

## Cartografía Geotécnica

# Métodos estadísticos para susceptibilidad del terreno en la cuenca de la quebrada Chachafruto en Bello, Antioquia.

Daniel Izef Barreto Tejada

*Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. jdvelasq@unal.edu.co*

Received: Dicember 9th, 2022.

### Abstract

This document compiles the methods and techniques of statistical analysis of data and calculations for the susceptibility of the land to mass movements, in addition, the prediction of a future occurrence of the same taking as a place of study the basin of the Chachafruto stream in Bello, Antioquia.

**Keywords:** mass movements, susceptibility, geology, risk management.

### Resumen

Este documento recopila los métodos y técnicas de análisis estadístico de datos y cálculos para la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa, además, la predicción de una futura ocurrencia de los mismos tomando como lugar de estudio la cuenca de la quebrada Chachafruto en Bello, Antioquia.

**Palabras clave:** movimientos en masa, susceptibilidad, geología, gestión del riesgo.

### 1 Introducción

El aumento en pérdidas humanas y económicas por fenómenos de origen natural, como consecuencia de la ocupación de la población sobre áreas susceptibles a movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones, requiere de la evaluación y zonificación de la amenaza como herramienta fundamental para la ordenación del territorio (Aleotti and Chowdhury [1999], Changnon et al. [2000], eds Hoppe P [2006]; Morss et al. [2011]).

El presente estudio hace parte del componente práctico del curso de Cartografía Geotécnica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín a cargo del docente Edier Aristizábal, donde se utiliza como sitio de estudio la cuenca de la quebrada Chachafruto en Bello, Antioquia. Esta quebrada tiene un área de 5.6km<sup>2</sup> con elevaciones entre los 1659 msnm hasta los 2827 msnm y un perímetro estimado de 11 km.

El estudio pretende poner en práctica una recopilación de los métodos modernos de análisis estadístico de datos para la predicción y estimación de la ocurrencia de movimientos en masa en el lugar de estudio mediante el cálculo de la susceptibilidad del terreno.

Los métodos a utilizar son: métodos heurísticos, bivariados, multivariados, de base física y una evaluación de los modelos. Todos a partir de una recolección de información secundaria y un análisis de datos estadístico.

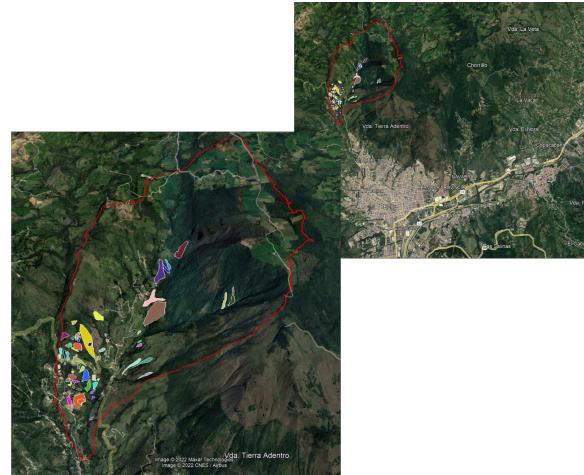


Figure 1. Cuenca de la Qda. Chachafruto.  
Source: Google Earth, 2022.

### 2 Metodología

Para llevar a cabo el estudio, se realizó en el curso un entrenamiento con discusión acerca del estado del arte de los métodos y su trasfondo de forma que se lograra tomar decisiones conociendo los fundamentos de los métodos.



Con esto se inició la selección de la cuenca, la cual para este caso es la cuenca de la quebrada Chachafruto al norte del municipio de Bello, Antioquia, Colombia dada su importancia y mi personal interés particular sobre las afectaciones que podría generar un evento desarrollado en esta cuenca.

A continuación de la selección se recopila información cartográfica secundaria en IGAC, Cartoantioquia y Área Metropolitana del Valle de Aburra y se elaboraron distintos mapas en formato ráster para usarlos en los métodos mediante álgebra de mapas, adicionalmente se elabora una capa de inventario de movimientos en masa a partir de las curvas de nivel y el DEME donde se encontraron 69 eventos. Antes de iniciar con la ejecución de los métodos, se realiza un análisis exploratorio de las variables en busca de las variables más significativas y representativas del caso, por lo cual, las herramientas más usadas son la matriz de comparación.

