

Efecto de la cobertura vegetal de terrenos deshabitados en la detección de recipientes ecológicamente viables disponibles para el desarrollo de *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762

Effect of vegetation cover of uninhabited areas on the perception of ecologically viable containers available for the development of Aedes aegypti Linnaeus, 1762

Julio D. Soto-López ^{1,2*}; Carmen Vieira-Lista²; Manuel Barrios-Izás ¹

¹Instituto de Investigaciones, Centro Universitario de Zacapa, Universidad de San Carlos de Guatemala

²Instituto de Investigaciones Biomédicas de Salamanca-Centro de Investigación de Enfermedades Tropicales de la Universidad de Salamanca (IBSAL-CIETUS), Facultad de Farmacia, Universidad de Salamanca

*Autor al que se dirige la correspondencia: jdjuliosoto@gmail.com

Recibido: 21 de febrero 2023 / Revisión: 17 de octubre 2023 / Aceptado: 29 de diciembre 2023

Resumen

En Guatemala el vector del virus del dengue es el mosquito *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 (Diptera: Culicidae) y se encuentra distribuido en todo el país. Al ser antropofílico, el insecto suele encontrarse en cualquier recipiente que almacene agua como toneles, llantas usadas, pilas o incluso en cáscaras duras de algunos frutos como el coco. Concluida la epidemia de Zika en 2015, se propuso la existencia de una posible relación entre la presencia de terrenos con cobertura vegetal deshabitados y la persistencia de contenedores disponibles para el desarrollo del mosquito. Con el fin de comprobar esto, se efectuó un estudio en terrenos con abundante vegetación en la persistencia de contenedores inconspicuos dentro de la vegetación circundante de estos. Para conseguir este objetivo se visitaron terrenos deshabitados con cobertura vegetal en dos municipios de Petén para registrar el número de recipientes y larvas de *Aedes* por sitio de evaluación, además de la toma de fotografías de toda la zona para calcular índices de cobertura vegetal (GRVI y VARI). Con esta información se evaluó la posible relación de las variables mediante el ajuste de modelos lineales generalizados con distribución de *Poisson* con ceros inflados. El ajuste de los datos obtenidos señala que es posible encontrar 78 recipientes por terreno evaluado ($\sigma = 9$), y tomando en cuenta el número de ceros existe un 70% ($\sigma = 2$), de probabilidad de no percibirlos en las zonas de evaluación. De esta manera se puede inferir el efecto que la cobertura vegetal juega en la visibilidad de los recipientes ecológicamente viables para *A. aegypti*. Claramente se comprueba que se incrementa proporcionalmente a mayor cobertura.

Palabras clave: Zika, Modelos Lineales Generalizados, Índices de cobertura vegetal, Control de vectores, Enfermedades transmitidas por mosquitos

Abstract

In Guatemala, the dengue virus vector transmitted by *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 (Diptera: Culicidae) is distributed throughout the country. Being anthropophilic, it is usually found in any human-associated container that stores water, such as domestic water basins, used tires, batteries or even inside the hard husks of fruits like coconuts. After the Zika epidemic of 2015, it was suggested that there is a relationship between the presence of non-residential larval habitats with little or no vegetation cover and the persistence of ecologically viable containers for mosquito populations. Consequently, we conducted a study around the cities of San Benito and Santa Elena, Petén to establish the effect that non-residential larval habitats have on containers hidden by vegetation. To achieve this, we visited non-residential larval habitats with vegetation cover in each area to record the number of potential water containers and larvae per evaluation site. We also photographed the study area to calculate vegetation cover indices (GRVI and VARI). With this information, the possible relationship of the variables was evaluated by fitting generalized linear models with *Poisson* distribution with inflated zeros. According to our model, the average number of containers that we could find per evaluated non-residential larval habitat is 78 ($\sigma = 9$); and considering the number of zeros obtained during the study there is 70% probability ($\sigma = 2$) of not detecting them in the evaluation areas. These findings demonstrate how the presence of plant cover influences the visibility of suitable breeding containers for *Aedes aegypti*, and the occurrence of false negatives rises accordingly.

Keywords: Zika, Generalized Linear Models, Vegetation Cover Indices, Vector Control, Mosquito-Borne Diseases



Introducción

Aedes aegypti Linnaeus, 1762 (Díptera: Culicidae) es uno de los principales vectores de la fiebre amarilla (Jentes et al., 2011), zika (World Health Organization [WHO], 2017), chikungunya (Leparc-Goffart et al., 2014) y dengue (Simmons et al., 2012; Villatoro, 2006) en todo el mundo. De origen africano, se ha adaptado a ambientes domésticos, peridomésticos, urbanos, rurales y otros donde se puede encontrar ocupando hábitats silvestres en Asia, el oeste de África y en todo el hemisferio occidental (Rogers et al., 2006).

En Guatemala este mosquito es la principal especie responsable de la transmisión de arbovirus como el dengue, chikungunya y Zika. Actualmente, de acuerdo con la sección de Entomología Médica del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), y a diversos autores, se encuentra distribuido en casi todo el territorio del país (Lepe López et al., 2017; MSPAS-Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2015).

El ciclo de vida del vector posee cuatro estadios principales, huevo, larva, pupa e imago, siendo este último el único capaz de transmitir el virus (MSPAS-OPS, 2015). Para el control de las arbovirosis, en Guatemala se procede al manejo integrado de vectores, labor que se basa en establecer un aproximado de la distribución y densidad de las poblaciones de los mosquitos. Esto se alcanza a través de la delimitación de zonas de riesgo de transmisión de arbovirus, por medio de las denominadas “encuestas larvales” (MSPAS-OPS, 2015). Este método es poco sensible y específico, en especial porque la dinámica espacio - temporal del vector ha mostrado ser heterogénea múltiples veces (Diéguez et al., 2006; Lepe López et al., 2017; Rodríguez-Flores et al., 2018; Villatoro, 2006).

