

ARTÍCULO ORIGINAL

Distribución espacial de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en el área rural de dos municipios de Cundinamarca, Colombia

Laura Cabezas^{1,2}, Wilson Cabanzo², Fernando Santa², Víctor Alberto Olano¹, Diana Sarmiento¹, Sandra Vargas¹, Juan Felipe Jaramillo¹, Thor-Axel Stenstrom³, Hans J. Overgaard⁴, María Inés Matiz¹

¹ Instituto de Salud y Ambiente, Universidad El Bosque, Bogotá, D.C., Colombia

² Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, D.C., Colombia

³ SARChI Chair, Institute for Water and Wastewater Technology, Durban University of Technology, Durban, South Africa

⁴ Faculty of Science and Technology, Norwegian University of Life Sciences, Ås, Norway

Introducción. Es difícil adaptar o formular nuevas estrategias para el control del dengue en las áreas rurales debido a la dispersión de los hogares y a la falta de conocimiento sobre la presencia y el comportamiento del vector en estas áreas. El análisis de los datos espaciales podría ayudar a comprender las dinámicas temporales y espaciales relacionadas con la transmisión de enfermedades transmitidas por vectores en las zonas rurales y, por lo tanto, contribuir a la prevención y el control del dengue.

Objetivo. Determinar la probabilidad de la presencia del vector del dengue, *Aedes aegypti*, en el área rural de los municipios de Anapoima y La Mesa, Cundinamarca, Colombia.

Materiales y métodos. Se visitaron 102 viviendas del área rural, se inspeccionaron los criaderos potenciales del mosquito *A. aegypti* y se capturaron las formas adultas encontradas en su interior. La probabilidad de la presencia o la ausencia del vector en el área de estudio, se estableció mediante el método de interpolación espacial kriging.

Resultados. La región con mayor probabilidad para la presencia del vector se encontró en la parte central, cerca de los centros urbanos de los dos municipios.

Conclusión. Los análisis de las dinámicas espacio-temporales de los vectores de enfermedades pueden utilizarse en los sistemas para su vigilancia, con el fin de complementar los métodos usados actualmente, optimizar la determinación de las áreas de intervención de control vectorial y ahorrar recursos.

Palabras clave: *Aedes aegypti*; dengue; análisis espacial; salud pública; vectores de enfermedades; Colombia.

doi: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i2.3469>

Spatial distribution of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in the rural area of two municipalities of Cundinamarca, Colombia

Introduction: It is difficult to adapt or create new strategies for dengue control in rural areas due to the dispersion of homes and the lack of knowledge about the presence and behavior of the vector in these areas. Spatial data analysis could help understand time and space dynamics related to the transmission of vector-borne diseases in rural areas and, thus, contribute to the prevention and control of dengue.

Objective: To determine the probability of the presence of the dengue vector *Aedes aegypti* in the rural area of the municipalities of Anapoima and La Mesa, in the central area of Colombia.

Materials and methods: The probability of the presence or absence of the vector in the study area was determined by means of the kriging spatial interpolation method.

Results: The region with the highest probability of the presence of the vector was located in the central part, close to the urban centers of both municipalities.

Conclusion: This study shows the importance of geostatistics for the surveillance of vector-borne diseases and the analysis of time and space dynamics of vector insects and of diseases transmitted by them.

Key words: *Aedes aegypti*; dengue; spatial analysis; public health; disease vectors; Colombia.

doi: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i2.3469>

Contribución de los autores:

Laura Cabezas participó en todas las etapas del estudio.

Wilson Cabanzo y Fernando Santa: formulación, diseño, análisis e interpretación de los datos

Víctor Alberto Olano: datos entomológicos y análisis e interpretación de los datos

María Inés Matiz: datos entomológicos

Todos los autores participaron en la redacción y la revisión crítica del manuscrito.

El dengue es actualmente la enfermedad arboviral más común en seres humanos, con 390 millones de casos anuales en el mundo (1). En Colombia, es un problema de salud pública de carácter prioritario en el contexto regional y nacional (2). Hasta la semana epidemiológica 52 de 2015 se notificaron 94.916 casos, 98,6 % de los cuales correspondieron a dengue y, 1,4 %, a dengue grave (3). En el aumento de la incidencia de esta enfermedad influyen, además de los factores climáticos, los procesos de empobrecimiento y de urbanización no planificada (4,5).

El principal vector del dengue en el país, *Aedes aegypti* (L), se caracteriza por ser una especie muy antropofílica que se desarrolla principalmente en recipientes con agua limpia (6) y, según los reportes más recientes, se encuentra en todos los departamentos hasta los 2.302 msnm (7). El aumento del número de potenciales criaderos del mosquito se ve directamente influenciado por la falta de un servicio continuo de abastecimiento de agua, lo que lleva a su almacenamiento, muchas veces inadecuado (tanques bajos y albercas), dentro de los domicilios, así como por la falta de saneamiento básico que resulta en la disposición de residuos sólidos a campo abierto, especialmente de residuos que pueden contener agua lluvia, problemas que se presentan con mayor frecuencia en las áreas rurales (2).