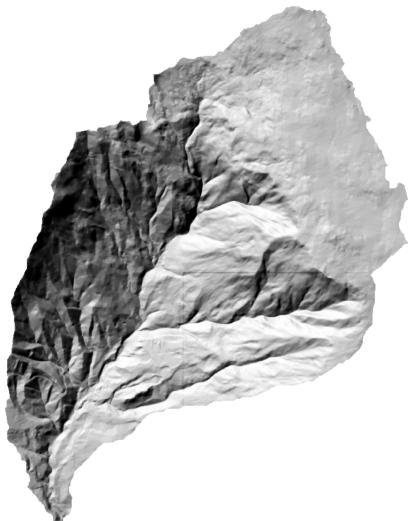


Figure 2. Modelo de sombras de la Qda. Chachafruto.  
Source: Elaboración propia, 2022.

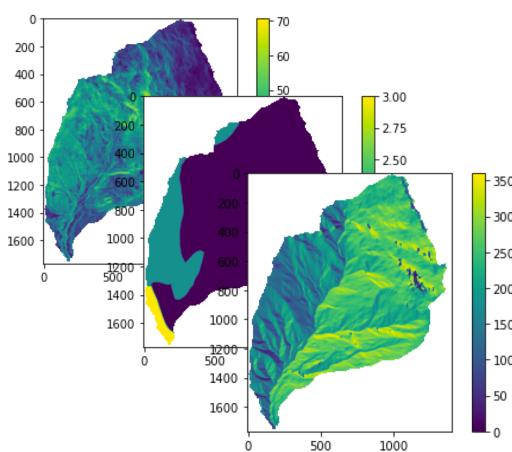


Figure 3. Mapas insumo de la Qda. Chachafruto.  
Source: Elaboración propia, 2022.

El primer método implementado es el heurístico, el cual se caracteriza por definir pesos distintos a las variables pero iguales a las clases basados en el criterio de la experiencia profesional. Luego, el método bivariado, que a diferencia del heurístico, este calcula el peso de cada clase de cada variable en comparación par con el inventario de movimientos en masa. Posteriormente se utiliza el método multivariado donde se busca generar una regresión lineal

hallando el intercepto y la pendiente, finalmente se utiliza el método de base física Shalstab. Un modelo que no se implementó en este caso pero también es representativo es el FlowR.

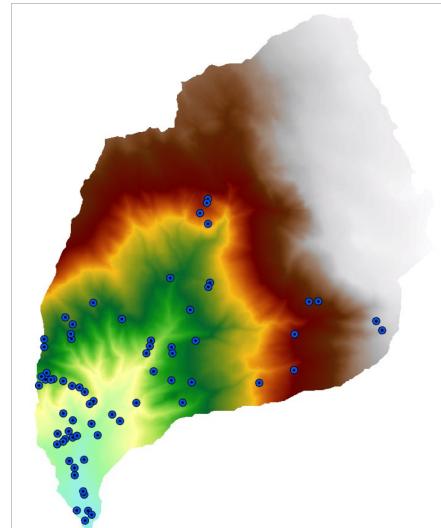


Figure 4. Inventario de movimientos en masa de la Qda. Chachafruto.  
Source: Elaboración propia, 2022.

### 3 Resultados

Inicialmente se presenta la matriz de comparación de todas las variables potenciales y se identifican cuales son independientes.

	count	mean	std	min	25%
inventario	139007.0	0.000496	0.022274	0.000000	0.000000
pendiente	139007.0	28.279728	14.083559	0.053637	16.335324
flujo_acum	139007.0	1274.542584	32334.560487	0.000000	5.000000
aspecto	139007.0	217.913910	67.946701	0.000000	173.925484
geología	139007.0	1.198112	0.454474	1.000000	1.000000
faults	139007.0	0.255987	0.436416	0.000000	0.000000
geomorfo	139007.0	3.646457	1.183865	1.000000	3.000000
				50%	75% max
inventario	0.000000	0.000000	1.000000e+00		
pendiente	30.271172	39.531193	7.052232e+01		
flujo_acum	13.000000	34.000000	1.393587e+06		
aspecto	232.131485	267.091736	3.59898e+02		
geología	1.000000	1.000000	3.000000e+00		
faults	0.000000	1.000000	1.000000e+00		
geomorfo	4.000000	5.000000	5.000000e+00		

Figure 5. Resumen de variables potenciales y sus estadísticas generales.  
Source: Elaboración propia, 2022.

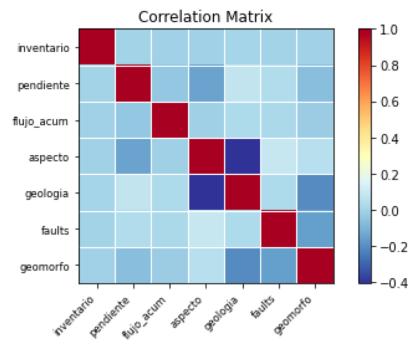


Figure 6. Tabla de comparación de las variables.  
Source: Elaboración propia, 2022.

