ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA PARA LAS LOCALIDADES DE CIUDAD BOLÍVAR, USME Y SAN CRISTÓBAL

AUTOR
MARIO ALEJANDRO PALOMINO RINCÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
ESPECIALIZTA EN GEOMATICA

Director:
FRANCISCO JAVIER BRICEÑO ZULUAGA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA GEOMATICA
BOGOTÁ, JUNIO 23 FEBRERO 2020

Resumen

Cada vez es mayor la cantidad de personas en condiciones de pobreza que construyen sus viviendas en terrenos inestables y sin el correcto manejo geotécnico al sur de la ciudad poniendo en riesgo sus vidas. Diariamente aumentan las zonas en las que familias construyen sus viviendas de manera ilegal, en materiales de recuperación, con conexiones improvisadas de agua convirtiéndose así en objetos vulnerables y en objetos detonantes de movimientos en masa.

En el siguiente estudio se realizó una zonificación de la vulnerabilidad a los movimientos en masa en las zonas habitadas en las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y San Cristóbal, para esto, se usaron diferentes variables como archivos tipo DEM, capas con información de estratos socioeconómicos, geología y datos de lluvia multianual las cuales hicieron parte de una superposición ponderada de capas para poder obtener un mapa de vulnerabilidad, este procedimiento se realizó con la ayuda del software ArcGIS.

Una vez realizado este procedimiento, se obtuvo que dentro de la zona de estudio se encuentra una gran cantidad de sitios con vulnerabilidad media, seguida de la vulnerabilidad baja y finaliza con el menor porcentaje la vulnerabilidad alta. Determinando así las zonas en las cuales se deben tomar acciones para evitar una mayor concentración de personas en condiciones de pobreza.

Abstract

Each day is more the amount of people in poverty that are building their homes on unstable land and without proper geotechnical management in the south part of the city, putting their lives at risk. There is a daily increase in the areas where families build their homes illegally, in recovery materials, with makeshift water connections becoming vulnerable objects and objects that trigger mass movements. In the following study we performed a zoning of vulnerability to mass movements in the habited areas in the localities of Ciudad Bolívar, Usme and San Cristobal, for this, different variables were used like DEM files, layers with information from socioeconomic strata, geology and multi-year rainfall data, all of these data became part of a weighted overlay of layers in order to obtain a vulnerability map, this procedure was performed with the help of Arcgis software. Once this procedure was made, it was found that within the study area there is a large number of sites with medium vulnerability, followed by low vulnerability and a lower percentage of high vulnerability. This will determine the areas in which action should be taken to avoid a greater concentration of people living in poverty.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se mostrará una zonificación de la vulnerabilidad a los movimientos en masa en las zonas habitadas en las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y San Cristóbal, entendiendo la vulnerabilidad como el grado de fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente (Servicio Geológico Colombiano, 2016). Actualmente, el IDIGER cuenta con una zonificación en toda la ciudad de Bogotá, esta zonificación fue realizada haciendo un cruce de información entre capas de drenajes naturales, laderas homogéneas y geología. Sin embrago, en este ejercicio se hará un algebra de mapas en la cual se tendrán en cuenta factores como las unidades geológicas presentes, el promedio de lluvia multianual que se presenta en el lugar, la intervención antrópica y la pendiente del terreno.

Este tipo de eventos ocurren de manera frecuente en la ciudad de Bogotá y la mayoría suelen pasar inadvertidos por los medios y población en general, ya que estos solo llaman la atención cuando ocurre una gran tragedia, como en el caso de lo ocurrido en el año 2019 en el barrio Caracolí de Ciudad Bolívar el cual dejó 10 viviendas afectadas y más de 15 familias en condiciones de extrema pobreza (Beltrán, 2019) o cuando en el 2015 un deslizamiento conllevó al desalojo de 190 personas en el barrio San Blas en la localidad de San Cristóbal (El Tiempo, 2015).

