

Evaluación de amenazas naturales asociadas al área de influencia de la bocatoma del municipio de Ubaté, Cundinamarca

Assessment of natural threats associated with the area of influence of the mouth of the municipality of Ubaté, Cundinamarca

Ana Silvia Duarte López^{*}, Lilia Juliana Marroquín Ojeda^{**} y Maritza Páez Silva^{***}

Cómo citar:

Duarte López, A. S., Marroquín Ojeda, L. J., & Páez Silva, M. (2020). Evaluación de amenazas naturales asociadas al área de influencia de la bocatoma del municipio de Ubaté, Cundinamarca. *Ingeciencia*, 5, 81-94.

^{*} Ingeniera ambiental de la Universidad Central. Correo: aduarte11@ucentral.edu.co
^{**} Ingeniera ambiental de la Universidad Central. Correo: lmarroquino1@ucentral.edu.co
^{***} Ingeniera ambiental de la Universidad Central. Forma parte del Grupo de Investigación Agua y Desarrollo Sostenible de la misma universidad. Correo: mpaezs2@ucentral.edu.co

Resumen

En los sistemas de abastecimiento de agua potable, la ocurrencia de fenómenos naturales puede afectar gravemente la bocatoma, ocasionar interrupciones en el suministro y, por lo tanto, afectar a la población abastecida. Esta investigación evalúa el grado de amenaza por fenómenos naturales que tiene la bocatoma del acueducto del municipio de Ubaté, Cundinamarca. En la primera fase se diagnosticó el área de influencia de la bocatoma empleando información secundaria, visitas de campo y una entrevista al encargado de servicios públicos. En la segunda fase se identificaron las amenazas aplicando modelos espaciales, seleccionados mediante una revisión bibliográfica sistemática, y se ponderaron las variables incluidas en cada amenaza. En la tercera fase, los mapas resultantes se categorizaron y evaluaron en amenaza baja, media y alta para cada fenómeno analizado. Los resultados muestran que el 12% del área de influencia presenta una amenaza alta por remoción en masa, el 15% es altamente susceptible a incendios forestales, el 34% tiene una amenaza alta por el fenómeno de inundación y el 33%, por fenómenos de erosión.

Palabras clave: amenazas naturales, bocatoma, modelos espaciales, Ubaté.

Abstract

In drinking water supply systems, the occurrence of natural phenomena can seriously affect the intake, cause interruptions in the supply and, therefore, affect the supplied population. This research evaluates the degree of threat due to natural phenomena that the intake of the aqueduct of the municipality of Ubaté, Cundinamarca, has. In the first phase, the area of influence of the intake was diagnosed using secondary information, field visits and an interview with the person in charge of public services. In the second phase, the threats were identified by applying spatial models, which were selected from a systematic bibliographic review, and the variables included in each threat were weighted. In the third phase, the resulting maps were categorized and evaluated as low, medium and high threat for each phenomenon analyzed. The results show that in the area of influence, 12% present a high threat due to mass removal, 15% highly susceptible to forest fire events, 34% demonstrate a high threat to the phenomenon of flooding and 33% have a high threat due to erosion phenomena.

Keywords: intake, natural hazards, spatial models, Ubaté.

1. Introducción

En Colombia, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) es la entidad encargada de reducir el riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas tanto en vidas, medios de subsistencia y salud, como en bienes físicos, sociales, culturales y ambientales de las personas, las empresas, las comunidades y los países. Según esta dependencia (UNGRD, 2014), durante el período 2006–2014 se registraron 3181 muertos y 12,3 billones de afectados por fenómenos naturales en el país. Asimismo, en cuanto al nivel de exposición en el territorio nacional, el 36 % se encuentra en situación de amenaza sísmica alta, el 28 % en alto potencial de inundación y el 8 % en amenaza alta por movimientos en masa.

Para el sector de agua potable y saneamiento básico, conocer el nivel de riesgo al que están expuestos los sistemas de prestación es el soporte para diseñar e implementar medidas de reducción (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & UNGRD, 2014). Entre los fenómenos que pueden representar amenazas para este sector se encuentran los de origen natural, los socio-naturales y los antrópicos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio & UNGRD, 2014). Los daños ocasionados por fenómenos naturales en los sistemas de acueducto y alcantarillado muestran una tendencia creciente. De estos, uno de los más representativo ha sido el fenómeno de El Niño que ocurrió de 2009 a 2010, el cual generó racionamiento y desabastecimiento de agua en por lo menos 130 municipios del país (11,6 %). En materia de pérdidas y costos de reconstrucción de sistemas de acueductos y saneamiento básico, los recursos destinados están cerca de los \$514 millones, de un total de \$9,3 billones del Fondo de Recursos de Adaptación (Ministerio de Hacienda, 2014).

