

Publication status: Not informed by the submitting author

Spatial patterns associated with the distribution of immature stages of *Aedes aegypti* in three high-risk dengue municipalities of Southwestern Colombia

Cristina Sanchez Gutierrez, Erika Santamaría, Carlos Andrés Morales, María Camila Lesmes, Horacio Cadena, Alvaro Avila-Diaz, Patricia Fuya, Catalina Marceló-Díaz

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.6611>

Submitted on: 2023-08-15

Posted on: 2023-08-17 (version 1)

(YYYY-MM-DD)

DATA PAPER

Patrones espaciales asociados a la distribución de estadios inmaduros de *Aedes aegypti* en tres municipios de alto riesgo para el departamento del Cauca, Colombia

Spatial patterns associated with the distribution of immature stages of *Aedes aegypti* in three high-risk dengue municipalities of Southwestern Colombia

Autores: Cristina Sánchez¹, Erika Santamaría¹, Carlos Andrés Morales², María Camila Lesmes^{1,3}, Horacio Cadena⁴, Alvaro Avila-Díaz^{3,5}, Patricia Fuya¹, Catalina Marceló-Díaz^{1*}

¹ Grupo de Entomología, Instituto Nacional de Salud, Bogotá, Colombia.

² Secretaría de Salud Departamental del Cauca, Popayán, Colombia.

³ Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá, Colombia.

⁴ Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales PECET, Medellín, Colombia.

⁵ Research Group "Interactions Climate-Ecosystems (ICE)", Earth System Science Program, Faculty of Natural Sciences, Universidad del Rosario, Bogota, Colombia

Cristina Sánchez, csanchezg_2@uqvirtual.edu.co, <https://orcid.org/0009-0003-1366-9467>

Erika Santamaría, esantamaria@ins.gov.co, <https://orcid.org/0000-0002-7232-718X>

Carlos Andrés Morales, carlos.morales@cauca.gov.co, <https://orcid.org/0000-0002-9887-1044>

María Camila Lesmes, mlesmes@ins.gov.co, <https://orcid.org/0000-0002-2725-7901>

Horacio Cadena, horaciocadena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1573-3074>

Alvaro Avila-Díaz, alvaro.avila@urosario.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-0404-4559>

Patricia Fuya, pfuya@ins.gov.co, <https://orcid.org/0000-0003-3762-0003>

Catalina Marceló, cmarcelo@ins.gov.co, <https://orcid.org/0000-0002-0927-9365>

Abstract

Aedes aegypti mosquitoes are the main vector of human arbovirolosis in tropical and subtropical areas. Its adaptation to urban and rural environments generates infestations inside households. Therefore, entomological surveillance in association with spatio-temporal analysis is an innovative approach to vector control and dengue management. The main aim was to inspect immature pupal stages in households belonging to municipalities at high risk of dengue in Cauca, Colombia by implementing entomological indices and relating how they influence adult mosquito density. Here, we provide novel data for the geographical distribution of 3,806 immature pupal stages of *Ae. aegypti*. We also report entomological indices and spatial characterization. The results suggest that for *Ae. aegypti* species, pupal productivity generates high densities of adults in neighbouring households, evidencing seasonal behaviour. This dataset is of great importance as it provides an innovative strategy for vector-borne disease mitigation using vector spatial patterns and their association with entomological indicators and breeding sites in high-risk neighbourhoods.

Keywords: Spatial patterns, *Aedes aegypti*, Colombia, Dengue fever.

Resumen

Los mosquitos *Aedes aegypti* son el principal vector de las arbovirosis humanas en zonas tropicales y subtropicales. Su adaptación a entornos urbanos y rurales genera infestaciones en el intradomicilio de las viviendas. De aquí que, la vigilancia entomológica en asociación con el análisis espacial y el análisis espacio-temporal sean un enfoque innovador para el control de vectores y la gestión del dengue. El objetivo principal de la investigación fue realizar una comparación de la vigilancia entomológica, mediante el uso de índices cuantitativos de pupas y de adultos en tres municipios de alto riesgo de dengue Patía (El Bordo), Miranda y Piamonte del departamento del Cauca, con el fin de examinar como influye la productividad de pupas, entre otros índices entomológicos, en la densidad de mosquitos adultos y sus patrones espaciales y temporales. Como resultado aportamos datos novedosos sobre la distribución geográfica de 3.806 estadios inmaduros de *Ae. aegypti*, sus índices entomológicos y su caracterización espacial. Los resultados sugieren que, para las especies de *Ae. aegypti*, la productividad de pupas genera altas densidades de adultos en las viviendas vecinas, evidenciando un comportamiento estacional. Estos resultados son de gran importancia ya que proporciona una estrategia innovadora para la mitigación de enfermedades transmitidas por vectores utilizando patrones espaciales de los vectores y su asociación con indicadores entomológicos y lugares de cría en barrios de alto riesgo para la transmisión del dengue.

Palabras clave: Patrones espaciales, *Aedes aegypti*, Colombia, Dengue.

Research Area

Human and Biomedical Sciences

Classifications

Global Health

Biomedical Science

DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Introducción

El mosquito *Aedes aegypti* es el principal vector de las arbovirosis humanas: fiebre amarilla, dengue, chikungunya y Zika presentes en áreas tropicales y subtropicales [1]. Su adaptación a condiciones antrópicas locales, ambientes urbanos, condiciones óptimas de temperatura, precipitación, humedad relativa entre otros factores ambientales y socioeconómicos le han conferido la capacidad de establecer sus poblaciones reproductivas entre las poblaciones urbanas y rurales [2, 3, 4]. Para el caso de Colombia es el principal vector del virus dengue reportándose en altitudes entre 0 a 2302 msnm, la presencia y abundancia de este vector son una amenaza a la salud pública del país [5,6].