Debido a las múltiples causas que condicionan la transmisión del dengue tanto en áreas urbanas como rurales, resulta difícil idear estrategias orientadas al control exitoso de esta enfermedad (6). Por tal razón, es necesario elaborar estrategias integrales e intersectoriales de control del vector y prevención de la enfermedad que respondan a las características de los lugares y a los patrones en que estas se presentan (8). En este contexto, la estadística espacial permite analizar patrones espaciales de las enfermedades, y determinar la aparición de los vectores y la ubicación de las áreas de riesgo donde deben focalizarse las acciones de manera más eficiente (9,10).

El análisis geoestadístico permite examinar el comportamiento de una variable en el espacio. La herramienta básica de dicho análisis es el variograma, el cual se usa para cuantificar la dependencia secuencial entre las observaciones,

estimar los valores en lugares no muestreados y, a partir de un modelo, generar una superficie de interpolación (11).

El objetivo de este estudio fue establecer las áreas geográficas con mayor probabilidad para la presencia del mosquito *A. aegypti* mediante el método ordinario de interpolación kriging. Este trabajo hace parte de los resultados de un proyecto de intervenciones integrales para la prevención del dengue y de la diarrea en escuelas rurales en Colombia (12).

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en 34 veredas, 17 en el municipio de Anapoima y 17 en el municipio de La Mesa de la Provincia del Tequendama, departamento de Cundinamarca, Colombia (figura 1). En Colombia, las veredas son áreas rurales en donde las viviendas están dispersas (13).

El municipio de Anapoima está ubicado entre los 500 y los 1.000 msnm; sus coordenadas geográficas son 4° 33' 01" N de latitud y 74° 32' 10" O de longitud, y tiene una superficie de 124,2 km². El promedio de la precipitación total anual es de 1.300 mm y la temperatura promedio varía entre 22 °C y 28 °C (14). En el 2012, Anapoima contaba con 12.731 habitantes, de los cuales 57 % vivía en zonas rurales (15). Las formaciones vegetales del municipio corresponden a bosque seco tropical y a bosque húmedo premontano, según el sistema de zonas de vida de Holdridge (16).

El municipio de La Mesa está entre los 1.000 y 2.100 msnm; sus coordenadas geográficas son 4° 37' 49" N de latitud y 74° 27' 45" O de longitud, y tiene una superficie de 148 km². La precipitación anual es de 1.300 mm y la temperatura media anual es de 22 °C (17). Las formaciones vegetales de La Mesa corresponden a bosque húmedo premontano y a bosque húmedo montano bajo (16). En el 2012, tenía 29.997 habitantes, de los cuales 45 % vivía en zonas rurales (15).

La actividad económica de los dos municipios se basa principalmente en la agricultura, con cultivos de caña de azúcar, café y árboles frutales; también, desarrollan otras actividades como la ganadería y el turismo (14,17).

Recolección de la información

La información se recolectó durante el mes de octubre de 2012 en las veredas de los municipios que tenían escuela (figura 1).

Correspondencia:

Laura Viviana Cabezas, Instituto de Salud y Ambiente, Universidad El Bosque, Calle 131 N° 7A-68, Bogotá, D.C., Colombia
Teléfono: (571) 648 9000, extensiones 1417 y 1181
lcabezasp@unbosque.edu.co

