

Estudio de los factores climáticos y geográficos que influyen en la presencia de casos de dengue y criaderos de *Aedes aegypti* en el municipio de Bello, Antioquia

A. Echavarría
Universidad Eafit
Ingeniería Matemática
Medellín, Colombia
eachava3@eafit.edu.co

O.L. Quintero
Universidad Eafit
Departamento de Ciencias Básicas
Medellín, Colombia
oquinte1@eafit.edu.co

S.O. Arboleda
Universidad de Antioquia
Instituto de Biología
Medellín, Colombia
sairorieta@yahoo.es

Mayo 2012

Resumen

El dengue es una enfermedad endémica en Colombia donde Antioquia es uno de los departamentos que mas casos aporta, y la gran mayoría provienen del municipio de Bello. En este trabajo se usaron datos satelitales de la región que daban cuenta de las condiciones climáticas y geográficas y datos georreferenciados de casos de la enfermedad y criaderos del vector del año 2008 para investigar las condiciones que influyen en la aparición de la enfermedad. Para su realización se analizó el problema desde un enfoque sistémico apoyándose en herramientas matemáticas y estadísticas como la regresión logística y el agrupamiento difuso. Con los resultados obtenidos se busca el desarrollo futuro de un modelo que permita predecir la presencia de los casos y los criaderos de la enfermedad y poder tomar medidas anticipadas para prevenirlas.

Dengue fever is a endemic in Colombia and Antioquia is one of its most affected department where most infections occur in the municipality of Bello. In this paper, satellite data of the climate and geography of the region and georeferenced data

of the cases of the disease and the presence of the mosquito in 2008 was used to find the conditions that are relevant for the occurrence of an infection. In order to do this the problem was analyzed from a systemic approach using mathematical and statistical tools such as a logistic regression and fuzzy clustering. The results are intended to help the future development of a model that predicts the presence of the cases and the presence of the mosquito in order to take anticipated measures to prevent them.

Palabras clave Fiebre por Dengue, Sistemas de Información Geográfica, Agrupamiento Difuso, Logit.

1. Introducción

El dengue es causado por la infección con uno de los cuatro serotipos del virus Dengue (DENV) genéticamente relacionados pero serológicamente diferentes, el cual es transmitido por la picadura de una hembra *Aedes* infectada. El dengue es una de las enfermedades humanas transmitidas por vectores más comunes; se estima que 50 millones de infecciones ocurren cada año y cerca de 3.6 billones de personas viven en áreas de riesgo [5]. La epidemiología del dengue esta determinada por una interacción compleja entre la biología del vector, del patógeno y del huésped, y los factores macro y microclimáticos, sociales y del entorno físico [8, 2]. Aún en sitios con baja transmisión de dengue se ha incrementado la incidencia en los últimos 10 años [3].

El dengue representa un grave problema de salud pública en Colombia. En los últimos 10 años se han presentado 569,953 casos, de los cuales el 9% corresponden a formas graves de la enfermedad [6]. Entre los factores que agudizan la problemática está la reemergencia e intensa transmisión viral con tendencia creciente, el comportamiento en ciclos epidémicos cada vez más cortos (cada dos o tres años), el aumento en la frecuencia de brotes de dengue hemorrágico y otras formas graves de la enfermedad, la circulación simultánea de los cuatro serotipos (DENV1, DENV2, DENV3 y DENV4), la infestación por *Ae. aegypti* de más del 90% del territorio nacional situado por debajo de los 2,200 msnm y la urbanización descontrolada. Esta situación pone en riesgo a aproximadamente 25 millones de personas que habitan en zonas urbanas que presentan transmisión activa de la enfermedad [7]. Por lo tanto, el dengue es una de las patologías infecciosas con mayor impacto en Colombia y constituye un evento cuya vigilancia, prevención y control revisten especial interés en salud pública.

