

Evaluation of landslides susceptibility models in the basin of La Valeria stream, Caldas, Antioquia.

Evaluación de modelos de susceptibilidad a movimientos en masa en la microcuenca de la quebrada La Valeria, Caldas, Antioquia

Kevin Villegas-Tamayo ^a

^a Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. kvillegast@unal.edu.co

Abstract

The basin of La Valeria stream is located in the municipality of Caldas, Antioquia. Heuristic, bivariate and multivariate landslides susceptibility models are developed in this watershed, at a detailed scale of 1:10000, which are evaluated according to their predictive capacity. These models provide valuable information for land use planning and risk mitigation in the region.

Keywords: Basin; landslide, model, susceptibility.

Resumen

La microcuenca de la quebrada La Valeria se encuentra ubicada en el municipio de Caldas, Antioquia. Se desarrolla en ella modelos de susceptibilidad a movimientos en masa de tipo heurístico, bivariado y multivariado, a una escala de detalle de 1:10000, los cuales son evaluados según su capacidad de predicción. Estos modelos proveen información valiosa para el ordenamiento territorial y la mitigación de riesgos en la región.

Palabras clave: Cuenca; movimientos en masa; modelo, susceptibilidad.

1 Introducción

Los movimientos en masa deben ser vistos como una de las más frecuentes causas de desastres en el mundo [1], afectando no solo la infraestructura, sino generando pérdidas de vidas humanas. Toma entonces así gran importancia la investigación relacionada con la predicción de estos eventos [2], enfocado en el ordenamiento territorial y la mitigación de riesgos.

El Valle de Aburrá presenta en múltiples zonas diferentes tipos de amenaza de origen natural, relacionado con la dinámica de población de las laderas [3]. Esto genera la necesidad de estudiar los fenómenos que causarían eventos trágicos en todas estas zonas pobladas.

En el presente trabajo se utilizan y evalúan según la capacidad de predicción, modelos de susceptibilidad a movimientos en masa de tipo heurístico, bivariado y multivariado, a una escala de detalle de 1:10000.

1.1 Zona de estudio

El Valle de Aburrá se encuentra ubicado al norte de la cordillera central de los Andes. Corresponde a una depresión de 1000 m de profundidad respecto a los altiplanos que lo rodean, y alcanza en algunas zonas 10 km de ancho [3].

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá la integran, de norte a sur, los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas. La zona de estudio es jurisdicción casi en su totalidad, de este último [4].

La quebrada La Valeria nace en la cuchilla Romeral, finca La Soledad, y desemboca en el Río Medellín, el más importante del Valle de Aburrá, 14 km después [4].

Al norte limita con la microcuenca de la quebrada la Bermejala; al noroccidente se encuentra la microcuenca de la quebrada la Javielina; al oriente limita con las microcuencas de las quebradas La Culebra, La Chuscala y afluentes directos al río Aburrá y al suroriente se encuentran las microcuencas de las quebradas La Cusumba y La Clara (Área Metropolitana del Valle de Aburrá [5].

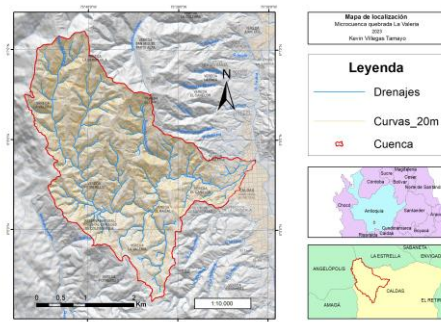


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Fuente propia.

2. Información disponible

Para la realización de modelos heurísticos, bivariados y multivariados, se requiere utilizar grandes cantidades de información, que permita comprender de una manera amplia la zona de estudio. Para ello se utiliza cartografía base e información secundaria.

2.1 Cartografía base

La cartografía base es fundamental para la creación y comprensión de mapas, ya que proporciona la información geográfica esencial que sirve como base para representar de manera precisa y detallada la zona de interés. Para el estudio de la cuenca de interés, se adquiere los siguientes elementos de cartografía base:

- Digital Elevation Model (DEM): Este recurso fue obtenido del AMVA, con un tamaño de píxel de 2×2 , y reescalado a un tamaño de píxel 5×5 , para que fuera acorde a una escala de trabajo 1:10000.

- Hillshade: Obtenido a partir del DEM.

