

Distribución espacial del dengue basado en herramientas del Sistema de Información Geográfica, Valle de Aburrá, Colombia

Spatial distribution of dengue based on Geographic Information Systems tools, Aburra Valley

Libardo A. Londoño C¹; Carolina Restrepo E², Elisabeth Marulanda O³.

¹ Ingeniero de Petróleos, Especialista en SIG Universidad de San Buenaventura, decano de la Facultad de Ingeniería del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia. Correo electrónico: libaranto@gmail.com.

² Gerente en sistemas de información en salud, estudiante de la Especialización en SIG de la Universidad San Buenaventura, Medellín, Colombia. Correo electrónico: carorestrepo23@yahoo.es.

³ Ingeniera química, estudiante de la Especialización en SIG de la Universidad San Buenaventura, Medellín, Colombia. Correo electrónico: elimarulanda@hotmail.com.

Recibido: 06 de junio de 2013. Aprobado: 29 de julio de 2013.

Londoño LA, Restrepo C, Marulanda E. Distribución espacial del dengue basado en herramientas del Sistema de Información Geográfica, Valle de Aburrá, Colombia. Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2014; 32(1): 7-15

Resumen

Las enfermedades tropicales son infecciones provocadas por mosquitos y moscas que transmiten parásitos, bacterias o virus a individuos, una de ellas es el dengue, el cual ataca especialmente a personas en condiciones de pobreza y marginalidad, proliferando en lugares con saneamiento básico deficiente, lo cual ha aumentado significativamente el número de casos. **Objetivo:** en el presente artículo se usan los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el modelamiento de patrones de distribución espacial de enfermedades tropicales. Se toma como caso de estudio los reportes del dengue mes a mes de los años 2008, 2009 y 2011 en el Valle de Aburrá en la jurisdicción de Medellín, Colombia. **Metodología:** se ubicaron espacialmente los casos de dengue notificados a la Secretaría de

Salud de Medellín a través de las direcciones de las viviendas de los pacientes. Se ubicaron geoespacialmente utilizando el software ArcGis 10, y las herramientas de análisis espacial IDW y Slope para demostrar que el fenómeno del dengue cumple con el principio de autocorrelación espacial. **Resultados y discusión:** la enfermedad muestra patrones espaciales en el sector suroccidental de Medellín; Corregimiento de Altavista y en las Comunas de Belén y Guayabal; sin embargo, sería de gran interés estudiar este fenómeno con variables ambientales y poder tener más herramientas para la toma de decisiones en las actividades de prevención del dengue.

-----**Palabras clave:** dengue, sistemas de información geográfica, patrones de distribución

Abstract

Tropical diseases are infections caused by mosquitoes and flies which transmit parasites, bacteria or viruses of people. One of these diseases is dengue, which particularly attacks those living in poor or marginalized conditions, proliferating in places lacking basic sanitation, which has significantly increased the number of cases. **Objective:** Geographic Information Systems (GIS) were used in this paper for the purpose of modeling the spatial distribution patterns of tropical diseases. Monthly reports on dengue from the years 2008, 2009 and 2011 in the Aburrá valley, under the jurisdiction of Medellín, Colombia, were taken as a case study. **Methodology:** Dengue cases of which the Medellín Health Secretary was notified were spatially

located using the addresses of the patients' homes. ArcGis 10 software was used to geo-spatially locate the cases, while IDW and Slope spatial analysis tools were employed to demonstrate that the dengue phenomenon complies with the principle of spatial auto-correlation. **Results and discussion:** The disease shows spatial patterns in the south-west sector of Medellín; the Altavista township and the Belén and Guayabal municipalities, and it would be of great interest to study this phenomenon with environmental variables and to have more tools available for decision-making in activities for preventing dengue.

-----**Keywords:** dengue, Geographical Information Systems, distribution patterns

Introducción

Las enfermedades tropicales son patologías infecciosas; las cuales se sitúan en países que están en zonas intertropicales y donde las condiciones sociales, económicas, higiénicas, sanitaria y ambientales son deficientes; contribuyendo así a la creación de hábitats propicios para un gran número de microorganismos, vectores y reservorios [1].

Algunas enfermedades tropicales son: la malaria, el dengue, la enfermedad de Chagas, la leishmaniasis, la fiebre amarilla; las cuales se han convertido en un verdadero problema de salud pública [2].

Todas estas enfermedades son transmitidas por insectos —vectores— como los mosquitos y las moscas; que al picar a los seres humanos transmiten el agente infeccioso por medio de intercambio subcutáneo de sangre [3]. Estas afectan principalmente a poblaciones pobres, a personas que habitan en zonas rurales y barrios marginales; debido a que viven en malas condiciones de vida y de higiene.

En el mundo, estas enfermedades afectan cerca de 1000 millones de personas [4], reflejándose en altos índices de mortalidad y morbilidad por éstas causas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la enfermedad transmitida por vectores que más se presenta globalmente es el dengue, dado que la incidencia de esta enfermedad se multiplicó por 30 durante los últimos 50 años [5].