La realidad ha demostrado que estos eventos pueden llegar a afectar de gran manera a la población más vulnerable de la ciudad que frecuentemente se encuentra en estas zonas, demostrado por un estudio elaborado por la alcaldía de Bogotá, en la que muestra que en estas localidades se encuentra la mayor cantidad de barrios y familias en condiciones de pobreza extrema (Semana, 2020). Igualmente, esta zonificación podría servir para delimitar polígonos de reasentamiento.

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Zonificar el grado de vulnerabilidad a movimientos en masa en las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y San Cristóbal.

Objetivos específicos

- Delimitar las áreas en las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y San Cristóbal en las que se encuentren habitantes y zonas en condiciones de extrema pobreza.
- Determinar la influencia del grado de las pendientes en la clasificación de la vulnerabilidad.
- Determinar las condiciones en las que habitan las personas que se encuentra en una alta vulnerabilidad.

III. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la zona sur de la ciudad de Bogotá, específicamente a las zonas habitadas de las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y San Cristóbal. En esta zona se pretende realizar una zonificación del grado vulnerabilidad de la población a los movimientos en masa.

En esta zona de la ciudad se encuentran diversas unidades geológicas que van desde rocas duras hasta rocas blandas y que responden de manera diferente a la acción de la lluvia. También se encuentran sectores con pendientes pronunciadas que suelen ser ocupadas de manera ilegal por personas de escasos recursos, que suelen construir sus viviendas con materiales de recuperación y no cuentan con un adecuado sistema de acueducto y alcantarillado, por lo tanto, suelen aportar constantemente agua que se va filtrando en los suelos.

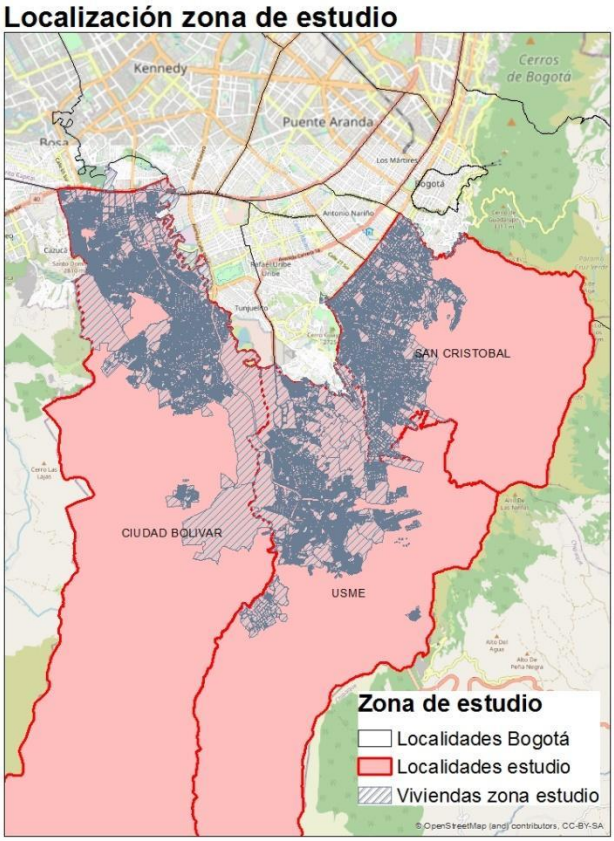

Figura 1. Mapa localización zona de estudio.

IV. METODOLOGÍA

Para la realización de este artículo fue necesaria la obtención de varios datos, entre los que encontramos imágenes ráster tipo DEM, capas en formato tipo shape (.shp) con información sobre las unidades geológicas y una delimitación de las manzanas de la ciudad con su respectivos estratos socioeconómico y por último la información con la lluvia promedio mensual multianual para las localidades correspondientes al área de estudio.