- Curvas de nivel: Obtenidas a partir del DEM. Se escogió una distancia entre curvas de 5 m, para que fuera acorde a una escala de trabajo 1:10000.

- Drenajes: Obtenido a partir del DEM.

- Cartografía base del IGAC: Fue descargada de Colombia en Mapas (<https://www.colombiainmapas.gov.co/>) la cartografía base correspondiente a las planchas: 146IVC2p, 146IVC2u, 146IVC2a, 146IVC1, 146IVC2, 146IVC3, 146IVC4, 146IVC.

2.2 Información secundaria

Esta adquiere gran relevancia en el conocimiento de la zona de estudio. No es suficiente con tener una ubicación y cartografía base, otras características como geología, geomorfología, elevación, pendiente, se vuelven requerimiento del trabajo a realizar. Es utilizada la siguiente información secundaria:

- Elevación: Esta corresponde al mismo DEM. Se puede observar que el valor más alto es 2625 m y el más bajo corresponde a 1729,6 m.

- Aspectos: Obtenida a partir del DEM.

- Pendiente: Obtenido a partir del DEM.

- Curvatura perfil: Obtenido a partir del DEM.

- Flujo acumulado: Obtenido a partir del DEM.

- Geología: Esta información utilizada corresponde a la realizada por Cartoantioquia para el AMVA.

- Geomorfología: Esta información utilizada corresponde a la realizada por Cartoantioquia para el AMVA.

2.3 Inventario de movimientos en masa

Los modelos basados en datos (como el bivariado y multivariado) que se realizan para evaluar la susceptibilidad a movimientos en masa, la variable discreta corresponde parcialmente a un inventario de estos eventos [6], y por lo tanto lo requieren para su realización. Los modelos basados en el conocimiento (como el heurístico) utiliza este recurso para comparar resultados.

Para la microcuenca de la quebrada La Valeria se llevó a cabo la realización de un inventario de movimientos en masa multitemporal, utilizando la herramienta Google Earth Pro. Este inventario posee dentro de su tabla de atributos información como la actividad, año de ocurrencia, área desplazada, y parte del movimiento. Esta última información toma relevancia a la hora de la modelación, pues los resultados obtenidos dependen directamente del polígono seleccionado para el inventario. Así pues, considerando que el área de los escarpes comparado con el área de los depósitos y la no identificada, es mucho más pequeña, y que es poco visible e interpretable para la escala de trabajo, se decide utilizar los polígonos completos, es decir, escarpe más depósito.

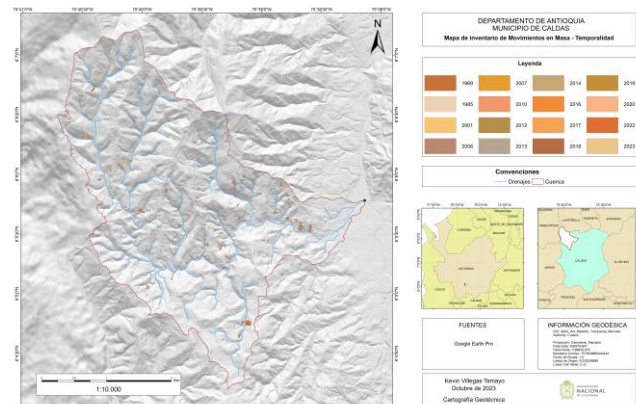


Figura 2. Inventario de movimientos en masa. Año de ocurrencia

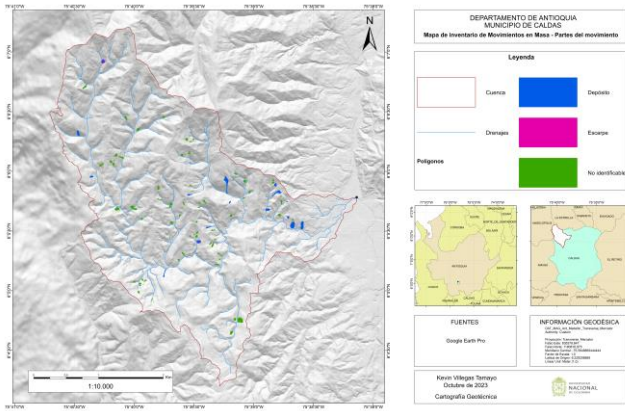


Figura 3. Inventario de movimientos en masa. Parte del movimiento.