A nivel mundial se han documentado diferentes estrategias de prevención de las enfermedades transmitidas por vectores; la OMS propone el manejo ambiental adecuado teniendo en cuenta que el control de estos vectores puede enfocarse en la modificación ambiental o en su manipulación; esto debido a que es el medio en el que se reproducen, el que puede impactar en la propagación de los vectores; además, esta es una estrategia positiva para disminuir el impacto ambiental, porque promueve la reducción de contaminación por plaguicidas, el buen manejo del recurso hídrico y la disposición adecuada de desechos, entre otros [6].

A través del tiempo se ha evidenciado la importancia de la participación comunitaria en la prevención de la propagación de las enfermedades y sus vectores transmisores; por lo tanto se han propuesto diferentes acciones como son las charlas educativas, el control químico de mosquitos, campañas de recolección de inservibles o criaderos, cambios en las conductas no saludables; siendo estas estrategias efectivas en la medida en que la comunidad las integren a sus hábitos culturales [7].

Además de las estrategias comunitarias, existen algunas que se pueden desarrollar a nivel gubernamental; que permitan un mayor conocimiento del comportamiento de los vectores en su reproducción y evolución, incluyendo la vigilancia epidemiológica permanente.

Los sistemas de información geográfica aportan en la eficacia de las estrategias anteriores, en tanto que permiten representaciones gráficas de los datos, importantes para el monitoreo y ubicación espacial de estos eventos que serían de gran ayuda en la toma de decisiones, porque se podrían estudiar las distribuciones espaciales y predecir áreas de riesgo y presencia de los vectores que propagan la enfermedad [8].

Kerry Joyce, explica cómo los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen gran cantidad de aplicaciones en diversos campos; sin embargo, siguen siendo subutilizadas en el área de la salud [9].

Algunos países han utilizado herramientas gratuitas de imágenes con muy buenas características que están disponibles en *Google Earth* y las han procesado para obtener imágenes mejoradas de las zonas de interés, y con esta información cartográfica y la información específica de cada uno de los temas de salud, se pueden realizar análisis de focos de enfermedades específicas, y programas de prevención y control más eficientes, que ubiquen espacialmente zonas más sensibles [10]; también se dispone de herramientas “*Open Source*” en temas de salud, las cuales han incursionado fuertemente por las facilidades de acceso y modificaciones personalizadas de acuerdo con las características de la zona de estudio [11].

En algunos países de Centro América, los SIG han sido utilizados para analizar patrones de dengue, obteniendo agrupamientos significativos; también los han utilizado para analizar variables socioambientales relacionadas con la aparición de dicho vector [12, 13].

En los últimos años, Colombia ha mostrado una tendencia ascendente en los brotes de malaria, dengue y fiebre amarilla; lo cual ha sido consecuencia de los conflictos sociales, cambios climáticos y pocas acciones encaminadas a la prevención y control de dichas enfermedades, entre otras [14].

El comportamiento de la malaria en Colombia aumentó en un 65,5% de la década de los ochenta a los noventa y, con respecto al dengue, en la última década se presentaron 28.361 casos anuales mostrando así un patrón endemo-epidémico [14].

En el presente trabajo se usan los SIG para el estudio de los patrones de la distribución espacial de enfermedades infecciosas. Se toma como caso de estudio los datos de dengue reportados por la Secretaría de Salud del Municipio de Medellín para los años 2008, 2009 y 2011; el año 2010 no se tomó en cuenta por ser un año atípico, en el cual se presentaron más casos de los esperados.

Metodología

Área de estudio

Medellín está localizado en el Valle de Aburrá y se extiende longitudinalmente sobre el eje natural del río Medellín, cuya forma corresponde con la tipología de una región intramontana andina; es decir, un valle ubicado entre 6,0° - 6,5° N y 75,5° - 75,7° W con un largo de 60 km y un ancho variable entre 10 y 20 km en su centro, una altura promedio de 1500 msnm y con pendientes entre 0% y 50%; con dos cerros tutelares en su centro, fruto de procesos de sedimentación, estructura que implica una topografía compleja. Este valle tiene una altitud media de 1.475 msnm, con una temperatura que oscila entre 18 y 28°C. Su precipitación promedio anual es de 1.571 mm. Este entorno climático genera condiciones favorables para la presencia, supervivencia y transmisión del dengue [15], el cual puede afectar a la totalidad de la población de la ciudad, estimada para el año 2013 en 2'417.325 habitantes [16].

Análisis de la información

La metodología utilizada implicó el diseño de un modelo gravimétrico que permitiera estudiar la distribución espacial del fenómeno; modelo de interpolación espacial mediante distancia inversa ponderada (*Inverse Distance Weighted: IDW*), el cual se utilizó con el fin de observar la variación espacial del fenómeno con respecto a un punto de ocurrencia del evento (en este caso el dengue). Este modelo cumple con la primera ley de la geografía o prin-

cipio de autocorrelación espacial, la cual fue formulada por el geógrafo Waldo Tobler; el cual indica que “todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes” [17]. La interpolación mediante distancia inversa ponderada determina los valores en puntos diferentes al de ocurrencia a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra, en la que la ponderación es una función de la distancia inversa. También se propuso un modelo tipo gradiente (*Slope*) para observar las zonas de mayor variabilidad del fenómeno en el espacio.