Unidades Geológicas:

Para la información geológica se recurrió a la gdb del atlas geológico de Colombia correspondiente al 2015 realizado por Servicio Geológico Colombiano. Dentro de esta base de datos se encuentra gran cantidad de información como las fallas geológicas, volcanes y pliegues, para este ejercicio necesitamos saber la composición del suelo, por lo tanto usamos la capa en la que se encuentran las unidades geológicas con su respectiva simbología y descripción.

Mediante el uso de la herramienta "Select by location" del programa ArcMap, se seleccionaron solo aquellas unidades que concordaran con la localización del área de estudio. Obteniendo los resultados resumidos en la tabla 1.

Tabla 1. Descripciones y clasificación de las unidades geológicas presentes.

Simbología	Descripción	Clasificación
E1-Sc	Conglomerado intercalado con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas	Medio
E6e9-Sct	Arenitas de grano fino a conglomeratica, intercaladas con arcillas y limos	Alto
Q-al	Depósitos aluviales y llanuras aluviales	Bajo
K6E1-Stm	Arcillas con intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino	Alto
Q-ca	Abanicos aluviales	Medio
K1k6-Stm	Calizas, shales y cherts	Bajo
Q1-I	Arcillas, turbas, arcillas arenosas	Muy alto
Q-g	Depósitos glaciares	Medio

Una vez obtenidas las unidades geológicas que entran dentro de la zona de estudio se clasifican en su vulnerabilidad para sufrir deslizamientos en bajo, medio, alto y muy alto. Esta vulnerabilidad se determinó dependiendo de su tamaño de grano, dureza y tipo de roca predominante, obteniendo como resultado la clasificación de la tabla 1.

Modelo Digital de Elevación:

Un Modelo Digital de Elevación (DEM), es un archivo de tipo raster en el cual se organizan celdas (pixeles) dentro de una matriz en filas y columnas. Cada píxel dentro de la matriz representa una unidad de área cuadrada y contiene un valor numérico correspondiente a una medición en una ubicación en específico. En

el caso del DEM, el píxel almacena el valor de la altura con respecto al nivel medio del mar, permitiendo caracterizar las formas del relieve (Morales, 2017).

Actualmente existen varios satélites y plataformas que ofrecen imágenes DEM, el usado para obtener la imagen de este proyecto fue la plataforma ASF Data Search y el satélite ALOS PALSAR, como se ve en la figura 2, en el visor principal delimitamos el área de estudio y este nos mostrara las diferentes matrices que cruzan esa área delimitada.

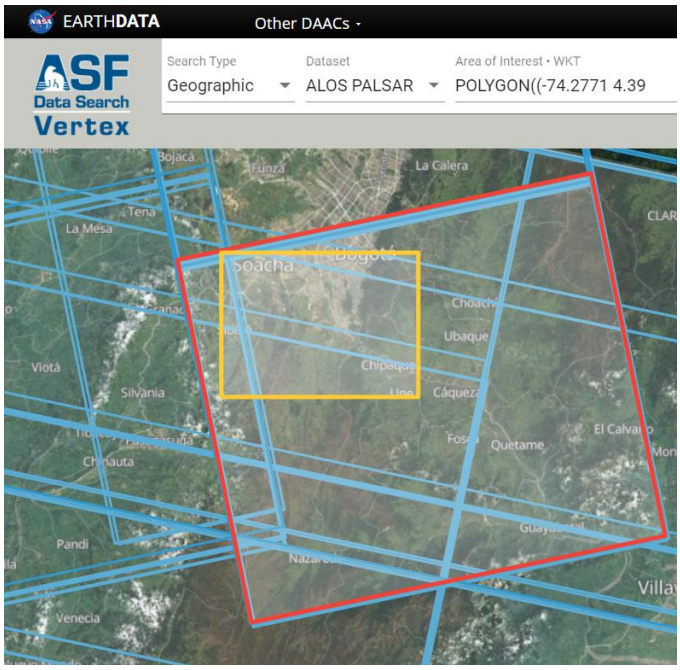

Figura 2. Captura de pantalla del visor de la plataforma ASF Data Search.