En el ámbito internacional, el interés por la identificación del riesgo abarca no solamente el concepto de *amenaza*, sino también el de *vulnerabilidad*. En América del Sur, se registran varios estudios, como la geomorfología aplicada a la evaluación de amenazas de origen natural en Chile (Ibarra *et al.*, 2016), la vulnerabilidad educativa ante incendios forestales (Jaque *et al.*, 2019), la identificación de áreas susceptibles por deslizamientos en el Catón Mira, Ecuador (Patiño, 2019), y la identificación de amenazas en áreas de recarga hídrica en la provincia de Cotopaxi, Ecuador (Guzmán, 2019). En la zona central del continente, se han implementado metodologías para elaborar mapas de susceptibilidad en Chiapas (Paz *et al.*, 2017).

En Colombia se han realizado estudios en diferentes municipios, tales como: zonificación del riesgo por deslizamientos en el municipio de Pensilvania, Caldas (Cárdenas, 2019); determinación de posibles zonas en amenaza por inundación en el municipio de Mompos, Bolívar (Ruiz & Salazar, 2017); evaluación de la amenaza por movimientos en masa en el casco urbano del municipio de Tenza, Boyacá (Fajardo, 2019), entre otros. La mayoría de estos trabajos se enfocan en el procesamiento digital de imágenes satelitales y el uso de sistemas de información geográfica (SIG). En el período de análisis (1994–2016), estas investigaciones abordaron, sobre todo, fenómenos de remoción en masa, inundaciones, incendios forestales y deforestación (DesInventar, 2016).

Específicamente, la captación del acueducto del municipio de Ubaté, Cundinamarca, compuesta por una bocatoma de fondo, se encuentra ubicada al margen del río Ubaté en la vereda Sucunchoque. Si bien se han realizado algunos estudios, como el diagnóstico del acueducto (Consorcio SES-ARQ, 2012) e informes hidráulicos e hidrológicos, no se han hecho investigaciones que permitan identificar y evaluar las amenazas naturales en el área de influencia de la bocatoma del municipio de Ubaté, objetivo general de este trabajo.

2. Materiales y métodos

La evaluación de las amenazas en el área de influencia de la bocatoma del acueducto de Ubaté se desarrolló en tres fases, que se describen a continuación.

2.1 Fase 1: diagnóstico

El diagnóstico se elaboró a partir de información sobre el medio físico (geología, geomorfología, relieve, precipitación y temperatura), biofísico (cobertura vegetal) y socioeconómico (uso actual de la tierra). Con este objetivo se consultaron los estudios del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca (Pomca) del río Ubaté (Corporación Autónoma Regional [CAR], 2005), así como el informe plan maestro de acueducto del municipio de Ubaté (Consorcio SES-ARQ, 2012). La información análoga y cartográfica utilizada en el estudio fue la siguiente:

- Geología de la plancha 209 Zipaquirá, escala 1:100 000, Servicio Geológico Colombiano.
- *Shapefile* de geomorfología de 2018, escala 1:25 000, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- *Shapefile* de curvas de nivel de la Cartografía Base a escala 1:25 000, Datos abiertos Cartografía y Geografía, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Precipitación total anual de 1961 a 2017, estaciones CAR Campamento Ubaté, La Boyera, Carmen de Carupa, Tapias, Isla del Santuario y Sutatausa.
- Temperatura promedio mensual de 1981 a 2018, Isla del Santuario, Sutatausa, Novilleros, Carupa y Carrizal, estaciones CAR e Ideam.
- Imagen de satélite Sentinel de 2018, Copernicus.
- *Shapefile* de uso actual de la tierra escala 1:100 000, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Se realizaron visitas de campo al área de influencia de la bocatoma para determinar y georreferenciar las especies vegetales presentes, identificar las posibles amenazas por los fenómenos naturales y el desarrollo de actividades antrópicas. Para precisar la vegetación de la zona, se realizó un proceso de teledetección ambiental utilizando el método de clasificación supervisada con el *software* ArcGis 10.7. Finalmente, el estudio se apoyó con la entrevista a la empresa de servicios públicos del municipio Emservilla S. A.

2.2 Fase 2: determinación de amenazas

Las amenazas que se analizaron fueron remoción en masa, inundaciones, incendios forestales y erosión, para lo cual se consultó el reporte de DesInventar¹ sobre la ocurrencia de estos fenómenos, excepto para erosión. Asimismo, se hizo una revisión bibliográfica en bases de datos del período 2013–2021 sobre metodologías espaciales para determinar estas amenazas y elegir un método para cada una que fuera adecuado a las condiciones del área de estudio.

1 Base de datos creada por la corporación OSSO (Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano) que permite ver los desastres desde una escala espacial local (municipio), al integrar la gestión del riesgo entre actores e instituciones, sectores y gobiernos provinciales y nacionales.

Cada mapa es producto del análisis espacial y de la suma ponderada de las variables que los comprenden, previamente clasificadas en relación con la susceptibilidad a la amenaza, en alta, media o baja; la ponderación se obtuvo por medio de la consulta a expertos, quienes realizaron una calificación cuantitativa y cualitativa.

2.3 Fase 3: evaluación de la amenaza

Para evaluar la amenaza, y de acuerdo con el resultado de las variables, cada mapa fue categorizado en amenaza baja, media y alta. Debido a que existen diferencias entre la categorización de las variables, fue necesario estandarizarlas con el criterio de normalización propuesto por Malczewski (como se citó en Gómez & Barredo, 2006).

