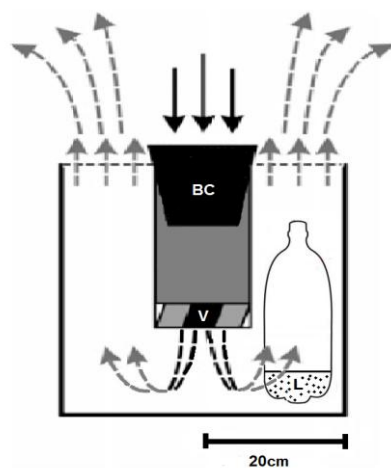


Figura 1. Esquema lateral de una trampa BG-Sentinel[®] modificada con una fuente de CO_2 (botella plástica de 1.5L), obtenida a partir de fermentación de levadura. BC corresponde a la bolsa de captura, V es el ventilador y L la botella plástica con levadura. Las flechas indican el flujo las corrientes que transportan las kairomonas.

La segunda parte de la hipótesis —la atracción de trampas BGS modificadas con CO_2 hacia mosquitos de actividad nocturna— se llevó a cabo en la Laguna de Sonso ($3^{\circ}52'12''\text{N}$ - $76^{\circ}30'70''\text{O}$), en el municipio de Guadalajara de Buga, al margen

derecho del río Cauca, a 940 metros de elevación. Según Tobasura (2006), ésta se extiende de sur a norte, a lo largo de 12 kilómetros y ocupa una extensión de 2.045 hectáreas, divididas en 745 de zona lagunar y 1.300 en zona amortiguadora. La vegetación predominante, está constituida por plantas como el manteco (*Laetia americana*), burilico (*Xylopia ligustrifolia*), chamuro (*Erithrina fusca*), caracolí (*Anacardium excelsum*), chambimbe (*Sapindus saponaria*), chiminango (*Pithecellobium dulce*), sauce (*Salix humboldtiana*), buchón (*Eichhornia crassipes*), lechuga de agua (*Pistia* sp.) y otras especies de la familias Araceae, Poaceae y Passifloraceae (Obs. Per.). Se realizaron nueve muestreos entre las 18:00 y las 06:00 horas, entre junio y julio de 2.012 y entre enero y marzo de 2.013, para un total de 108 horas de muestreo con tres BGS y dos MM, cebadas de la misma manera que en las jornadas diurnas.

Para comparar la variación temporal en la atractividad hacia las especies más abundantes, se establecieron cuatro periodos por jornada, cada uno de tres horas de duración. Una vez finalizado cada periodo, los especímenes se trasladaron con un aspirador bucal a recipientes plásticos transparentes de 350mL, previamente acondicionados con un orificio sellado con neumático para evitar la fuga de las muestras. Los recipientes, fueron debidamente rotulados con

Los datos de recolecta y almacenados en un frigotermino Coleman® de 40L.

Al finalizar las recolectas, los especímenes se llevaron al Laboratorio del Grupo de Investigaciones Entomológicas (G.I.E) de la Universidad del Valle, donde fueron sacrificados en un congelador para su cuantificación y determinación. Esta última se hizo hasta el nivel de especie, empleando las claves taxonómicas de González & Carrejo (2009) y Forattini (2002). Una vez identificados, se registró la riqueza de especies (número de individuos por tratamiento) y la abundancia, entendida como el número de especímenes recolectados en cada tipo de trampa.

Análisis de datos

La distribución normal de los datos obtenidos se realizó mediante una prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los datos con diferencias significativas respecto a la distribución normal, se transformaron con $\log(x+1)$. Posteriormente, se hizo un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, para determinar si existían diferencias significativas entre la atractividad del AL+CO₂, O+CO₂ y AL+O. Lo anterior, se realizó con el paquete estadístico Statistica® versión 8,0. Seguidamente, se realizó un análisis descriptivo de la diversidad con el índice de Shannon-Weaver (Shannon y Weaver 1949) en cada localidad.

Finalmente, con los datos de las especies de mayor abundancia recolectadas tanto en BGS como en MM, durante las jornadas diurnas y nocturnas, se tabuló la abundancia y se calculó la frecuencia acumulada a través de cuatro periodos del día/noche.

