

Susceptibility evaluation under statistical methods; basin of the Quebrada La Chaparrala

Evaluación de susceptibilidad bajo métodos estadísticos; cuenca de la Quebrada La Chaparrala

Juan Esteban Gómez Campuzano ^a

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

Received: December 9th, 2022. Received in revised form: December 9th, 2022.

Abstract

The Colombian territory, due to its tropical latitude and geographical location, exhibits complex climatic and geological conditions that represent a challenge for geo-environmental sciences and disaster prevention. Evaluating the susceptibility to mass movements is one of the most complex tasks due to the chaotic nature of the soil materials that make up our territory and due to the great tectonic influence in the different territories, especially in the Andean zone of the country. Statistical models, then, take great importance to try to model and capture mathematically the heterogeneous behavior of our tropical soils.

Keywords: susceptibility; statistical models; tropical soils; chaotic nature; challenge; territory; disaster prevention.

Resumen

El territorio colombiano, por su latitud tropical y localización geográfica exhibe condiciones climáticas y geológicas complejas que representan un reto para las ciencias geo- ambientales y de prevención de desastres. Evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa es una de las tareas más complejas por la naturaleza caótica de los materiales del suelo que componen nuestro territorio y por la gran influencia tectónica en los distintos territorios, especialmente en la zona andina del país. Los modelos estadísticos entonces, toman gran importancia para pretender modelar y plasmar matemáticamente el comportamiento heterogéneo de nuestros suelos tropicales.

Palabras clave: susceptibilidad; modelos estadísticos; suelos tropicales; naturaleza caótica; desafío; territorio; prevención de desastres.

1 Introducción

1.1 Generalidades municipio de Andes, Antioquia

Andes es un municipio del Suroeste antioqueño, situado en la cordillera Occidental de los Andes Colombianos, en el extremo suroccidental del departamento de Antioquia a 74,49 km de la ciudad de Medellín, que por ruta terrestre se convierten en aproximadamente 118km; a los 5° 39' 29 de latitud norte y 75° 52' 50 de longitud oeste con las siguientes características geográficas:

- Elevación: 1,360 m
- Superficie: 403.4 km²
- Población: 45,814 (2015)
- Tiempo: 28 °C,
- Humedad promedio: 60 %
- Entidad: Municipio

1.2 Generalidades de la cuenca

- Nombre: Quebrada La Chaparrala
- Ubicación: Municipio de Andes; Antioquia; Colombia.
- Tributaria: Río San Juan
- Latitud: 5.66667
- Longitud: -75.8833

La quebrada La Chaparrala nace en el cerro San Fernando a 3450 msnm y desemboca sobre el Río San Juan a 1250 msnm aproximadamente. Sus principales afluentes, son las quebradas La Pava, El Líbano, Santa Teresa, La Linda y Las Cañadas de Leopoldo, La Tablaza y San Miguel. Su área rural está dedicada a cultivos de café y al pastoreo con ganadería tipo extensivo, y en menor proporción, a los bosques naturales, los cuales se restringen a las zonas más altas de la subcuenca. En ambos costados de la quebrada se encuentra asentada la cabecera municipal y a nivel rural, 2700 habitantes y 570 viviendas en 11 veredas, la mayoría altamente densificadas; ellas son: La Comuna, Cascajero, El Chispero, El Cardal, La Piedra, San

Perucho, El Líbano, San Peruchito, La Pava, La Aguada (perteneciente al área suburbana, de acuerdo con las disposiciones del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del año 2000), la Cedrona y Guaimaral (Sanear, 2001).

Subcuenca de gran importancia por ser la fuente del acueducto del municipio Andes y porque su nacimiento se ubica dentro de la denominada “Área de Manejo Especial de la Reserva Natural Farallones del Citará”. Sin embargo, la mayor parte de su área (cuenca alta y cuenca media) corresponde a la zona amortiguadora de la mencionada Reserva Natural, de acuerdo a las disposiciones emanadas de la Autoridad Ambiental encargada del manejo de la región, CORANTIOQUIA y a los usos del suelo propuestos por el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Andes (PBOT, 2007). Adicionalmente, está proyectada ser fuente oferente durante treinta (30) años más (Sanear, 2001).

2 Métodos

2.1 Inventario movimientos en masa

El inventario de movimientos en masa, contiene los datos referentes a la información levantada en campo y verificada por el grupo de trabajo. En éste caso, el inventario de movimientos en masa fue obtenido principalmente por medios digitales, basado en consultas hechas al Sistema de Información de Movimientos en Masa – SIMMA, el cual es un sistema que permite cargar, administrar y consultar los movimientos en masa ocurridos en Colombia, además permite consultar los informes y proyectos generados por parte del grupo de Evaluación de Amenaza por movimientos en masa. De igual manera, se realizó una fotointerpretación de la zona, usando procesamiento de imágenes de satélite, para determinar eventos que tal vez no fueron reportados en la información histórica revisada inicialmente. Se empleó también el análisis visual de los modelos digitales del terreno, para complementar la información.