Los modelos elegidos y el mapa resultante para cada amenaza se presentan en las figuras 1 a 4, en cuya ecuación se incluye la ponderación de cada variable. Con el fin de validar los modelos, en cada mapa se incluye el histórico de los eventos ocurridos en el área de estudio, tomados a partir de la información de DesInventar.

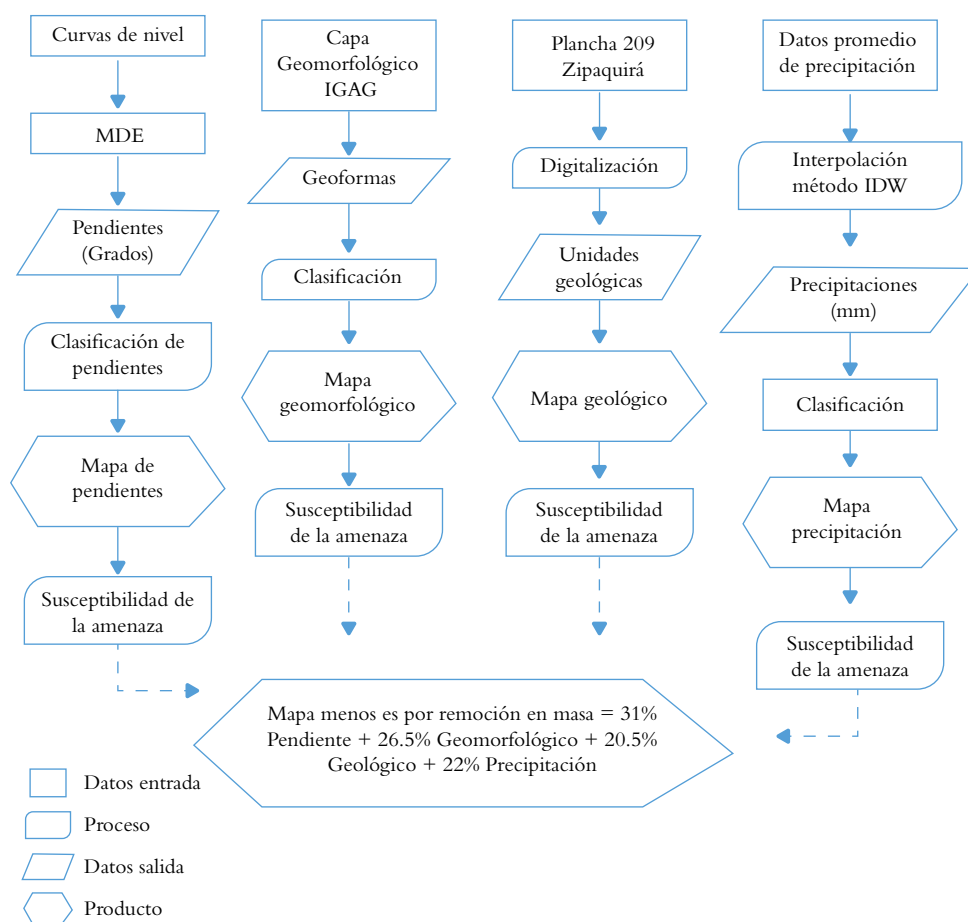


Figura 1. Modelo de amenaza por remoción en masa.

Fuente: Cárdenas (2019).

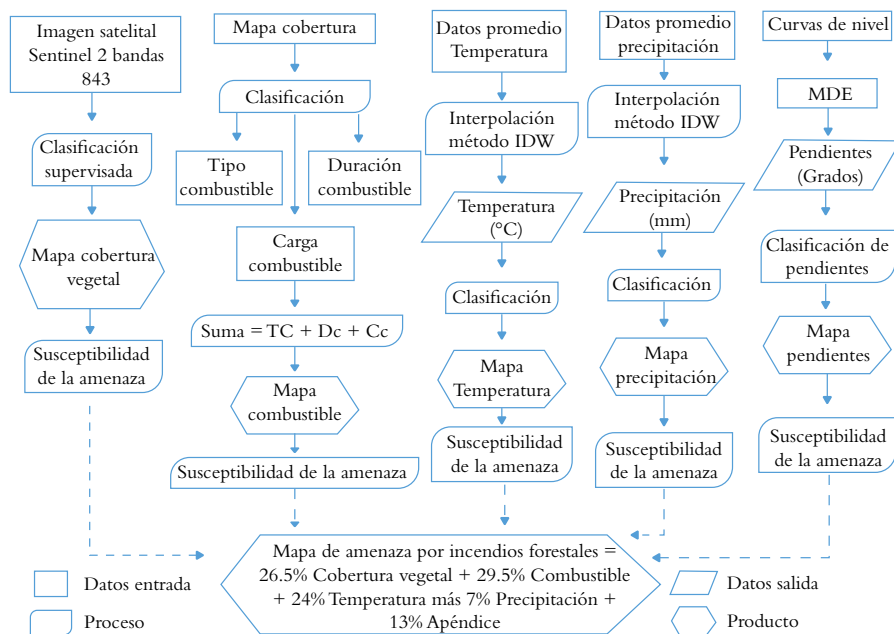


Figura 2. Modelo de amenaza por incendios forestales.