En el Valle de Aburrá (departamento de Antioquia), el municipio de Bello es uno de los más afectados por el dengue, presentando un comportamiento endémico con tasas que oscilan entre 11.1-427 casos por 100 mil habitantes entre los años 2002-2009. Entre los factores que explican la permanencia de la enfermedad en este municipio se encuentran: 1) su localización geográfica, pues se ubica a una altitud promedio de 1,325 msnm y la zona de riesgo está establecida hasta los 2,200 msnm [12], 2) su temperatura promedio de 22°C ya que a temperaturas superiores de 18°C el desarrollo del mosquito y del virus

en su interior es más rápido [9], 3) su pluviosidad anual de 1,347 mm lo cual ligado a valores altos de temperatura proporcionan las condiciones de humedad ideales para el desarrollo del mosquito, 4) su alta densidad poblacional pues en las zonas con mayor número de personas hay más probabilidad de transmisión del virus una vez se haya introducido en la población [13] y 5) presencia del vector.

En Colombia, el abordaje de la vigilancia del dengue se realiza mediante programas enfocados al control de las poblaciones del mosquito. Gran parte de las actividades se basan en el muestreo de estadios inmaduros del vector para medir la infestación, sin embargo los resultados de dichas actividades no permiten estimar directamente las poblaciones adultas del vector [5]. En cuanto al control, se hace un manejo ambiental para disminuir las poblaciones del mosquito, pero cuando los procedimientos son insuficientes, se recurre al control químico en áreas infestadas, a pesar de la resistencia a insecticidas que presentan las poblaciones de *Ae. aegypti* en las zonas de mayor endemidad. Además, se dispone de muy pocos recursos para las actividades de intervención y en muchas ocasiones éstas se aplican de manera tardía para controlar los brotes. En este contexto, los métodos actuales no son suficientemente efectivos para medir el riesgo de transmisión de dengue en muchas áreas endémicas, ni para controlar las poblaciones del vector, por ello es común la aplicación de planes de contingencia frente a la presencia de brotes inesperados [4].

La heterogeneidad de brotes y epidemias en espacio y tiempo que varían entre regiones, el comportamiento cíclico de la enfermedad ligado directamente a la variación en el clima, y también ligado a factores que no están totalmente esclarecidos, implican la persistencia de la enfermedad y la carga económica que esto conlleva. Si bien la enfermedad deriva de la relación virus-vector-humano, se siguen presentando brotes y epidemias relacionadas con el comportamiento climático a pesar de los esfuerzos de control. Además, como se mencionó anteriormente, la ubicación geográfica y la presencia del vector en un área determinada son piezas clave para la ocurrencia de casos de la enfermedad [1]. En este sentido, el análisis de la relación clima-área susceptible de ser ocupada por casos de la enfermedad o por criaderos del mosquito puede contribuir al conocimiento de la eco-epidemiología del dengue en Bello, en donde es una enfermedad emergente y dicho conocimiento puede ser extrapolado a áreas endémicas con características ambientales similares a las del municipio. Por ello el objetivo de este trabajo fue partir de datos geográficos y climáticos de la región y con ayuda de herramientas matemáticas y estadísticas, determinar los factores que propician la ocurrencia de casos de dengue y criaderos del mosquito, y determinar si existe asociación espacial entre la ocurrencia de ambos eventos.

Como resultado se vio que los casos de la enfermedad están ligados a la humedad del suelo, la temperatura, las condiciones geológicas y la altura del área y que los criaderos están ligados a estos mismos factores y también a la la vegetación y la calidad del agua. Por otro lado se hicieron agrupamientos difusos de los casos y los criaderos y se vio que estos se pueden agrupar en cuatro centros lo que correspondería a grupos de dos o tres comunas.

2. Metodología

La metodología por medio de la cual se realizó este trabajo está basado en el enfoque sistémico y consiste de cuatro etapas principales: la revisión de la literatura, el procesamiento de los datos, la formulación de hipótesis sobre la relación matemática de las variables y su influencia sobre los fenómenos y finalmente la formulación de hipótesis acerca de la relación entre los agrupamientos de los datos.

2.1. Revisión de la Literatura

En primer lugar se hizo una revisión de la literatura y una consulta con la doctora Sair Arboleda, doctora en Biología de la Universidad de Antioquia y autora del trabajo “Mapeo del Riesgo de Transmisión de Fiebre por Dengue en un Área Endémica de Colombia” [1].