El modelo propuesto consta de diferentes procesos, los cuales se agrupan en cuatro componentes tal como se muestra en la figura 1:

El componente A como su nombre lo indica, tiene como propósito preparar los datos de dengue de los años en estudio, el cual lo componen dos entradas y un proceso. Las entradas son los casos de dengue, esta información se encuentra en una tabla con todos sus atributos, —sexo, edad, fecha de inicio de síntomas, dirección de residencia—, siendo la dirección la variable necesaria para geocodificar la información y el mes de la fecha de inicio de síntomas, el atributo por el cual se realiza el filtro de la información. De lo anterior se obtienen 36 capas tipo de punto, en las que cada uno de ellos representa un caso de dengue; y es la fuente primaria para los análisis espaciales a realizar. La otra entrada es la división político administrativa del área de ocurrencia, la cual cuenta con 16 comunas y 5 corregimientos, información que se representa en polígonos, la cual de ahora en adelante será la zona de análisis.

El componente B, es el agrupamiento de datos por comuna que tiene como entradas la capa (*shape*) de puntos obtenida en el componente anterior y los polígonos de las comunas; con estos se realiza la unión de los dos conjuntos, los cuales tienen distintos objetos con diferentes geometrías; por lo tanto, en este proceso se unen los atributos de una entidad con otra, basada en la relación espacial. Las entidades de destino y los atributos unidos de las entidades de unión, se escriben en la clase de entidad de salida; obteniendo como resultado para este caso, polígonos de comunas y corregimientos con el atributo de número de casos de dengue presentados. Esta última capa es el dato de entrada para crear la entidad que contiene los puntos, generados a partir de las ubicaciones representativas de las entidades de entrada, con los cuales se obtienen los centroides en cada polígono que serán los datos de entrada para el siguiente proceso del IDW.

En el componente C, se realiza la interpolación espacial con la herramienta IDW, para la cual el dato de entrada serán los puntos obtenidos en el componente B con su atributo de número de casos como variable a interpolar.

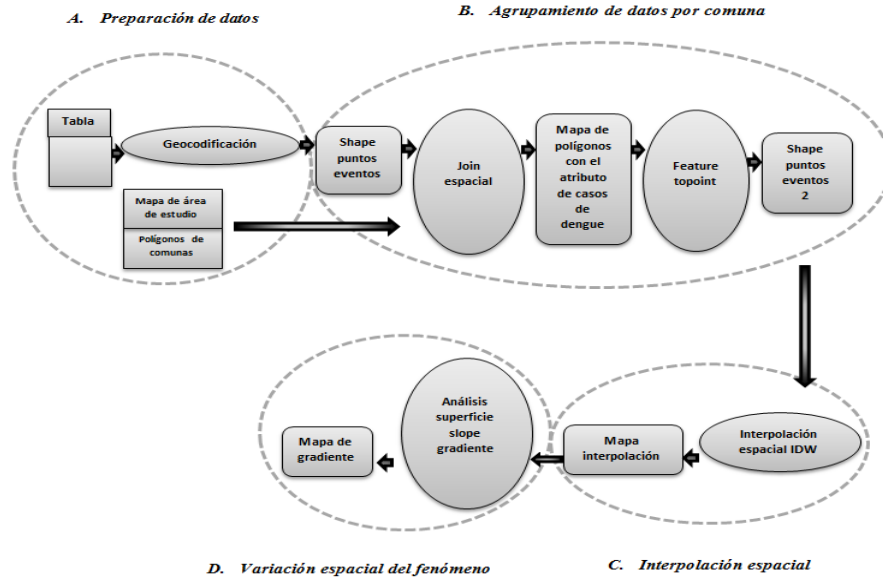


Figura 1. Modelo espacial
 Componente A: Preparación de datos
 Componente B: Agrupamiento de datos por comuna
 Componente C: Interpolación espacial
 Componente D: Variación espacial del fenómeno.

La función de interpolación espacial IDW está dada por la siguiente ecuación [18]:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

Donde $\hat{Z}(S_0)$ es el valor que se intenta predecir para el lugar S_0 como el valor ponderado de los valores observados, N es el número de puntos muestrales, λ_i es el peso ponderado asignado a cada punto muestral y $Z(S_i)$ es el valor observado del lugar S_i . Los pesos λ_i se calculan con una función inversa a la distancia mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda_i = \frac{d_{io}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{io}^{-p}}$$

En la cual d_{io} es la distancia entre el lugar de predicción (S_0) y el lugar muestral (S_i); p es un parámetro de reducción de peso, cuyo valor se encuentra minimizando el error cuadrático medio o error de predicción, para efectos prácticos $p=2$.

Por último, en el componente D se realiza el análisis de las zonas de mayor variabilidad con el modelo gradiente. Posteriormente, se analizan los mapas obtenidos donde se buscan patrones de comportamiento y se observa cuales son los sitios con mayor variabilidad del fenómeno en estudio.

Para el cálculo del gradiente (Slope), se tienen en cuenta las variaciones de la variable en relación con las

coordenadas X/Y. La siguiente ecuación muestra la relación de las variables utilizadas en el cálculo [19]:

$$gradiente = \text{Tang}^{-1} \left(\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2} \right) * 100$$

En la ecuación anterior, la expresión (dz/dx) representa la variabilidad del objeto de estudio z en la dirección x (este-oeste), y (dz/dy) en la dirección y (norte-sur). Las unidades de la expresión anterior están dadas en porcentaje.