Posteriormente, se realizó entonces, un archivo GIS de tipo shapefile con los datos para exportarlo finalmente como archivo .tiff y poder operar con él en python. Cabe resaltar que todo el procedimiento que se realizó fue precedido por la delimitación del área de estudio, permitiendo así, filtrar la información que estuviera dentro de la misma.

Se realiza entonces un mapa con dicha información encontrada, generada y filtrada (Figura 1.) en donde se visualizan los movimientos en masa históricos registrados en el SIMMA y aquellos identificados con el uso de las herramientas anteriormente mencionadas. La mayoría de los eventos plasmados en el mapa corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento (90%) mientras que los demás, corresponden a flujos (8%) y caída de rocas (2%).

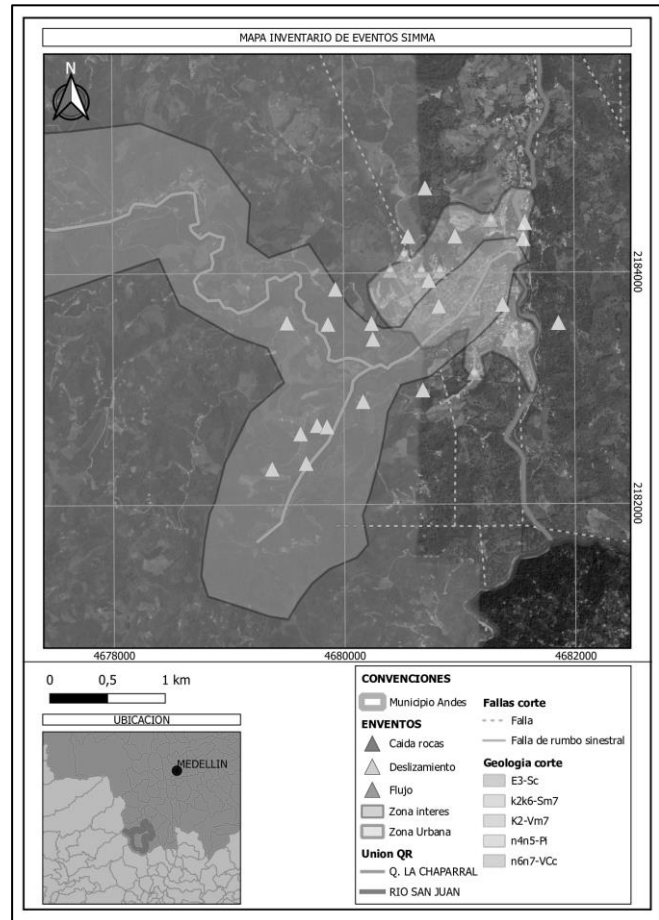


Figura 1. Mapa inventario de eventos.

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Análisis exploratorio de variables

El análisis exploratorio de variables se refiere a la selección de variables predictoras para un modelo óptimo, no solo en términos de validez del modelo sino también en términos de eficiencia computacional. Así, se trata de evaluar qué variables son mejores predictoras de la ocurrencia de movimientos en masa, lo que significa análisis univariados, bivariados y multivariados evaluando la relación entre cada variable predictora y la variable dependiente. Por otro lado, también se debe analizar la colinealidad entre variables. Cuando existen múltiples correlaciones entre predictores, el modelo se sobrecarga con variables que no aportan información adicional, y en muchos casos no se cumplen los supuestos estadísticos requeridos por el modelo.

Para el presente caso, se cargaron las variables de: Pendiente, aspecto, curvatura, coberturas, geología y elevación, de las cuales, luego de realizar el procedimiento para transformarlas en vectores, vemos que se presentan inconvenientes con las longitudes del mismo por lo que se decide trabajar solamente con pendiente, aspecto, coberturas y elevación (Figura 2.).