Fuente: Ideam (2011).

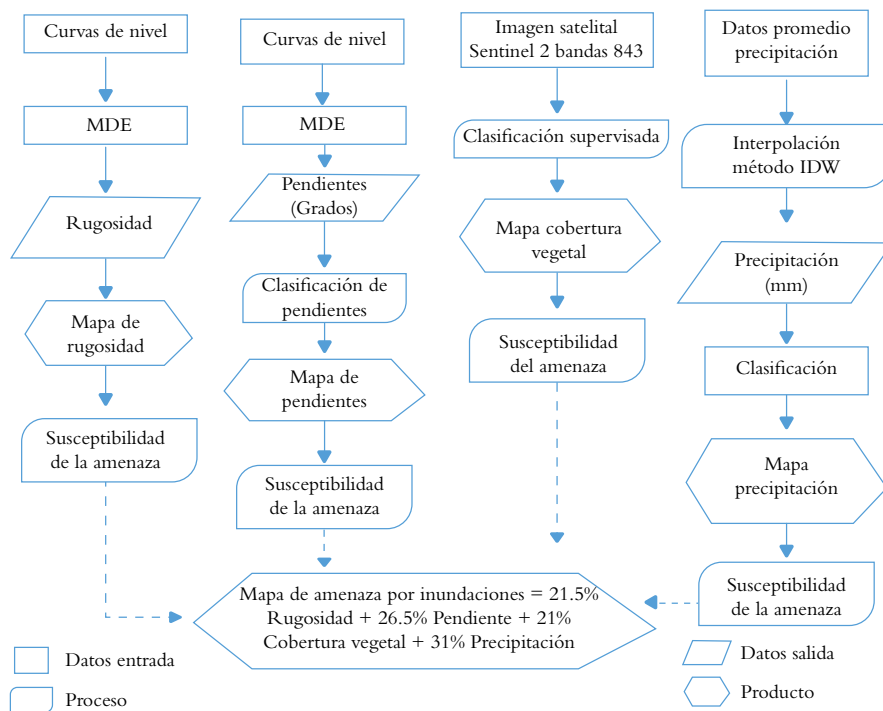


Figura 3. Modelo de amenaza por inundaciones.

Fuente: adaptado de Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare) y Gobernación de Antioquia (2012).

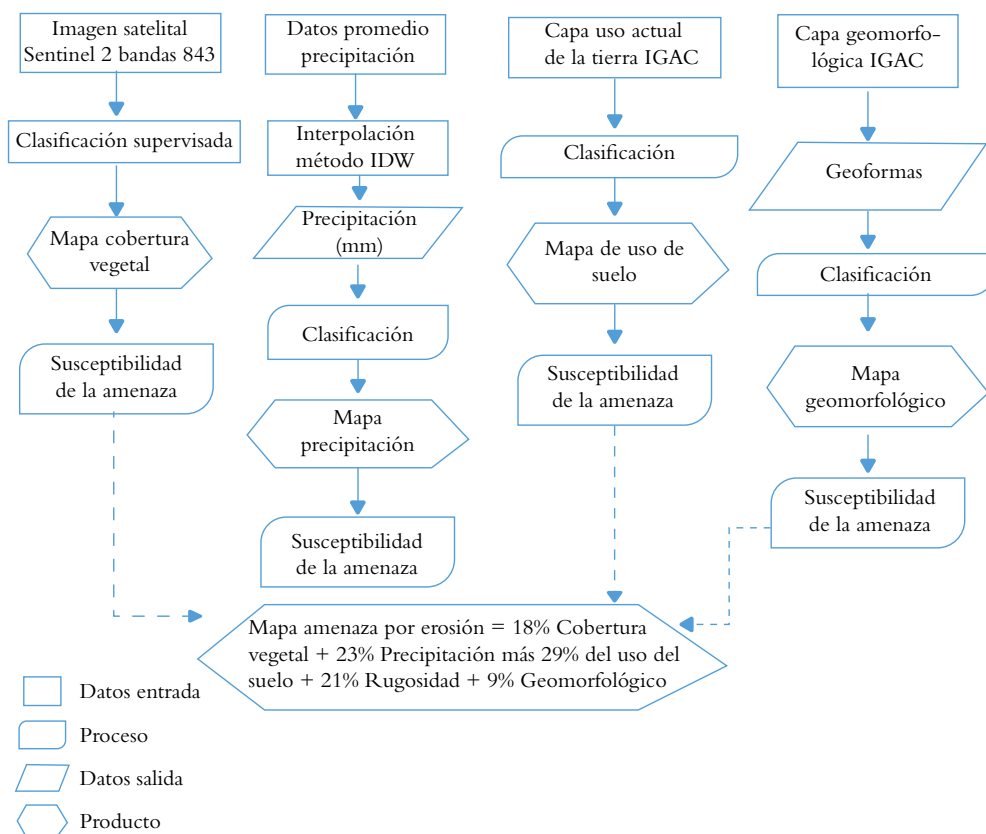


Figura 4. Modelo de amenaza por erosión.