2.2. Procesamiento de Datos

2.2.1. Datos Satelitales

Se tomaron los datos satelitales utilizados en [1]. Estos datos fueron obtenidos por el sensor Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) a bordo de satélites Landsat 7. Las imágenes producidas están conformadas por una cuadrícula de 30 metros de lado, en la que se hace una lectura de 7 bandas situadas en diferentes zonas del espectro electromagnético (Tabla 1), que dan cuenta de características climáticas de la superficie de la tierra. El municipio de Bello se localiza en las franjas vertical 9 y horizontal 56, y para el año 2008 se obtuvieron tres imágenes con baja contaminación por nubes. Las fechas de la toma de los datos cada año se muestran en la Tabla 2.

$$NDVI = \frac{Banda4 - Banda3}{Banda4 + Banda3} \quad (1)$$

Además de los datos de las bandas se utilizó la elevación del terreno como variable topográfica obtenida del Modelo de Elevación Digital (Digital Elevation Model-DEM) desarrollado por la misión “Shuttle Radar Topography” de la NASA [10] y se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI) usando la fórmula (1).

2.2.2. Datos Epidemiológicos

Se utilizaron los casos de dengue ocurridos en el municipio de Bello en el 2008 que tuvieran asociada la dirección de la residencia del paciente con el fin de tener los datos georreferenciados. Estos datos fueron extraídos de [1].

Banda	Longitud de Onda (μm)	Interpretación
Banda 1	0.450-0.515	Diferencia suelo y vegetación
Banda 2	0.525-0.605	Mapeo de vegetación y calidad de agua
Banda 3	0.630-0.690	Detección de la absorción de clorofila
Banda 4	0.750-0.900	Diferencia agua y tierra
Banda 5	1.550-1.750	Detección de la humedad del suelo y la vegetación
Banda 6	10.4-12.5	Temperatura
Banda 7	2.09-2.35	Mapeo geológico e identificación de minerales

Tabla 1: Bandas del satélite Landsat

		Año			
		2002	2003	2004	2005
Fecha Datos	May. 7	Ene. 2	Feb. 6	Mar. 12	
	Jul. 26	Feb. 3	Jun. 13	Ago. 19	
	Ago. 11	Nov. 2	Oct. 3	Sep. 4	
	Oct. 14			Nov. 7	
	Nov. 15				
		Año			
		2006	2007	2008	2009
Fecha Datos	Ago. 6	Feb. 14	Feb. 1	May. 10	
	Oct. 25	Mar. 2	Abr. 5	Jun. 11	
		Dic. 31	Sep. 12	Jul. 13	
				Dic. 14	

Tabla 2: Fecha de datos Landsat

2.2.3. Datos Entomológicos

De los datos entomológicos colectados por el programa de dengue de la Dirección Local de Salud de Bello (DLSB) se georreferenciaron las casas positivas para la presencia de criaderos de *Ae. aegypti* registradas en 2008 provenientes de tres muestreos realizados en ese año.

A partir de este conjunto de datos se hizo una gráfica de los casos y los criaderos ubicados geográficamente en un mapa que refleja la elevación del terreno. Esta gráfica se muestra en la Fig. 1.

2.3. Formulación de Primeras Hipótesis

Se tienen dos hipótesis principales:

- La presencia de criaderos puede ser expresada como función de los datos de las siete bandas, el NDVI y el DEM.
- La presencia de casos puede ser expresada como función de los datos de las siete bandas, el NDVI, el DEM y los criaderos.

Para comprobar estas hipótesis se utilizó un modelo estadístico de regresión logística - logit. Sus resultados se presentan en las secciones 3.1 y 3.2.

2.4. Formulación de Segundas Hipótesis

Luego de tener los resultados de los logit, se planteó una nueva hipótesis: La presencia de un caso implica la presencia de al menos un criadero cercano. Para comprobar esta hipótesis se hicieron dos tipos de agrupamiento difusos utilizando Matlab.