Una de las variables que se encuentran condicionando la dinámica espacio - temporal del vector es la disponibilidad de espacios de crecimiento idóneos. En su mayoría, se reporta la presencia de larvas y pupas en recipientes que almacenan agua producto de actividades humanas, como contenedores desechados tipo toneles (Nelson, 1986) y otros recipientes que puedan guardar agua como cubetas, tinajas o palanganas (Rogers et al., 2006). También incluye tanques públicos de agua, latas, recipientes de barro, cemento o madera (Carter, 1924) y cualquier otro objeto que pueda almacenar agua limpia (Hamlyn-Harris, 1927).

Los sitios con productividad larvaria suelen diferir respecto a la época de estudio, pudiéndose diferenciar en época lluviosa y época seca. Durante la época

seca, se suelen encontrar larvas de estadios avanzados (larvas IV, pupas), en toneles, llantas de hule y botes de metal.

En épocas lluviosas la formación de nuevos criaderos y la densidad en estos permiten el aumento de la movilidad de los estadios inmaduros a sitios donde en otras épocas del año no se encuentran presentes (Thomas, 1910). Este factor permite que los reportes de presencia de este vector en época lluviosa, en estadios de importancia para la salud pública sugiera una predisposición para toneles y recipientes sin uso como macetas, latas, vasos de duroport, ollas metálicas, nilón, botellas plásticas, llantas e incluso en cáscaras de frutos duros (*Cocos nucifera*), y orificios en árboles (Rodríguez-Flores et al., 2018).

Debido a la diversidad de espacios que pueden utilizar como criaderos, se desconoce la distribución y densidades de estos individuos a escalas operativamente asequibles para los trabajadores del sistema de salud del país. En 2019, el proyecto Zika Community Response y The Zika Airs Project, presentaron los resultados obtenidos luego de trabajar en distintas zonas del país para el control del virus del Zika al MSPAS. En estos informes se evidenció el monitoreo de estadios inmaduros de *A. aegypti*, especialmente la monitorización de larvas y huevecillos en ovitrampas. La distribución de los mosquitos evidenció patrones temporales mostrando los mayores picos en julio y agosto; como espaciales en zonas con abundantes terrenos deshabitados.

El primer punto en tomar en cuenta para diseñar estos modelos es establecer la distribución *a priori* del número de contenedores y estadios larvales, que se pueden encontrar en un terreno con las características de nuestro estudio.

De acuerdo con distintos autores, los valores en el número de contenedores positivos suelen variar de acuerdo con la forma de recolecta, la época del año, el tamaño del contenedor o en menor medida el tipo contenedor. Centrándonos en el número de contenedores, se ha reportado valores muy variables (Tabla 1, Material suplementario). Lo anterior sugiere un valor medio de 89 recipientes por mes (Costa et al., 2012; Devera et al., 2013; Diéguez-Fernández et al., 2015; Monroy et al., 1999; Monzón et al., 2019; Ogata & López, 1996; Sanabria et al., 2017; Stein et al., 2002). En el caso del número de larvas encontradas mensualmente, en diversos estudios se han reportado valores también muy dispares (Tabla complementaria 2) que en conjunto muestran un valor promedio de 41 larvas

por mes (Devera et al., 2013; Honório & Lourenço-de-Oliveira; Monroy et al., 1999; Ogata & López, 1996; Rey et al., 2006; 2001; Stein et al., 2002, 2011).

Con base en lo anteriormente expuesto hipotetizamos que la presencia de contenedores y larvas encontradas durante las encuestas larvales se ven influenciadas con la cobertura vegetal de las zonas circundantes. Con el objetivo de determinar si existe una relación entre la presencia de terrenos deshabitados con cobertura vegetal y el número de contenedores ecológicamente viables para larvas de *Aedes aegypti*, se evaluó la relación entre estas variables por medio de modelos con distribución de *Poisson*, en terrenos deshabitados en las cabeceras municipales de San Benito y Santa Elena, en el departamento de Petén, Guatemala.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El estudio se realizó en las cabeceras municipales de los municipios de San Benito y Santa Elena, Petén (Figura 1), sitios con conglomerados poblacionales priorizados por el sistema de salud del país, con alta concentración humana, con abundantes edificios como casas, instituciones educativas, cementerios, lotes urbanos abandonados, llanteras y rellenos sanitarios. Todos disponibles para albergar contenedores de agua.

San Benito, Petén: municipio muy cercano a Santa Elena, tiene una población de 54,189 habitantes en 2022, y una extensión territorial de 112 km².

Tabla 1

Resultado de la comparación de modelos de larvas y recipientes, por medio de la validación cruzada del muestreo de importancia suavizado por Pareto y el Criterio de información ampliamente aplicable

	PSIS	SE	WAIC	SE	dPSIS	dSE	dWAIC	dSE	pPSIS	pWAIC	Weight PSIS	Weight WAIC
L3	262.41	99.79	264.58	102.3	0	NA	0.00	NA	44.15	45.24	0.999	1.00
L2	296.60	117.14	301.03	118.87	34.19	56.71	36.45	58.55	27.04	29.26	3.76E-08	0.00
L1	334.55	150.55	337.51	150.78	72.13	92.77	72.93	94.31	23.10	24.58	2.17E-16	0.00
R3	168.32	22.27	167.85	21.80	0.00	NA	0.00	NA	9.69	9.45	9.69	1.00
R2	294.84	87.15	294.65	85.93	126.52	66.72	126.80	66.81	10.14	10.05	10.14	0.00
R1	443.72	136.39	444.41	134.91	275.40	116.56	276.56	117.05	27.39	27.73	27.39	0.00

Nota. L: modelo de larvas. R: modelo de recipientes. WAIC y PSIS = riesgo de sobreajuste, SE = Error estándar, dPSIS = diferencia entre cada modelo, pWAC y pPSIS = número efectivo de parámetros, Weight = peso del modelo.