El estrecho contacto con los humanos ha permitido que la hembra de hábitos hematófagos se alimente de sangre humana o de animales domésticos; causando infestaciones en diferentes tipos de contenedores en los domicilios y sus alrededores. En ese sentido, la presencia de contenedores artificiales y naturales como tanques, barriles, botellas, neumáticos, plantas acuáticas, agua estancada, bebederos de mascotas, entre otros, se convierten en criaderos

potenciales de estados inmaduros del mosquito *Aedes aegypti* [7,8]. La vigilancia de este tipo de contenedores contribuye a reducir la proliferación de pupas y por ende densidades del mosquito, su muestreo se convierte en una herramienta indispensable para diseñar enfoques de vigilancia entomológica del vector, pertinentes a cada situación [9].

De acuerdo con las metodologías establecidas para Colombia [7,10], la inspección de potenciales criaderos se determina con indicadores entomológicos que permiten dar a conocer el índice de pupas por persona, productividad de pupas y la presencia de estadios inmaduros en las viviendas [7,10]. Sin embargo, esto no se lleva a cabo en todas las entidades territoriales, la importancia de emplear este tipo de indicadores entomológicos es que proporcionan una aproximación representativa de las poblaciones locales adultas del mosquito requiriendo un tamaño muestral de inspección de casas relativamente pequeño [9,11], así como también, el índice de pupas por persona posibilita calcular un umbral mínimo de infestación por pupas de *Ae. aegypti* para el riesgo de transmisión del virus dengue (DENV) que oscila entre 0,5 a 1,5 para temperaturas de 28°C y seroprevalencias entre 0% a 67% [12], lo que permite esclarecer zonas con mayor riesgo.

La vigilancia del mosquito *Ae. aegypti* se ha basado principalmente en la obtención de los índices de larvas cualitativos, los cuales guardan poca relación con el número de hembras del mosquito. Por otra parte, se ha reportado que las poblaciones de *Ae. aegypti* son espacialmente heterogéneas en algunas zonas [11]. Así pues, predecir la aparición de puntos calientes de mosquitos *Ae. aegypti*, es decir, grupos de casas con elevados incrementos en la productividad de pupas, alta densidad del vector y potencial transmisión del DENV por medio de análisis espacio-temporales hacen parte de las estrategias innovadoras que pueden utilizarse para la prevención, control del vector y la gestión integrada del dengue en municipios de alto riesgo, puesto que permite detectar patrones de distribución geográfica del vector [11,13]. Por tal motivo es de suma importancia considerar este tipo de índices de infestación debido que los estadios inmaduros, específicamente las pupas representan el estadio anterior próximo al adulto con muy baja mortalidad. Lo que conlleva a un mayor grado de relación con la densidad de *Aedes aegypti* y del virus del dengue [7,14].

Es así que para el presente estudio, se efectuó la comparación de la vigilancia entomológica, mediante el uso de índices cuantitativos de pupas y de adultos en tres municipios de alto riesgo de dengue Patía (El Bordo), Miranda y Piamonte del departamento del Cauca, con el fin de examinar como influye la productividad de pupas, entre otros índices entomológicos, en la densidad de mosquitos adultos y sus patrones espaciales y temporales; se llevaron a cabo análisis de regresión espacial y de autocorrelación espacial bivariada, los cuales permiten modelar y explorar las relaciones espaciales además de permitir captar la relación entre los valores de dos variables, aún cuando estas no coincidan en el mismo espacio.

CONTEXTO

Se documentan 160 registros biológicos (3.806 individuos) en estadio inmaduro (pupa) de la especie *Aedes aegypti* provenientes de las viviendas de los municipios de Patía (El Bordo), Miranda y Piamonte; ubicados en el departamento del Cauca, el cual hace parte del suroccidente de Colombia. Estos municipios forman parte de un proyecto de investigación en curso titulado “Estratificación espacial del dengue basado en la identificación de factores

del riesgo: un ensayo piloto en el departamento del Cauca”, liderado por el Grupo de Entomología del Instituto Nacional de Salud, la Secretaría de Salud del Cauca y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). El cual busca entre otros evaluar la fuerza de asociación de las variables entomológicas en la explicación del patrón espacial observados en la distribución del dengue.

Los datos fueron recolectados entre los años 2021 y 2022 por un equipo multidisciplinar de técnicos de sanidad ambiental, ingenieros geógrafos y ambientales, y profesionales con amplia experiencia en entomología médica. En este conjunto de datos debemos diferenciar tres periodos de muestreo para cada municipio, para Patía: marzo y octubre del 2021 y marzo y abril del 2022; para Miranda: abril y noviembre del 2021 y mayo del 2022; y para Piamonte julio del año 2021 y febrero y julio del 2022. Un cuarto período de muestreo se llevó a cabo en agosto y octubre del 2022 en los municipios de Patía y Miranda respectivamente, con el fin de aumentar el tamaño de muestra para llevar a cabo serotipificación de los ejemplares. Los estadios inmaduros (pupas) fueron colectados de recipientes menores y mayores de 20 litros entre ellos, tanques, barriles, neumáticos, entre otros, provenientes del intradomicilio de las viviendas de los tres municipios. Los municipios fueron seleccionados como área de estudio por su comportamiento endemo-epidémico para la transmisión del virus dengue (DENV), característico por epidemias focales, escenarios de transmisión heterogéneos, patrones temporales y cíclicos en poblaciones de riesgo.