3. Resultados

3.1. Modelo Logit para los criaderos

Para comprobar si la presencia o no de criaderos son función de los datos utilizados X (Bandas 1 - 7, NDVI, DEM) se realizó el modelo logit presentado en (2) con los datos de las tres imágenes obtenidas para el 2008.

$$Y_{criaderos} = \frac{1}{1 + e^{-\beta X}} + u_i \quad (2)$$

La regresión logística retorna, entre otros datos, los coeficientes de cada variable (β) y el p-valor del estadístico t, el cual se contrasta la hipótesis que el coeficiente β

de la variable es cero. Si el p-valor es menor a 0.05 se puede asumir que la variable es estadísticamente significativa para la explicación de la variable endógena, en este caso, la presencia de criaderos.

Los resultados de la regresión muestran que las bandas 3, 4 y el NDVI no resultan relevantes para la explicación de la presencia de criaderos en los modelos correspondientes a los datos de abril y septiembre; las bandas 1 y 2 resultan relevantes en los modelos correspondientes a los datos de febrero y septiembre y el resto de los datos resultan relevantes en todos los modelos. (Tabla 3). Estos resultados indican que los que los criaderos son función de las bandas 1, 2, 5, 6, 7 y el DEM (Tabla 4).

3.2. Modelo Logit para los casos

Para comprobar si la presencia o no de casos de dengue son función de los datos utilizados X (Bandas 1 - 7, NDVI, DEM) y de los criaderos, se realizó el modelo logit presentado en (3) con los tres datos diferentes para el 2008.

$$Y_{casos} = \frac{1}{1 + e^{-\beta(X \cup criad)}} + u_i \quad (3)$$

Los resultados de la regresión muestran que mientras las bandas 5, 6, 7 y el DEM son significativas en los tres conjuntos de datos correspondientes a cada imagen de 2008, el resto de la variables no lo son (Tabla 5). Se puede ver que los casos son función de las bandas 5, 6 y 7 y el DEM (Tabla 6).

Como se pudo ver, la presencia de criaderos en un lugar determinado no resultó estadísticamente significativa en la explicación de la presencia de los casos en ese lugar. Se cree que esto se debe a que la presencia de un caso en un lugar determinado no sólo se explica por la presencia de criaderos en dicho lugar, sino también por los criaderos alrededor ya que el mosquito vuela por lo general entre 100 y 500 metros desde su lugar de criadero [11, 14, 15].

Por esta razón se decide hacer un agrupamiento de los datos para poder ver si la presencia de criaderos dentro del grupo influye en la presencia de casos en el mismo. Para esto se utiliza la técnica de agrupamiento o clustering utilizando Matlab.

3.3. Agrupamiento

Con el fin de ver si la presencia de un caso implica la presencia de al menos un criadero cercano se hicieron agrupamientos de los casos y de los criaderos. Para esto se utilizó el agrupamiento difuso (fuzzy clustering) el cual halla los centros que minimizan la distancia de ellos a cada punto, teniendo en cuenta la función de pertenencia del punto a cada centro. Esta técnica se diferencia de las técnicas duras de agrupamiento en la medida en que se permite a un dato pertenecer a más de un grupo a la vez. Los métodos utilizados fueron Fuzzy c-means y Clustering substractivo explicados en 3.3.1 y 3.3.2.