En esta ocasión se elijió la imagen correspondiente al 5 de febrero de 2011 en la posición 145-70, dentro de las imágenes producidas se encuentra un DEM con una resolución espacial de 12.5 m, la cual, según los parámetros dados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), nos permite realizar estudios en una escala de 1:25.000 (IGAC, 2016)

Con este DEM y con la ayuda del programa ArcMap realizamos un mapa de pendiente representado en porcentaje. Una vez realizado este procesamiento, reclasificamos las pendientes en las 7 categorías según lo estipulado por el IGAC.

Tabla 2. División y clasificación de pendientes.

Rango (%)	Interpretación	Clasificación
0 – 3	A nivel	Bajo
3 – 7	Ligeramente inclinada	Bajo
7 – 12	Moderadamente inclinada	Medio
12 – 25	Fuertemente inclinada	Medio

25 – 50	Ligeramente escarpada	Alto
50 – 75	Moderadamente escarpada	Muy alto
> 75	Fuertemente escarpada	Muy alto

Una vez obtenidas las pendientes reclasificadas en las 7 categorías se clasifican en su grado de vulnerabilidad a sufrir deslizamientos en bajo, medio, alto y muy alto, obteniendo como resultado la clasificación de la tabla 2.

Manzanas estratificación Bogotá:

Para la información de las manzanas de Bogotá se recurrió a la página de los datos abiertos de Bogotá, esta capa llamada “Manzana Estratificación. Bogotá D.C.” contiene las unidades geográficas tipo manzana a las cuales se le asocia la variable de estrato socioeconómico.

La asignación de los estratos es el resultado de una metodología definida por el gobierno nacional y es aplicada en la ciudad de Bogotá por la Secretaria Distrital de Planeación (SDP), las características que se tienen en cuenta son las presencia física de la vivienda, vías de acceso, tamaño de frente, andén, antejardín, garajes, material de las fachadas, material de los techos y aspectos del hábitat como usos del suelo, planeación del asentamiento, materiales de construcción, calidad del espacio público, grado de deterioro, entre otras (Cortés, 2018).

Mediante el uso de la herramienta “Select by location” del programa ArcMap, se seleccionaron solo aquellas manzanas que concordaron con la localización del área de estudio. Obteniendo los resultados resumidos en la tabla 3.

Tabla 3. División y clasificación de los estratos.

Estrato	Categoría SDP (CITAR)	Porcentaje (%)	Clasificación
0	Sin estrato	13.96	Muy alta
1	Bajo-bajo	47.04	Alta
2	Bajo	35.84	Baja
3	Medio-bajo	3.15	Baja

Una vez obtenidos los estratos presentes en el área de estudio se clasifican en su capacidad de contribuir a la detonación de algún movimiento en masa, teniendo en cuenta que los estratos más bajos no cuentan siempre con correctas conexiones de agua y/o alcantarillado y el continuo aporte de las mangueras mal conectadas que usan para suplir estos servicios, saturan el terreno creando desestabilización. De manera similar, en las zonas catalogadas como sin estrato, las ocupaciones suelen ser ilegales y las personas que llegan a construir sus hogares hacen cortes en las laderas que también crean una desestabilización del terreno.

Promedio mensual multianual:

Uno de los más grandes detonantes de los movimientos en masa son las lluvias que se filtran en los suelos y causan inestabilidad. Según un estudio realizado por el IDEAM en el que realizó una caracterización climática de Bogotá, determinó que en la ciudad se encuentran varios tipos de climas, que van desde zonas semisecas a zonas superhúmedas. En este caso, para la zona de estudio predomina el clima de tipo B1 (ligeramente húmedo) y las precipitaciones oscilan entre 800 y 900 mm anuales, vale la pena aclarar que en la ciudad se presentan dos periodos secos y dos periodos de lluvias (IDEAM, 2008).