RESULTADOS

Modificación de la BGS para la recolecta de mosquitos de actividad diurna

A partir de los muestreos diurnos, en la Estación Experimental, únicamente se recolectaron 89 hembras de *Ae. aegypti* y 280 de *Ae. albopictus*, para un total de 369 ejemplares. De la primera especie, el 59,5% prefirió significativamente la mezcla de AL+CO₂ ($p=0,01$), mientras que el 33,7% prefirió el O+CO₂ y el 6,8% restante fue atraído por el AL+O. Para *Ae. albopictus*, la frecuencia de captura con AL+CO₂ correspondió al 48,6%, mientras que dicha frecuencia fue del 35% y 16,4% para el O+CO₂ y AL+O, respectivamente ($p=0,29$).

Para este mismo tipo de muestreos, en el C.I., con las trampas BGS se recolectó un total de 475 mosquitos hembra, distribuidos en cuatro especies (Tabla 1). En esta localidad, la especie más abundante fue también *Ae. albopictus*, con 273 individuos. El 66,7% de ellos presentó una preferencia estadísticamente significativa ($p=0,00003$) hacia el AL+CO₂. Solamente el 24,9% y el 8,4% restantes fue

Tabla 1. Abundancia de hembras de *Aedes aegypti* y *Ae. albopictus* (Diptera: Culicidae) recolectados con trampas BGS cebadas con ácido láctico+CO₂ (AL+CO₂), Octenol + CO₂ (O+CO₂) y ácido láctico+octenol (AL+O) en la Estación Experimental de la Universidad del Valle y el Centro de Investigación de Corpoica en Palmira.

LOCALIDAD	Atrayentes	Especies		Total	Frecuencia de captura (%)
		<i>Ae. aegypti</i>	<i>Ae. albopictus</i>		
Estación Experimental de Biología	AL+CO ₂	53	136	189	50,3
	O+CO ₂	30	098	128	34
	AL+O	06	046	059	15,7
	Total	89	280	376	100
C. I. Palmira	AL+CO ₂	11	182	193	67,5
	O+CO ₂	02	068	070	24,5
	AL+O	00	023	023	8,0
	Total	13	553	286	100

n = 12 días

Tabla 2. Frecuencia de captura promedio ($\pm$ error estándar) de cinco especies de Culicinae por jornada de muestreo*, con trampas BGS y MM en el C.I. Palmira.

Especie	BG-Sentinel			Mosquito Magnet	
	AL + CO ₂	O + CO ₂	AL + O	AL + CO ₂	O + CO ₂
<i>Aedes aegypti</i>	2,2 (0,3)	0,4 (0,2)	0 (0)	4 (0,5)	3,6(0,4)
<i>Ae. albopictus</i>	36,4 (0,4)	13,6 (0,3)	4,6 (0,2)	67,6(0,7)	21,6(0,5)
<i>Ae. mediovittatus</i>	6,4 (0,2)	15,2 (0,3)	3,0 (0,2)	28,6(0,5)	27,6(0,6)
<i>Culex (Neoculex) sp.</i>	0,0 (0)	0,0 (0)	0,0 (0)	3,0(0,3)	5,2 (0,5)
<i>Psorophora lineata</i>	1,6 (0,1)	10,0 (0,3)	1,6 (0,2)	16,8(0,4)	20,6(0,7)
Abundancia Total	233	196	46	600	393
Riqueza de especies	4	4	3	5	5

*n = 5 días

recolectado por O+CO₂ y AL+O, respectivamente. Únicamente se capturaron 13 especímenes de *Ae. aegypti*. De éstos, el 84,6% prefirió significativamente el AL+CO₂ (p= 0,000001), mientras que el 15,4% restante se capturó con O+CO₂.

Totalizando los datos obtenidos durante los muestreos diurnos en la Estación Experimental y el C.I., con las BGS se capturaron 102 hembras de *Ae. aegypti*, de los cuales el 62,7% prefirió significativamente el AL+CO₂ (p= 0,047), sobre el O+CO₂ (31%) y el

AL+O (5,9%). Con las mismas trampas, se recolectó un total de 553 *Ae. albopictus*, de estos, el 57,5% con AL+CO₂, lo cual fue significativamente diferente (p= 0,032) de la realizada con O+CO₂ y AL+O (30,1% y 12,4%, respectivamente) (Tabla 2).

En la estación C.I., en las recolectas diurnas con las trampas *Mosquito Magnet* (MM) se recolectaron 993 especímenes (2,09 veces más que las BGS), correspondientes a cinco especies de Culicinae (Tabla 2). Al igual que lo observado con trampas BGS, *Ae. albopictus* fue la especie más abundante (446).