#### 3.1 Modelo heurístico

El modelo se elaboró con tres variables: pendiente, aspect y geología, las cuales tuvieron los pesos 0.5, 0.2 y 0.3 respectivamente a criterio del autor.

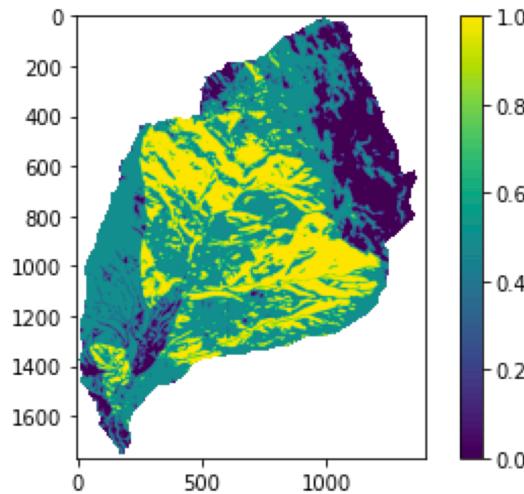


Figure 7. Mapa de susceptibilidad del terreno por el método heurístico.  
Source: Elaboración propia, 2022.

### 3.2 Modelo bivariado

El modelo se elaboró con tres variables: pendiente, aspect y geología, y se realizó el cálculo de los pesos de las clases mediante Frequency Ratio.

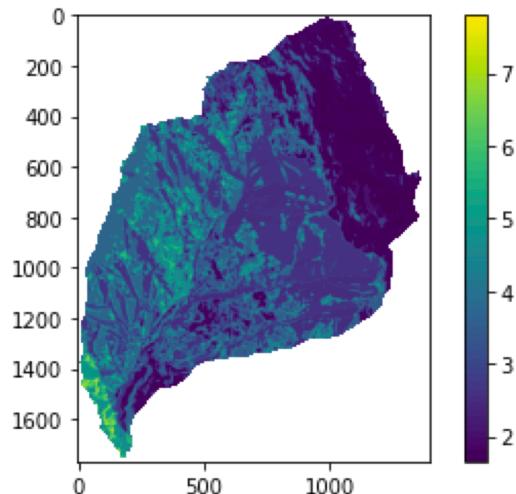


Figure 8. Mapa de susceptibilidad del terreno por el método bivariado.  
Source: Elaboración propia, 2022.

### 3.3 Modelo multivariado

El modelo se elaboró con tres variables: pendiente, aspect y geología, y se realizó el cálculo mediante regresión logística. Donde se obtuvo un P-Value menor al 5%.

Optimization terminated successfully.						
Current function value: 0.000523						
Iterations 15						
<b>Logit Regression Results</b>						
Dep. Variable: inventario No. Observations: 1389502						
Model: Logit Df Residuals: 1389502	Method: MLE Df Model: 3	Date: Thu, 08 Dec 2022 Pseudo R-squ.: 0.03444	Time: 16:45:26 Log-Likelihood: -726.88	converged: True LL-Null: -752.81	LLR p-value: 3.25e-11	
Covariance Type: nonrobust						
coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]	
Intercept	-10.4518	0.175	-59.562	0.000	-10.796	-10.108
C(geología) T.2.0]	1.1480	0.271	4.239	0.000	0.617	1.679
C(geología) T.3.0]	2.5714	0.356	7.230	0.000	1.874	3.268
pendiente	0.3851	0.141	2.727	0.006	0.108	0.662

Possibly complete quasi-separation: A fraction 0.87 of observations can be perfectly predicted. This might indicate that there is complete quasi-separation. In this case some parameters will not be identified.

Figure 9. Datos de salida del método bivariado.  
Source: Elaboración propia, 2022.

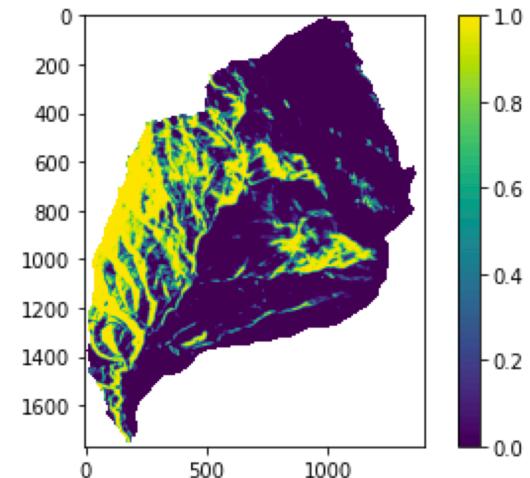


Figure 10. Mapa de susceptibilidad del terreno por el método bivariado.  
Source: Elaboración propia, 2022.