El conjunto de datos de pupas está en formato Darwin Core, con 73 términos disponibles. Todos los campos obligatorios están presentes y han sido sometidos a revisión en el IPT (Integrated Publishing Toolkit) del SiB-Colombia. Los campos de metadatos también están disponibles a través de las páginas en línea (<https://ipt.biodiversidad.co/sib/>). También hacen parte de este conjunto de datos 3.480 individuos adultos de la familia Culicidae, de los cuales 2.383 especímenes fueron colectados en el año 2021 [15], al final de año, se adicionaron 19 nuevos reportes y 1.097 son nuevos registros colectados en en el año 2022.

Estos registros biológicos son fundamentales para la comunidad científica ya que proporcionan las coordenadas geográficas, así como índices entomológicos necesarios para la vigilancia en salud pública que se lleva a cabo por parte de las entidades de salud. Esto con el fin de tomar medidas de prevención y control del agente etiológico que se encuentran ubicados en estos barrios con altas tasas de infestación.

MÉTODO

Muestreo

La colección de especímenes de estados inmaduros de pupas *Ae. aegypti* pertenecen a viviendas ubicadas en los municipios de Patía (El Bordo), Miranda y Piamonte del departamento del Cauca, Colombia. Estos municipios fueron seleccionados por considerarse endemo-epidémicos con alto riesgo de transmisión del dengue, después de llevar a cabo un análisis espacio temporal [15]. El tamaño de muestra fue delimitado a una escala espacial fina por manzanas mediante análisis de densidad de Kernel, georreferenciando los casos de dengue reportados en el periodo de 2015 a 2019 en áreas urbanas de cada municipio, adicionalmente el tamaño de la muestra se calculó a partir de la prevalencia estimada de dengue (10,5%) en el municipio [16] con un nivel de confianza del 99% mediante el software

EpiInfo®, utilizando el tamaño de población estimado y los conglomerados obtenidos en el análisis Kernel.

En total, se visitaron 1.919 viviendas en 26 barrios durante los meses de marzo, abril, julio y octubre del año 2021, y febrero, marzo, mayo, julio, agosto y octubre de 2022. En el municipio de Patía se visitaron 11 barrios ($n= 580$ viviendas), en Miranda 12 barrios ($n=854$ viviendas) y en Piamonte cuatro barrios ($n=485$ viviendas).

Recolecta de especies

Se ejecutó una inspección diurna de las viviendas entre las 8:00 a 17:00 horas, posteriormente se siguieron los parámetros estipulados de la guía Gestión para la Vigilancia entomológica y control de la transmisión de dengue [7,10]. Se seleccionaron los depósitos de agua artificiales que se encontraron en el intradomicilio. Se inspeccionan todos los criaderos sin importar su tamaño, es decir, contenedores menores a 20L como botellas, floreros, latas, llantas y plásticos pequeños, desde donde fueron recolectadas las pupas con una jama para su posterior conteo. Para el caso de contenedores mayores a 20L se contó el número de pupas recolectadas y se valoró el volumen del depósito, y nivel del agua existente para calcular el factor de calibración [7] y obtener el número estimado de pupas o productividad de pupas.

Por otro lado, se realizaron inspecciones entomológicas en busca de mosquitos adultos durante meses específicos del año 2021 (febrero, marzo, abril, julio, octubre y noviembre) y 2022 (febrero, marzo, mayo y julio). Estas inspecciones se realizaron entre las 8:00 y las 17:00 horas, con una duración media de 10 minutos por vivienda. En cada hogar se buscaron mosquitos adultos en la sala, comedor, baños, cocinas, patio de lavado y otras áreas y se capturaron utilizando un aspirador Prokopack. Estos procedimientos se llevaron a cabo haciendo énfasis en la búsqueda en áreas sombreadas o lugares cercanos a recipientes con agua durante el recorrido.

Clasificación de especies y caracterización espacial

Posterior a la colecta de los estadios inmaduros (pupas), se identificó y se clasificó taxonómicamente la especie *Ae. aegypti* por expertos entomólogos apoyados de claves taxonómicas desarrolladas por Forattini [17] (1995) y Harrison et al., [18] (2016) para diferenciarlas de estadios inmaduros pertenecientes a otras especies. Continuando con el protocolo de campo, se identificaron 3.806 pupas de *Ae. aegypti*, de ellas, 395 fueron conservadas en viales de 0.2 mL con RNAlater© para su procesamiento con técnicas de biología molecular en el grupo de Entomología del Instituto Nacional de Salud (Bogotá, Colombia) (<http://www.ins.gov.co>).

La información entomológica obtenida fue registrada empleando la aplicación de ArcGIS® Survey 123 que proporcionó la ubicación geográfica de cada espécimen colectado. Se asoció un código a cada vial con la información sociodemográfica de la encuesta y a partir del número total de pupas registradas en cada encuesta, se determinaron los índices entomológicos de productividad de pupas, productividad de hembras, índice de pupas por persona e índice pupal de Breteau [7,10] ver tabla.