Fuente: adaptado de Pérez (2001).

3. Resultados y discusión

La categorización de las amenazas por fenómeno se describe en las figuras 5 a 8. El análisis para la categoría de amenaza alta se hace posteriormente.

3.1 Amenaza por remoción en masa

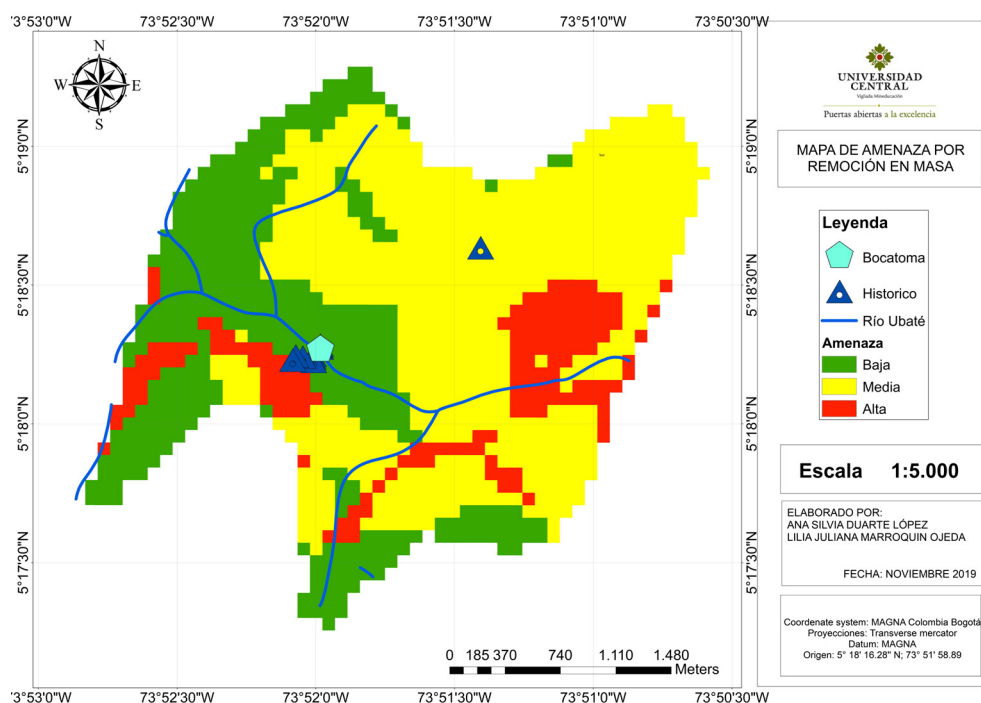


Figura 5. Mapa de amenaza por remoción en masa.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados muestran que el 12% del área se encuentra en amenaza alta por remoción en masa, la cual obedece a que la zona montañosa tiene pendientes superiores al 40%. El área tiene presencia de lodolitas gris oscuro con intercalaciones delgadas de cuarzoarenitas de textura fina, materiales susceptibles a deslizamientos que tienden a desintegrarse después de varios ciclos de secado y humedecimiento, lo cual concierne con la precipitación media anual (entre 700 mm y 785 mm) y que se evidencia por los desprendimientos de roca ante la ausencia de vegetación.

El estudio de Patiño (2019) muestra que la susceptibilidad a deslizamientos se encuentra en un terreno ligeramente ondulado con un grado de pendiente de 5° a 15° que está extendido a lo largo del territorio; la amenaza alta representa el 9% del territorio, y para determinar la susceptibilidad se tuvo en cuenta la cercanía de asentamientos poblacionales o vías de tránsito; adicionalmente, el análisis multicriterio muestra coincidencia, debido a que se le da mayor valoración a la precipitación, por ser un factor detonante dependiendo de la cantidad de lluvia que cae en un tiempo determinado.

Al respecto, en el estudio propuesto por Cárdenas (2019) se encuentra similitud en el grado de pendientes que oscilan entre los 19° y los 40°, de manera que los dos centros poblados mencionados se encuentran cerca de la zona de amenaza alta para deslizamientos. Finalmente, el análisis multicriterio evidencia que la mayor valoración es la de pendientes, seguida por la precipitación.