3. Variables

De la información disponible, específicamente la información secundaria, obtenemos las variables condicionantes potenciales. Estas deben ser sometidas a análisis exploratorios que permita conocer y comprender el comportamiento y organización de los datos de la variable, además de un análisis univariado y multivariado. Los análisis y resultados del análisis de las variables se presentan a continuación:

La geomorfología no se considera apropiada para el uso, pues la disposición de otras variables morfométricas como pendiente, aspectos, elevación, curvatura, representan mucho mejor la geomorfología, evitando así un sobre entrenamiento del modelo. En el caso de la geología, se puede observar que casi toda la totalidad de los movimientos en masa ocurrieron en una misma unidad geológica, tal como se muestra en la siguiente imagen. Es por esto que se descarta como variable, pues esta no separaría de manera satisfactoria entre celdas con y sin movimientos en masa

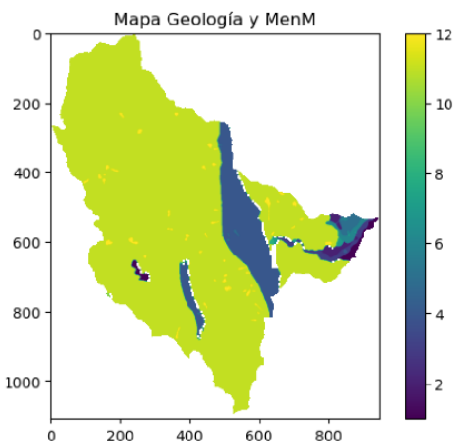


Figura 4. Mapa geológico e inventario. Polígonos amarillos corresponden a movimientos en masa.

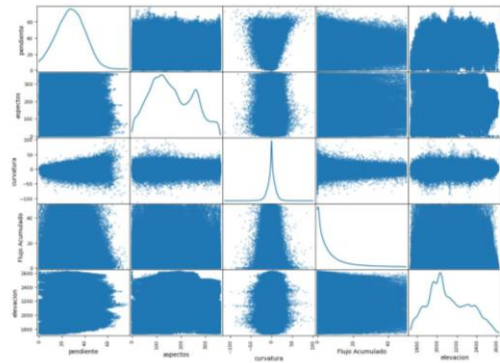


Figura 5. Matriz de correlación 1

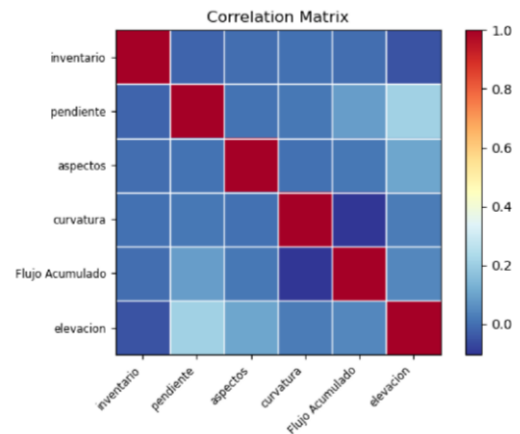


Figura 6. Matriz de correlación 2

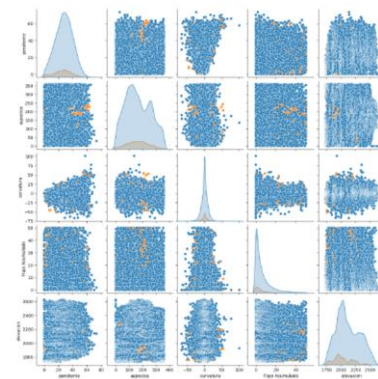


Figura 7. Matriz de correlación 3

En la Figura 5, se comparan las variables continuas, que en este caso son todas las elegidas. Para esto se realiza una matriz de comparación, la cual en su diagonal contiene un histograma de densidad de Kernel, que muestra la distribución de los datos. Se desea observar si existe alguna correlación entre ellas, a partir de tendencias. En este caso, las celdas de la matriz diferentes a la diagonal, no muestra tendencias que den indicios de correlación entre variables.

En la Figura 6, se puede apreciar la misma ausencia de anomalías o tendencias que den indicios de que una variable pueda sobreentrenar el modelo.