Tabla 1. Indicadores entomológicos para la vigilancia del *Ae. aegypti*.

Indicadores entomológicos para la vigilancia entomológica del *Ae. aegypti*

Indicador	Cálculo	Interpretación
Productividad de pupas	(# pupas recolectadas*Factor de calibración)	Calcula el número estimado de pupas por cada depósito. Depósitos menores a 20L se cuenta únicamente el número de pupas. Depósitos mayores a 20L se multiplica por factor de calibración (f.c.) proporcionada por el nivel del agua. Niveles de agua: <1/3 f.c. no aplica; 1/3 f.c.: 2.6; 2/3 f.c.: 3.0; 3/3 f.c.: 3.5.
Productividad de hembras	(la razón hembra:macho es de 1:1)	Establece el número estimado de hembras producidas por el criadero.
Índice de pupas por persona	(Productividad de pupas/# habitantes)	Genera una estimación del número de pupas por persona en la vivienda inspeccionada
Índice pupal Breteau	(Número de depósitos positivos con pupas * 100/ Número de viviendas inspeccionadas)	Suministra el número de depósitos con pupas por cada 100 casas. Determina una relación entre los depósitos positivos y las viviendas inspeccionadas.

La información entomológica en conjunto con la información de las manzanas geográficas de los municipios se empleó para realizar análisis de diagramas de dispersión (R^2 , pendiente b , p valor), así como matrices de diagramas de dispersión que evaluaron relaciones de variables entomológicas: número de mosquitos adultos de *Ae. aegypti* [19], número total de pupas, productividad de pupas, productividad de hembras, número de pupas por persona con respecto a la frecuencia de contenedores de tipo tanques bajos, contenedores diversos menores a 20L y barriles.

A su vez, se realizó análisis de Índice de Moran bivalente global ($p \leq 0,05$) que detectó la distribución de las variables relacionadas con agrupaciones espaciales. El Índice de Moran se encuentra en un rango de -1 a 1, en donde -1 indica patrones de agrupación dispersos, 0 indica aleatoriedad y 1 asociación perfecta. Posteriormente, se ejecutó análisis de Índice de Moran Local que distribuyó los agrupamientos significativos ($p = 0,05$) de las manzanas de las viviendas con cuatro tipos de asociación espacial local **I**: alto (x)-alto (y) señala zonas con valores elevados de la variable rodeados de valores superiores a la media de la variable a analizar, **II**: bajo (x)-alto(y) zonas con valores bajos de la variable rodeada de zonas vecinas con valores por encima de la media de la variable, **III**: bajo (x)-bajo (y) indica zonas con bajos valores de la variable rodeados de zonas con valores por debajo de la media de la variable y **IV**: alto(x)-bajo (y) zonas con valores elevados de la variable rodeados de zonas por debajo de la media de la variable a analizar [13].

Los anteriores análisis fueron realizados para dos períodos de muestreo en cada municipio, es decir, para el municipio de Patía (El Bordo) las muestras recolectadas en los meses marzo y octubre del año 2021, para Miranda las muestras correspondientes de abril y noviembre del año 2021; y para Piamonte las muestras de julio del año 2021 y febrero del año 2022 debido

que entre esos meses se evidenció temporalidad en el patrón de precipitación de lluvias. Finalmente, los análisis se efectuaron en el programa GeoDa v1.20 y la visualización de los mapas en el software ArcGIS® 10.8 (SCR_011081).

VALIDACIÓN DE DATOS Y CONTROL DE CALIDAD

Se identificaron 3.480 especímenes adultos en 1.200 viviendas, de los cuales 1.459 correspondían a hembras y 2.021 a machos. En el año 2021 se documentaron 2402 registros, mientras que en el año 2022 se añadieron 1078 nuevos registros. Con respecto a la distribución por municipios, Miranda reportó 500 individuos (14,36%), Patía registró 1305 individuos (37,5%), y Piamonte presentó los registros más altos con 1675 (48,13%) individuos adultos. Cabe destacar que se encontraron 71 individuos en una vivienda perteneciente al municipio de Patía y otros 125 individuos en una vivienda diferente del municipio de Piamonte.

Por otra parte, se registraron un total de 3.806 especímenes en estado inmaduro (pupa) de *Ae. aegypti*, distribuidos en 160 registros (casas positivas del total de inspeccionadas). Para el municipio de Patía (El Bordo) se hallaron 1.493 individuos en 67 viviendas positivas, para Miranda 1.173 individuos en 58 viviendas y para Piamonte se encontraron 1.140 individuos en 35 viviendas. Los barrios con mayor cantidad de especímenes fueron Villa Los Prados ($n=519$) y La Paz ($n=359$) en Piamonte, seguido del barrio San Antonio ($n=391$) en Miranda y los barrios Libertador ($n=441$) y Olaya Herrera ($n=438$) en el municipio de Patía. Cabe resaltar que, se encontraron 70 casas inspeccionadas con más de 15 pupas de *Ae. aegypti* al interior de la vivienda. Se enfatiza en que el mayor número de especímenes detectados perteneció a una vivienda del municipio de Piamonte con 280 pupas (Tabla 2).

Tabla 2. Medidas entomológicas descriptivas por municipio. El total de viviendas inspeccionadas positivas, se muestra como un total y porcentaje para cada municipio.