Resultados

El número total de casos confirmados para el período de estudio fue de 2.393. Sin embargo, un total de 208 casos (8,7%) no fueron incluidos en el análisis debido a que las direcciones no pudieron ser geocodificadas por errores en la nomenclatura o simplemente porque las personas no la suministraron correctamente, razón por la cual, el número de casos analizados correspondió cerca del 91,3%. El año 2010 no se tuvo en cuenta por haber presentado más casos de los esperados, siendo un año atípico comparado con los demás. En la tabla 1 se muestra el número de casos geocodificados para cada uno de los años de estudio, en la que se observa cómo el año 2008 tuvo el mayor porcentaje de datos que pudieron ser tenidos en cuenta en la investigación (94,5%) comparados con los demás años.

Tabla 1. Número de casos geocodificados y no geocodificados por año. Medellín 2008, 2009 y 2011

| Años | Casos geocodificados | | Casos no geocodificados | | Total |
|-------|----------------------|------|-------------------------|------|-------|
| | No. | % | No. | % | |
| 2008 | 682 | 94,5 | 40 | 5,5 | 722 |
| 2009 | 739 | 87,8 | 103 | 12,2 | 842 |
| 2011 | 764 | 92,2 | 65 | 7,8 | 829 |
| Total | 2.185 | 91,3 | 208 | 8,7 | 2.393 |

Fuente: Secretaría de Salud Municipio de Medellín

El método Inversa de la Distancia tiende a generar el efecto clúster u ojos de buey, en especial cuando los valores son altos respecto a los vecinos más cercanos.

Al analizar las figuras de la 2 a la 7, se observa la variable en una clasificación de cuatro niveles de concentración de los casos de dengue “Muy Bajo”, “Bajo”, “Medio” y “Alto”. Una inspección visual de los mapas, muestra patrones de comportamiento similares; presentándose esto en los meses de enero 2008, septiembre 2008, enero 2009, agosto 2009, septiembre 2009, diciembre 2009, enero 2011, febrero 2011 y diciembre 2011. El polígono que representa los mayores niveles de concentración es la Comuna 16 Belén repitiéndose esta en todos los periodos anteriormente mencionados.

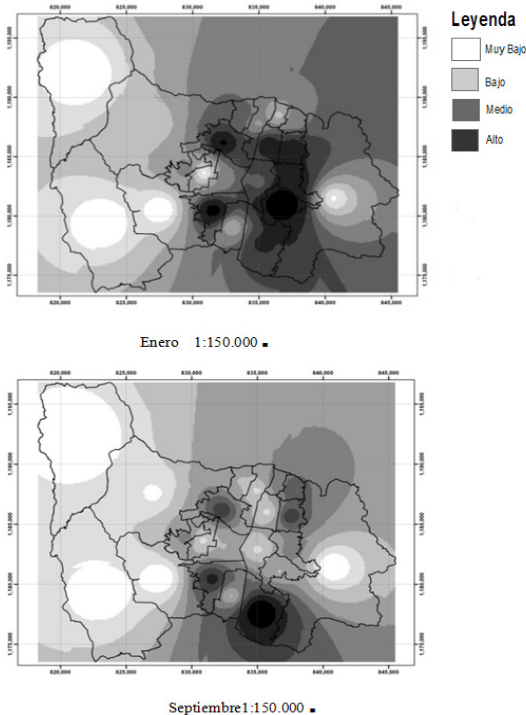


Figura 2. IDW dengue enero y septiembre de 2008

Fuente: Secretaría de Salud de Medellín.

Robledo, es la segunda comuna con la mayor variabilidad espacial, observándose esto en la figura 2 y 4.

Se calcularon los mapas gradientes para todos los meses de los años 2008, 2009 y 2011, las regiones más oscuras indican mayor variabilidad espacial (gradiente) del fenómeno y las más claras menor gradiente.

Para nuestros resultados se escogieron nuevamente los periodos que se analizaron para el IDW, y se observó si presentaba nuevamente un patrón espacial similar, encontrando en las figuras 5 a la 7, que los sectores con mayor variabilidad espacial se localizaron en el suroccidente de la ciudad; Comuna 16 Belén, Comuna 15 Guayabal y en el Corregimiento de Altavista, los cuales están rodeados de un círculo para su mejor visualización.