Figura 1

Zona de estudio en Santa Elena y San Benito, Petén



Nota. Los puntos color negro muestran las coordenadas de toma de fotografías seleccionadas para el análisis. Los puntos color rojo muestran las localidades que fueron establecidas como terrenos deshabitados con cobertura vegetal.

Se encuentra a 2 km de la ciudad de Flores, la cabecera departamental. Está a 130 metros sobre el nivel del mar, y tiene un clima tropical monzónico. Santa Elena de la Cruz, Petén, unida a la ciudad de Flores, forman parte de la cabecera departamental de Petén. Tiene cerca de 90 000 habitantes y una extensión territorial de 4336 km². Se encuentra en las coordenadas 16°55'02"N 89°53'56"O. Tiene un clima igual a la localidad anterior. La región se caracteriza por la alta densidad poblacional en zonas rurales (más del 79%), con bajo acceso a los servicios básicos, y una alta tasa de pobreza, por debajo de la media nacional (3%) (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2013).

Puntos de muestreo: terrenos deshabitados con cobertura vegetal

Las fotografías fueron tomadas en 60 puntos seleccionados al azar por la herramienta de puntos aleatorios de QuantumGIS3 (QGIS Development Team,

2022), durante las visitas entre los meses de octubre y noviembre, tomando las coordenadas geográficas de cada sitio. Se realizó una visita a todos los terrenos deshabitados con cobertura vegetal circundantes a los puntos de muestreo y una búsqueda de contenedores con evidencia de presencia del vector por medio de la búsqueda hombre/hora. Las colectas fueron realizadas durante la primera semana del mes de octubre hasta la última semana del mes de noviembre de 2022.

Para registrar la cobertura vegetal circundante a los terrenos evaluados, se realizó un sobrevuelo en las cabeceras municipales con un dron Phantom 4, a 450 metros sobre el nivel del suelo, que efectuó la toma de fotografías aéreas con un 60-70% de traslape en las localidades visitadas, obteniendo de esta forma imágenes en formato jpg. Se realizó la representación geoespacial de las coordenadas de las imágenes de dron con Python y Folium en un notebook de Jupyter, para establecer el área de barrido y extraer las fotografías correspondientes a las coordenadas de los terrenos seleccionados. A continuación, se buscó las coordenadas que coincidieran con las de los terrenos baldíos en QGIS3.

Las fotografías tomadas por el dron fueron analizadas en QGIS para calcular el índice de vegetación verde-rojo (Green-Red Vegetation Index) (Gitelson et al., 2002; Motohka et al., 2010) y el índice de resistencia atmosférica visible (Visible Atmospherically Resistant Index) (Gitelson et al., 2002; Motohka et al., 2010), de los terrenos que se encontraban alrededor de los puntos evaluados (terrenos deshabitados con cobertura vegetal). Esto se realizó con el objetivo de cuantificar los elementos vegetales presentes en las fotografías y de esta manera determinar la cobertura vegetal colindante con los sitios de interés.

$$\text{GRVI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Red} + \text{Green})$$

$$\text{VARI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue})$$

Posteriormente a calcular el valor de ambos índices por píxel, se promediaron los valores y se codificaron los valores medios por fotografía. Valores por encima de 0 muestran la presencia de vegetación verde, valores alrededor de 0 muestran una fase temprana del reverdecimiento de la hoja, agua y valores por debajo de 0 muestran la presencia de suelos expuestos (Motohka et al., 2010). El índice VARI definirá la medida en la que una zona territorial presenta fracciones verdes. Se ha demostrado que es mínimamente sensible a los efectos atmosféricos, lo que permite la estimación de la fracción vegetal en una fotografía con un error de < 10% en una amplia gama de espesores ópticos atmosféricos, por lo que es un índice que se puede utilizar en vuelos de drones a baja altitud (Gitelson et al., 2002).

Para el índice GRVI, en este trabajo se tomó valores de cero como presencia de suelos, valores por debajo de cero como presencia de techos de viviendas (el color suele ser rojo o gris) y valores por encima de 0 como presencia de vegetación que se recodificó de la siguiente manera: 0.01-0.03 escasa vegetación (1), 0.031-0.06 vegetación media (2), 0.061-0.09 vegetación abundante (3). En el caso del índice VARI la recodificación que se utilizó fue la siguiente: 0.0-0.09 escasa vegetación (1), 0.099-0.15 vegetación media (2) y 0.151-0.25 vegetación abundante (3).

En cada zona deshabitada con cobertura vegetal se efectuó una búsqueda de contenedores con evidencia de presencia del vector por medio de la búsqueda hombre/hora. En cada colecta se extrajeron todas las larvas contenidas en cada recipiente que contuviera agua, con ayuda de una pipeta Pasteur, y se transfirieron a tubos eppendorf de 1.5 ml rellenos con alcohol al 70%. Los recipientes fueron luego transportados a sitios de

extracción de desechos. Las larvas retenidas fueron trasladadas al laboratorio, donde fueron examinadas e identificadas con claves dicotómicas: *Morphological Differentiation of the Eggs of North American Container-Inhabiting Aedes Mosquitoes*, *Scanning Electron Microscopy of Mosquitoes: II. The egg surface structure of 13 species of Aedes from Taiwan* y *A Rapid Identification Guide for Larvae of the Most Common North American Container-Inhabiting Aedes Species of Medical Importance* (Bova et al., 2016; Farajollahi & Price, 2013; Matsuo et al., 1974), y claves elaboradas por el programa de enfermedades transmitidas por vectores del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Por último, se registró el número de larvas y pupas encontradas.