Tabla 3. Frecuencia de captura promedio ($\pm$ error estándar) por jornada de muestreo* con trampas BGS-AL+CO₂, BGS-O+CO₂, BGS-AL+O, MM-AL+CO₂ y MM-O+CO₂ en la Laguna de Sonso.

Especie	BG-Sentinel			Mosquito Magnet	
	AL+CO ₂	O+CO ₂	AL+O	AL+CO ₂	O+CO ₂
<i>Aedes angustivittatus</i>	1,86 (1,3)	4,7 (0,6)	0 (0)	87 (3,6)	126,5(7,3)
<i>Ae. serratus</i>	1,3 (0,5)	4,5 (0,6)	0,6 (0,4)	57,7(3,2)	68,4(4,8)
<i>Anopheles calderoni</i>	0,4 (0,9)	0,1 (0,5)	0,5 (0,5)	176,4(7,0)	131(2,9)
<i>An. triannulatus</i>	0 (0)	0 (0)	0,5 (0,5)	27,5	41,7(2,5)
<i>Culex quinquefasciatus</i>	1,4 (1,8)	2,2 (0,5)	0 (0)	202,7	159,4
<i>Cx. nigripalpus</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	6,2	0,8
<i>Coquillettidia venezuelensis</i>	17,4 (1,4)	14,4 (0,7)	3,3 (0,6)	144,7(6,1)	122,8(6,5)
<i>Mansonia titillans</i>	12,7 (1,6)	15,5 (2,2)	3,4 (0,8)	116,7(9,0)	123,8(3,2)
<i>Psorophora lineata</i>	0 (0)	7 (2,2)	0 (0)	0,1(0,5)	1,7(1,2)
<i>Ps. ferox</i>	0,43 (0,8)	1,8 (0,6)	0 (0)	10,5(3,7)	1,8(1,2)
<i>Wyeomyia sp.</i>	0,1 (0,5)	0 (0)	0 (0)	0(0)	0(0)
Indeterminables	0,1 (0,5)	0 (0)	0,6 (0,4)	17,7(2,1)	7,2(1,2)
Abundancia Total	255	326	50	5933	5499
Riqueza de especies	8	8	5	10	10

*n = 7 noches

De ellos el 75,8% presentó una preferencia estadísticamente significativa ($p= 0,04$) hacia el AL+CO₂. Sólo el 24,2% restante fue recolectado con O+CO₂. También se capturaron 38 especímenes de *Ae. aegypti*. El 52,6% de ellos prefirió el AL+CO₂, sin embargo, dicha preferencia no fue significativamente diferente de O+CO₂ ($p= 0,87$).

Recolecta de mosquitos de actividad nocturna

Durante los muestreos nocturnos realizados en la Laguna de Sonso, con las trampas BGS se capturó un

total de 631 individuos de ocho especies de Culicidae (Tabla 3). Las especies recolectadas en orden de abundancia, fueron: *Coquillettidia venezuelensis* (39,5%), *Mansonia titillans* (31,37%), *Aedes angustivittatus* (6,8%), *Ae. serratus* (6,8%), *Culex quinquefasciatus* (4,1%), *Psorophora lineata* (3,3%), *Ps. ferox* (3,2%), *Anopheles calderoni* (0,5%), *An. triannulatus* (0,15%) y *Wyeomyia sp.* (0,15%). Tres ejemplares no lograron ser identificados debido al deterioro que presentaron.

Tabla 4. Valores del índice de Shannon-Wiener (H') para cada método de muestreo en el Centro de Investigación y la Laguna de Sonso.

Localidad	BG-Sentinel		Mosquito Magnet		
	AL+CO ₂	O+CO ₂	AL+O	AL+CO ₂	O+CO ₂
C.I. Corpoica	1,01	1,12	0,72	0,82	1,39
Laguna de Sonso	1,33	1,57	1,30	1,84	1,90

Este mismo tipo de muestreo, realizado con las trampas MM, permitió la recolecta de 12.063 individuos (aproximadamente 19,1 veces más que las BGS), correspondientes a diez especies de Culicidae. *Culex quinquefasciatus* (21,5%) y *Cq. venezuelensis* (15,93%) fueron las dos especies con mayor frecuencia de captura. Otras especies recolectadas fueron: *Mn. titillans* (14%), *Ae. angustivittatus* (12,7%), *An. calderoni* (18,3%), *Ae. serratus* (7,5%), *An. triannulatus* (4,1%), *Psorophora ferox* (0,74%), *Cx. nigripalpus* (0,4%) y *Ps. lineata* (0,1%).