Recibido: 16/08/16; aceptado: 29/03/17

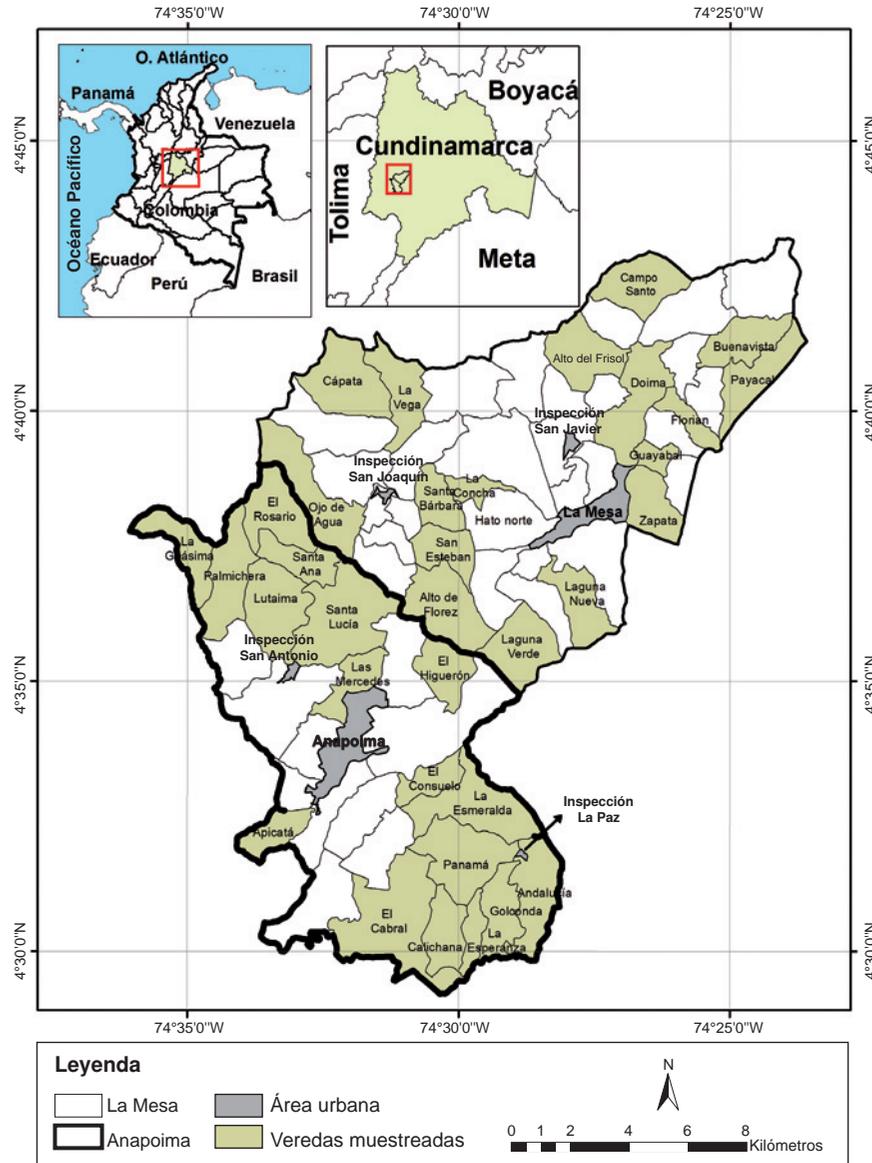


Figura 1. Mapa del área de estudio en el cual se ven las veredas analizadas en los municipios de Anapoima y La Mesa, Cundinamarca, Colombia

En cada vereda se seleccionaron tres viviendas aleatoriamente. Se inspeccionaron 102 viviendas en el área rural de los dos municipios. En cada hogar se registró la ubicación geográfica y la altitud, y se buscaron los criaderos potenciales del mosquito en depósitos naturales y artificiales, dentro de ellos y en su cercanía, entre las 08:00 y las 12:00 horas y entre las 14:00 y las 17:00, con el fin de recolectar las formas inmaduras de los mosquitos según la metodología descrita en Olano, *et al.* (18).

Se inspeccionaron albercas, baldes, bebederos de animales, tanques bajos, elevados y subterráneos, y residuos como botellas, llantas y otros.

Se capturaron los mosquitos adultos en cada vivienda usando aspiradores eléctricos durante 30 minutos (19). Posteriormente, se hizo la determinación taxonómica de las especies de los mosquitos (formas inmaduras y adultas) mediante claves taxonómicas (20,21).

Análisis de los datos

Se analizó la información de 101 viviendas, ya que los datos de una vivienda del municipio de Anapoima se perdieron. La información recolectada en la encuesta se digitó y depuró en Microsoft Excel, versión 2013.

La infestación de las formas inmaduras y de las adultas se calculó mediante el índice de Breteau, es decir, la relación de los recipientes positivos por cada 100 viviendas inspeccionadas, y los índices de vivienda y de depósitos, los cuales relacionan el porcentaje de viviendas y de depósitos con la presencia de formas inmaduras de *A. aegypti*, así como el porcentaje de formas adultas en las viviendas (22).

La variable de estudio se estableció como binaria (1 o 0): presencia (1) o ausencia (0) de formas inmaduras y adultas de *A. aegypti*. El análisis de la distribución espacial del vector se hizo mediante el programa estadístico *R Project for Statistical Computing* (23). Con el paquete *GeoR* (24) se hizo el análisis geoestadístico con el método de interpolación *kriging* indicador, conocido como una forma no lineal del *kriging* ordinario, en el cual el valor de los datos originales es transformado de una escala continua a una escala binaria (25).

Una vez se visualizaron y exploraron los datos (figura 2), se hizo el análisis estructural que consistió en la estimación del semivariograma experimental y el ajuste a un modelo teórico (el esférico, el exponencial o el de Matérn), que describiera la estructura de correlación espacial que puede representar la distribución del mosquito *A. aegypti* en área rural. La estimación puntual de los parámetros (pepita, meseta y rango) de estos modelos se hizo a partir de los métodos de mínimos cuadrados (ordinarios y ponderados) y de máxima verosimilitud (26).

Se evaluó la calidad de las predicciones de los modelos estimados a partir del error que se produce en cada uno de ellos; con el modelo que presentó el error medio cuadrático más pequeño, se generó el modelo de predicción para la presencia de *A. aegypti* en área rural. Por último, los mapas resultantes se editaron con el programa *ArcGIS Desktop 10.1* (27).

Resultados

Resultados entomológicos

El número de veredas y de viviendas con presencia de formas adultas de *A. aegypti* fue mayor que el de aquellas con formas inmaduras en los dos municipios (cuadro 1).

El índice de Breteau fue mayor en el municipio de La Mesa, con 51 depósitos positivos por 100 viviendas, y en Anapoima se encontraron adultos en 34 de cada 100 viviendas.

En cuanto a los depósitos inspeccionados (339), se encontraron 43 (12,7 %) depósitos positivos para formas inmaduras de *A. aegypti* en los dos municipios: 26 (15,1 %) en La Mesa y 17 (10,2 %) en Anapoima. La mayoría de depósitos inspeccionados eran tanques bajos (182, 54,2 %) y en 73,8 % de ellos se encontró el vector (31); en tanto que 17,3 % (58) de los depósitos inspeccionados eran albercas, y en 21,4 % (9) se encontraron formas inmaduras.

Superficie resultante de interpolación

De las 101 viviendas inspeccionadas, en 65 se registró la presencia del mosquito *A. aegypti* (formas inmaduras y adultas) y 36 fueron negativas para la presencia del vector, de las cuales 14 se ubicaron en el municipio de Anapoima y 22 en La Mesa. La distribución de las viviendas inspeccionadas en el área de estudio se puede apreciar en la figura 2.