El IDIGER cuenta con una red hidrometeorologica con varios pluviómetros alrededor de la ciudad, en este caso, se tomaron 3 pluviómetros para el análisis, uno por cada localidad dentro del área de estudio. A pesar de que en cada localidad se encuentran varios pluviómetros, se eligieron aquellos que llevan más tiempo registrando. Para la localidad de Usme se eligió la estación llamada Juan Rey, para San Cristóbal la estación de Vitelma y para Ciudad Bolívar la estación de San Benito.

Tabla 4. División y clasificación por lluvias en el área de estudio.

Localidad	Precipitación (mm)	Clasificación
Usme	1030.67	Medio
San Cristóbal	1095.86	Medio
Ciudad Bolívar	719.38	Bajo

Teniendo en cuenta que el promedio de lluvia para ese sector de la ciudad oscila entre los 800 y 900 mm, se clasificó como bajo el promedio anual de Ciudad Bolívar debido a que está por debajo del promedio esperado y como medio, los promedios de San Cristóbal y Usme, obteniendo como resultado la clasificación de la tabla 4.

Algebra de mapas

Para la obtención del grado de vulnerabilidad de la población a los movimientos en masa se realizará una superposición ponderada de capas haciendo uso del software ArcGis y la herramienta Weighted Overlay. Esta herramienta que solo funciona con imágenes de tipo raster, realiza una reclasificación de los valores en los raster de entrada en una escala de evaluación común, posteriormente multiplica los valores de entrada de cada raster por el peso de importancia del raster (ya que cada capa tendrá una “importancia” o peso diferente) y finalmente suma los valores de celda resultante para producir el raster final (Benayas, 2018), ver figura 3.

Teniendo en cuenta las cuatro variables mencionadas anteriormente (geología, pendiente, estrato socioeconómico y lluvia multianual) se dispone a asignar un valor o peso a cada una de estas según la importancia para nuestro modelo; Al final, la sumatoria de estas ponderaciones debe ser de 100.

Para este ejercicio en específico, se le dio un peso de 30 a las capas de geología, pendiente y estrato socioeconómico. Para el caso de las lluvias, se le asignó un valor de 10, debido a que para este ejercicio se tomó un valor anual de la lluvia, pero el comportamiento climático de la ciudad de Bogotá tiene un clima bimodal, es decir que tiene dos periodos de lluvia, intercalados con dos periodos secos y el promedio de lluvia varía mucho en estos periodos; La ponderación general para cada una de las capas y sus rangos, se puede ver resumida en la tabla 5.

Tabla 5. Cuadro de ponderaciones.

Ponderación	Variable	Rangos	Valor
30	Geología	E1-Sc	15
		E6e9-Sct	25
		Q-al	10
		K6E1-Stm	25
		Q-ca	15
		K1k6-Stm	10
		Q1-I	30
		Q-g	15
30	Pendiente	0 – 3	10
		3 – 7	10
		7 – 12	15
		12 – 25	15
		25 – 50	25
		50 – 75	30
		> 75	30
30	Estrato	0	30
		1	25
		2	10
		3	10
10	Lluvia	1030.67	5
		1095.86	5
		719.38	2