### 3.4 Modelo de base física

El modelo se elaboró con tres variables: pendiente, aspect y geología, aunque la información secundaria no fue suficiente para tener todos los parámetros geotécnicos necesarios para elaborar correctamente el modelo.

```
ks = geologia
friccion = geologia
cohesion = geologia
peso = geologia

ks = np.where(ks == 1, 0.15, ks);
ks = np.where(ks == 2, 0.18, ks);
ks = np.where(ks == 3, 0.2, ks);

friccion = np.where(friccion == 1, 28 * 0.01745, friccion);
friccion = np.where(friccion == 2, 27 * 0.01745, friccion);
friccion = np.where(friccion == 3, 31 * 0.01745, friccion);

cohesion = np.where(cohesion == 1, 23, cohesion);
cohesion = np.where(cohesion == 2, 25, cohesion);
cohesion = np.where(cohesion == 3, 24, cohesion);

peso = np.where(peso == 1, 20, peso);
peso = np.where(peso == 2, 17, peso);
peso = np.where(peso == 3, 19, peso);
```

Figure 11. Parámetros del terreno para el método de base física.  
Source: Elaboración propia, 2022.

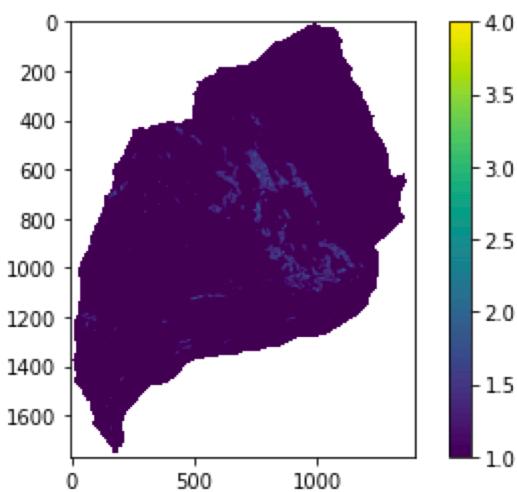


Figure 12. Mapa de MatEst del método bivariado.  
Source: Elaboración propia, 2022.

#### 4 Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que cada método aborda el problema de una forma distinta y se diferencia mucho el mapa de salida entre uno y otro, por lo que es necesario entender bien el caso de estudio.

La información recolectada fue secundaria pero para mejorar la precisión y lograr un mejor modelo hace falta tomar datos de campo reales.

La escala de trabajo influye directamente en la cantidad de polígonos que se pueden obtener al restituir el DEM. Es posible que no se tenga ningún registro de eventos en el sitio de estudio.

En este caso de estudio se reconoce que la insuficiencia de información relevante y la falta de profundidad por tiempo no lleva a este caso a una aproximación certera.

#### 5 Citation

1 Alcantara-Ayala. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 2002.

2 Pietro Aleotti and Robin Chowdhury. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58:21–44, 1999. doi:10.1007/s100640050066.

E. y Gómez J Aristizábal. Inventario de emergencias y desastres en el valle de aburrá originados por fenómenos naturales y antrópicos en el período 1880-2007. *Revista Gestión y Ambiente*, vol. 10, N:17–30, 2007.

3 Rebecca E Morss, Olga V Wilhelmi, Gerald A Meehl, and Lisa Dilling. Improving societal outcomes of extreme weather in a changing climate: an integrated perspective. *SSRN*, 2011. doi:10.1146/annurev-environ-060809-100145.

4 David Petley. Global patterns of loss of life from landslides. *Geology*, 40:927–930, 10 2012. doi:10.1130/G33217.1.

5 S. A. Sepúlveda and D. N. Petley. Regional trends and controlling factors of fatal landslides in latin america and the caribbean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15:1821–1833, 8 2015. doi:10.5194/nhess-15-1821-2015.

6 Lulseged Ayalew and Hiromitsu Yamagishi. Slope failures in the blue nile basin, as seen from landscape evolution perspective. *Geomorphology*, 57:95–116, 2004. doi:10.1016/S0169-555X(03)00085-0.

7 A. Chica. Apuntes de geotecnia. cursos de geotecnia y prácticas geotécnicas, Facultad Nacional de Minas, :, 1989.

8 Michel Hermelin Edier Aristizabal. Propuesta de zonificación del suelo para la gestión del riesgo enfocada al ordenamiento territorial. *Gestión y Medio Ambiente*, 14:7–16, 2011.

9 Aldo Clerici, Susanna Perego, Claudio Tellini, and Paolo Vescovi. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48:349–364, 2002. doi:10.1016/S0169-555X(02)00079-X.