Al estimar y analizar el semivariograma experimental omnidireccional y direccional, se encontró que el mejor comportamiento estructural de la

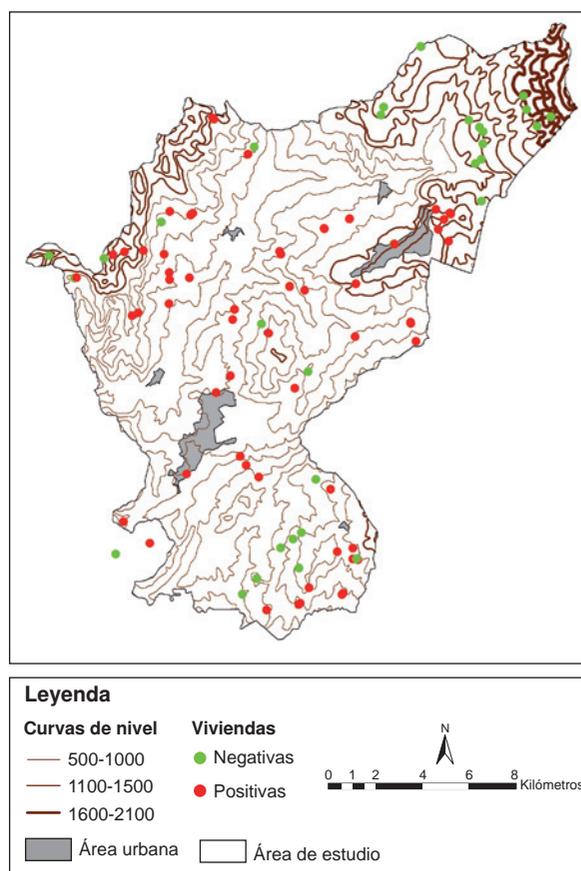


Figura 2. Distribución de las viviendas con presencia o ausencia de *Aedes aegypti* en el área de estudio

correlación espacial de los datos se produjo en una distancia máxima de 12.500 m (cuadro 2). Se estableció que el modelo teórico de semivarianza que mejor se ajustaba al comportamiento del fenómeno estudiado era el modelo de Matérn, cuyo semivariograma permite controlar la suavidad del campo aleatorio mediante el parámetro de forma kappa (25) (cuadro 2).

Según los nuevos parámetros estimados para los modelos de semivarianza y los resultados del modelo de Matérn, el rango o la distancia establecida antes de alcanzar la meseta fue de 3.069 m, definida esta como el límite de la dependencia espacial (26). El valor kappa inferior a 0,5 (0,175) indicó que se había alcanzado rápidamente el valor de la meseta del semivariograma, es decir que la dependencia espacial se presentó en rangos menores (27) (cuadro 2).

Los resultados de la validación cruzada mostraron que el menor error de predicción (0,006), estimado por mínimos cuadrados ordinarios, se produjo en el modelo de Matérn. El mapa de predicción de la presencia o ausencia del vector en el área rural de los dos municipios se generó a partir de este modelo (figura 3).

En dicho mapa aparecen en color rojo las zonas con mayor probabilidad de presencia del mosquito en el área de estudio, zonas que corresponden espacialmente a las veredas de Santa Lucía, Las

Mercedes, Lutaima, Santa Ana, San Antonio y San José, en el municipio de Anapoima, y a las veredas de San Esteban, El Tigre, San Martín y Santa Bárbara, en el municipio de La Mesa (figura 3). Las veredas en donde se encontró menor probabilidad fueron Anatolí, La Esperanza y Campo Santo del municipio de La Mesa.

Discusión

La región con mayor probabilidad de presencia del vector se situó en la parte central, en cercanía de los centros urbanos de los dos municipios (figura 3). Entre las posibles explicaciones pueden mencionarse los límites del registro altitudinal del área de estudio (figura 2), donde el vector está presente entre los 500 y los 1.500 msnm. En otros estudios se ha señalado la movilidad poblacional como un factor de riesgo para la presencia del vector en aquellos lugares más próximos a los centros urbanos (1,28).

Recientemente se ha registrado la transmisión del dengue en áreas rurales. Según el registro nacional, en el 2012, 19,4 % de los casos se presentó en centros poblados y en el área rural dispersa, y 80,6 %, en cabeceras municipales (29). Hasta la semana epidemiológica 51, se habían notificado 50 casos de dengue grave y 1.803 casos de dengue en el departamento de Cundinamarca (30). En el área de estudio se registraron, en ese mismo año, 77 casos de dengue en el municipio de Anapoima

Cuadro 1. Infestación de formas inmaduras y adultas de *Aedes aegypti* por municipio

Municipio	Índice de formas inmaduras				Índice de adultos		
	Veredas (%)	Viviendas (%)	Depósitos (%)	Índice de Breteau	Veredas (%)	Adultos (%)	Total de adultos
Anapoima	10/17 (58,8)	14/50 (28)	17/167 (10,2)	34	14/17 (82,4)	34/50 (68)	211
La Mesa	8/17 (47,1)	13/51 (25,5)	26/172 (15,1)	51	11/17 (64,7)	26/51 (51)	411
Total	18/34	29/101	43/339	42	25/34	60/101	622