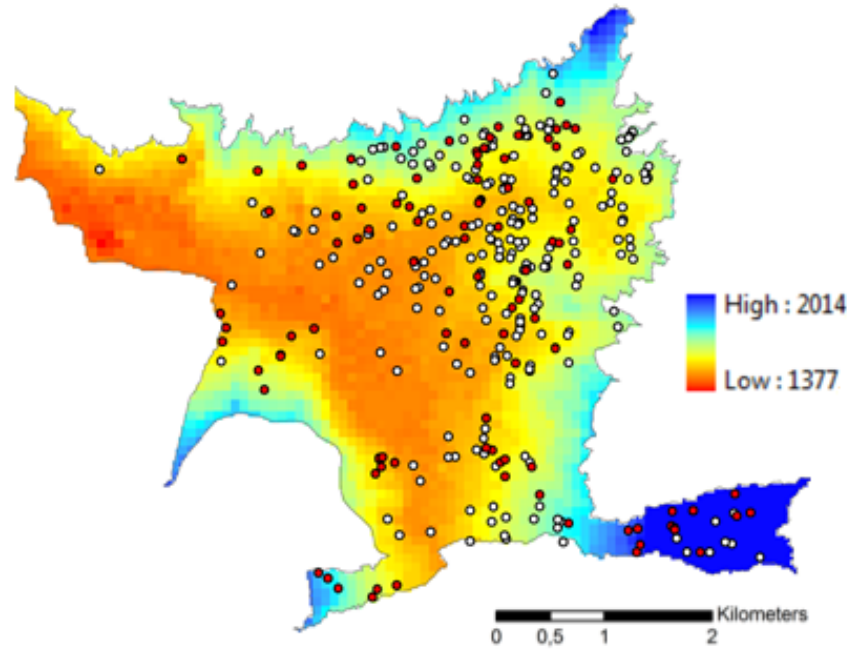


Figura 1: Gráfica de los casos y los criaderos del 2008 según la altura. Los casos se muestran en rojo y los criaderos en blanco. La escala de la altura se presenta por medio de los colores y su interpretación numérica se muestra a la derecha.

Variable	Datos Feb.		Datos Abr.		Datos Sep.	
	β	p-valor	β	p-valor	β	p-valor
Banda 1	1.1e-4	0.000	2.3e-5	0.42*	9.1e-5	0.00
Banda 2	-9.7e-5	0.012	-4.8e-5	0.32*	-9.3e-5	0.02
Banda 3	8.6e-5	0.021	-4.4e-5	0.34*	-1.8e-5	0.54*
Banda 4	-1.1e-4	0.006	7.0e-5	0.17*	2.2e-5	0.42*
Banda 5	-6.2e-5	0.076	-1.8e-4	0.00	-2.7e-4	0.00
Banda 6	1.2e-4	0.000	1.2e-4	0.00	1.1e-4	0.00
Banda 7	9.9e-5	0.006	2.6e-4	0.00	3.7e-4	0.00
NDVI	1.1e-2	0.001	-6.4e-3	0.23*	-4.6e-8	0.92*
DEM	-8.6e-6	0.000	-6.6e-6	0.00	-5.9e-6	0.00

Tabla 3: Resultados del modelo logit para los criaderos. Las variables cuyos p-valores marcados con asterisco (*) son aquellas que no han resultado relevantes para la explicación de los criaderos.

Variable	Relevante
Banda 1	✓
Banda 2	✓
Banda 3	×
Banda 4	×
Banda 5	✓
Banda 6	✓
Banda 7	✓
NDVI	×
DEM	✓

Tabla 4: Relevancia de cada una de las variables en la explicación de los criaderos.

Variable	Datos Feb.		Datos Abr.		Datos Sep.	
	β	p-valor	β	p-valor	β	p-valor
Banda 1	3.7e-5	0.01	7.1e-6	0.70*	-1.7e-5	0.32*
Banda 2	-3.5e-5	0.14*	-1.0e-5	0.72*	3.8e-5	0.12*
Banda 3	-1.9e-5	0.41*	-5.3e-5	0.07	-2.5e-5	0.18*
Banda 4	-5.8e-6	0.82*	4.5e-5	0.16*	-1.4e-5	0.42*
Banda 5	-7.8e-5	0.00	-1.3e-4	0.00	-1.5e-4	0.00
Banda 6	3.7e-5	0.00	3.3e-5	0.00	4.7e-5	0.00
Banda 7	1.3e-4	0.00	1.9e-4	0.00	2.1e-4	0.00
NDVI	3.5e-4	0.87*	-4.3e-3	0.19*	2.4e-7	0.39*
DEM	-2.2e-6	0.00	-1.2e-6	0.03	-1.5e-6	0.01
Criaderos	9.0e-4	0.70*	2.9e-4	0.90*	1.1e-3	0.62

Tabla 5: Resultados del modelo logit para los casos. Las variables cuyos p-valores marcados con asterisco (*) son aquellas que no han resultado relevantes para la explicación de los casos.