También, se determinó la atractividad de las combinaciones de kairomonas hacia las dos especies con mayor frecuencia de captura en ambos modelos de trampas. Entre las BGS, *Cq. venezuelensis* prefirió significativamente ($p= 0,0002$) aquella trampa cebada con AL+CO₂, pero con las MM no se encontró diferencias significativas ($p= 0,993$) en la predilección por los atrayentes. Al mismo tiempo, *Mn. titillans* prefirió significativamente ($p= 0,0001$) la BGS con O+CO₂ y entre las MM, no se encontró una predilección significativa ($p= 0,281$) por los atrayentes.

El índice de Shannon-Weaver (H') calculado para las especies de mosquitos recolectadas con cada una de las combinaciones de kairomonas mostraron diferencias estadísticas significativas. Para las especies de actividad diurna, el método que recolectó mayor diversidad fue MM con O+CO₂, con un H' de 1,39. Para las especies de actividad nocturna, la MM con O+CO₂ también fue el método que capturó mayor diversidad de especies, un valor de H' de 1,90 (Tabla 4).

Variación horaria en la frecuencia de captura

Al analizar la respuesta de atracción de los mosquitos hacia las diferentes combinaciones de kairomonas, considerando independientemente las frecuencias acumuladas de cada una de las combinaciones, se obtuvo lo siguiente: En los muestreos diurnos en la Estación Experimental de la Universidad del Valle, la BGS que contenía AL+CO₂ recolectó un poco menos de la mitad (40%) de los *Ae. aegypti* en los periodos de la mañana (06:00-12:00 horas). Con O+CO₂ para este mismo periodo de tiempo se encontró una

Tabla 5. Variación horaria de la abundancia y frecuencia acumulada (%) de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* recolectados con trampas BGS en la Estación Experimental de la Universidad del Valle.

Especie	Periodo	Frecuencia Acumulada (%)		
		AL+CO ₂	O+CO ₂	AL+O
<i>Ae. aegypti</i>	06:00-09:00	12 (22,6%)	5 (16,7%)	3 (50%)
	09:00-12:00	11 (43,3%)	7 (40%)	1 (66,6%)
	12:00-15:00	9 (60,3%)	12 (80%)	1 (83,3%)
	15:00-18:00	21 (100%)	6 (100%)	1 (100%)
<i>Ae. albopictus</i>	06:00-09:00	74 (54,4%)	41 (41,9%)	24 (52,2%)
	09:00-12:00	33 (78,7%)	29 (71,5%)	9 (71,8%)
	12:00-15:00	21 (94,1%)	17 (88,8%)	5 (82,7%)
	15:00-18:00	8 (100%)	11 (100%)	8 (100%)

*n= 5 días

Tabla 6. Variación horaria de la abundancia y frecuencia acumulada (%) de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* recolectados con trampas BGS y MM en el Centro de Investigaciones de Corpoica (C.I.).

Especie	Periodo	BG-Sentinel			Mosquito Magnet	
		AL+CO ₂	O+CO ₂	AL+O	AL+CO ₂	O+CO ₂
<i>Ae. aegypti</i>	06:00-09:00	7(63,6%)	1(50%)	0 (0%)	1(5%)	5(27,7%)
	09:00-12:00	0(63,6%)	1(100%)	0 (0%)	9(50%)	3(44,4%)
	12:00-15:00	0(63,6%)	0(100%)	0 (0%)	0(50%)	4(66,6%)
	15:00-18:00	4(100%)	0(100%)	0 (0%)	10(100%)	6(100%)
<i>Ae. albopictus</i>	06:00-09:00	130(53,3%)	18(26,5%)	10(32,2%)	130(38,5%)	33(30,6%)
	09:00-12:00	35(67,7%)	15(52,3%)	2(38,6%)	49(53,9%)	15(44,4%)
	12:00-15:00	22(76,7%)	10(67%)	10(70,8%)	39(65,5%)	17(60,2%)
	15:00-18:00	55(100%)	25(100%)	9(100%)	120(100%)	43(100%)

frecuencia acumulada del 43,3%, mientras que con AL+O se recolectó el 66,6% (Tabla 5).

En la misma localidad, y para este mismo periodo de tiempo, *Ae. albopictus* mostró mayor actividad. Más del 66% de la atracción ocurrió en este periodo, (78,4%, 71,5% y 71,8% para AL+CO₂, O+CO₂ y AL+O, respectivamente).