Cuadro 2. Ajuste de los modelos teóricos de semivarianza (esférico, exponencial y de Matérn) a la estructura de correlación espacial para la distribución del mosquito

Modelo	Meseta		Rango		Pepita		K	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Esférico	0,14	0,1953	2598,63	6139	0,05	NA	NA	NA
Exponencial	0,19	0,1953	3573,12	6139	0,07	NA	NA	NA
de Matérn	0,15	0,1603	1624,15	3069	0,05	NA	0,7	0,175

a: Parámetros (meseta, rango, pepita y kappa) escogidos por ajuste visual del semivariograma para los modelos esférico, exponencial y de Matérn.
b: Parámetros (meseta, rango, pepita y kappa) de las nuevas estimaciones para los modelos de semivarianza (esférico, exponencial y de Matérn); parámetro de forma kappa para el modelo de Matérn; NA: no aplica

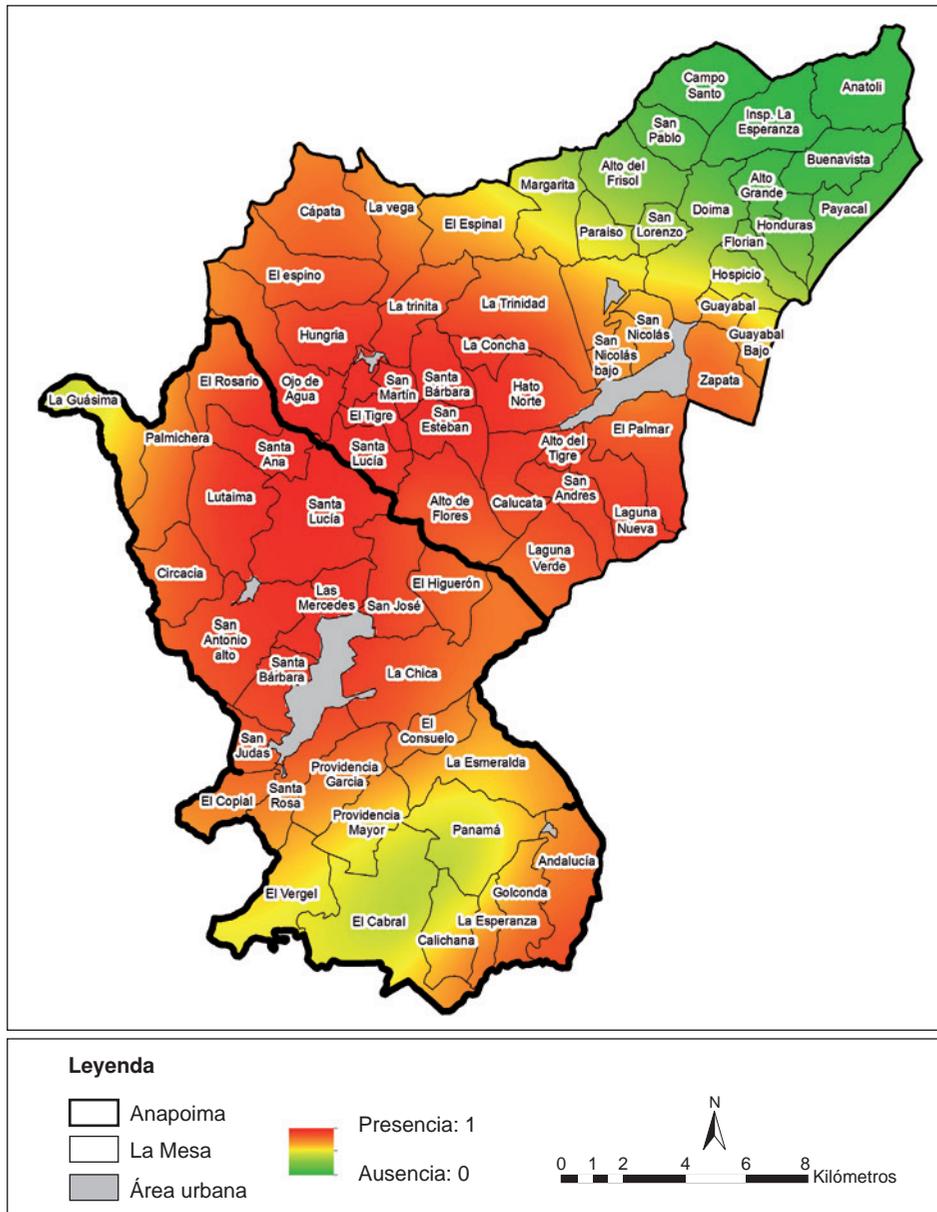


Figura 3. Mapa con la predicción de la presencia de *Aedes aegypti* en el área rural de los municipios de Anapoima y La Mesa, Cundinamarca

y 163 en La Mesa (31). Además, se encontró que los cuatro serotipos del virus del dengue circulaban en el área rural, después de detectar el virus en hembras de *A. aegypti* (32).

En este estudio, el índice de Breteau fue de 34 en Anapoima y de 51 en La Mesa, lo cual indica que existe riesgo de transmisión del dengue en el área rural de los dos municipios. Es importante resaltar que, aunque estos indicadores evidencian la infestación con el vector, no reflejan suficientemente el riesgo de transmisión de la enfermedad (33,34).