Medida entomológica	Municipio			Total
	Patía	Miranda	Piamonte	
Número de viviendas inspeccionadas	580	854	485	1919
Número de habitantes en las viviendas inspeccionadas	2098	3735	1880	7713
# casas positivas con pupas de <i>Aedes</i> sp.(%)	67(11,55%)	58 (6,79%)	35 (7,22%)	121
Número de contenedores inspeccionados	1142	1067	984	3193
# de contenedores positivos con pupas de <i>Aedes</i> sp.(%)	50 (4.38%)	43 (4.03%)	36 (3.66%)	129
# total de pupas <i>Aedes</i> sp.	425	530	389	1344

Productividad de pupas <i>Aedes</i> sp.	1403	1173	1140	3716
Relación hembra:macho de pupas de <i>Aedes</i> sp. F:M [20,21]	1:1	1:1	1:1	1:1
Número de pupas por persona	0.67	0.31	0.61	1.59
Índice de Bretau	8.62	5.04	7.42	21.08

Para la época lluviosa del muestreo, en el análisis de regresión espacial, se encontró una correlación positiva para los municipios, con un coeficiente de determinación superior al 50% en los municipios de Patía ($R=0,7292$; $R^2=0,53$) y Miranda ($R=0,7486$; $R^2=0,56$) e inferior en Piamonte ($R=0,4252$; $R^2=0,18$) entre la captura de pupas y adultos, lo que sugiere el uso del índice de adultos para la vigilancia entomológica. Además, se observó una autocorrelación espacial entre la presencia de viviendas con pupas positivas y una mayor densidad de adultos en las manzanas vecinas.

Para el municipio de Patía, la variable productividad de pupas (hembra) explicó el número de adultos de *Ae. aegypti* con un ajuste del modelo del 53,2% en la época de mayor precipitación y con un ajuste de 8,4% en la época de menor precipitación, presentando en ambos casos autocorrelación positiva entre las variables (Tabla 3). Lo cual permite localizar los conglomerados en los que la productividad de pupas genera alta densidad de mosquitos a nivel de manzana (Fig. 1).

Tabla 3. Resultados del análisis de regresión y autocorrelación espacial bivariada para las variables entomológicas del mosquito *Ae. aegypti* en Patía, Miranda y Piamonte, teniendo en cuenta la estacionalidad del muestreo.

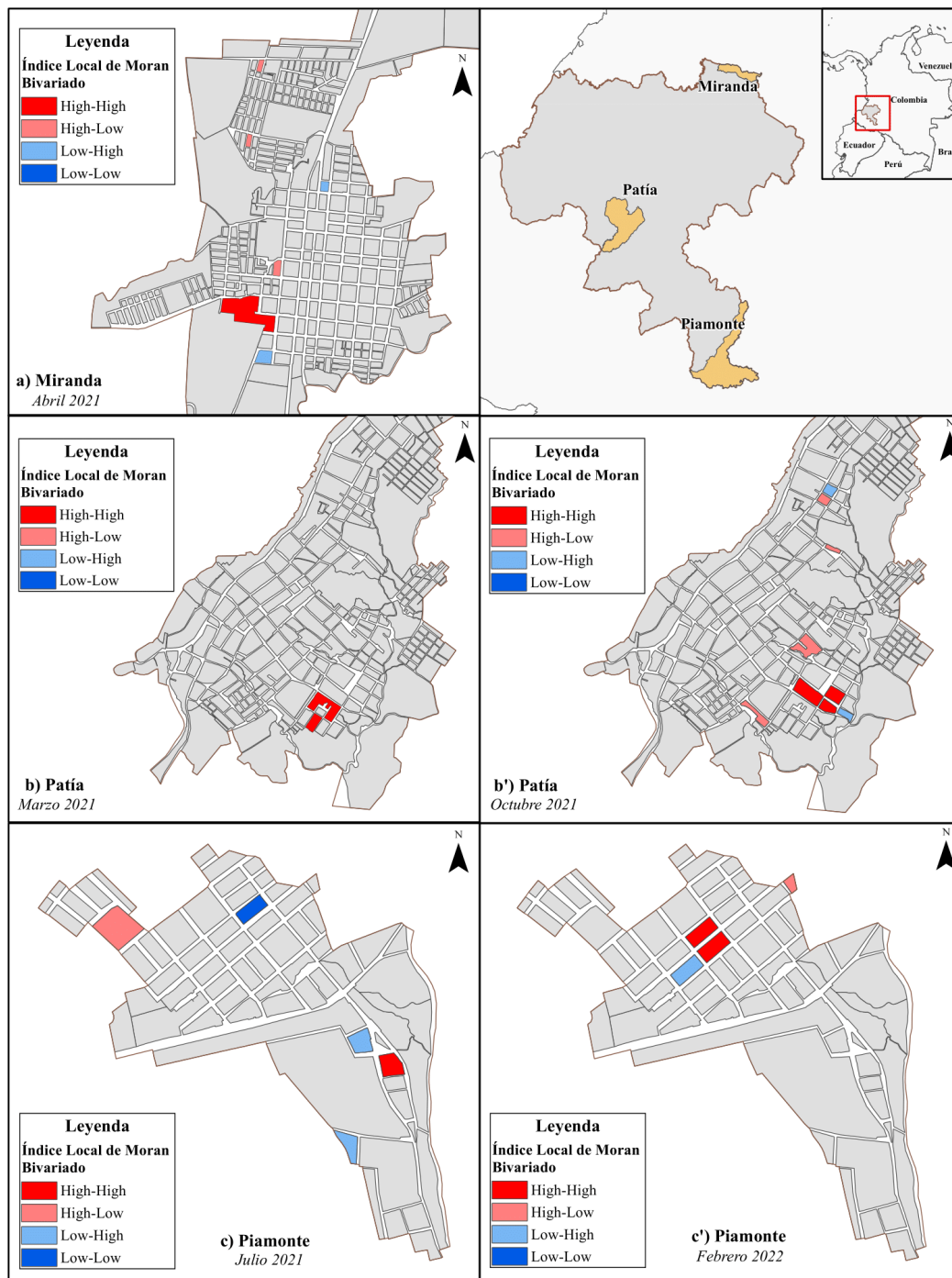
Municipio	Estacionalidad	Variables (X, Y)	Parámetros			I Moran (IM)
			R ²	Pendiente <i>b</i>	<i>p</i> valor	
Patía (El Bordo)	Época lluviosa mayor precipitación marzo 2021	% tanques bajos - PPP	0,232	0,082	0,000*	0,264
		Productividad de pupas ♀ - PPP	0,327	0,313	0,000*	0,325
		% tanques bajos - No. mosquitos adultos	0,126	0,053	0,006*	0,132
		% tanques bajos - Productividad de pupas ♀	0,374	0,191	0,000*	0,109
		Productividad pupas ♀- No. mosquitos adultos	0,532	0,530	0,000*	0,108
	Época lluviosa menor precipitación octubre 2021	% tanques bajos - PPP	0,560	0,106	0,000*	-0,048
		Productividad de pupas ♀ - PPP	0,680	0,262	0,000*	0,034
		% floreros - PPP	0,262	0,587	0,000*	0,033
		% floreros - Productividad de pupas ♀	0,150	0,701	0,004*	0,115
		Productividad pupas ♀- No. mosquitos adultos	0,084	0,145	0,035*	0,196
Miranda	Época lluviosa menor precipitación abril 2021	Productividad pupas ♀ - No. mosquitos adultos	0,56	0,114	0,000*	0,086
		% tanques bajos - No. mosquitos adultos	0,116	0,07	0,001*	0,051
		Productividad de pupas - No. mosquitos adultos (♀)	0,437	0,028	0,000*	0,043
	Época lluviosa mayor precipitación noviembre 2021	Productividad pupas ♀ - No. mosquitos adultos	0,043	0,366	0,064	-0,035
		% tanques bajos - No. mosquitos adultos	0,000	-0,003	0,965	-0,029
Piamonte	Época lluviosa mayor precipitación	Productividad de pupas - No. mosquitos adultos (♀)	0,045	0,145	0,058*	-0,047
		Productividad pupas ♀ - No. mosquitos adultos	0,181	0,037	0,004*	0,058
		% contenedores diversos < 20L - PPP	0,001	-0,063	0,809	0,054