Vegetación como variable condicionante del número de contenedores y estadios inmaduros de *Aedes*

Siguiendo el supuesto propuesto por nuestra hipótesis sobre la existencia de contenedores viables ecológicamente para *Aedes*, los cuales son irreconocibles para el personal de salud (así como para nuestro equipo de investigación), se ajustaron seis modelos lineales generalizados con distribución de *Poisson* con ceros inflados. Los primeros tres modelaron la distribución de la media del número de contenedores que podrían esperarse en los terrenos evaluados, mientras los últimos tres modelaron la distribución de la media de número de larvas que podíamos encontrar en los sitios evaluados.

$$y_i \sim \text{ZIPoisson}(\pi_i, \lambda_i)$$

$$\text{logit}(\pi_i) = \alpha \pi[\text{VARI}] + \text{GRVI} \quad \text{Probabilidad de no encontrar larvas / contenedores}$$

$$\log(\lambda_i) = \alpha \lambda[\text{VARI}] + \text{GRVI} \quad \text{Número de larvas / contenedores}$$

ZIPoisson = Zero Inflated Poisson distribution

Los modelos se diseñaron con la función *ulam* en el paquete *rethinking* (McElreath, 2020), en el software estadístico R (R Core Team, 2021), con probabilidades a priori regularizados de contenedores de acuerdo con lo reportado de ochenta y nueve por mes y un valor de larvas de cuarenta y una por mes, para establecer la distribución *a priori* de estos valores. En el caso de la variable de búsqueda, nuestra hipótesis sugiere que existe una gran dificultad en la detección tanto de con-

tenedores como larvas en los sitios estudiados, por lo que se modeló una incapacidad de detección de larvas del 90% y un 80 % de recipientes viables ecológicamente *a priori*. Se utilizaron cuatro cadenas de Markov de Monte Carlo Hamiltoniano y 2000 iteraciones para cada una. Los modelos asumieron los índices de vegetación verde-rojo y el índice de resistencia atmosférica visible recodificados como predictores. Se ajustaron tres modelos distintos para cada uno de los parámetros de interés: número de larvas y número de recipientes. En el primero de los modelos en ambos casos no se utilizaron predictores. En el segundo modelo se utilizó únicamente el VARI o GRVI como predictores. En el tercer modelo para larvas y para recipientes se utilizó VARI o GRVI y la adición del efecto del índice GRVI / VARI respectivamente.

Resultados

Se visitaron 206 terrenos con cobertura vegetal gramínea, arbustiva y arbórea, y se encontraron 1,809 larvas distribuidas en distintos recipientes: en toneles (1), llantas descartadas (16), botellas plásticas (17), bo-

tellas de vidrio (4), cáscaras de coco (2), cubetas (1), recipientes de plástico (8), recipientes de aluminio (8), pilas (1), carretas de metal (1), concreteras (1), siendo el más predominante las botellas plásticas. De estos terrenos se escogieron 38 aleatoriamente y se les realizó la toma de fotografías a los terrenos que se encontraban circundantes, esto debido a las dificultades para poder alcanzar todos los terrenos de las cabeceras municipales por la ubicación del aeropuerto en Santa Elena, el cual restringe el vuelo de drones en esta zona.

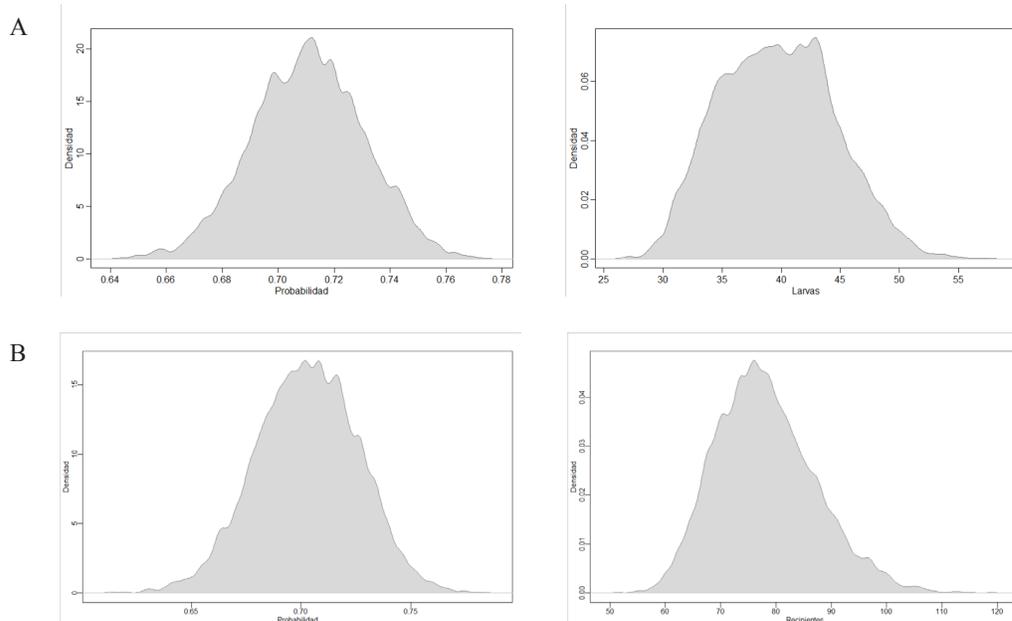
Ajuste de modelos

De acuerdo con el modelo tres para los modelos de número de larvas, la media que podríamos encontrar por terreno evaluado es de cuarenta ($\sigma = 5$), y tomando en cuenta el número de ceros obtenidos durante el estudio existe un 71% ($\sigma = 1$), de probabilidad de que el personal encargado de buscar las larvas, no sea capaz de encontrarlas en los terrenos evaluados (Figura 2A).

De acuerdo con el modelo tres para los modelos de número de recipientes, la media que podríamos encontrar por terreno evaluado es de 78 recipientes

Figura 2

Distribución de probabilidad de no encontrar larvas, distribución de la media de cantidad de larvas (A) y recipientes (B) que podrían encontrarse en terrenos evaluados



Nota. La zona sombreada muestra el 95% HPDI (Highest Posterior Density Intervals).

($\sigma = 9$), y tomando en cuenta el número de ceros obtenidos durante el estudio existe un 70% ($\sigma = 2$), de probabilidad de que el personal encargado de buscar los recipientes, no sean capaces de encontrarlos en los terrenos evaluados (Figura 2B).