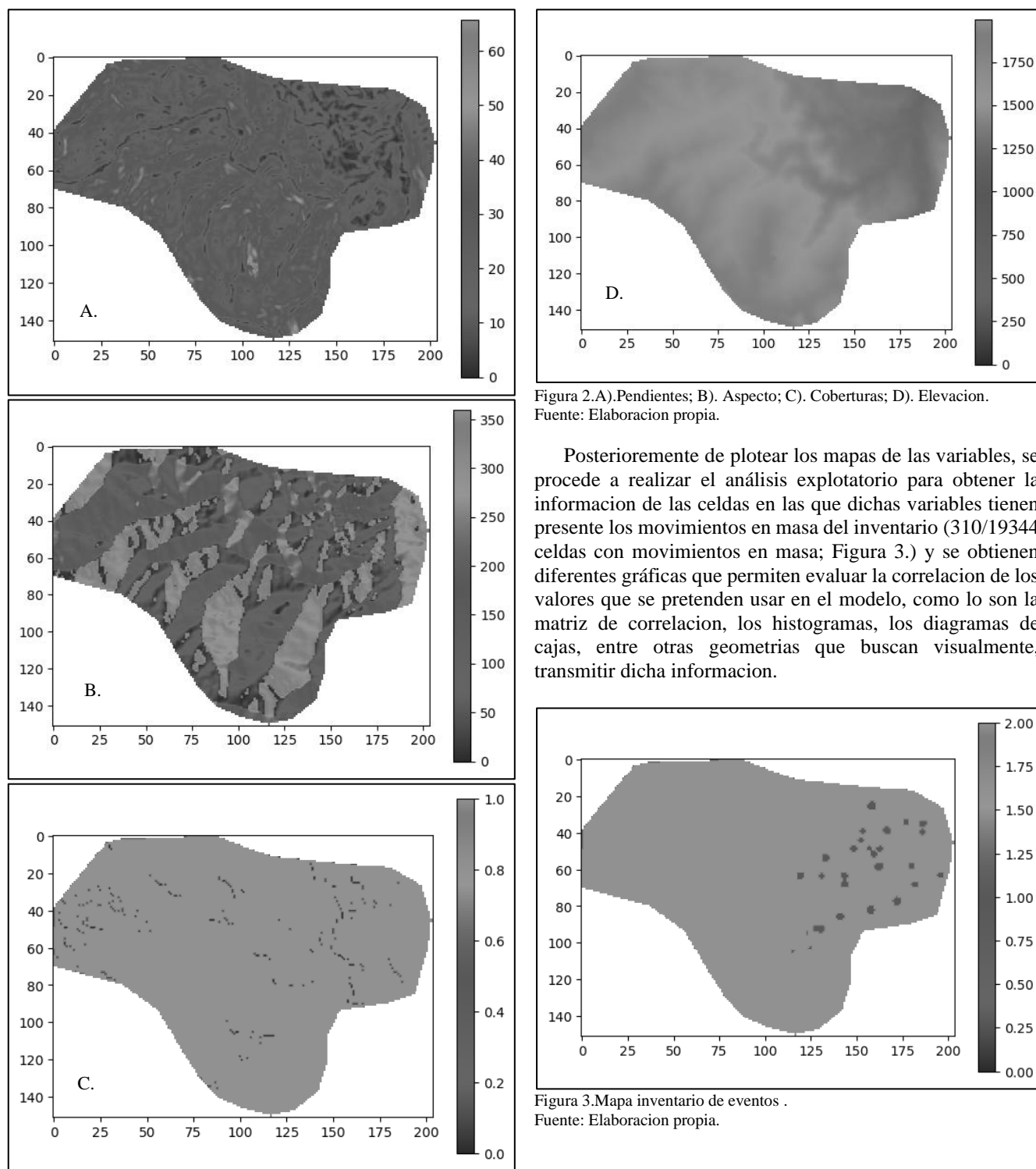


Figura 2.A).Pendientes; B). Aspecto; C). Coberturas; D). Elevación.
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente de plotear los mapas de las variables, se procede a realizar el análisis exploratorio para obtener la información de las celdas en las que dichas variables tienen presente los movimientos en masa del inventario (310/19344 celdas con movimientos en masa; Figura 3.) y se obtienen diferentes gráficas que permiten evaluar la correlación de los valores que se pretenden usar en el modelo, como lo son la matriz de correlación, los histogramas, los diagramas de cajas, entre otras geometrias que buscan visualmente, transmitir dicha información.

Figura 3.Mapa inventario de eventos .
Fuente: Elaboración propia.

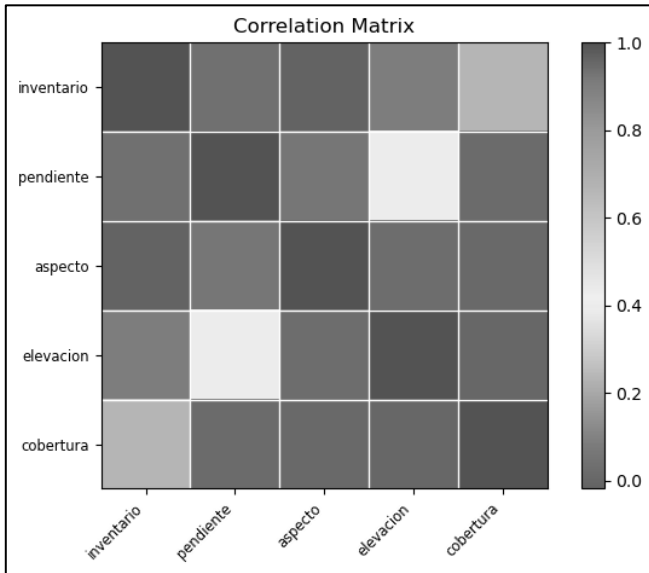


Figura 4 .Matriz de correlacion.
Fuente: Elaboracion propia.

2.3 Análisis heurístico

Un análisis heurístico se utiliza para identificar problemas comunes de usabilidad de un producto para que los problemas puedan resolverse, y así mejorar la satisfacción del usuario y su experiencia, y aumentar las posibilidades de éxito de un producto digital en general.

Centrándose en la usabilidad, un análisis heurístico es un método de evaluación en el que uno o más expertos comparan el diseño de un producto digital con una lista de principios de diseño predefinidos (comúnmente denominados heurísticos) e identifican dónde el producto no sigue estos principios.