Los datos de los *Ae. aegypti* obtenidos en el C.I., revelaron que la BGS con AL+CO₂, únicamente recolectó individuos en el primer (06:00-09:00) y

último periodo (15:00-18:00), con frecuencias de captura de 63,6% y 36,4%, respectivamente. Con el O+CO₂, la frecuencia de captura alcanzó el 100% en la mañana y con AL+O, no se capturaron individuos (Tabla 6). Respecto a *Ae. albopictus*, las BGS con AL+CO₂ y O+CO₂ en el transcurso de la mañana capturaron un poco más de la mitad de la frecuencia de captura, con valores de 67,7% y 52,3%, respectivamente. Al mismo tiempo, el AL+O únicamente atrajo el 38,6%.

Tabla 7. Variación horaria de la abundancia y frecuencia de captura (%) de *Cq. venezuelensis* y *Mn. titillans* recolectados con trampas BGS y MM en la laguna de Sonso.

Especie	Periodo	BG-Sentinel			Mosquito Magnet	
		AL+CO ₂	O+CO ₂	AL+O	AL+CO ₂	O+CO ₂
<i>Cq. venezuelensis</i>	18:00-21:00	30(22,7%)	24(31,5%)	13(28,8%)	534(52,7%)	496(57,6%)
	21:00-00:00	38(51,4%)	3(35,4%)	17(66,6%)	83(60,8%)	145(74,4%)
	00:00-03:00	23(68,8%)	24(66,9%)	9(86,6%)	213(81,8%)	158(92,7%)
	03:00-06:00	41(100%)	25(100%)	6(100%)	183(100%)	61(100%)
<i>Mn. titillans</i>	18:00-21:00	14(15,7%)	25(22,9%)	1(5,5%)	722(64,9%)	327(36,4%)
	21:00-00:00	30(49,4%)	13(34,8%)	3(10,1%)	62(70,5%)	290(68,7%)
	00:00-03:00	39(93,2%)	10(43,9%)	5(37,9%)	210(89,4%)	147(85,1%)
	03:00-06:00	6(100%)	61(100%)	9(100%)	117(100%)	133(100%)

*n= 7 noches

Con las trampas MM, también se encontró que durante la mañana (06:00 a 12:00) las frecuencias acumuladas alcanzaron valores cercanos al 50% de los individuos recolectados durante el día. Para *Aedes aegypti*, dichos valores fueron de 50% con AL+CO₂ y 66,6% con O+CO₂. Para *Ae. albopictus* los valores registrados fueron de 53% para el AL+CO₂ y 44% para el O+CO₂.

Durante los muestreos nocturnos, independientemente de la cantidad de organismos recolectados, entre las 18:00 y las 00:00h la BGS con AL+CO₂ capturó el 51,4% de los *Cq. venezuelensis*. En el mismo intervalo de tiempo, las BGS cebadas con O+CO₂ y AL+O atraparón frecuencias de 35,4% y del 66,6%, respectivamente (Tabla 7). En cuanto a los *Mn. titillans* recolectadas en la misma localidad y con las mismas trampas, entre las 00:00 y las 03:00 horas, la BGS cebada con AL+CO₂ alcanzó un porcentaje de captura acumulado equivalente al 93,2%.

Con las trampas MM, durante los primeros dos periodos de muestreo, con AL+CO₂ se registró una frecuencia acumulada del 64,9% de los *Cq. venezuelensis* y 70,5% de los *Mn. titillans*. Al mismo tiempo, con O+CO₂ se obtuvo frecuencias de 68% y 36,4% para *Cq. venezuelensis* y *Mn. titillans*, respectivamente.

DISCUSIÓN

A partir de los muestreos diurnos y teniendo en cuenta la abundancia de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* recolectados durante los ensayos en la Estación Experimental y en el C. I., se confirmó un incremento del 230% en la efectividad de las trampas BGS cebadas con AL+CO₂ y del 120% con O+CO₂, haciendo de este modelo una herramienta potencial para el monitoreo y vigilancia de ambas especies. Sin embargo, cuando en la estación C.I. se comparó la capacidad de captura de dichas trampas con CO₂ con

las MM, que también proporcionan dicho gas, se encontró que estas últimas capturan más individuos (un 209% más) y mayor diversidad de especies que las BGS. Pero si se considera la relación costo/beneficio, y si el objetivo es sólo pensado para el monitoreo de poblaciones de *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*, posiblemente no sea necesario utilizar las MM, la cual es cerca de tres veces más costosa. Además resulta mejor invertir en modelo de trampa económica, que en este caso es la BGS.