Evaluación de los modelos y las variables utilizadas:

Los modelos ajustados para evaluar las larvas que podrían encontrarse en los terrenos deshabitados fueron comparados por medio de la validación cruzada del muestreo de importancia suavizado por Pareto (PSIS) (Vehtari et al., 2015) y con el Criterio de información ampliamente aplicable (WAIC) (Watanabe, 2010). Ambas estrategias permiten predecir la penalización por predicción en distribuciones fuera de la muestra.

Al calcular el índice de vegetación verde-rojo se pudo observar que es capaz de diferenciar zonas cubiertas por zonas vegetales de zonas que no contengan vegetación. De acuerdo con nuestros resultados, valores por encima de 0 muestran zonas con cobertura vegetal, y valores iguales o menores a cero muestran zonas desprovistas de vegetación (Figura 3).

Ambas metodologías (PSIS y WAIC), muestran valores similares en los resultados de la evaluación de los tres modelos para cada variable de interés. En ambos casos se puntúa de mejor forma el riesgo de sobreajuste y el peso del modelo tres, tanto para el

modelo de larvas como para el modelo de recipientes. En ambos se toman en cuenta GRVI y VARI.

En el caso de los modelos de larvas, las diferencias con los otros modelos indican que el modelo tres se encuentra a 34 unidades de desviación del modelo dos y el modelo uno (sin predictores), a 72 unidades. Además, el número efectivo de parámetros es superior en el modelo mejor calificado, alcanzando más de cuarenta en comparación con los menos de treinta en el resto de los modelos.

En el caso de los modelos de recipientes, las diferencias con los otros modelos indican que el modelo tres se encuentra a 126 unidades de desviación que el modelo dos y a 275 unidades que el modelo uno (el cual no utiliza predictores). El número efectivo en este caso es menor en el modelo tres, en comparación al resto de modelos.

Existe certeza en que la dirección de los efectos de las variables, no encontrar larvas estratificada por VARI, número de larvas estratificada por VARI y GRVI 2 y 3 sean positivos, GRVI 1 sea negativo y pueden considerarse significativos en el modelo de larvas. Además, existe certeza de que los efectos de las variables, no encontrar recipientes estratificada por GRVI, número de recipientes, estratificadas por GRVI seas positivos, que VARI 1 y 2, sean negativos y pueden considerarse significativos en el modelo de recipientes, con excepción a VARI 3 (Tabla 2) (Makowski, Ben-Shachar, & Lüdecke, 2019; Makowski, Ben-Shachar, Chen, et al., 2019).

Figura 3

Comparación de imágenes tomadas por dron Phantom 4 (A), con imágenes al calcular el índice de vegetación verde-rojo (B)

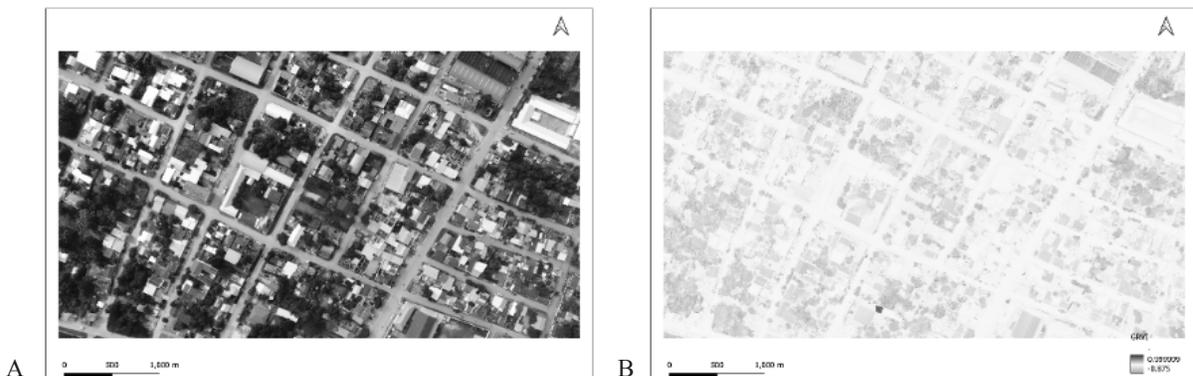


Tabla 2

Probabilidad de dirección (pd), y Región de equivalencia práctica (ROPE), de las variables estratificadas en el modelo tres para la corrección de búsqueda de larvas y recipientes

Variable	Pd %	Media	Sd	89% IC [HPDI _{sup}]	89% IC [HPDI _{inf}]	ROPE % [-0.08, 0.08]
No_en_VARI1	> 99.9	0.89	0.10	0.73	1.06	< 1
No_en_VARI2	> 99.9	0.90	0.10	0.75	1.06	< 1
No_en_VARI3	> 99.9	0.91	0.09	0.76	1.06	< 1
Larv_VARI1	> 99.9	3.56	0.08	3.43	3.69	< 1
L Larv_VARI2	> 99.9	3.76	0.08	3.63	3.89	< 1
Larv_VARI3	> 99.9	3.70	0.10	3.54	3.86	< 1
GRVI1	> 99.9	-1.17	0.27	-1.62	-0.75	< 1
GRVI2	> 99.9	0.45	0.09	0.30	0.60	< 1
GRVI3	> 99.9	0.57	0.10	0.41	0.74	< 1
No_en_GRVI1	> 99.9	0.80	0.10	0.65	0.96	< 1
No_en_GRVI2	> 99.9	0.86	0.10	0.71	1.01	< 1
No_en_GRVI3	> 99.9	0.92	0.10	0.76	1.08	< 1
Reci_GRVI1	> 99.9	4.43	0.10	4.27	4.59	< 1
R Reci_GRVI2	> 99.9	4.28	0.09	4.13	4.42	< 1
Reci_GRVI3	> 99.9	4.34	0.09	4.19	4.49	< 1
VARI1	> 99.9	-2.41	0.22	-2.78	-2.07	< 1
VARI2	> 99.9	-2.30	0.16	-2.58	-2.06	< 1
VARI3	95.71	0.81	0.47	0.08	1.54	3.95

Nota. No_en_V1: No encontrar larvas/recipientes en escasa vegetación de acuerdo con índice, No_en_V2: No encontrar larvas/recipientes en vegetación media de acuerdo con índice, No_en_V3: No encontrar larvas/recipientes en abundante vegetación de acuerdo con índice. Larv/Reci_V1: Número de larvas/recipientes en escasa vegetación de acuerdo con índice, Larv/Reci_V2: Número de larvas/recipientes en vegetación media de acuerdo con índice, Larv/Reci_V3: Número de larvas/recipientes en vegetación abundante de acuerdo con índice. Pd: Probabilidad de dirección, sd, desviación estándar, IC: intervalos creíbles, HPDI: Intervalos de densidad posterior más altos.