La razón principal para realizar un análisis heurístico es mejorar la usabilidad de un producto digital. Otra razón es la eficiencia (en este contexto, “eficiencia” es la velocidad con que un producto puede ser utilizado como consecuencia directa de una mejor usabilidad). “Usabilidad” se refiere a componentes de calidad tales como capacidad de aprendizaje, detección, memorización, flexibilidad, satisfacción del usuario y manejo de errores. El UX de un producto se mejora mucho cuando estos componentes se entregan con una alta calidad.

Jerarquización de variables		
Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igualmente preferida	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo
2		Valor intermedio
3	Moderadamente preferida	La experiencia y juicio favorecen levemente a un elemento sobre otro
4		Valor intermedio
5	Fuertemente preferida	La experiencia y juicio favorecen fuertemente a un elemento sobre otro
6		Valor intermedio
7	Preferencia muy fuerte o demostrada	Un elemento es mucho más favorecido que el otro, predominancia demostrada en la práctica
8		Valor intermedio
9	Extremadamente preferida	La evidencia que favorece una sobre la otra es la más alta posible
Valores: Cuando se asigna uno de los valores anteriores al elemento / respecto de j, el elemento / tendrá el recíproco valor recíproco.		

Figura 5 .Escala de SAATY.
Fuente: [1] Saaty, 2008.

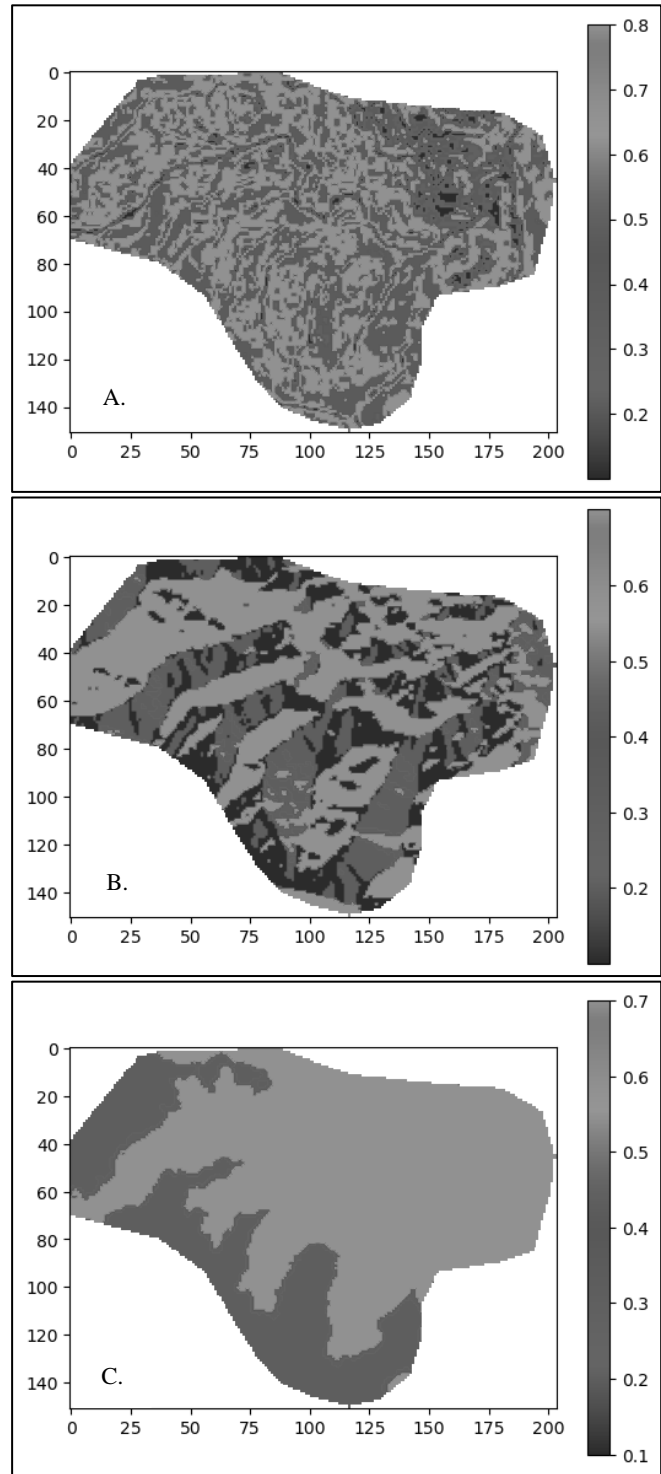


Figura 6 . Metodo heurístico; A).Pendientes; B). Aspecto; C). Coberturas.
Fuente: Elaboracion propia.

2.3 Análisis bivariado

En un enfoque bivariado, cada mapa de factores (geología, pendiente, cobertura, elevación.) se combina con un inventario de movimiento de masas para obtener ponderaciones para las categorías que componen la variable, generalmente con base en la densidad de movimiento de

masas. Los métodos estadísticos bivariados son buenas herramientas de aprendizaje para que los analistas descubran qué factores o combinaciones de factores juegan un papel importante en la ocurrencia de movimientos en masa. Para el caso de interés, se emplea el método *Frequency Ratio Model* (*Likelihood*) en el que ya es el mismo modelo el que calcula el peso de cada variable.