Variable	Relevante
Banda 1	×
Banda 2	×
Banda 3	×
Banda 4	×
Banda 5	✓
Banda 6	✓
Banda 7	✓
NDVI	×
DEM	✓
Criaderos	×

Tabla 6: Relevancia de cada una de las variables en la explicación de los casos.

3.3.1. Fuzzy c-means (FCM)

Fuzzy c-means (FCM) es una técnica de clustering que permite que un dato pertenezca a varios grupos a la vez, utilizando una función de pertenencia que indica la probabilidad de que un dato haga parte de un grupo determinado. Dado un número deseado de grupos, este método busca sus centros y funciones de pertenencia de manera que se minimice la suma de las distancias de cada dato a los centros multiplicada por su valor de pertenencia. En Matlab este método se realiza con el comando *fcm*.

3.3.2. Clustering substractivo

El cluster substractivo es una técnica de clustering difuso en el cual se asume inicialmente que cada dato es susceptible de ser el centro de un grupo. El método calcula una medida de la probabilidad de que un dato sea un centro, basándose en la densidad de los datos a su alrededor. Luego selecciona el dato con la mayor medida y elimina los puntos que están a una distancia menor a un radio dado. El proceso se repite hasta que todos los datos hallan sido posicionados en un centro. El resultado de su ejecución es el número óptimo de grupos para los datos dados y sus respectivos valores. En Matlab existe el comando *subclust* para ejecutar este método.

3.3.3. Agrupamiento de los casos

Se halló el número óptimo de grupos para los casos usando la función *subclust* de Matlab y luego se ejecutó la función *fcm* con el mismo número de grupos. El número óptimo de grupos fue 4, los cuales se pueden ver en la Fig. 2. Aquí se observa que hay un grupo en el valle y un grupo en cada uno de los cerros del lugar, lo cual concuerda con la relación entre la aparición de los criaderos y las condiciones climáticas y la altura del lugar que se mostró en la sección 3.2.

3.3.4. Agrupamiento de los criaderos

Primero se halló el número óptimo de grupos usando la función *subclust* de Matlab y luego se ejecutó, a modo de comparación, la función *fcm* con ese mismo número de grupos. Se obtuvo que el agrupamiento óptimo ocurre cuando hay dos clusters, los cuales se pueden apreciar en la Fig. 3. Aquí se observa que, con ambos agrupamientos, uno de los grupos son los criaderos que se encuentran en el valle y el otro son los criaderos que se encuentran en la montaña, lo cual coincide con los resultados del logit en la sección 3.1.

3.3.5. Resultados de los agrupamientos

Dado que al agrupar los criaderos se obtuvieron dos grupos óptimos y al agrupar los casos se obtuvieron cuatro, se decidió hacer una agrupación de ambos en cuatro grupos. Se graficaron los centros de los cuatro grupos para los casos y para los criaderos en la

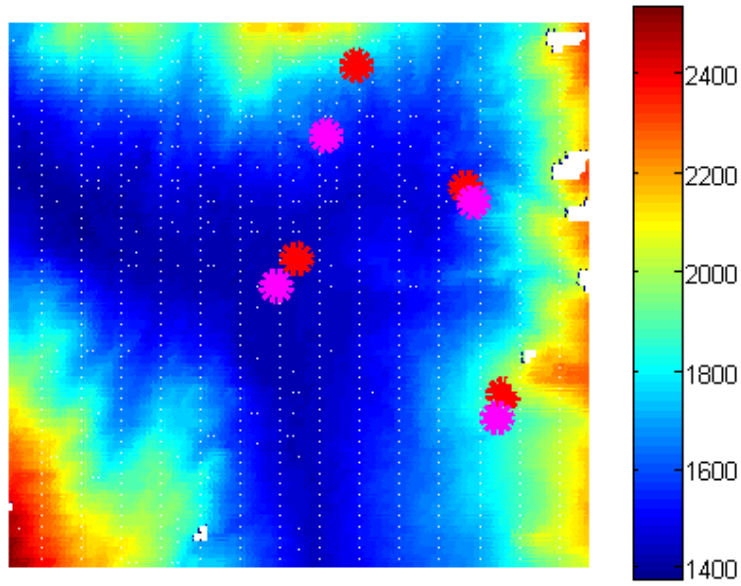


Figura 2: Centros de los casos. En rojo se muestran los centros hallados con la función *subclust* y en rosa los centros hallados con la función *fcm*.