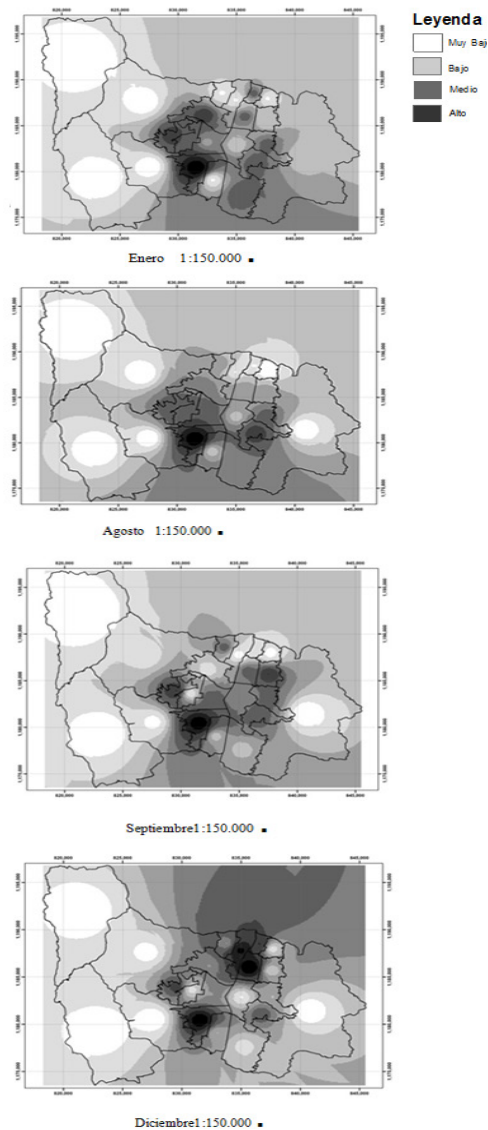


Figura 3. IDW dengue enero, agosto, septiembre y diciembre de 2009

Fuente: Secretaría de Salud de Medellín.

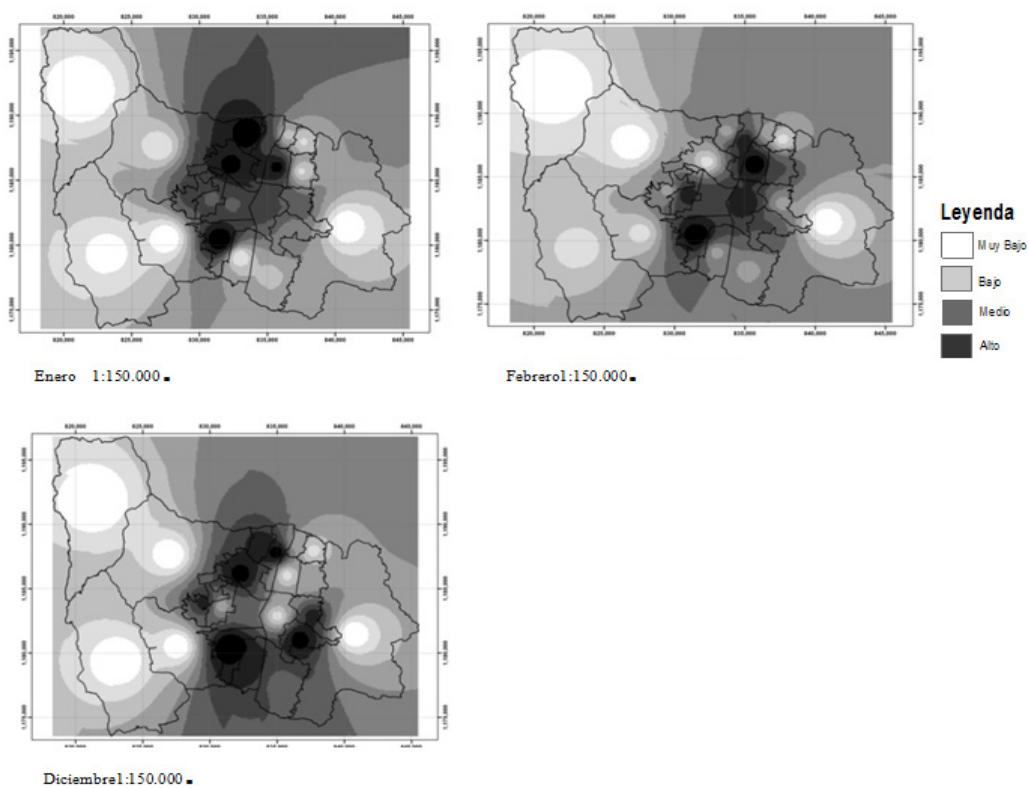


Figura 4. IDW dengue enero, febrero y diciembre de 2011
Fuente: Secretaría de Salud de Medellín.

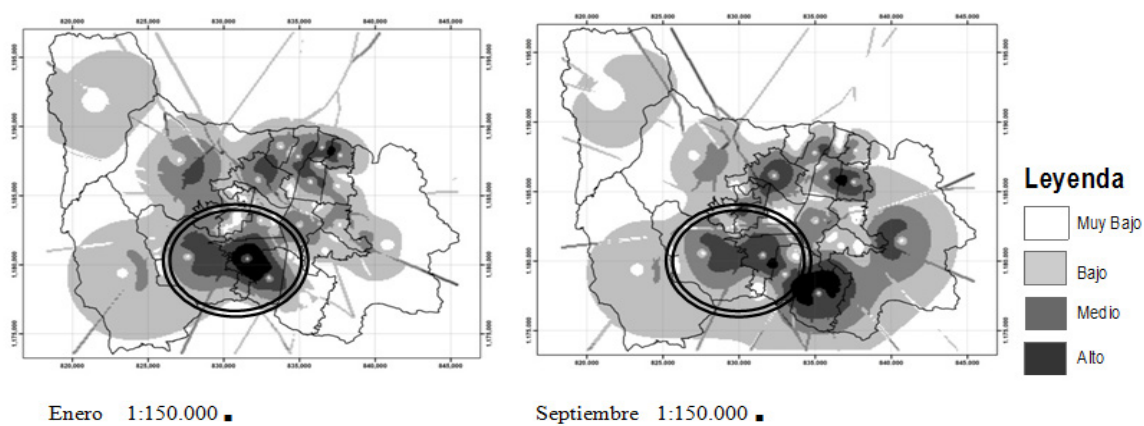


Figura 5. Gradiente dengue enero y septiembre de 2008
Fuente: Secretaría de Salud de Medellín.