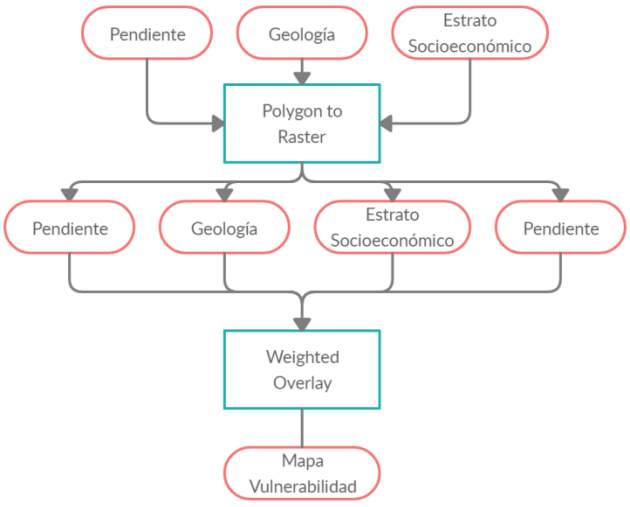

Figura 3. Esquema metodológico.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

Resultados

Después de haber realizado el procedimiento descrito anteriormente, se obtuvo el mapa de vulnerabilidad (ver figura 4).

Como se puede ver en la zonificación de la vulnerabilidad, la mayor cantidad de área habitada de la zona de estudio tiene una vulnerabilidad de categoría media, con un área total de 3377.12 hectáreas, seguido de la vulnerabilidad baja con un área 1635.38 hectáreas y por último la vulnerabilidad alta con un área de 893.57 hectáreas.

De igual manera, podemos ver que existen varios vacíos en el mapa de vulnerabilidad, esto se dio debido a que la vulnerabilidad en este caso está enfocada a la población y dichos vacíos corresponden a lugar que no cuentan con algún tipo de estratificación ya sea porque son parques o zonas de recreación o son espacios públicos.

Aunque en la ponderación realizada, el estrato de la población tiene un gran peso, en el resultado se ve una división clara de las tres categorías de la vulnerabilidad, la cual aumenta a medida que se llega a la parte más alta de la ladera y disminuye al acercarse a la zona plana de la ciudad.

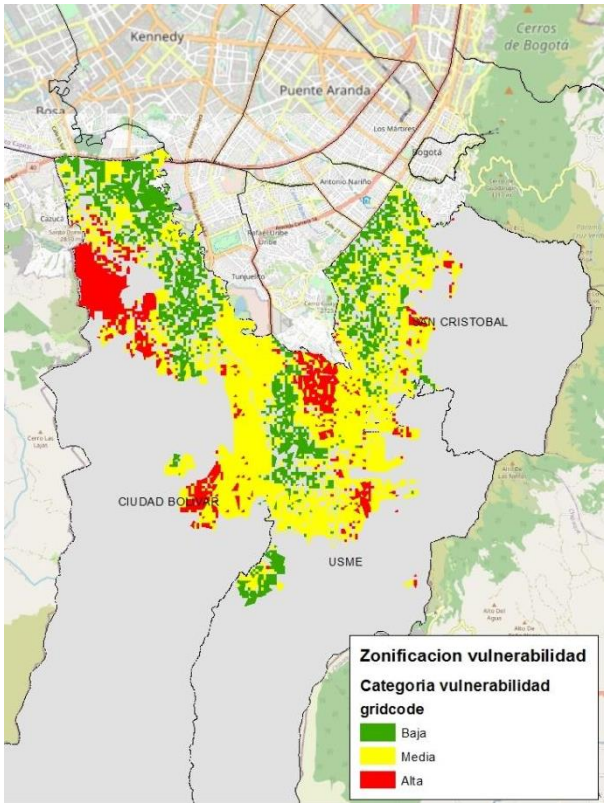

Figura 4. Mapa de vulnerabilidad.

Discusión

En este proyecto se realizó de manera exitosa una zonificación de la vulnerabilidad a movimientos en masa de la población de Ciudad Bolívar, Usme y San Cristóbal, esto se hizo con el fin de proporcionar información significativa para las personas que toman decisiones en la ciudad de Bogotá y poder las medidas necesarias para mitigar el riesgo, ya sea mediante el reasentamiento de las personas que habitan zonas con vulnerabilidad alta, generado planes de desarrollo lejos de las zonas con altas pendientes de la ciudad o exigiendo que las edificaciones que se hagan en dichas zonas cumplan con estándares de seguridad.