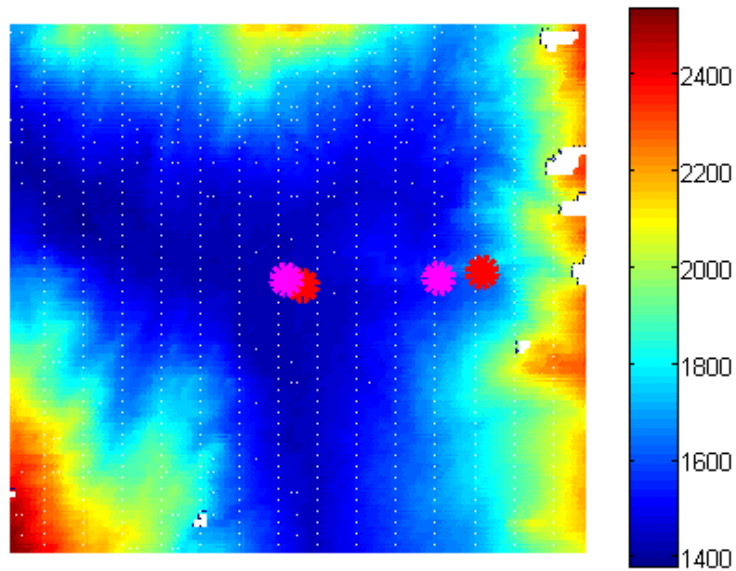


Figura 3: Centros de los criaderos. En rojo se muestran los centros hallados con la función *subclust* y en rosa los centros hallados con la función *fcm*.

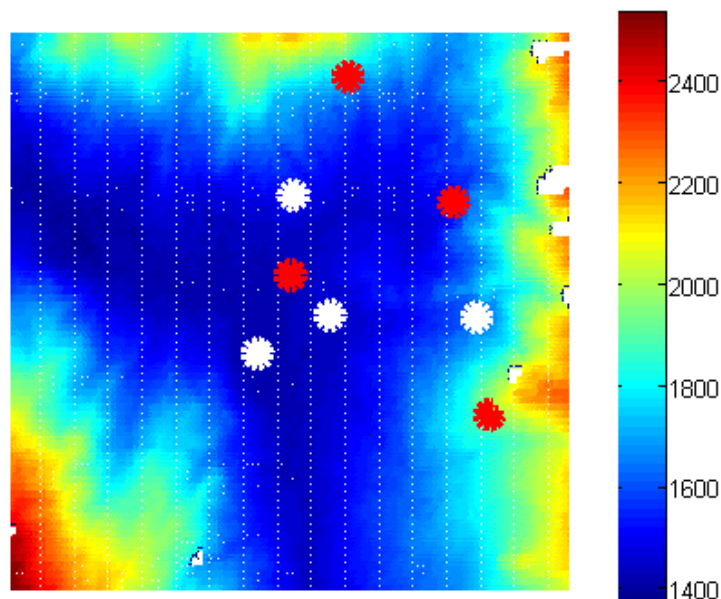


Figura 4: Centros del agrupamiento de los casos y los criaderos usando la función fcm . En rojo se muestran los centros de los casos y en rosa los centros de los criaderos.

Fig. 4.

Allí se puede apreciar que los casos y los criaderos no están agrupados de manera similar pues a pesar de que ambos tienen grupos en el valle los grupos de las montañas no están cerca el uno del otro. Esto indica que para trabajos futuros se deberían hacer modelos independientes para los criaderos y con base en los resultados de este buscar lograr un modelo espaciotemporal de expansión de la enfermedad con fines de control biológico y preventivo.