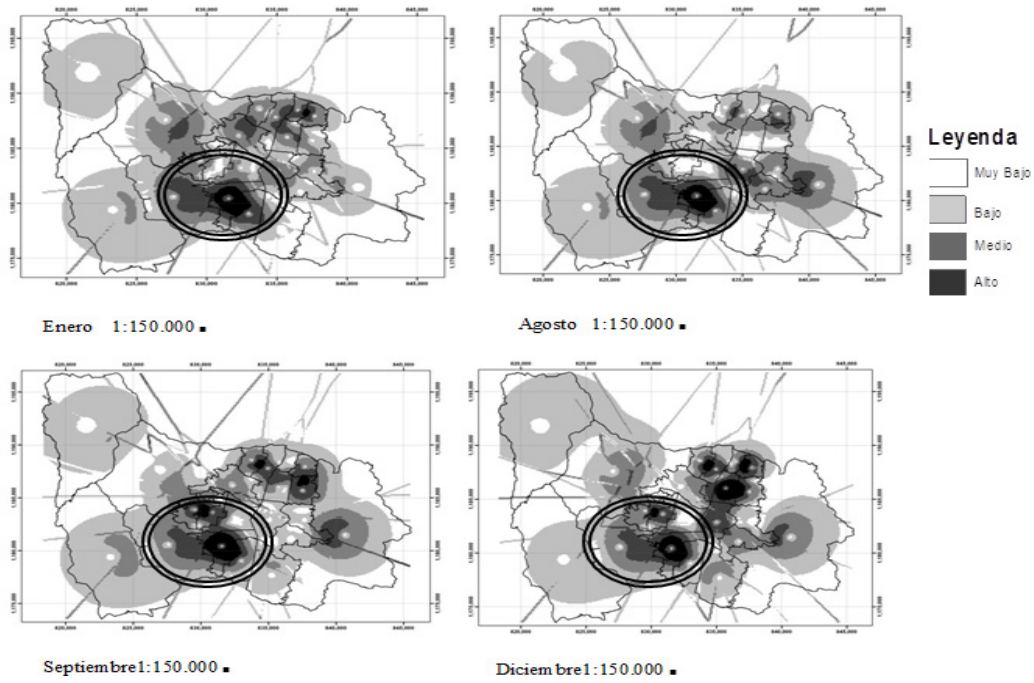


Figura 6. Gradiente dengue enero, agosto, septiembre y diciembre de 2009
Fuente: Secretaría de Salud de Medellín.

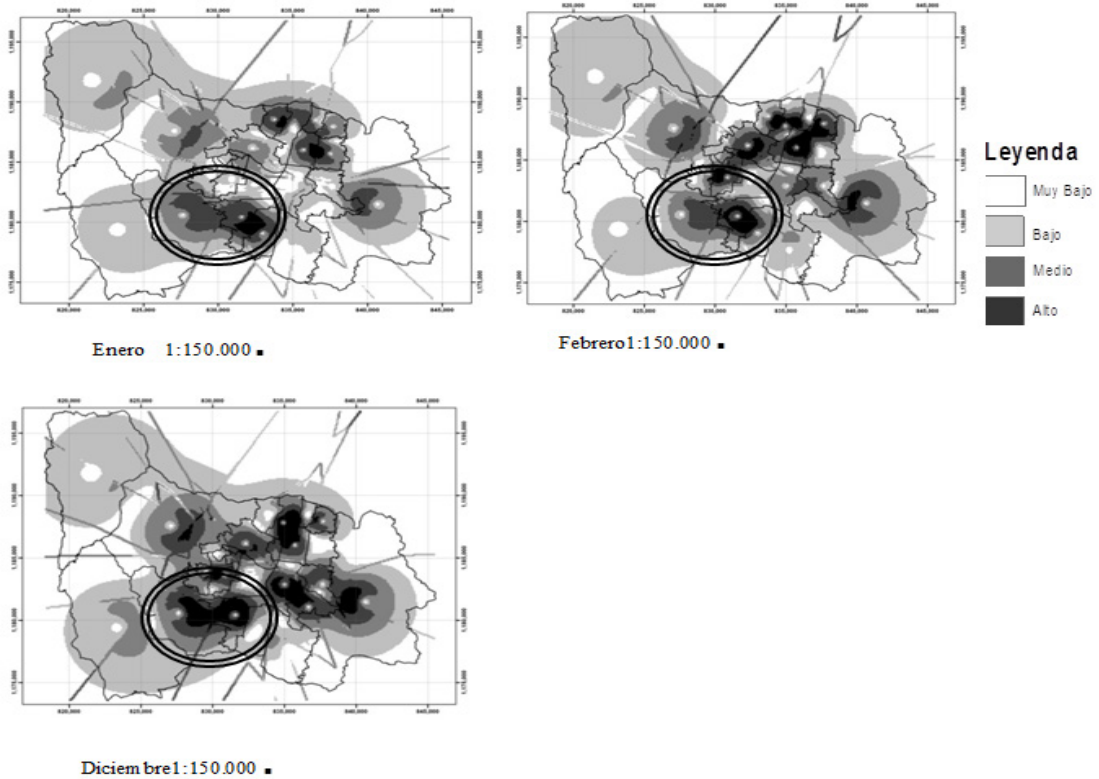


Figura 7. Gradiente dengue enero, febrero y diciembre de 2011
Fuente: Secretaría de Salud de Medellín.