Ambos modelos, tanto para larvas como para recipientes, muestran evidencia sobre el efecto que la cobertura vegetal juega en la visibilidad de los recipientes ecológicamente viables para *Aedes aegypti*. A mayor cobertura vegetal, es menos probable encontrar recipientes, y el fenómeno de falsos negativos se incrementa (número de falsas ausencias).

Por otro lado, la cobertura vegetal parece jugar también un papel importante en la presencia de larvas de cuarto estadio en terrenos deshabitados, pudiéndose encontrar un mayor número de larvas al aumentar la cobertura vegetal de los terrenos; con excepción de los terrenos con poca cobertura, donde se observa un comportamiento de disminución en el número de larvas. La cobertura vegetal también parece influenciar el número de falsas ausencias que se suelen reportar durante los muestreos realizados.

Discusión

En Guatemala, las especies de vectores que transmiten arbovirus pueden variar sustancialmente en el tiempo y el espacio en términos de comportamientos de búsqueda de hospedero, reposo y oviposición, y la información que pretende explicar dichos patrones es escasa. La información sobre el comportamiento y la biología son fundamentales para comprender mejor que intervenciones de control de vectores pueden ser más efectivas en el control de estos.

Actualmente se basa en el conocimiento de la distribución departamental, aproximados de la densidad de las poblaciones del principal vector y posterior delimitación de zonas de riesgo de transmisión. Uno de los principales inconvenientes para la realización de estos estudios es la gran variabilidad de la dinámica espacio temporal del vector (Diéguez et al., 2006; Lepe López et al., 2017; Rodríguez-Flores et al., 2018; Villatoro, 2006).

Elegimos como puntos de muestreo los terrenos deshabitados con cobertura vegetal, con base en lo observado en los informes de distintos proyectos para el control del Zika en el país (Zika Community Response y The Zika Airs Project), en los que queda patente la prevalencia de mosquitos (estadios inmaduros), en zonas con terrenos deshabitados. Además, distintos autores a lo largo del tiempo han reportado la presencia de larvas y pupas en todo tipo de contenedores y recipientes resultantes de la actividad humana, capaces de almacenar agua (Carter, 1924; Nelson, 1986; Rogers et al., 2006).

Las condiciones antropogénicas encontradas en las localidades evaluadas con relación al acceso al agua para consumo humano son en gran medida distintas a las reportadas en los proyectos para el control del ZIKA y por el MSPAS en zonas secas del país como los municipios intervenidos en Zacapa. Estas regiones suelen caracterizarse por la ausencia de sistemas de traslado de aguas residuales entubados, presencia de letrinas y desagües en vía pública, que fomenta la necesidad de mantener contenedores de agua que suplan las necesidades mínimas de este a lo largo del año en las comunidades. Sin embargo, en Santa Elena y San Benito la ausencia de estos servicios básicos no es evidente y la explicación a cerca de la ubicación de los huevecillos durante las épocas de baja prevalencia del mosquito tampoco es evidente.

Al evaluar la relación del efecto de la cobertura vegetal medido como el índice de vegetación GRVI y el índice VARI a baja altitud, en la búsqueda de contenedores ecológicamente viables por parte de los observadores, pudimos observar un patrón positivo entre estas variables. De acuerdo con los modelos lineales generalizados con distribución de *Poisson* con ceros inflados escogidos, el número de contenedores encontrados durante las encuestas larvales y la cobertura vegetal muestran una relación positiva (Tabla 2). Esta relación se puede deber a que los contenedores son ocultados por la cobertura vegetal circundante. Las condiciones de estos son propicias para la oviposición por parte de las hembras del vector. En conjunto ambos efectos favorecen el mantenimiento de huevecillos que podrán eclosionar en los momentos en que la época lluviosa comience. Efectos similares han sido evaluados y modelizados por medio de índices distintos como el NDVI (Martín et al., 2022), o islas de calor urbanas (UHI) (de Jesús Crespo & Rogers, 2021).

Este efecto agrega una dimensión a tomar en cuenta en las estrategias de control del vector por parte de las entidades gubernamentales. La forma de intervenir en el control de *A. aegypti* ha ido de la mano con las intervenciones realizadas para el control de los vectores de la malaria *Anopheles albimanus*, *A. vestitipennis*, *A. pseudopunctipennis* y *A. darlingi*, a partir de 1956.

Para el control de los vectores de malaria una larga lista de insecticidas ha servido en las campañas del Ministerio de Salud, incluyendo dieldrín, dicloro difenil tricloroetano (DDT), carbamatos, organofosforados (OPS/OMS et al., 2008) y actualmente piretroides como la deltametrina y la alfa-cipermetrina (The Global Fund, 2015). Estos han sido reemplazados

durante el tiempo de acuerdo con la evidencia de resistencia de los mosquitos ante los compuestos utilizados.

El control de *A. aegypti* por medio de métodos químicos comienza en 1949 con la campaña de erradicación del *A. aegypti* con DDT 4% (Reunión Binacional de Salud Pública Guatemala-México, 1984) y Malatión en polvo humectable al 50% en concentraciones al 5%, como larvicida (Abate) 1% (Servicio Nacional de Erradicación de la Malaria, 1975) hasta la actualidad (MSPAS/OPS, 2015).