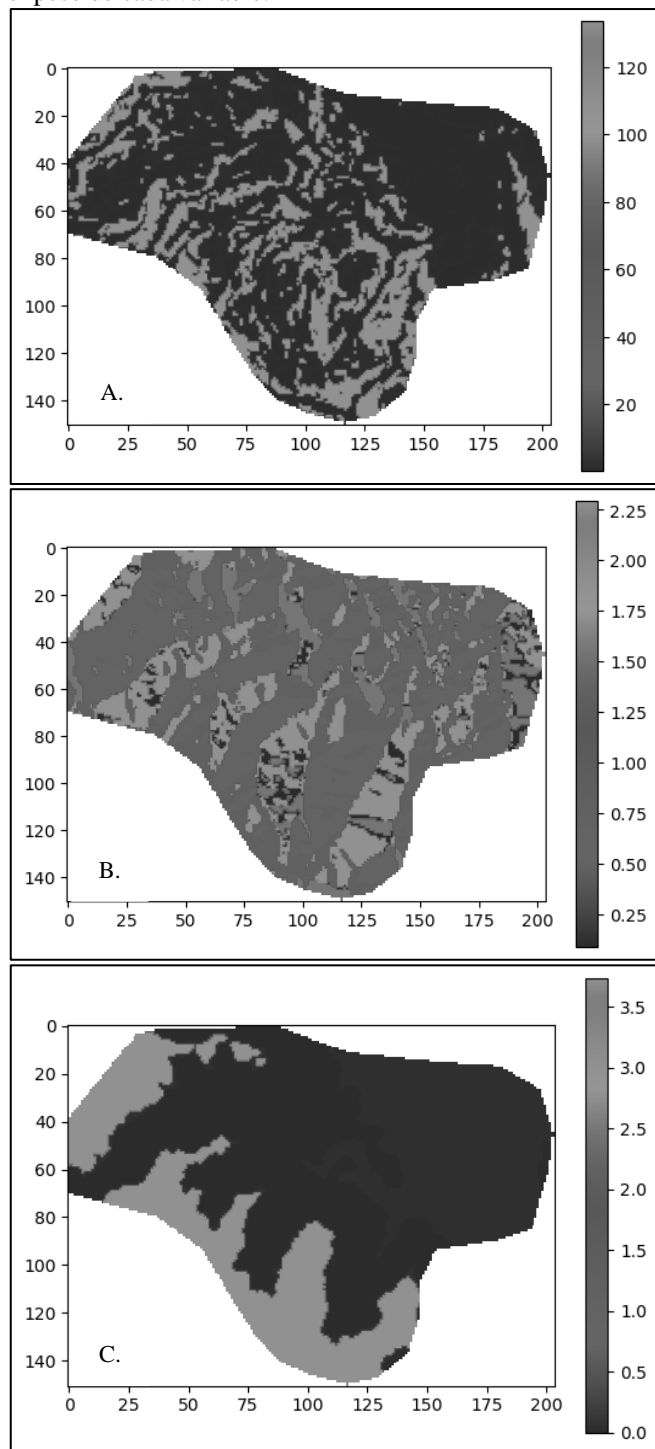


Figura 7. Método bivariado; A). Pendientes; B). Aspecto; C). Coberturas.
Fuente: Elaboración propia.

2.4 Análisis con base física

Los modelos basados en la física evalúan la ocurrencia de deslizamientos en términos de factores de seguridad o probabilidad de ocurrencia a través de modelos numéricos. Sin embargo, existen diferentes aproximaciones a la física de problemas con diferentes simplificaciones, por lo que es necesario utilizar modelos adaptados a las necesidades o particularidades del área de estudio. Los métodos basados en la física se recomiendan para áreas pequeñas de escala detallada porque requieren mucha información de entrada, obtenida de pruebas de laboratorio o mediciones de campo. Por lo tanto, la parametrización del modelo puede ser compleja, especialmente la distribución espacial de la profundidad del suelo, que juega un papel fundamental. El modelo basado en la física permite tener en cuenta la complejidad de los desencadenantes (terremotos y/o precipitaciones) y las características geomecánicas del terreno. Para el caso, se tiene que se tomaron los valores de cohesión, fricción, permeabilidad, peso unitario del suelo, área acumulada, pendiente y espesor del suelo (Figura 9.), de valores promedios sacados de la literatura, correspondientes a la litología superficial de la zona (Figura 8.).