julio 2021	% barriles - Productividad de pupas ♀	0,054	1,026	0,123	0,043
Época Seca	Productividad pupas ♀ - No. mosquitos adultos	0,197	0,085	0.005*	0,044
bajas precipitaciones	% contenedores diversos< 20L- PPP	0,006	0,004	0,643	0,124
febrero 2022	% barriles - Productividad de pupas ♀	0,107	0,247	0.042*	0,112
	% baldes - Productividad de pupas ♀	0,377	1,357	0.000*	-0,026

PPP: No. de pupas por persona

* $p \leq 0,05$

Figure 1. Índice de Moran local bivalente para las variables productividad de pupas (x) y número de mosquitos adultos (y), en los municipios de Patía, Miranda y Piamonte (2021-2022).



VARIABLES como la frecuencia de floreros positivos cuando las precipitaciones alcanzaron sólo 1 mm (octubre 2021), explicaron la densidad de mosquitos adultos sólo en un 15%; mientras que en el periodo de mayor precipitación (211 mm, marzo 2021), el contenido de tanques bajos explicó el 37% de la densidad de mosquitos adultos. Esta comparación resulta de interés teniendo en cuenta que el clima del municipio de Patía presenta un comportamiento bimodal con picos en los meses de abril y noviembre (datos no publicados-working paper). En el análisis local, se observó agrupación espacial alto-alto y bajo-bajo heterogéneos frente a cada temporalidad, principalmente en el barrio Olaya Herrera (marzo y octubre 2021).

Con respecto al municipio de Miranda, se evidenció un ajuste del modelo R^2 del 56% y autocorrelación espacial positiva en la época de menor precipitación, aunque con alto porcentaje de humedad relativa, entre las variables productividad de pupas hembra y el número de mosquitos adultos. Se identificó también autocorrelación positiva para las variables frecuencia de tanques bajos positivos y productividad de pupas. No obstante, para la época de mayor precipitación y menor humedad relativa se encontró autocorrelación espacial negativa en las variables evaluadas, es decir, con patrones de agrupación cercanos a la aleatoriedad (Tabla 3, Fig. 1).

En el caso de Piamonte para la época lluviosa, la variable productividad de pupas hembra explicaron el ajuste del modelo (R^2) en un 18% con autocorrelación espacial bivariada positiva ($IM=0.058$). Con relación con los contenedores diversos menores a 20L, barriles y tanques bajos presentaron autocorrelación positiva no significativa referente a los indicadores entomológicos y número de adultos, resultados que contrastan con la correlación entre el porcentaje de baldes positivos y la productividad de pupas ($R^2 = 37,7\%$) en la época seca del muestreo.