El agrupamiento también permitió ver que los datos de los casos y los criaderos pueden agruparse en alrededor de cuatro centros, lo cual correspondería a agrupamientos de dos a tres comunas.

4. Conclusiones

- La presencia de criaderos en un área está determinada por los valores de las bandas 1, 2, 5, 6, 7 y la altura.
- La presencia de los casos está determinada por las bandas 5, 6, 7 y la altura.
- Los agrupamientos de los criaderos y los casos son similares en las partes bajas de la ciudad pero no en las partes altas.

- Se obtuvieron cuatro agrupamientos para los casos y los criaderos. Esta área corresponde a la unión de dos o tres comunas del municipio.
- Los resultados obtenidos pueden ser usados posteriormente para la realización de un modelo de predicción de la aparición de criaderos y utilizar sus resultados para crear un modelo espaciotemporal de expansión del dengue con fines de control biológico y preventivo.

Referencias

- [1] S.O. Arboleda. *Mapeo Del Riesgo de Transmisión de Fiebre por Dengue en un Área Endémica de Colombia*. PhD thesis, Universidad de Antioquia, 2011.
- [2] N. Arunachalam and et al. Eco-bio-social determinants of dengue vector breeding: a multicountry study in urban and periurban asia. *Bull World Health Organ*, 88(3):173–184, 2010.
- [3] H.Q. Cuong, N.T. Hien, T.N. Duong, and et al. Quantifying the emergence of dengue in hanoi, vietnam: 1998-2009. *PLoS Negl Trop Dis*, 5(9), Sep 2011.
- [4] Organización Mundial de la Salud. Dengue and severe dengue. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>.
- [5] Organización Mundial de la Salud. Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control. http://www.who.int/csr/resources/publications/dengue_9789241547871/en/index.html, 2009.
- [6] Organización Panamericana de la Salud. Number of reported cases of dengue and dengue hemorrhagic fever (DHF)* in the Americas, by country. http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2010/dengue_cases_2010_december_10_2%20.pdf, Diciembre 2010.
- [7] Ministerio de Protección Social. Guía de atención clínica integral del paciente con dengue. http://www.esecentrooriente.gov.co/hco/images/stories/Guia_atencion_clinica_dengue_2010.pdf, 2010.
- [8] N.M. Ferguson, C.A. Donnelly, and R.M. Anderson. Transmission dynamics and epidemiology of dengue: insights from age-stratified sero-prevalence surveys. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 354(1384):757–768, Abril 1999.
- [9] L. Lambrechts, K. P. Paaijmans, T. Fansiri, L. B. Carrington, L. D. Kramer, M B. Thomas, and T. W. Scott. Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. *PNAS*, 108(18), Abril 2011.
- [10] NASA. Shuttle radar topography mission. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, 2009.

- [11] R. Reuben, S.J. Rahman, K.N. Panicker, P.K. Das, and G.D. Brooks. The development of a strategy for large-scale releases of sterile males of *Aedes aegypti*. *J Commun Dis*, 7:313–326, 1975.
- [12] J.F. Rios. Aspectos entomológicos del dengue. *Infectio*, 8(3):231–235, 2004.
- [13] W. P. Schmidt, M. Suzuki, V. D. Thiem, and et al. Population density, water supply, and the risk of dengue fever in Vietnam: Cohort study and spatial analysis. *PLoS Medicine*, Agosto 2011.
- [14] M. Trpis and W. Haussermann. Dispersal and other population parameters of *Aedes aegypti* in an african village and their possible significance in epidemiology of vector-borne disease. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 35(6):1263–1279, 1986.
- [15] M. Trpis, W. Haussermann, and Jr.G.B Craig. Estimates of population size, dispersal, and longevity of domestic *Aedes aegypti* (diptera: Culicidae) by mark-release-recapture in the village of Shauri Moyo in eastern Kenya. *Journal of Medical Entomology*, 32(1):27–33, 1995.