Los resultados obtenidos corroboran los ensayos de Bhalala & Arias (2009), quienes encontraron que el uso de trampas BGS con CO₂ combinado con otra kairomona, aumenta la cantidad de mosquitos capturados. Dicho incremento, puede deberse a que el CO₂ es un atrayente universal de mosquitos hembras (Knols *et al.* 1997). Según Takken & Kline (1989) y Bernier *et al.* (2003), este compuesto activa el comportamiento de búsqueda y localización de un hospedero, en un rango de 18 a 36m de distancia. Esto es posible gracias a que los zancudos poseen un conjunto de neuronas específicas y sensibles para captar los gradientes en las concentraciones del CO₂ (Takken & Knols 2010) disueltos en el ambiente.

También es importante mencionar que tanto en la Estación Experimental como en el C.I se encontraron las condiciones ecológicas adecuadas para esperar una alta abundancia de *Ae. aegypti*, sin embargo, esto

no se observó. Lo anterior advierte que posiblemente se esté presentando una competencia entre *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* por los mismos tipos de criaderos y recursos, hecho reportado por Salvatella (1996), quien asegura que la primera especie mencionada puede llegar a ser desplazada por *Ae. albopictus*.

Los resultados obtenidos durante los muestreos para mosquitos de actividad nocturna, a pesar de haber usado las mismas combinaciones de atrayentes (AL+CO₂ y O+CO₂) con ambos tipos de trampas, demostraron que las MM poseen una capacidad de captura superior, cerca de 18 veces más que las BGS modificadas con CO₂. Por un lado, esto puede estar relacionado con el hecho de que la MM posee un atractivo adicional; la generación de calor a partir de la combustión de gas propano. Este calor, simula la temperatura corporal de un hospedero y de acuerdo a Torres-Estrada & Rodríguez (2003), es determinante para que un mosquito hembra se oriente con precisión hacia la fuente de alimento. Posiblemente, esta generación de calor causa que tanto en jornadas diurnas como nocturnas, la trampa MM resulte más atractiva al compararla con otros modelos que no generen calor.

Otro factor que posiblemente influyó en la diferencia de la abundancia de mosquitos capturados fue la fluctuación de las condiciones ambientales,

principalmente la precipitación, porque de ésta depende la disponibilidad de criaderos, causando variaciones temporales en las poblaciones. Además las lluvias también afectan a las BGS porque al mojarse, las muestras se deterioran. Por este motivo, en la laguna de Sonso, estas trampas debieron retirarse en tres ocasiones. A diferencia de las BGS, las MM funcionan con normalidad mientras llueve, pues su armazón de PVC evita que el agua alcance las bolsas donde se recolectan los mosquitos y no existe el riesgo de que éstas se deterioren. La variación en la velocidad y la dirección del viento, también pueden afectar la estructura de las corrientes de olor y, por lo tanto, la fuerza de las señales olfatorias (Gibson & Torr 1999).

En la laguna de Sonso, se recolectaron altas densidades de *Cq. venezuelensis* y *Mn. titillans*, lo cual puede explicarse a la presencia de plantas acuáticas como *Eichhornia crassipes* y otras pertenecientes a los géneros *Pistia*, *Typha*, *Phragmites* y *Juncus*, pues de acuerdo a Njabo *et al.* (2009), estas plantas están estrechamente relacionadas con dichas especies de mosquitos, ya que perforan las plantas para obtener el O₂ directamente de ellas y no de la superficie, como lo hacen otros géneros de Culicidae. Por lo tanto, los datos obtenidos en esta localidad indican que la

laguna de Sonso es un biotopo óptimo para *Cq. venezuelensis* y *Mn. titillans*.

Respecto a la atraktividad de las sustancias químicas evaluadas por las diferentes especies de mosquitos, se conoce que ésta depende del grado de preferencia de cada especie por el tipo de hospedero. De acuerdo a Torres-Estrada & Rodríguez (2003), el 1-octen-3-ol (octenol) es el constituyente principal de varias especies de mamíferos, mientras que el ácido láctico se encuentra en mayor proporción en los seres humanos. Esto hace que algunas especies que son definidas como zoofílicas prefieran octenol y que las antropofílicas lo tengan por ácido láctico, y se muestren situaciones intermedias cuando son oportunistas o definidas como antropozoofílicas. Los resultados obtenidos en la Estación Experimental y en el C. I. coincidieron con investigaciones realizadas por Kline *et al.* (1990), Steib *et al.* (2001) y Williams *et al.* (2006), quienes hallaron que *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* son especies principalmente antropofílicas. Sin embargo esto debe ser considerado como un atrayente que es sinergista con la presencia del atrayente considerado universal, el CO₂. Lo anterior parece ser una explicación válida para entender la mayor preferencia observada por la mezcla de AL+CO₂. Por otra parte, la preferencia de *Cq. venezuelensis* tanto para el AL+CO₂ como el O+CO₂ y la preferencia de *Mn. titillans* hacia el O+CO₂,