Discusión

En este estudio los meses que presentaron un mismo patrón de comportamiento (variabilidad espacial), corresponden en su mayoría al segundo semestre del año, periodos coincidentes con la temporada de lluvias en el país [20], lo cual es propio de este evento; dado que el ciclo de transmisión del vector *Aedes Aegypti*, mosquito que transmite el dengue, puede estar influenciado por el clima, ya sea por el incremento de la temperatura o las altas precipitaciones, factores que pueden ocasionar el aumento de la población del mosquito. El incremento de la temperatura aumenta la tasa de desarrollo del vector, disminuye la duración de los ciclos de reproducción, estimula la eclosión de huevos y acorta el período de incubación del virus en el mosquito [21].

Hallazgos similares en los meses que presentaron la misma variabilidad espacial en este artículo, han sido encontrados en otras investigaciones, como el estudio realizado en Montería entre 2003-2008 [22], donde detectaron que los promedios más altos de casos de dengue ocurren en el segundo semestre del año.

El riesgo de transmisión en diferentes zonas de la ciudad estaría influenciado por la distribución espacial y temporal de estos factores; en esta investigación se hallaron mayores frecuencias en los casos de dengue en comunas como Guayabal, Belén y Corregimiento de Altavista; lo cual puede estar relacionado con la presencia en dichas zonas de un alto flujo migratorio [23] facilitando la importación de casos que en muchas ocasiones son mal clasificados en la consulta médica como autóctonos. De forma adicional, Altavista presenta uno de los porcentajes más altos de hogares con necesidades básicas insatisfechas, superando el promedio municipal (Índice de 7) alcanzando una cifra de 39; dichas condiciones socioeconómicas precarias han sido descritas como condicionantes del dengue [24].

Dichos resultados son un ejemplo de la importancia que tiene para la epidemiología la utilización de análisis espaciales, porque ayudan a la comprensión de la dinámica del dengue, sirviendo como apoyo al establecimiento de prioridades en la intervención hacia las áreas de mayor riesgo.

La utilización de los SIG, permiten hacer un análisis rápido para determinar anticipadamente las intervenciones más adecuadas que eviten o disminuyan el desarrollo de las epidemias. Si bien el estudio es preliminar, permite apreciar perfectamente las áreas de mayor riesgo de transmisión del virus del dengue, como lo son las comunas de Guayabal, Belén y el corregimiento de Altavista, siendo estos sectores de la ciudad donde se deben priorizar las estrategias de prevención y control del

vector; ya que son los lugares donde puede ser mayor el impacto negativo para la salud de la población.

Los resultados expuestos son de gran importancia para la toma de decisiones en salud pública de la ciudad y sirven como muestra de metodología alternativa para abordar eventos transmitidos por vectores.

Conclusiones

En el presente estudio es importante resaltar que para la ubicación geoespacial de los casos de dengue, se tuvo en cuenta la variable de dirección de residencia que, aunque no implique que los pacientes hayan contraído en sus viviendas la enfermedad, es la manera más adecuada para aplicar un criterio de localización, debido a que hay un mayor riesgo de infección con dengue en las viviendas debido al comportamiento endofílico de los mosquitos [25].

Existen gran variedad de técnicas en los softwares de Sistemas de Información Geográfica, que son útiles para predecir modelos de patrones de comportamiento de distribuciones espaciales, los cuales sirven para la generación de alertas ante las entidades gubernamentales. En el presente artículo se utilizó el software ArcGis 10, con sus herramientas de análisis espacial IDW y Slope, bajo el supuesto de que la variación espacial del fenómeno con respecto a un punto de ocurrencia del evento (en éste caso el dengue), cumple con la primera ley de la geografía o principio de autocorrelación espacial.

En los resultados obtenidos, se muestran patrones espaciales de mayor variabilidad del fenómeno. Dichos patrones se presentaron principalmente en el sector suroccidental del área de estudio; Corregimiento de Altavista y en las Comunas de Belén y Guayabal.

Sería de gran interés combinar éstos análisis con variables ambientales como dirección del viento, calidad del aire, temperatura, zonas con aguas estancadas (quebradas con poco cauce en muchas épocas del año); parámetros que pueden influir en el crecimiento del mosquito transmisor y así poder tener más herramientas en la toma de decisiones para la prevención en la propagación del fenómeno.

La cultura del uso de los SIG en el sector salud, como en otros sectores, se incrementará en la medida en que puedan ser reconocidas sus ventajas y en especial sus favorables efectos en la vigilancia, control y protección de la salud y el bienestar de la población.

La vigilancia del dengue debe evolucionar hacia un sistema activo en el que la sospecha intencional por clínica y serología de casos sea elevada. La vigilancia epidemiológica debe intensificar la investigación de casos, realizando actividades de control en las zonas donde aparecen los casos y sobre todo en el periodo de alta transmisión.