En la Figura 7, se puede observar si las variables distinguen entre ocurrencia de MenM o no. Se hace una relación de datos por densidad y MenM. La diagonal principal expone una comparación entre histogramas de la variable, en donde hay y no hay MenM. Como se ve que estos, en todas las variables, son distintos, es decir, que no se tapan uno con el otro, es posible afirmar que las variables permiten hacer la distinción entre ocurrencia y no ocurrencia.

Al realizar una correlación de las variables independientes elegidas, teniendo en cuenta la ocurrencia o no de movimientos en masa, vimos que las estas son estadísticamente significativas, ya que la diferencia entre sus medias es menor a 5%.

	pendiente	aspectos	curvatura	Flujo Acumulado	elevacion
inventario					
0.0	27.756807	165.919617	-0.037623	6.875036	2118.929147
1.0	25.356510	163.149689	0.169285	6.765711	2025.687026

Figura 8. Relación entre variables teniendo en cuenta el inventario.

Por último, un análisis de componentes principales (PCA) permite observar que las variables que más diferencian entre ocurrencia o no de movimientos en masa son aspectos, pendiente, flujo acumulado. Sin embargo, tanto elevación como curvatura tienen una tendencia que muestra que con su aumento, la ocurrencia de movimientos en masa se hace mayor, por lo cual se hacen igualmente relevantes.

Es por resto que las variables seleccionadas para los modelos a realizar son pendiente, aspectos, curvature, flujo acumulado y elevación.

4. Modelos heurísticos y evaluación de desempeño

Estos métodos determinan la susceptibilidad a movimientos en masa, usando el criterio de un experto, quien selecciona las clases para las variables y les asigna pesos, según el conocimiento que tiene de la zona [6].

Para evaluar el desempeño del modelo se utiliza la curva ROC, la cuál arroja información del porcentaje de aciertos que tuvo el modelo. Se presenta el mapa de susceptibilidad y la curva ROC correspondiente.

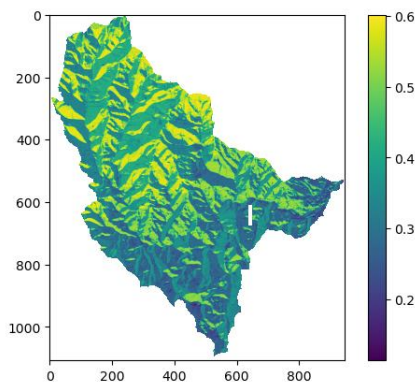


Figura 9. Mapa de susceptibilidad. Métodos heurísticos

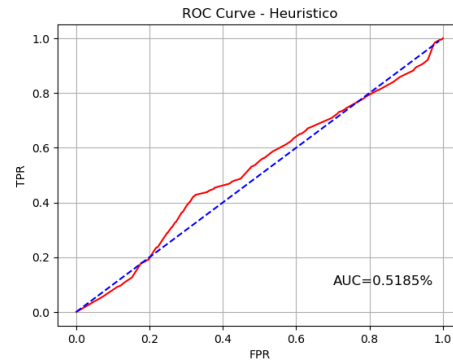


Figura 10. Curva ROC. Métodos heurísticos

5. Métodos basados en datos

• **Bivariados:** Existen varios métodos dentro de este, como lo son Statical index model, Peso de la evidencia, Evidential Belief Funtion (EBF), Certainty Factor (CF) y Frequency ratio model (Likelihood). Combinan la ocurrencia de movimientos en masa con cada una de las variables por separado, obteniendo así los pesos de las clases [6]. Para este trabajo fue utilizado el último de los métodos mencionados.

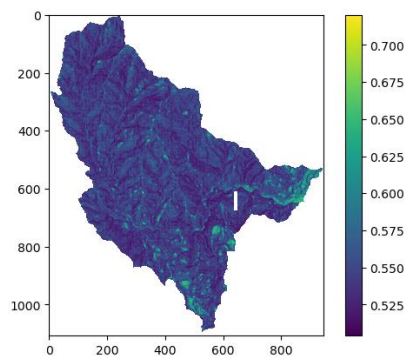


Figura 11. Mapa de susceptibilidad. Likelihood

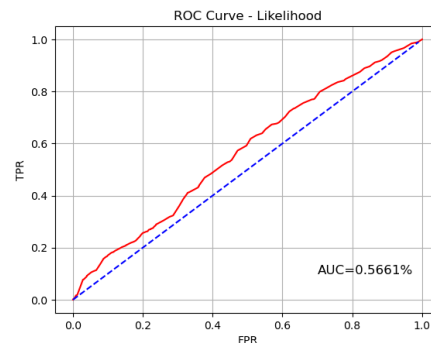


Figura 12. Curva ROC. Likelihood

• **Multivariados:** Existen varios métodos dentro de este, como lo son Método de análisis condicional, Regresión logística, Análisis discriminante lineal, Support vector machine, Random forest. Este, a diferencia del bivariado, realiza la combinación entre la ocurrencia de movimientos en masa y las variables, teniendo en cuenta todas las variables a la vez. Para este trabajo fue utilizado Regresión logística.