Por ello, el uso de metodologías de estadística espacial como apoyo en la vigilancia del *A. aegypti* mediante los índices de infestación es de gran utilidad (35,36).

Este estudio se llevó a cabo durante época lluviosa, en la cual aparecen nuevos sitios de cría de *A. aegypti*, tal como se ha confirmado en otros estudios (37,38). Entre los criaderos positivos para *A. aegypti* en este estudio, se encontró que las albercas y los tanques bajos de almacenamiento de agua para consumo presentaron el mayor

porcentaje de infestación, similar a lo hallado en estudios realizados en los departamentos de Atlántico, Antioquia y Cundinamarca (39-41).

Específicamente, en el municipio de Girardot en Cundinamarca, una investigación en viviendas reveló que, aunque no son los que más contienen este vector, algunos recipientes como tarros, latas, vasijas y botellas pueden convertirse en criaderos del mosquito cuando aumentan las precipitaciones (42). El hecho de que este estudio se realizara en época lluviosa posiblemente contribuyó a optimizar el modelo de predicción de la distribución del vector. Con la reducción de la cantidad de sitios de cría en época seca, es posible que el área de distribución del mosquito disminuya.

Es importante tener en cuenta que el presente estudio se llevó a cabo en el área rural y que, según las estadísticas, 41,3 % de la población del área rural a nivel nacional no cuenta con abastecimiento de agua mediante sistemas de acueducto y 76 % no tiene servicio de recolección de residuos sólidos (43).

En el 2007, en el municipio de Anapoima, el suministro de agua por acueducto en las viviendas del área urbana (cabecera municipal) era de 100 % y en el área rural era de 40 %, en tanto que la cobertura del servicio de aseo en el área urbana (cabecera municipal y centro poblado de las dos inspecciones) era de 100 %, pero el área rural no tenía cobertura (44).

En el 2000, en el municipio de La Mesa, el abastecimiento de agua por acueducto en las viviendas del área urbana (cabecera municipal) era de 97 % y en el área rural era de 42 %, y la cobertura del servicio de aseo era de 90 % en la cabecera municipal, de 45 % en el centro poblado de las dos inspecciones y de 3 % en el área rural dispersa (45).

Estas condiciones inciden directamente en el aumento del número de criaderos potenciales del mosquito vector. En estudios previos en esta área, se encontró que los residuos sólidos y los depósitos de agua para consumo humano eran los principales sitios de cría en área rural (18) (Cabezas L, Salas S, Matiz ME, Jaramillo JF, Olano VA, Sarmiento D. Residuos sólidos como criaderos potenciales de *Aedes aegypti* en escuelas y viviendas aledañas en el área rural del municipio de Apulo, Cundinamarca. Biomédica 2011;31(Supl.3):25. Memorias, XX Congreso Federación Latinoamericana de Parasitología y XV Congreso Asociación Colombiana de Parasitología y Medicina Tropical).

Además de la influencia de factores locales en la presencia de *A. aegypti*, también es importante resaltar la influencia de factores ambientales tales como la precipitación, la temperatura y la humedad relativa (46).

El análisis mediante el método de interpolación *kriging* demostró que el modelo de Matérn era el más conveniente para generar la superficie de interpolación de la presencia del mosquito, pues arrojó el menor valor en el error de predicción. Cabe resaltar que con este modelo se caracteriza mejor la variabilidad espacial a distancias cortas, como lo demuestran otros estudios (47,48).

Las tecnologías geoespaciales, específicamente el método de interpolación *kriging*, se aplican en diferentes campos, como el estudio de las enfermedades transmitidas por vectores y la planificación municipal, entre otros (49,50). La generación de superficies de interpolación con el *kriging* indicador para la presencia del vector del dengue permite visualizar y determinar las áreas con mayor probabilidad de infestación y, por ende, con mayor exposición a factores de riesgo como la picadura del mosquito *A. aegypti*, en este caso, en el área rural de dos municipios de Colombia en 2012.

La incorporación de los sistemas de información geográfica a los sistemas de vigilancia en salud pública refleja la importancia del componente geográfico en la prevención y el control de enfermedades, pues complementa el análisis de su dinámica en tiempo y espacio. En los últimos años se ha evidenciado el aumento del uso de esta herramienta en diferentes campos de aplicación, pero existe poca información sobre su uso por parte de las autoridades nacionales y regionales en temas de vigilancia en salud pública.

En este estudio se demostró que los análisis de las dinámicas espacio-temporales de los vectores de enfermedades pueden utilizarse en sistemas de vigilancia de las enfermedades transmitidas por vectores como complemento de los métodos actuales para optimizar la determinación de las áreas de intervención de control vectorial y, de esta manera, reducir costos. Cabe resaltar que dicha predicción será más precisa en la medida en que se involucren otras variables climáticas, geográficas, sociales y epidemiológicas.

Agradecimientos

A las alcaldías y secretarías de salud y educación de los municipios de Anapoima y La Mesa, a la comunidad educativa de las escuelas rurales de

estos municipios y al personal de campo: Humberto Mosquera, Nancy Herrera y Rosa Silva, por su colaboración durante el desarrollo de este trabajo. Especial agradecimiento al doctor Miguel Otero Cadena, Vicerrector de Investigaciones de la Universidad El Bosque, por su apoyo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

Financiación

El proyecto contó con la financiación del Consejo de Investigaciones de Noruega (Ref. 201349), la Fundación Lazos de Calandaima y la Universidad El Bosque.