3.2 Amenaza por incendios forestales

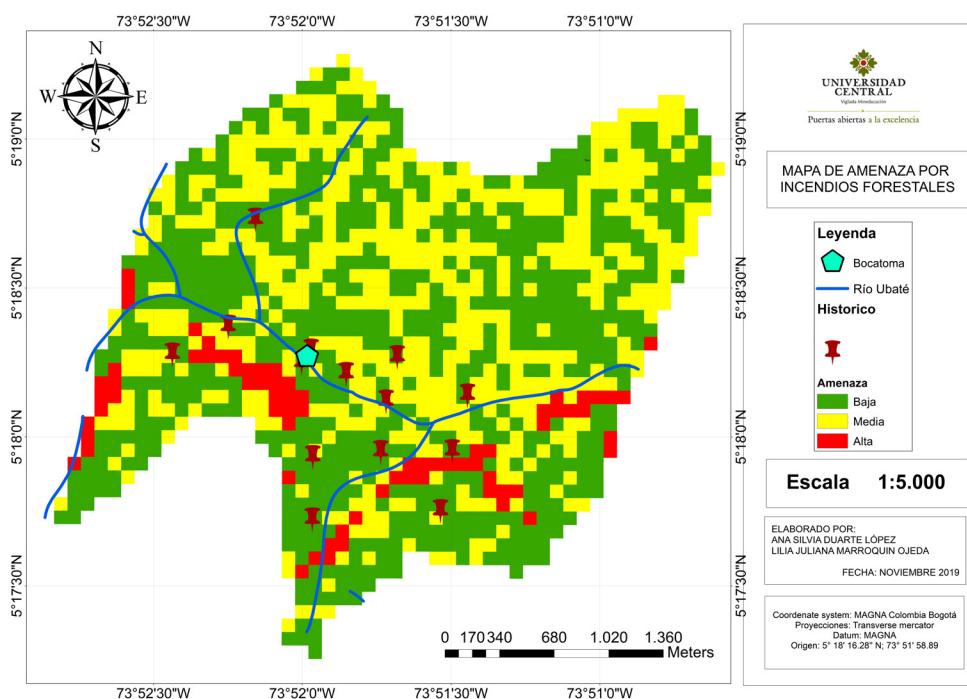


Figura 6. Mapa de amenaza por incendios forestales.
Fuente: elaboración propia.

El 15% del área presenta amenaza alta por incendios forestales. En alta montaña, la vegetación alberga especies como ciro, ocal, hayuelos y fique, así como una plantación forestal de eucalipto y acacia, las cuales propagan el fuego y son susceptibles a desaparecer ante estos fenómenos.

Al respecto, en un estudio realizado en la comuna de Penco (Chile), Jaque *et al.* (2019) identificaron una interfaz urbana-forestal en la que el riesgo de amenaza alta por causas intencionales es del 40% en los lugares habitados, de acuerdo con la encuesta que realizaron a la población. Esto indica que este tipo de fenómeno no se da de manera natural, sino que es una afectación antrópica.

3.3 Amenaza por inundaciones

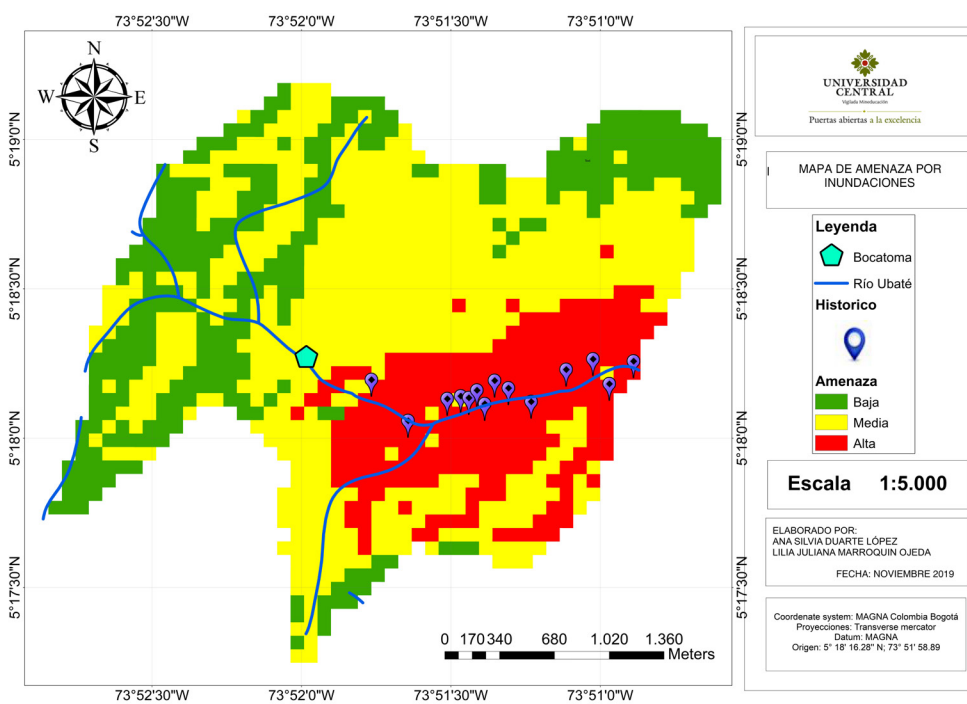


Figura 7. Mapa de amenaza por inundaciones.

Fuente: elaboración propia.

La amenaza alta por inundaciones es del 34% y se presenta en zonas de pendientes bajas, alta presencia de suelos desnudos, pasto nativo y ocal. Normalmente, la zona presenta precipitaciones altas, que se incrementan en la temporada de invierno, lo cual ocasiona crecientes e inundaciones. El cauce del río Ubaté discurre por una franja encañonada, de altas pendientes y de áreas transversales muy angostas, lo cual facilita el desbordamiento del río en períodos de altas precipitaciones.