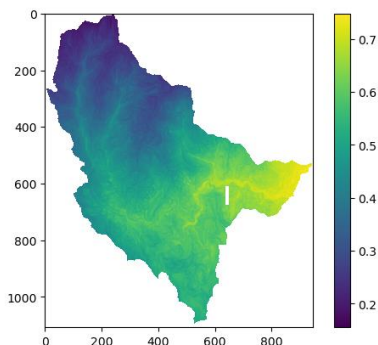


Figura 13. Mapa de susceptibilidad. Regresión logística

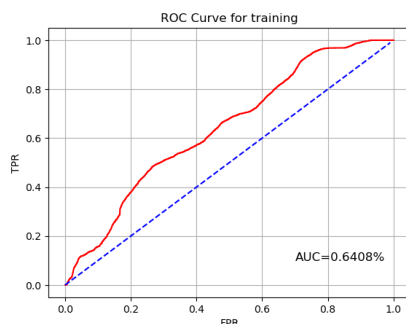


Figura 14. Desempeño. Regresión logística

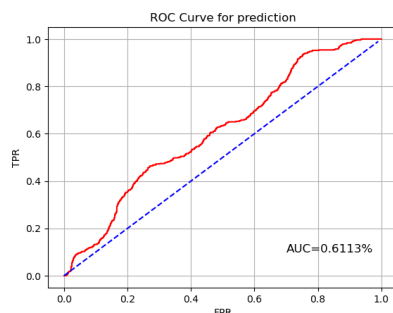


Figura 15. Capacidad de predicción. Regresión logística

6. Discusión

El mayor desempeño teórico se da cuando la curva ROC arroja un valor de 100% [6], pero es algo poco normal. Lo más común es que para un modelo de buen desempeño, el dato arrojado se encuentre entre 50 y 70%.

La mayor curva ROC pertenece al Modelo multivariado – regresión logística. Cabe anotar que los otros modelos evaluados se ubican igualmente en el rango de 50 a 65%.

Seleccionando el modelo con una curva ROC mayor obtenemos que el Modelo multivariado – Regresión logística - es la mayor opción. Cabe resaltar que se debe tener en cuenta no solo el desempeño, sino la capacidad de predicción.

7. Conclusiones

Un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa para la microcuenca de la quebrada La Valeria, teniendo en cuenta las variables seleccionadas (pendiente, aspectos, curvature, flujo acumulado y elevación), la calidad del inventario de movimientos en masa, y los métodos probados (heurístico, likelihood), debe ser realizado mediante un modelo multivariado, específicamente por Regresión logística.

Se debe resaltar que los otros modelos obtuvieron resultados muy similares, dentro del rango aceptable, por lo que también podrían ser utilizados.

8. Referencias

- [1] Aristizábal, E., & Yokota, S. (2006). Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburra. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/26460785_Geomorfologia_aplicada_a_la_ocurrencia_de_deslizamientos_en_el_Valle_de_Aburra
- [2] Marín, R. (2017). IMPORTANCIA DE LA PREDICCIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL VALLE DE ABURRÁ. Revista Ingeniería & Sociedad, Universidad de Antioquia, No. 12, 2017
- [3] Caballero Acosta, J. H., (2011). Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el Valle de Aburrá. Revista gestión y ambiente
- [4] Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2019). Quebrada La Valeria. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/recurso-hidrico/Paginas/aguas-superficiales/quebradas/quebrada-la-valeria.aspx>
- [5] Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (Noviembre de 2007). Plan de ordenación y manejo de la microcuenca de la quebrada La Valeria, del municipio de Caldas.
- [6] Cartografía geotécnica. (2023). https://edieraristizabal.github.io/Libro_cartoGeotecnia/intro.html