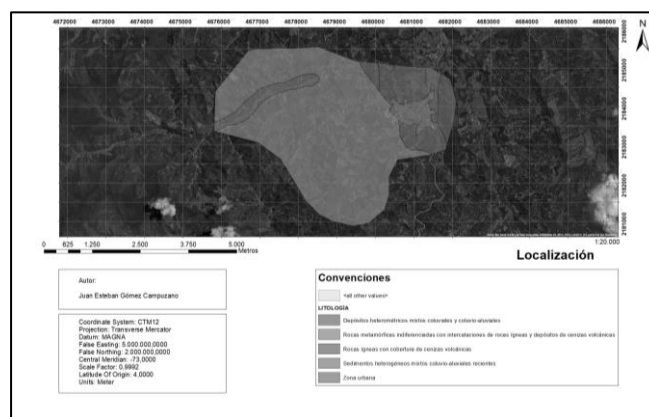
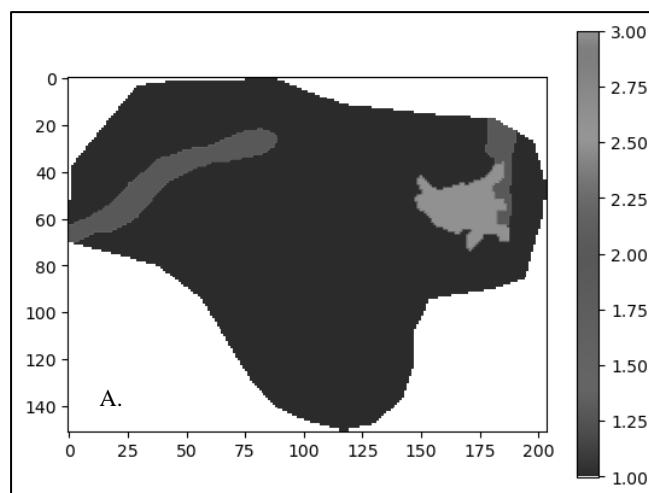


Figura 8. Mapa de geología superficial.
Fuente: Elaboración propia.



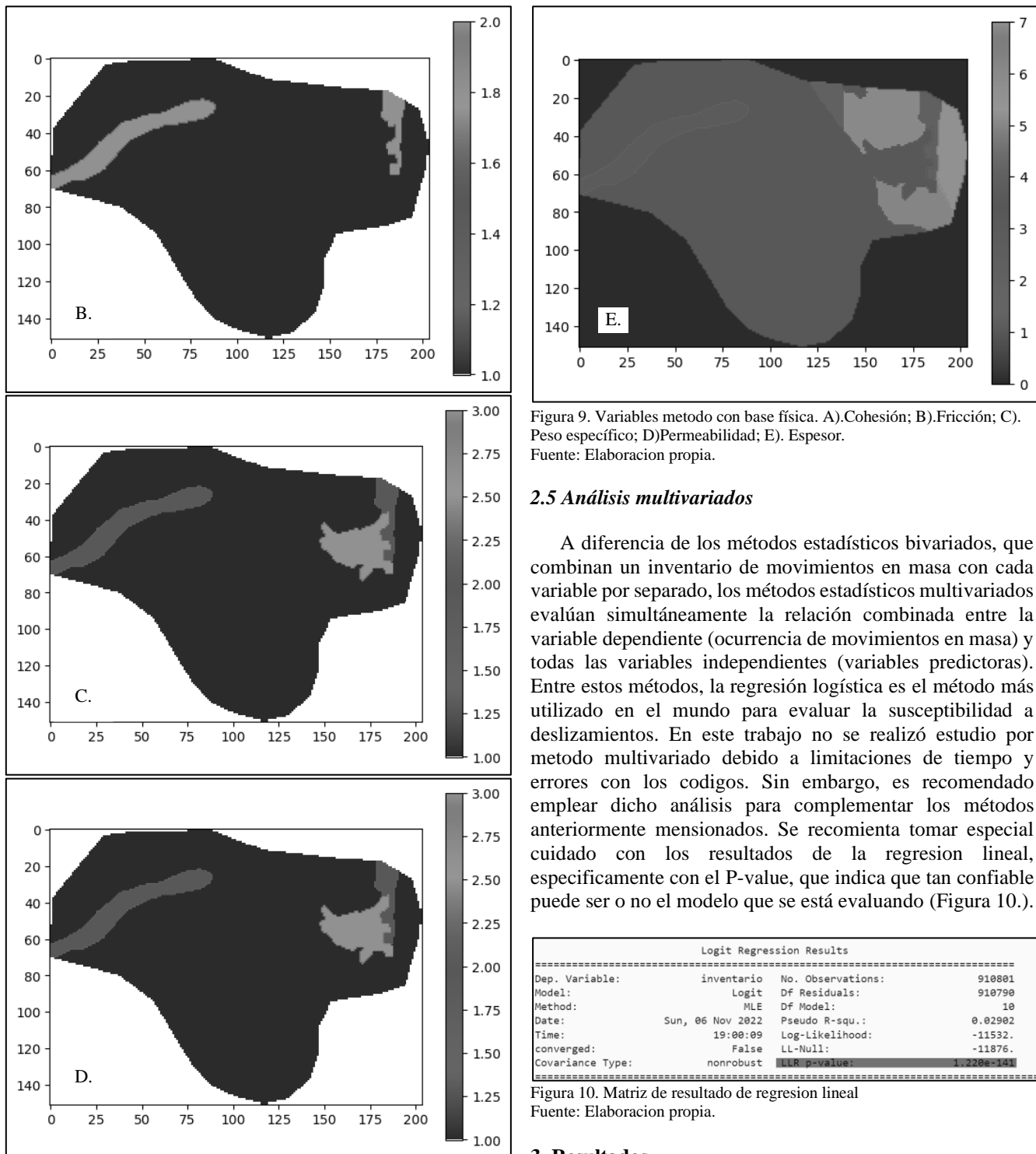


Figura 9. Variables metodo con base física. A).Cohesión; B).Fricción; C). Peso específico; D)Permeabilidad; E). Espesor.
Fuente: Elaboracion propia.