Respecto a este riesgo, si bien en el estudio de caso que realizaron Ruiz y Salazar (2017) se encuentran escasos datos históricos, los investigadores determinaron una susceptibilidad a inundaciones del 86%. Con base en esta información, clasificaron la amenaza como media, debido a que las coberturas del suelo corresponden en gran proporción a lagos y lagunas. En la presente investigación se contó con un reporte de catorce datos históricos ubicados en la zona de amenaza alta, lo cual significa que el modelo utilizado puede ser replicado en lugares similares debido a la alta correspondencia de la ocurrencia de eventos.

3.4 Amenaza por erosión

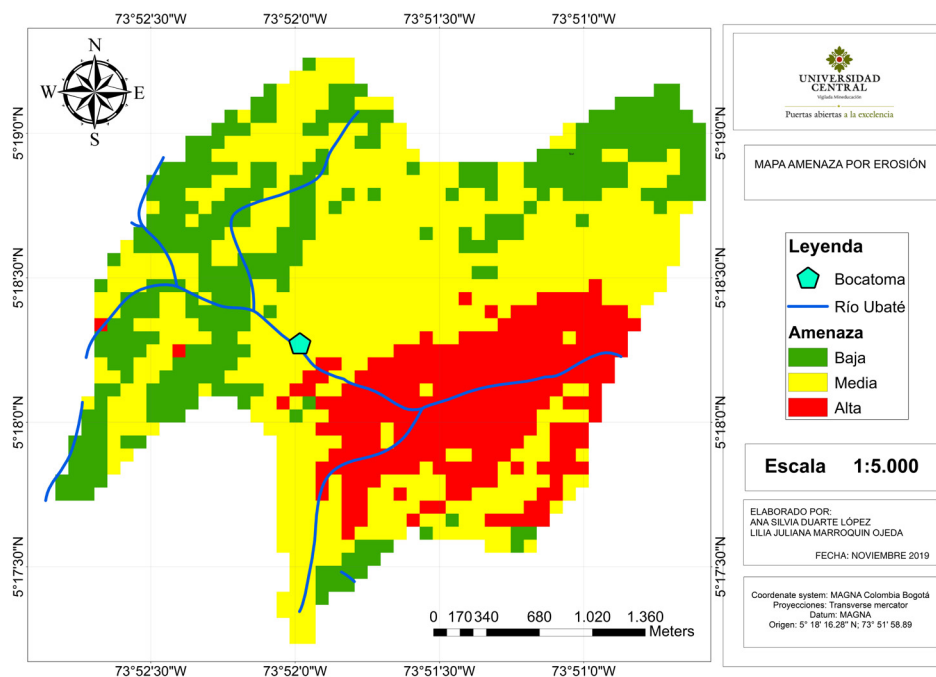


Figura 8. Mapa de amenaza por erosión.

Fuente: elaboración propia.

El nivel de amenaza alta por erosión equivale al 33% de la zona estudiada. En general, se identifica montaña estructural, lo cual hace que se produzca con mayor facilidad el desprendimiento vegetal que causa la erosión. Además, se debe tener en cuenta que, cuando se presentan condiciones de sequía, el ocal elimina la vegetación circundante porque absorbe el agua disponible con sus raíces. De otra parte, en cuanto a la degradación del suelo que se identifica en la orilla del río, se puede afirmar que es producida por la actividad agrícola y ganadera. Finalmente, se encuentra que los suelos desprotegidos presentan erosión hídrica debido a que las gotas de lluvia caen directamente y generan grietas, lo cual se evidenció durante las visitas en las rocas dispuestas en los taludes periféricos a la bocatoma.

4. Conclusiones

El área de estudio presenta pendientes con inclinación mayor de 40° y predominan montañas estructurales que varían entre los 2600 ms.n.m. y los 3000 ms.n.m. La presencia de lodolitas, rocas que contienen cantidades importantes de arcilla —denominadas genéricamente como lutitas—, hace que los terrenos sean propensos a fenómenos de erosión y remoción en masa. Se presentan fenómenos como inestabilidad geotécnica, erosión constante, reptación, fragmentación del suelo en áreas sin presencia de vegetación y carcavamiento debido a la infiltración de agua. Predomina la vegetación nativa de alta montaña con especies de diferentes características, algunas de las cuales promueven la erosión hídrica debido a su absorbancia y otras propagan fácilmente el fuego por su duración como combustible.

El 12% del área presenta una amenaza alta por remoción en masa, la cual se localiza en la periferia oriental debido a los taludes aferentes al sistema de captación, con pendientes superiores a los 40°. Además, el 15% de la zona es altamente susceptible a eventos de incendios forestales, ubicada en la parte alta de las zonas montañosas, debido a que la mayoría de las especies de cobertura vegetal que alberga propagan fácilmente el fuego. En cuanto al fenómeno de inundación, el 34% del área presenta amenaza alta en las zonas de bajas pendientes. En este sentido, se debe tener en cuenta que el cauce del río Ubaté discurre por una franja encañonada, de altas pendientes y de áreas transversales muy angostas, lo cual facilita el desbordamiento del río en períodos de altas precipitaciones. Asimismo, se encontró que el 33% de la zona tiene amenaza alta por fenómenos de erosión, lo cual es resultado de la destrucción de las coberturas vegetales en las partes altas de la cuenca debido a las prácticas inapropiadas de ganadería extensiva y agricultura. Esto, a su vez, genera suelos degradados que, en combinación con la pendiente, favorecen las variables erosivas.