corroborar la información de Njabo *et al.* (*op cit.*) quienes aseguran que la primera especie es antropozoofílica, mientras que la segunda es más zoofílica.

Al considerar la variación horaria observada en las frecuencias de captura de cada kairomona, no se acepta la hipótesis planteada. En el caso de la combinación con ácido láctico, las diferentes frecuencias observadas en el transcurso del día, con las especies *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*, pueden explicarse si se tiene en cuenta que esta sustancia es higroscópica (Bernier *et al.* 2003), es decir, que tiene la capacidad para unirse a las moléculas de agua del ambiente circundante, diseminándose fácilmente en la atmósfera. Entonces, en aquellas horas del día donde se registran una menor humedad relativa (aproximadamente entre las 11:00 y las 16:00 horas), la dispersión del ácido láctico podría ser mucho menor y por ende, la captación de esta señal química por parte de los mosquitos, podría verse afectada.

Otro aspecto a considerar es el patrón de actividad de los Culicidae, ya que para la mayoría de las especies está limitado, en sentido amplio, a un periodo del día con un nivel de luminosidad característico (Gibbson & Torr *op cit.*). Por lo tanto, especies que presenten actividad en horas crepusculares o durante el amanecer, también serán atraídas por la trampa BGS.

Esto fue evidenciado en la captura de *Mn. titillans* y *Cq. venezuelensis* realizada en la laguna de Sonso.

CONCLUSIONES

La modificación de las trampas BGS agregando una fuente de dióxido de carbono, incrementa apreciablemente el número de mosquitos recolectados (120%) con este modelo de trampa. Sin embargo, el modelo *Mosquito Magnet* continúa siendo comparativamente más eficiente que estas, 2,01 veces para las especies diurnas y 19,1 veces para las nocturnas.

La información obtenida y analizada de muestreos diurnos realizados en dos estaciones del Valle geográfico del río Cauca, demostró que *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus* presentan una mayor actividad en horas de la mañana y son más atraídos a la combinación de AL+CO₂, lo cual refleja una preferencia antropofílica.

Por otro lado, los datos de muestreos nocturnos demostraron que *Cq. venezuelensis* y *Mn. titillans*, son más activos durante los primeros dos periodos de muestreo. La primera especie, fue atraída tanto por el AL+CO₂ y el O+CO₂, demostrando su hábito antropozoofílico, mientras que la segunda, generalmente busca hospederos animales, evidenciado en su predilección por la mezcla de O+CO₂.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mi maestro Ranulfo Gonzáles por su disposición, paciencia, y financiación económica. A los biólogos Cristhian Salas, Diana Lucumi y Deiby Rodríguez por su

valiosa colaboración en campo. A Diana Díaz y Damaris García, quienes me colaboraron con el ingreso y la estadía en el Centro de Investigación de Corpoica. A mis padres, por su amor, entrega y apoyo constantes.