Los resultados sugieren que para la especie *Ae. aegypti*, la productividad de pupas genera altas densidades de adultos en las viviendas vecinas, lo que permite identificar en el análisis local (LISA) las manzanas de los barrios donde esta tendencia ocurre, evidenciando un comportamiento estacional. Mientras que la correlación espacial vinculó la captura de pupas y adultos en el mismo espacio geográfico, la autocorrelación bivariada (Índice de Moran) relacionó estas mismas variables, pero sin que coincidan necesariamente en la misma vivienda. Asimismo, entre municipios se observó una mayor autocorrelación espacial positiva entre pupas y adultos en Patía, especialmente cuando descienden las precipitaciones previo al inicio de la temporada de lluvia. Los resultados son similares a otros estudios espacio temporales de la densidad del mosquito [13, 22] que evidencian patrones heterogéneos de ocurrencia para cada territorio, con comportamientos estacionales registrando mayores tasas de infestación en temporadas de mayor pluviosidad.

POTENCIAL DE RE-USO

La base de datos y el mapa de distribución del vector proporciona importantes recursos para el entendimiento de patrones espaciales del vector y su relación con indicadores

entomológicos y criaderos, que podrían aumentar la transmisión del virus dengue en los municipios.

Para mejorar la accesibilidad y usabilidad de estos datos, se han incluido en el GBIF. Estos datos serán útiles para realizar aproximaciones representativas de la densidad del mosquito, ubicar zonas con elevados incrementos en la productividad de pupas, anexar otros determinantes ambientales, entomológicos o sociodemográficos que suministren información vital para generar estrategias innovadoras en prevención, control del vector y la gestión del dengue. Sugerimos a otros que hagan que sus datos estén disponibles de manera similar.

DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS

Los conjuntos de datos en los que se basa este artículo están disponibles en el repositorio de GBIF (<https://doi.org/10.15472/dxbowv>).

DECLARACIONES

LISTA DE ABREVIACIONES

OPS: Organización Panamericana de la Salud; SIVIGILA: national system of public health surveillance, for its Spanish abbreviation; NASA: National Aeronautics and Space Administration; DEM: digital elevation model; gigabytes; ESRI: environmental systems research institute

APROBACIÓN ÉTICA Y CONSENTIMIENTO PARA PARTICIPAR

Este trabajo fue apoyado por el Instituto Nacional de Salud, Bogotá, Colombia (proyecto de investigación CEMIN 13-2019).

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses contrapuestos.

FINANCIACIÓN

Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Salud, Bogotá, Colombia (proyecto de investigación CEMIN 13-2019), la Secretaría de Salud Departamental del Cauca, la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (proyecto de investigación 210484467217).

CONTRIBUCIÓN DEL AUTOR

ES y CMD conceptualización de la investigación, CS y CMD borrador del manuscrito, ES, CAM, MCL, PF y CMD generación de los datos de campo. CS, CMD y MCL análisis de los datos. ES, CAM, HC, AAD, PF revisaron y editaron el borrador. Todos los autores hicieron comentarios al manuscrito.

REFERENCIAS

- [1] M. A. López-Latorre y M. Neira, “Influencia del cambio climático en la biología de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) mosquito transmisor de arbovirosis humanas”, *Rev. Ecuat. Med. Cienc. Biol.*, vol. 37, núm. 2, pp. 11–21, 2016.
- [2] B. Talbot *et al.*, “Determinants of *Aedes* mosquito density as an indicator of arbovirus transmission risk in three sites affected by co-circulation of globally spreading arboviruses in Colombia, Ecuador and Argentina”, *Parasit. Vectors*, vol. 14, núm. 1, p. 482, 2021.
- [3] A. Vásquez-Trujillo, D. Cardona-Arango, A. M. Segura-Cardona, D. C. Portela-Câmara, N. Alves-Honório, y G. Parra-Henao, “House-Level Risk Factors for *Aedes aegypti* Infestation in the Urban Center of Castilla la Nueva, Meta State, Colombia”, *J. Trop. Med.*, vol. 2021, p. 8483236, 2021.
- [4] H. J. Overgaard *et al.*, “A cross-sectional survey of *Aedes aegypti* immature abundance in urban and rural household containers in central Colombia”, *Parasit. Vectors*, vol. 10, núm. 1, 2017.
- [5] F. Ruiz-López *et al.*, “Presencia de *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* (Linnaeus, 1762) y su infección natural con el virus del dengue en alturas no registradas para Colombia”, *Biomedica*, vol. 36, núm. 2, p. 303, 2016.
- [6] M. J. Nelson, “*Aedes Aegypti*: biología y ecología”. Organización Panamericana de la Salud. 1986. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/28513>. Accessed 18 February 2022.
- [7] C. M. E. Romero-Vivas, H. Llinás, y A. K. I. Falconar, “Three calibration factors, applied to a rapid sweeping method, can accurately estimate *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) pupal numbers in large water-storage containers at all temperatures at which dengue virus transmission occurs”, *J. Med. Entomol.*, vol. 44, núm. 6, pp. 930–937, 2007.
- [8] T.-A. Ha, T. M. León, K. Lalangui, P. Ponce, J. M. Marshall, y V. Cevallos, “Household-level risk factors for *Aedes aegypti* pupal density in Guayaquil, Ecuador”, *Parasit. Vectors*, vol. 14, núm. 1, p. 458, 2021.
- [9] R. Barrera, “Recommendations for the surveillance of *Aedes aegypti*”, *Biomedica*, vol. 36, núm. 3, pp. 454–462, 2016.
- [10] Ministerio de la Protección Social República de Colombia, Instituto Nacional de Salud. Organización Panamericana de la Salud. Anexo 8. Procedimientos para la recolecta de larvas, pupas y mosquito adultos de *Aedes aegypti*. En: Gestión para la Vigilancia entomológica y control de la transmisión de dengue. Colombia. 2011.