Referencias

- Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, Messina JP, Farlow AW, Moyes CL, *et al.*** The global distribution and burden of dengue. *Nature* 2013;496:504-7. <https://doi.org/10.1038/nature12060>
- Padilla JC, Rojas DP, Gómez RS.** Dengue en Colombia: epidemiología de la reemergencia a la hiperendemia. Bogotá, D.C.: Guías de Impresión Ltda.; 2012.
- Instituto Nacional de Salud.** Boletín Epidemiológico Semanal número 52. Bogotá, D.C.: Instituto Nacional de Salud; 2015.
- Franco Á.** La globalización de la salud: entre el reduccionismo económico y la solidaridad ciudadana. *Rev Fac Nac Salud Pública*. 2001;19:43-55.
- Gubler D.** Dengue, urbanization and globalization: The Unholy Trinity of the 21st century. *Trop Med Health* 2011;39: 3-11. <https://doi.org/10.2149/tmh.2011-S05>
- McCall PJ, Kittayapong P.** Working paper 6.2. Control of dengue vectors: Tools and strategies. En: Scientific Working Group. Report on Dengue. Geneva: WHO; 2006. p. 110-9.
- Ruiz-López F, González-Mazo A, Vélez-Mira A, Gómez GF, Zuleta L, Uribe S, *et al.*** Presencia de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) y su infección natural con el virus dengue en alturas no registradas para Colombia. *Biomédica*. 2016;36:303-8. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v36i2.3301>
- De-Carvalho-Alves M, Ampélio-Pozza E.** Indicator kriging modeling epidemiology of common bean anthracnose. *Applied Geomatics*. 2010;2:65-72. <https://doi.org/10.1007/s12518-010-0021-1>
- Graham AJ, Atkinson PM, Danson FM.** A spatial analysis in epidemiology. *Acta Trop*. 2004;91:219-25. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2004.05.001>
- Pfeiffer D, Robinson T, Stevenson M, Stevens K, Rogers D, Clements A.** Spatial analysis in epidemiology. New York: Oxford University Press; 2008.
- Armstrong M.** Basic linear geostatistics. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1998.
- Overgaard HJ, Alexander N, Matiz MI, Jaramillo JF, Olano VA, Vargas S, *et al.*** A cluster-randomized controlled trial to reduce diarrheal disease and dengue entomological risk factors in rural primary schools in Colombia. *PLoS Negl Trop Dis*. 2016;10:e0005106. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005106>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.** Conceptos básicos. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2017. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/inf_geo/4Ge_ConceptosBasicos.pdf.
- Alcaldía de Anapoima.** Sitio web del municipio de Anapoima en Cundinamarca. Fecha de consulta: 10 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/index.shtml#6>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.** Estimaciones de población 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 – 2020. Total municipal por área. Bogotá: DANE; 2005.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi.** Formaciones vegetales de Colombia: memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Plancha N° 9. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi; 1963.
- Alcaldía de La Mesa.** Sitio web del municipio de La Mesa en Cundinamarca. Fecha de consulta: 10 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/index.shtml#3>.
- Olano VA, Matiz MI, Lenhart A, Cabezas L, Vargas SD, Jaramillo JF, *et al.*** Schools as potential risk sites for vector-borne disease transmission: Mosquito vectors in rural schools in two municipalities in Colombia. *J Am Mosq Control Assoc*. 2015;31:212-22. <https://doi.org/10.2987/moco-31-03-212-222.1>
- Vázquez-Prokopec G, Galvin W, Kelly R, Kitron U.** A new, cost-effective, battery-powered aspirator for adult mosquito collections. *J Med Entomol*. 2009;46:1256-9. <https://doi.org/10.1603/033.046.0602>
- González R, Darsie RF, Jr.** Clave ilustrada para la determinación genérica de larvas de Culicidae de Colombia y del Nuevo Mundo. *Boletín del Museo de Entomología*. 1996;4:21-37.
- Lane J.** Neotropical Culicidae. II ed. Sao Paulo: Editora da Universidade de Sao Paulo; 1953. p. 638, 640, 641.
- Ministerio de Protección Social, Instituto Nacional de Salud, Organización Panamericana de la Salud.** Gestión para la vigilancia entomológica y control de la transmisión de dengue. Bogotá: Ministerio de Protección Social; 2011. p. 37.
- Development Core Team.** R: The R Project for Statistical Computing. 3.0.2. Vienna: The R Foundation; 2015.
- Ribeiro P, Diggle P.** GeoR: A package for analysis of geostatistical data. 5.1. Fecha de consulta: 10 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.leg.ufpr.br/geoR/>.
- Burrough PA, MacDonnell RA, Lloyd CD.** Principles of geographical information systems. 3rd. edition. Oxford: Oxford University Press; 2015. p. 189.
- Cressie N.** Statistics for spatial data. New York: John Wiley & Sons, INC; 1993. p. 91.
- Environmental Systems Research Institute.** ArcGIS Desktop. 10.1. New York: ESRI; 2015.