Sin embargo, el uso de insecticidas en ambas modalidades presenta inconvenientes metodológicos si tomamos en cuenta la hipótesis del estudio propuesto. El uso de DDT elimina a los imagos que se encuentran en vuelo activo. Por otro lado, el larvicida elimina únicamente los estadios larvales que se encuentran en los recipientes tratados. La presencia de contenedores viables ecológicamente y no encontrados durante las campañas de control de vectores en los terrenos con cobertura vegetal explican la incapacidad de eliminar las poblaciones de estos mosquitos desde hace más de 70 años en el país y la reincorporación de poblaciones viables en las épocas de retransmisión. Y claramente no puede dejarse de lado el efecto sobre la biodiversidad producto del uso de insecticidas. Una forma alternativa para paliar esta deficiencia es colocar contenedores para recolección de basura de forma más frecuente en estas comunidades para evitar la acumulación de contenedores que puedan servir como criaderos de larvas. Junto a la distribución de nuevos contenedores se debe realizar campañas para el uso correcto de los mismos entre la población haciendo énfasis en el beneficio que conlleva esta práctica.

Es evidente la necesidad de estudios que amplíen la visión del comportamiento de las poblaciones de los mosquitos si el objetivo final de los organismos de salud del país, son el control de las enfermedades por medio del control vectorial.

Agradecimientos

Agradecemos la valiosa colaboración de Valeska Jimena Contreras Paz, Mario Santiago Zetina Maldonado y a el licenciado Jimmy Vargas. Este artículo es uno de los resultados de la investigación Relación entre la resiliencia en la densidad *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 y *Aedes albopictus*, Skuse 1895 con terrenos deshabitados con cobertura vegetal. Fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la

Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.58.0.74 con código B3CU-2022 en el Programa Universitario de Investigación de Ciencias Básicas.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: Todos los autores

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: JDS-L

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: MB-I

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: JDS-L, CV-L

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: Todos los autores

Materiales suplementarios

Los materiales suplementarios de este artículo se encuentran en la página web de la revista a través <https://doi.org/10.36829/63CTS.v10i1.1544>.

Referencias

- Bova, J., Paulson, S., & Paulson, G. (2016). Morphological differentiation of the eggs of North American container-inhabiting *Aedes* mosquitoes. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 32(3), 244-246. <https://doi.org/10.2987/15-6535.1>
- Carter, H. (1924). Preferential and compulsory breeding places of *Aedes* (stegomyia) *aegypti* and their limits. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 18(4), 493-503. <https://doi.org/10.1080/00034983.1924.11684429>
- Costa, F., Fattore, G., & Abril, M. (2012). Diversity of containers and buildings infested with *Aedes aegypti* in Puerto Iguazú, Argentina. *Cadernos de Saúde Pública*, 28(9), 1802-1806. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2012000900019>
- Crespo, de J. R., & Rogers, R. E. (2021). Habitat Segregation Patterns of Container Breeding Mosquitos: The Role of Urban Heat Islands, Vegetation Cover, and Income Disparity in Cemeteries of New Orleans. *International*

- Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), Artículo 245. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010245>
- Devera, R., Devera, Z., & Velásquez, V. (2013). Presencia de *Aedes aegypti* en el cementerio jobo liso de Ciudad Bolívar, Estado Bolívar, Venezuela. *Saber*, 25(4).
- Diéguez, L., Hernández, C. A., Zacarías, R., & Salazar, V. (2006). Contribución al estudio de la familia Culicidae de Guatemala: Relación y distribución geográfica de las principales especies en la región norte. *Revista Cubana Medicina Tropical*, 58(1), 30-35.
- Diéguez-Fernández, L., Andrés-García, J., Martín-Martínez, J., Fimia-Duarte, R., Iannacone, J., & Alarcón-Elbal, P. (2015). Comportamiento estacional y relevancia de los depósitos permanentes y útiles para la presencia de *Aedes* (*Stegomyia*) *Aegypti* en Camagüey, Cuba. *Neotropical Helminthology*, 9(1), 103-111.
- Farajollahi, A., & Price, D. C. (2013). A rapid identification guide for larvae of the most common North American container-inhabiting *Aedes* species of medical importance. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 29(3), 203-221. <https://doi.org/10.2987/11-6198R.1>
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., & Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76-87. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)
- Hamlyn-Harris, R. (1927). Notes on the breeding places of two mosquitoes in Queensland. *Bulletin of Entomological Research*, 17(4), 411-414. <https://doi.org/10.1017/S0007485300019519>
- Honório, N. A., & Lourenço-de-Oliveira, R. (2001). Freqüência de larvas e pupas de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* em armadilhas, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, 35(4), 385-391. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102001000400009>
- Jentes, E. S., Pomeroy, G., Gershman, M. D., Hill, D. R., Lemarchand, J., Lewis, R. F., Staples, J. E., Tomori, O., Wilder-Smith, A., & Monath, T. P. (2011). The revised global yellow fever risk map and recommendations for vaccination, 2010: Consensus of the Informal WHO Working Group on Geographic Risk for Yellow Fever. *The Lancet Infectious Diseases*, 11(8), 622-632. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(11\)70147-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(11)70147-5)
- Leparc-Goffart, I., Nougairede, A., Cassadou, S., Prat, C., & de Lamballerie, X. (2014). Chikungunya in the Americas. *The Lancet*, 383(9916), 514. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60185-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60185-9)
- Lepe López, M. A., Dávila, M., Canet, M., Lopez, Y., Flores, E., Dávila, A., & Escobar, L. E. (2017). Distribución de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en Guatemala 2016. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 4(1), 21-31. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v4i1.239>
- Makowski, D., Ben-Shachar, M., & Lüdtke, D. (2019). bayestestR: Describing Effects and their Uncertainty, Existence and Significance within the Bayesian Framework. *Journal of Open Source Software*, 4(40), 1541. <https://doi.org/10.21105/joss.01541>
- Makowski, D., Ben-Shachar, M. S., Chen, S. H. A., & Lüdtke, D. (2019). Indices of Effect Existence and Significance in the Bayesian Framework. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02767>
- Martín, E., Alonso, A., Faraone, J., Stain, N., & Estallo, E. (2022). *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* abundance, landscape coverage and spectral indices effects in a subtropical city of Argentina. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2022.01.11.475665>
- Matsuo, K., Yoshida, Y., & Lien, J. C. (1974). Scanning electron microscopy of mosquitoes: II. The egg surface structure of 13 species of *Aedes* from Taiwan. *Journal of Medical Entomology*, 11(2), 179-188. <https://doi.org/10.1093/jmedent/11.2.179>
- McElreath, R. (2020). *Rethinking: Statistical Rethinking book package* (R package version 2.13).
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social/ Organización Panamericana de la Salud. (2015). *Manual operativo de vigilancia y control entomológico de Aedes aegypti vector del dengue y Chikungunya en Guatemala*.
- Monroy, C., Yuichiro, T., Rodas, A., Mejía, M., Pichilla, R., Mauricio, H., & Pérez, M. (1999). Distribución de *Aedes albopictus* (Diptera:

- Culicididad) en Guatemala, seguimiento a una colonización de 1995. *Revista Científica*, 12(1), 29-32.
- Monzón, M. V., Rodríguez, J., Diéguez, L., Alarcón-Elbal, P. M., & San Martín, J. L. (2019). Hábitats de cría de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en Jutiapa, Guatemala. *Novitates Caribaea*, 14, 111-120. <https://doi.org/10.33800/nc.v0i14.203>
- Motohka, T., Nasahara, K. N., Oguma, H., & Tsuchida, S. (2010). Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sensing*, 2(10), 2369-2387. <https://doi.org/10.3390/rs2102369>
- Nelson, M. J. (1986). *Aedes aegypti Biología y Ecología*. Organización Panamericana de la Salud.
- Ogata, K., & López Samayoa, A. (1996). Discovery of *Aedes albopictus* in Guatemala. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 12(3), 503-506.
- Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), & Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FNAM). (2008). El caso del proyecto de demostración de Guatemala. En *Programa regional de acción y demostración de alternativas sostenibles para el control de vectores de la malaria sin uso de DDT en México y América Central* (No. GFL-2328-2760-4680, pp. 89-92).
- QGIS Development Team. (2022). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. [Software]. <https://qgis.org>.
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing [Software]. <https://www.R-project.org/>.
- Reunión Binacional de Salud Pública Guatemala-México. (1984). *Informe del programa de malaria de Guatemala*. Ministerio de Salud y Asistencia Social.
- Rey, J. R., Nishimura, N., Wagner, B., Braks, M. A. H., O'Connell, S. M., & Lounibos, L. P. (2006). Habitat Segregation of Mosquito Arbovirus Vectors in South Florida. *Journal of Medical Entomology*, 43(6), 1134-1141. <https://doi.org/10.1093/jmedent/43.6.1134>
- Rodríguez-Flores, J., Monzón-Muñoz, M. V., Diéguez-Fernández, L., Yax-Caxaj, P. M., & Iannacone, J. (2018). Culícidos de relevancia médico-veterinario de Jutiapa, Guatemala: 2009-2017. *Biotempo*, 15(1), 49-57. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v15i1.1695>
- Rogers, D. J., Wilson, A. J., Hay, S. I., & Graham, A. J. (2006). *The global distribution of yellow fever and dengue* (pp. 181-220). [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(05\)62006-4](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(05)62006-4)
- Sanabria, E., Rodríguez, N., Samudio, M., Martínez, N., Torales, M., & Aguayo, N. (2017). Criaderos de *Aedes aegypti* en la ciudad de Asunción, Paraguay durante los años 2011-2014. *Revista de Salud Pública del Paraguay*, 7(1), 33-36. <https://doi.org/10.18004/rspp.2017junio.33-36>
- Servicio Nacional de Erradicación de la Malaria. (1975). *Memoria Anual 1974*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Simmons, C. P., Farrar, J. J., van Vinh Chau, N., & Wills, B. (2012). Dengue. *New England Journal of Medicine*, 366(15), 1423-1432. <https://doi.org/10.1056/NEJMr1110265>
- Stein, M., Ludueña-Almeida, F., Willener, J. A., & Almirón, W. R. (2011). Classification of immature mosquito species according to characteristics of the larval habitat in the subtropical province of Chaco, Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 106(4), 400-407. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762011000400004>
- Stein, M., Oria, G. I., & Almirón, W. R. (2002). Principales criaderos para *Aedes aegypti* y culícidos asociados, Argentina. *Revista de Saúde Pública*, 36(5), 627-630. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102002000600013>
- The Global Fund. (2015). Results Report 2015. <https://www.theglobalfund.org/en/archive/annual-reports/>
- Thomas, H. W. (1910). The sanitary conditions and diseases prevailing in Manaus and chart. *Annals of Tropical Medicine Parasitology*, 4(1), 7-55.

- Vehtari, A., Simpson, D., Gelman, A., Yao, Y., & Gabry, J. (2015). *Pareto Smoothed Importance Sampling*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1507.02646>
- Villatoro, G. R. (2006). *Historia del dengue en Guatemala* [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Watanabe, S. (2010). Asymptotic Equivalence of Bayes Cross Validation and Widely Applicable Information Criterion in Singular Learning Theory. *Journal of Machine Learning Research*, *11*, 3571-3594
- World Health Organization. (2017). Dengue y dengue grave. *Centro de Prensa: Nota Descriptiva*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/>
- Zika AIRS Project. (2019). *Final Report*. The Zika AIRS Project, Abt Associates Inc. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00TZZP.pdf
- Zika Community Response Project. (2019). *Final activity report*. USAID Zika program. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00WK9H.pdf