Cómo se logra ver en la figura 4, los resultados obtenidos son los esperados, ya que se lograron identificar de manera clara las zonas con vulnerabilidad alta, media y baja para la zona habitada de las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y San Cristóbal. Vemos como esta vulnerabilidad se encuentra en categoría alta en las zonas más al sur de Bogotá, esto debido a que en esas zonas las pendientes son más altas y la población que suele habitar en esas zonas, construyen sus viviendas en material reciclado con una ausencia casi total de servicios de acueducto o alcantarillado.

Dentro de los hallazgos se encontró que la manera en que se tomó la información de lluvia no es la más adecuada, esto debido a que la climatología de Bogotá se comporta de manera bimodal, es decir dos períodos lluviosos intercalados con dos periodos secos, por lo tanto la lluvia que se registra mensualmente a lo largo del año no es similar y esto se traduce a una vulnerabilidad dinámica, que va cambiando a medida que se presentan o no lluvias a lo largo del año.

De igual manera para un futuro se podría enriquecer este estudio tomando en cuenta otros factores detonantes de los movimientos en masa como lo son los eventos sísmicos y las diferentes respuestas del suelo y las edificaciones ante este tipo de movimientos, también se podría ampliar el análisis de la variable lluvia teniendo en cuenta la duración e intensidad de la lluvias que se presentan.

VI. CONCLUSIONES

- Dentro de la zona de estudio se encuentra que el mayor porcentaje corresponde a una vulnerabilidad media, seguida de la vulnerabilidad baja y finaliza con el menor porcentaje la vulnerabilidad alta.
- Se debe crear un mapa de vulnerabilidad más dinámico, debido al dinamismo de las variables que influyen en su categorización.
- En las zonas catalogadas con vulnerabilidad alta, se deben tomar acciones para evitar que esta población sufra daños grandes.
- Se debe evitar el emplazamiento de viviendas en las zonas altas del sur de la ciudad, hasta no garantizar que dichas viviendas cuenten con todos los elementos de seguridad.

REFERENCIAS

[1] Servicio Geológico Colombiano, “Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa,” p. 20, 2016.

[2] Beltran, C. (17 de Agosto, 2019). 17 familias afectadas por derrumbe en Caracolí. *Conexión Capital.* Recuperado de https://conexioncapital.co/17-familias-afectadas-por-derrumbe-en-caracoli/.

[3] El Tiempo. (21 de marzo de 2015). Evacúan a 190 familias en sur de Bogotá tras deslizamiento de tierra. *El Tiempo.* Recuperado de https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15439075.

[4] Semana. (5 de junio de 2020). Así se construyó el mapa de los 403 barrios más pobres de Bogotá. *Semana.* Recuperado de https://www.semana.com/nacion/articulo/el-mapa-de-los-403-barrios-mas-

pobres-de-bogota/669419.
[5] Morales, N. F., (2017), *Teledetección Espacial*, Huánuco, Peru, Geomatica Ambiental S.R.L.
[6] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (2016), *Especificaciones técnicas Cartografá Básica Digital*, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
[7] Corté, J., (2018), ¿Sabe usted como funciona la estratificación? Aquí se lo contamos. Alcaldía de Bogotá: Estratificación todo lo que debe saber de https://bogota.gov.co/mi-ciudad/planeacion/estratificacion-todo-lo-que-debe-saber
[8] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2008). Estudio de la caracterización climatíca de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa.
[9] Benayas, R., (16 de julio de 2018). Superposiciónponderada con ArcGIS. Recuperado de https://www.geasig.com/superposicion-ponderada-con-arcgis/.
[10] N. Kikon, P. Singh, S. K. Singh, and A. Vyas, "Assessment of urban heat islands (UHI) of Noida City, India using multi-temporal satellite data," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 22, pp. 19–28, 2016.