28. **Vázquez-Prokopec GM, Bisanzio D, Stoddard ST, Paz-Soldan V, Morrison AC, Elder JP, et al.** Using GPS technology to quantify human mobility, dynamic contacts and infectious disease dynamics in a resource-poor urban environment. *PLoS One* 2013;8:e58802. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058802>
29. **Romero L.** Informe final del evento dengue, año 2012. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2013. Disponible en: <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/Informe%20de%20Evento%20Epidemiologico/DENGUE%20%202012.pdf>.
30. **Instituto Nacional de Salud.** Boletín Epidemiológico Semanal N° 51 de 2012. Bogotá, D.C.: INS; 2012. p. 1-12. Fecha de consulta: 10 de julio de 2015. Disponible en: http://www.ins.gov.co/boletin-epidemiologico/Boletn%20Epidemiologico/2012%20Boletin%20epidemiologico_Semana%2051.pdf.
31. **Instituto Nacional de Salud.** Vigilancia rutinaria por evento municipal 2012. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/sivigila/Paginas/vigilancia-rutinaria.aspx>.
32. **Pérez-Castro R, Castellanos J, Olano V, Matiz M, Jaramillo J, Vargas S, et al.** Detection of all four dengue serotypes in *Aedes aegypti* female mosquitoes collected in a rural area in Colombia. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2016;111:233-40. <https://doi.org/10.1590/0074-02760150363>
33. **Bowman LR, Runge-Ranzinger S, McCall PJ.** Assessing the relationship between vector indices and dengue transmission: A systematic review of the evidence. *PLoS Negl Trop Dis* 2014;8:e2848. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002848>
34. **Regis L, Souza WV, Furtado AF, Fonseca CD, Silveira JC, Ribeiro PJ, et al.** An entomological surveillance system based on open spatial information for participative dengue control. *An Acad Bras Ciênc*. 2009;81:655-62. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652009000400004>
35. **Niño L.** Uso de la función semivariograma y estimación kriging en el análisis espacial de un indicador entomológico de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Biomédica*. 2008;28: 578-86. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v28i4.64>
36. **Niño L.** Interpolación espacial de la abundancia larval de *Aedes aegypti* para localizar focos de infestación. *Rev Panam Salud Pública*. 2011;29:416-22. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892011000600006>
37. **Vezzani D, Velázquez SM, Schweigmann N.** Seasonal pattern of abundance of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Buenos Aires city, Argentina. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 2004; 99:351-6. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762004000400002>
38. **Wee LK, Weng SN, Raduan N, Wah SK, Ming WH, Shi CH, et al.** Relationship between rainfall and *Aedes* larval population at two insular sites in Pulau Ketam, Selangor, Malaysia. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*. 2013; 44:157-66.
39. **Romero-Vivas CM, Arango-Padilla P, Falconar AK.** Pupal-productivity surveys to identify the key container habitats of *Aedes aegypti* (L.) in Barranquilla, the principal seaport of Colombia. *Ann Trop Med Parasitol*. 2006;100 (Suppl.1):S87-95.
40. **Tinker M, Olano V.** Ecología del *Aedes aegypti* en un pueblo de Colombia, Suramérica. *Biomédica*. 1993;13:5-14. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v13i1.2041>
41. **Romero-Vivas CM, Wheeler JG, Falconar AK.** An inexpensive intervention for the control of larval *Aedes aegypti* assessed by an improved method of surveillance and analysis. *J Am Mosq Control Assoc*. 2002;18:40-6.
42. **Alcalá L, Quintero J, González-Urbe C, Brochero H.** Productividad de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) en viviendas y espacios públicos en una ciudad endémica para dengue en Colombia. *Biomédica*. 2015;35:258-68. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i2.2567>
43. **Departamento Nacional de Estadística - DANE.** Encuesta Nacional de Calidad de Vida. 2013. Fecha de consulta: 9 de junio de 2016. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/esp/estadisticas-sociales/calidad-de-vida-ecv/160-uncategorised/6014-encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-2014,2016>
44. **Alcaldía de Anapoima.** Acuerdo N° 004 de 2008. "Por el cual se adopta el Plan de Desarrollo del municipio de Anapoima" 2008. Fecha de consulta: 17 de marzo de 2017. Disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/plan%20de%20desarrollo%20anapoima%20-%20cundinamarca%202008%20-%202011.pdf>.
45. **Alcaldía de La Mesa.** Acuerdo (sin número) de 2000. "Por el cual se adopta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipal, se clasifican y determinan usos del suelo y se establecen los sistemas estructurales. Municipio de La Mesa. 2000. Fecha de consulta: 17 de marzo de 2017. Disponible en: http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/32316232653861306334396338373037/PLAN_BASICO_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL.pdf.
46. **Pham HV, Doan HT, Phan TT, Tran Minh NN.** Ecological factors associated with dengue fever in a central highlands Province, Vietnam. *BMC Infect Dis*. 2011;11:172. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-11-172>
47. **Marchant BP, Lark RM.** The Matérn variogram model: Implications for uncertainty propagation and sampling in geostatistical surveys. *Geoderma* 2007;140:337-45. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.04.016>
48. **Minasny B, McBratney AB.** The Matérn function as a general model for soil variograms. *Geoderma*. 2005;128: 192-207. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.003>
49. **Molina AM, López LF, Villegas GI.** Los sistemas de información geográfica (sig) en la planificación municipal. *Rev EIA*. 2005;4:21-31.
50. **Parra-Henao GJ.** Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *CES Med*. 2010;24:75-89.