2.5 Análisis multivariados

A diferencia de los métodos estadísticos bivariados, que combinan un inventario de movimientos en masa con cada variable por separado, los métodos estadísticos multivariados evalúan simultáneamente la relación combinada entre la variable dependiente (ocurrencia de movimientos en masa) y todas las variables independientes (variables predictoras). Entre estos métodos, la regresión logística es el método más utilizado en el mundo para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos. En este trabajo no se realizó estudio por metodo multivariado debido a limitaciones de tiempo y errores con los codigos. Sin embargo, es recomendado emplear dicho análisis para complementar los métodos anteriormente mencionados. Se recomienda tomar especial cuidado con los resultados de la regresion lineal, específicamente con el P-value, que indica que tan confiable puede ser o no el modelo que se está evaluando (Figura 10.).

Logit Regression Results			
Dep. Variable:	inventario	No. Observations:	910801
Model:	Logit	Df Residuals:	910790
Method:	MLE	Df Model:	10
Date:	Sun, 06 Nov 2022	Pseudo R-squ.:	0.02902
Time:	19:00:09	Log-Likelihood:	-11532.
converged:	False	LL-Null:	-11876.
Covariance Type:	nonrobust	LLR p-value:	1.220e-141

Figura 10. Matriz de resultado de regresion lineal

Fuente: Elaboracion propia.

3 Resultados

Se obtuvieron 3 mapas diferentes finales para los métodos heurístico, bivariado y con base en la física que indican la suceptibilidad de las zonas que cumplen con las condiciones en las cuales, las pendientes, aspectos y elevacion principalmente son favorables.

Pesos
 Pendiente: 0.67
 Aspecto: 0.17
 Elevación: 0.11
 Cobertura: 0.05

Figura 11. Pesos obtenidos para las variables por la escala SAATY en el método heurístico
 Fuente: Elaboracion propia.

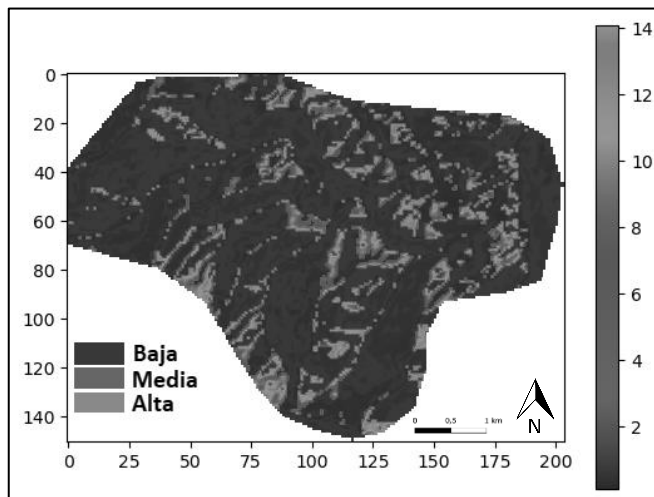


Figura 12. Mapa de susceptibilidad obtenido del método heurístico. Celdas mas cercanas a valores de 14 representan mayor susceptibilidad.
 Fuente: Elaboracion propia.

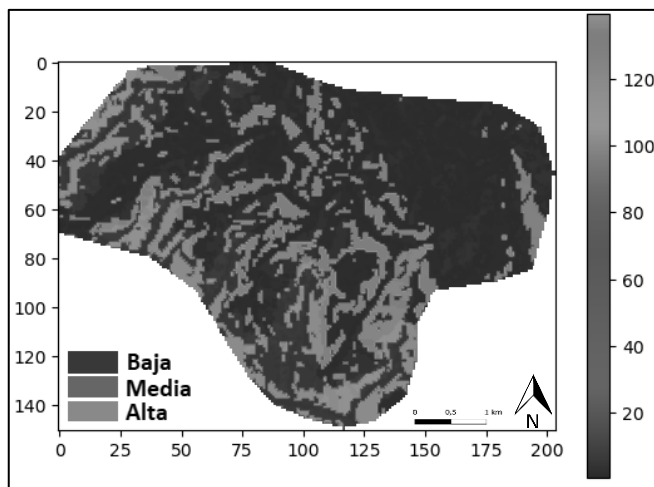


Figura 13. Mapa de susceptibilidad obtenido del método bivariado. Celdas mas cercanas a valores de 120 representan mayor susceptibilidad.
 Fuente: Elaboracion propia.