Referencias

- 1 Tercero M, Olalla R. Enfermedades tropicales transmitidas por vectores: medidas preventivas y profilaxis. *Offarm* 2008; 27 (6): 78-87.
- 2 Arria M, Rodríguez A, Paredes C. Ecoepidemiología de las enfermedades tropicales en países de la cuenca amazónica. *Rev Perú Med Exp Salud Pública* 2005; 22 (3): 236-240.
- 3 Rodríguez J. Enfermedades transmitidas por vector en México. *Rev Fac Med UNAM* 2002; 45 (3):126-341.
- 4 Organización Mundial de la Salud. Abordar las enfermedades tropicales desatendidas con el enfoque de los derechos humanos [Internet]. 2013 [Acceso 23 de abril de 2013]. Disponible en: http://www.who.int/neglected_diseases/Human_rights_approach_to_NTD_Spa.pdf.
- 5 Medicina digital. El dengue es la enfermedad tropical más expandida en el mundo: oms [Internet]. 2013 [Acceso 23 de abril de 2013]. Disponible en: <http://www.medicinadigital.com/index.php/salud-p%C3%BAblica-en-el-mundo/24373-el-dengue-es-la-enfermedad-tropical-mas-expandida-en-el-mundo-oms>
- 6 Penilla P. Estrategias de control de las enfermedades transmitidas por vector. *Salud Pública de México* 2007; 49: 290.
- 7 Vargas J. Prevención y control de la Malaria y otras enfermedades transmitidas por vectores en el Perú. *Revista peruana de epidemiología* 2003; 11(1): 1-18.
- 8 Parra G. Sistemas de información geográfica y sensores remotos: Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *CES medicina* 2010; 24 (2): 75-90.
- 9 Joyce K. To me it's just another tool to help understand the evidence: Public health decision-makers' perceptions of the value of geographical information systems (GIS). *Health Place* 2009; 15 (3): 831-840.
- 10 Chang A, Parrales M, Jiménez J, Sobieszczyk M, Hammer S, et al. Combining Google Earth and GIS mapping technologies in a dengue surveillance system for developing countries. *International Journal of Health Geographics* 2009; 8: 49.
- 11 Vanmeulebrouk B, Rivett U, Ricketts A, y Loudon M. Open source GIS for HIV/AIDS management. *International Journal of HealthGeographics* 2008; 7: 53.
- 12 Scott T, Amerasinghe P, Morrison A, Lorenz L, Clark G, et al. Longitudinal Studies of *Aedes* (Diptera: Culicidae) in Thailand and Puerto Rico: Blood Feeding Frequency. *Journal of Medical Entomology* 2000; 37 (1): 89-101.
- 13 Pérez T, Íñiguez L, Sánchez L, Remond R. Vulnerabilidad espacial al dengue. Una aplicación de los sistemas de información geográfica en el municipio Playa de Ciudad de La Habana. *Rev Cubana Salud Pública* 2003; 29 (4): 11-24.
- 14 Padilla J. Las enfermedades transmitidas por vectores: un grave problema de salud pública en Colombia. *Revista Icosan* 2002; 1 (1): 23-26.
- 15 Organización Panamericana de la Salud. Dengue y dengue hemorrágico en las Américas: guías para su prevención y control. *Publicación Científica* 1995; 548: 1-109.
- 16 Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Proyecciones de población [Internet]. 2013 [Acceso 10 de mayo de 2013]. Disponible en: http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=72
- 17 Orbemapa: el mundo de los mapas. Recordatorio de las leyes de Tobler [Internet]. 2013 [Acceso 10 de mayo de 2013]. Disponible en: <http://www.orbemapa.com/2007/02/recordatorio-de-las-leyes-de-tobler.html>
- 18 Cañada R, Vidal M, Moreno A. Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid. *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla 2010; 691-715.
- 19 Esri. Ayuda de ArcGIS 10.1 [internet] 2013 [Acceso 10 de mayo de 2013]. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//00q90000001r000000>
- 20 IDEAM. Cambio Climático [Internet] 2013 [Acceso 05 de junio de 2013]. Disponible en: <http://www.cambioclimatico.gov.co/jsp/1394>
- 21 Promprou S, Jaroensutasinee M, Jaroensutasinee K. Climatic factors affecting dengue hemorrhagic fever incidence in southern Thailand. *Dengue Bulletins* 2005; 29: 41-48.
- 22 Cassab A, Morales V, Mattar S. Factores climáticos y casos de dengue en Montería, Colombia: 2003 – 2008. *Revista de Salud Pública* 2011; 13 (1): 115-128.
- 23 Carbajo A, Gómez S, Curtos, Schweigmann Nicolás. Variación espacio-temporal del riesgo de transmisión de dengue en la Ciudad de Buenos Aires. *Medicina (B. Aires)* 2004; 64, (3): 231-234.
- 24 Alcaldía de Medellín. Departamento Administrativo de Planeación. Encuesta de Calidad de Vida, Medellín 2009. Alcaldía de Medellín.
- 25 Tran A, Deparis X, Dussart P, Morvan J, Rabarison P, et al. Dengue Spatial and Temporal Patterns, French Guiana 2001. *Emerging Infectious Diseases* 2004; 10 (4): 615- 621.