[11] G. LaCon *et al.*, “Shifting patterns of *Aedes aegypti* fine scale spatial clustering in Iquitos, Peru”, *PLoS Negl. Trop. Dis.*, vol. 8, núm. 8, p. e3038, 2014.

[12] D. A. Focks, R. J. Brenner, J. Hayes, y E. Daniels, “Transmission thresholds for dengue in terms of *Aedes aegypti* pupae per person with discussion of their utility in source reduction efforts”, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, vol. 62, núm. 1, pp. 11–18, 2000.

[13] A. C. P. Cavalcante, R. A. de Olinda, A. Gomes, J. Traxler, M. Smith, y S. Santos, “Spatial modelling of the infestation indices of *Aedes aegypti*: an innovative strategy for vector control actions in developing countries”, *Parasit. Vectors*, vol. 13, núm. 1, p. 197, 2020.

[14] L. A. Alcalá, J. Quintero, C. González, y H. Brochero, “Productividad de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) en viviendas y espacios públicos en una ciudad endémica para dengue en Colombia”, *Biomedica*, vol. 35, núm. 2, 2015.

[15] Marceló-Díaz C, Morales CA, Lesmes MC, Fuya P, Mendez SA, Cadena H, Ávila-Díaz A, Santamaria E. Arbovirus vectors in municipalities with a high risk of dengue in Cauca, Southwestern Colombia. *GigaByte*. 2022 May 16;2022:gigabyte53. doi: 10.46471/gigabyte.53. PMID: 36824502; PMCID: PMC9930565.

[16] Padilla, J., Rojas, D., & Sáenz-Gómez., R. (2012). Dengue en Colombia: epidemiología de la reemergencia a la hiperendemia. Los Autores.

[17] Forattini OP. Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 1995; doi:10.1590/S0102-311X1995000100027.

[18] Harrison BA, Byrd BD, Sither CB, Whitt PB. *The Mosquitoes of the Mid-Atlantic Region: An Identification Guide*. Western Carolina University | Cullowhee, North Carolina, 2016.

[19] Marceló-Díaz C, Morales C A, Fuya O P, Salamanca J A, Lesmes M C, Mendez-Cardona S A, Cadena H, Santamaría E. Registros de los dípteros causantes de la transmisión del agente etiológico del dengue en el departamento del Cauca, Colombia. Version 1.7. Instituto Nacional de Salud. (2023). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15472/dxbowv> accessed via GBIF.org on 2023-04-19.

[20] D. A. Focks, N. Alexander, E. Villegas, UNDP/World Bank/WHO Special Programme for Research and Training, y World Health Organization, “Multicountry study of *Aedes aegypti* pupal productivity survey methodology : findings and recommendations / Dana A. Focks, Neil Alexander ; in collaboration with the following principal investigators: Elci Villegas ... [et al.]”, World Health Organization, 2006.

[21] L. P. Lounibos y R. L. Escher, “Sex ratios of mosquitoes from long-term censuses of Florida tree holes”, *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, vol. 24, núm. 1, pp. 11–15, 2008.

[22] H. Gomes, A. G. de Jesus, y J. Quaresma, “Arboviroses of interest in public health transmitted by *Aedes aegypti* in Tocantins: A one health analysis”, *SSRN Electron. J.*, 2022.

This preprint was submitted under the following conditions:

- The authors declare that they are aware that they are solely responsible for the content of the preprint and that the deposit in SciELO Preprints does not mean any commitment on the part of SciELO, except its preservation and dissemination.
- The authors declare that the necessary Terms of Free and Informed Consent of participants or patients in the research were obtained and are described in the manuscript, when applicable.
- The authors declare that the preparation of the manuscript followed the ethical norms of scientific communication.
- The authors declare that the data, applications, and other content underlying the manuscript are referenced.
- The deposited manuscript is in PDF format.
- The authors declare that the research that originated the manuscript followed good ethical practices and that the necessary approvals from research ethics committees, when applicable, are described in the manuscript.
- The authors declare that once a manuscript is posted on the SciELO Preprints server, it can only be taken down on request to the SciELO Preprints server Editorial Secretariat, who will post a retraction notice in its place.
- The authors agree that the approved manuscript will be made available under a [Creative Commons CC-BY](#) license.
- The submitting author declares that the contributions of all authors and conflict of interest statement are included explicitly and in specific sections of the manuscript.
- The authors declare that the manuscript was not deposited and/or previously made available on another preprint server or published by a journal.
- If the manuscript is being reviewed or being prepared for publishing but not yet published by a journal, the authors declare that they have received authorization from the journal to make this deposit.
- The submitting author declares that all authors of the manuscript agree with the submission to SciELO Preprints.