Finalmente, se concluye que los modelos de evaluación de amenazas por remoción en masa e inundaciones seleccionados son replicables en lugares similares al área estudio, debido a que los resultados de amenaza alta son correspondiente con la ocurrencia de eventos en la zona.

Agradecimientos

A la directora de trabajo de grado, Maritza Páez Silva, por su dedicación, exigencia, profesionalismo, compromiso y apoyo en la culminación de la investigación. A la Universidad Central, por guiar el proceso de aprendizaje. A la empresa Emservilla, S.A., por el acompañamiento y el acceso a la información.

Referencias

- Cárdenas, R. (2019). *Zonificación del riesgo por deslizamientos e inundaciones en el municipio de Pensilvania, Caldas (Colombia)* [Tesis de maestría, Universidad de Salzburg]. https://issuu.com/unigis_latina/docs/cardenas_ronald_2015b
- Consortio SES-ARQ. (2012). *Informe diagnóstico: Ajuste, actualización, terminación o formulación de planes maestros de los sistemas de acueducto y alcantarillado en zonas urbanas y centros nucleados del departamento de Cundinamarca: Formulación plan maestro de acueducto municipio de Ubaté departamento de Cundinamarca*.
- Corporación Autónoma Regional [CAR]. (2005). *Plan de ordenamiento de la cuenca de los ríos Ubaté y Suárez: Diagnóstico general*. CAR. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac693c13ebab.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare [Cornare] & Gobernación de Antioquia. (2012). *Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de La Ceja*. Divergráficas. <https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/LA-CEJA/INFORME-FINAL-LA-CEJA.pdf>

- DesInventar. (2016). Sistema de Inventario de Desastres. Corporación OSSO – Colombia. <https://db.desinventar.org/DesInventar/main.jsp>
- Fajardo, O. E. (2019). *Evaluación de la amenaza por movimientos en masa en el casco urbano del municipio de Tenza, departamento de Boyacá* [Tesis de especialización, Universidad Católica de Manizales]. Repositorio UCM. <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/2628>
- Gómez, M., & Barredo, J. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio* (2.^a ed.). Grupo Editorial RA-MA.
- Guzmán Agualongo, W. A. (2019). *Identificación de las amenazas en las áreas de recarga hídrica de mayor importancia en el piso bioclimático BsBn04 en la parroquia el Tingo Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio UTC. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5898>
- Ibarra Cofré, I., Castro Correa, C. P., Soto, M.-V., & Rauld, R. (2016). Geomorfología aplicada a la evaluación de amenazas de origen natural en la zona sur de la columna de Pichilemu, Región de O'Higgins, Chile. *Investigaciones Geográficas Chile*, 51, 61-80. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2016.42521>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000*. Ideam. <https://bit.ly/2F660Tg>
- Jaque Castillo, E., Castillo, C., Ojeda Leal, C., & Díaz, P. (2019). Vulnerabilidad educativa ante incendios forestales en el Área Metropolitana de Concepción. Caso de estudio: Penco, Chile. *Estudios Socioterritoriales*, 25, Artículo e022. <https://doi.org/10.37838/unicen/est.25-022>
- Ministerio de Hacienda. (2014). *Fondo Adaptación – Plan De Acción 2014: Planeación y gestión del Fondo Adaptación bajo un enfoque de rendimiento institucional*. Fondo de Adaptación; Ministerio de Hacienda. <https://bit.ly/3aj2KXA>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, & Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2014). *Herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres en los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo*. Enlace Publicitario Editores. <https://repositorio.gestion-delriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/20088>
- Patiño, S. (2019). *Identificación de áreas susceptibles a amenazas y riesgos naturales provocadas por deslizamiento de tierras mediante el uso de SIG en el cantón Mira*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra]. Repositorio Pucesi. <https://dspace.pucesi.edu.ec/handle/11010/281?locale=en>
- Paz Tenorio, J. A., González Herrera, R., Gómez Ramírez, M., & Velasco Herrera, J. A. (2017). Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del casco ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*, 92, 1-16. <https://doi.org/10.14350/rig.52822>
- Pérez, S. (2001). *Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando Sistemas de Información Geográfica* [Tesis de especialización, Universidad Industrial de Santander]. <https://bit.ly/3yJJXOq>

- Ruiz Morales, T., & Salazar Duarte, L. (2017). *Determinación de posibles zonas en amenaza por inundación en el municipio de Mompós-Bolívar, mediante el uso de procesamiento digital de imágenes y herramientas SIG y su posterior publicación como datos abiertos (Open Data)* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio UDISTRITAL. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7269>
- Unidad Nacional Para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2014). *Informe de Gestión 2014*. UNGRD. <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Informe-de-gestion.aspx>