LITERATURA CITADA

- Bernier U.R., Kline D.L., Posey K.H., Booth M.M., Yost R.A. and Barnard D. R. 2003. "Synergistic attraction of *Aedes aegypti* (L.) to binary blends of L-lactic acid and acetone, dichloromethane, or dimethyl disulfide". *Journal of Medical Entomology*, 40, 653-656.
- Bhalala, H. and Arias, J. R. 2009. "The Zumba mosquito trap and BG-Sentinel™ trap: Novel Surveillance tools for host-seeking mosquitoes". *Journal of the American Mosquito Control Association*, 25, 2,134-139.
- Campbell, C. B. 2003. Evaluation of five mosquito traps and a horse for West Nile vectors on a north Florida equine facility. Master of Science. University of Florida. Gainesville, Florida.
- Forattini, O. 2002. *Culicidologia Médica*. Volume 2: Identificação; Biologia; Epidemiologia. Editora da Universidade São Paulo. Brasil.
- Gibbson G. and Torr S. J. 1999. "Visual and olfactory responses of haematophagous Diptera to host stimuli". *Medical and Veterinary Entomology*, 13, 2-23.
- González, R. and Carrejo, N.S 2009. *Introducción al estudio taxonómico de Anopheles de Colombia*. Segunda Edición. Programa Editorial Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Grant, A. and Dickens, J. C. 2011. "Functional characterization of the octenol receptor neuron on the maxillary palps of the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti*". *PLOS ONE*, 6, 6, 1-7.
- Hoel, D. F., Kline, D. L. and Allan, S. A. 2009. "Evolution of six mosquito traps for collection of *Aedes albopictus* and associated mosquito species in a suburban setting in north central Florida". *Journal of American Mosquito Control Association*, 25, 1, 47-57.
- Kline, D.L., Takken, W., Wood, J.R. and Carlson, D.A. 1990. "Field studies on the potential of butanone, carbon dioxide, honey extract, 1-octen-3-ol, L-lactic acid and phenols as attractants for mosquitoes". *Medical and Veterinary Entomology*, 4, 383-391.
- Knols, B., Takken, W., Cork, A. and De Jong, R. 1997. "Odour-mediated, host-seeking behaviour of *Anopheles* mosquitoes: a new approach". *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 91, 1, S117-S118.
- Kröckel, U., Rose, A., Eiras, A. E. and Geier, M. 2006. "New tools for surveillance of adult yellow fever mosquitoes: comparison of trap catches with human landing rates in an urban environment". *Journal of the American Mosquito Control Association*, 22, 2, 229-238.
- Maciel-de-Freitas, R., Costa Peres, R., Alves, F. and Blanco, M. 2008. "Mosquito traps designed to capture *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) females: preliminary comparison of Adultrap, MosquiTRAP and backpack aspirator efficiency in a dengue-endemic area of Brazil". *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 103, 6, 602-605.
- Njabo, K. Y., Cornell, A. J., Sehgal, R. N. M., Loiseau, C., Buermann, W., Harrigan, R. J., Pollinger, J., Valkiunas G. and Smith, T.B. 2009. "*Coquillettidia* (Culicidae, Diptera) mosquitoes are natural vectors of avian malaria in Africa". *Malaria Journal*, 8, 193, 1-12.
- Perea, J. A. 2010. *Evaluación de trampas Mosquito Magnet® como método alternativo para la colecta y medición de la actividad de Anopheles albimanus (Diptera: Culicidae) del litoral pacífico colombiano*. Pregrado en Biología. Universidad del Valle.
- Salvatella, R. A. 1996. "*Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) y su papel como vectores en las Américas. La situación de Uruguay". *Revista Médica del Uruguay*, 12, 28-36.
- Salas, C. 2010. *Evaluación de trampas Mosquito Magnet® como método alternativo para la colecta y medición de la actividad de Anopheles neivai H., D. & K. 1913 (Diptera: Culicidae) del litoral pacífico colombiano*. Pregrado en Biología, Universidad del Valle.

- Shannon, C.E. and Weaver, W. 1949. "The mathematical theory of communication". University of Illinois Press. Urbana, IL, EEUU. 144 p.
- Steib, B. M., Geier, M. and Boeckh, J. 2001. "The effect of lactic-acid on odour-related host preference of yellow fever mosquitoes". *Chemical Senses*, 26, 523-528.
- Takken, W. and Kline, D. 1989. "Carbon dioxide and 1-octen-3-ol as mosquito attractants". *Journal of the American Mosquito Control Association* 5: 311-316.
- Takken, W. and Knols, B. (eds.) 2010. *Olfaction in vector-host interactions*. Wageningen. Academic Publishers. The Netherlands.
- Tobasura, I. 2006. "La laguna de Sonso-Valle del Cauca, Colombia: Más de tres décadas de lucha ambiental. Un caso de historia ambiental". *Gestión y Ambiente* 9 (2): 13-26.
- Torres-Estrada, J. L. and Rodríguez, M. H. 2003. "Señales físico químicas involucradas en la búsqueda de hospederos y en la inducción de picadura por mosquitos". *Salud Pública de México*, 45, 497-505.
- Williams, C., Bergbauer, R., Geier, M., Kline, D. L., Bernier, Ulrich R. and Russell, R. C. 2006. "Laboratory and field assessment of some kairomone blends for host-seeking *Aedes aegypti*". *Journal of the American Mosquito Control Association*, 22, 4, 641-647.