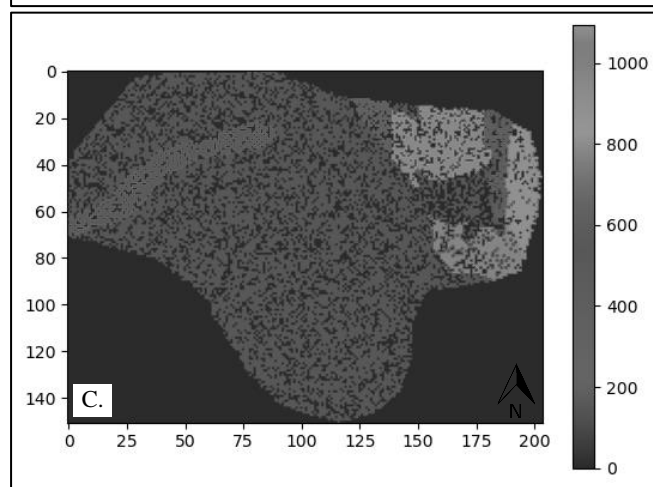
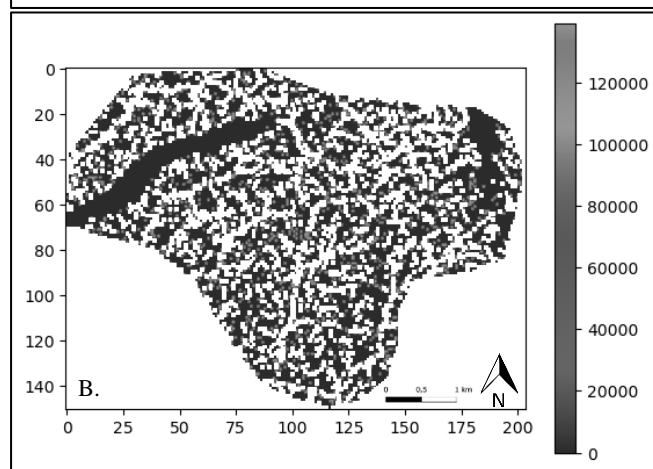
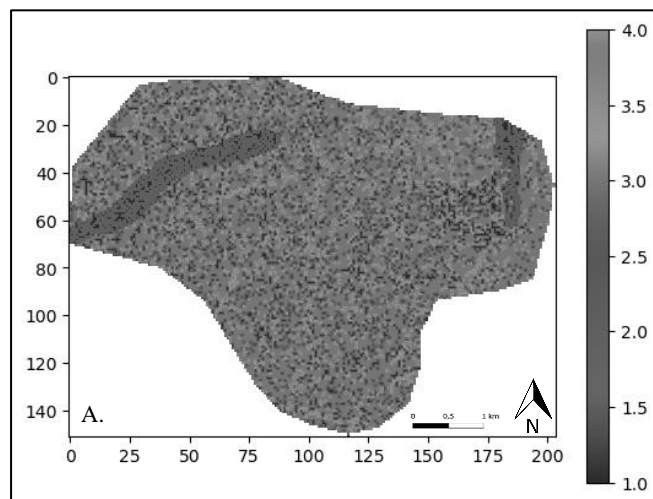


Figura 14. Modelo con base física SHALSTAB. A). Mapa de celdas estables; B). Mapa de valor de lluvia necesario para la falla (mm); C). Mapa de volumen de material desplazado en cada celda (Ton).
 Fuente: Elaboracion propia.

4 Evaluacion del modelo

Es de suma importancia cuestionarse sobre lo bien que está funcionando el método para predecir en este caso, las zonas con susceptibilidad a los movimientos en masa de las

laderas adenañas a la cuenca objeto de estudio. Los modelos usados anteriormente, no dejan de ser simplificaciones que buscan acercarse a la realidad y por lo tanto, se consideran como aproximaciones. Por lo tanto, sabemos que las aproximaciones pueden contener altos valores de incertidumbre y es necesario evaluar la exactitud, el error, la precisión y la misma incertidumbre de dichos modelos. Para éste modelo en particular sabemos que los datos que se emplearon para el proceso, no son una cantidad considerable (es decir, hacen falta mas datos e informacion), por lo que es de esperarse que el modelo tenga alto grado de incertidumbre y poco de precisión, en las predicciones que hace de suceptibilidad. Sin embargo, se evaluó según los criterios de “validación cruzada” y “capacidad de prediccion” y se obtuvo un desempeño del modelo tal que:

	precision	recall	f1-score	support
0.0	1.00	0.97	0.99	37
1.0	1.00	0.92	0.96	237
2.0	1.00	1.00	1.00	15490
accuracy			1.00	15764
macro avg	1.00	0.96	0.98	15764
weighted avg	1.00	1.00	1.00	15764

Figura 15. Resultado evaluacion modelo por validacion cruzada.
Fuente: Elaboracion propia.

	precision	recall	f1-score	support
0.0	0.70	0.50	0.58	14
1.0	0.00	0.00	0.00	73
2.0	0.98	1.00	0.99	3854
accuracy			0.98	3941
macro avg	0.56	0.50	0.52	3941
weighted avg	0.96	0.98	0.97	3941

Figura 16. Resultado evaluacion modelo por capacidad de prediccion.
Fuente: Elaboracion propia.

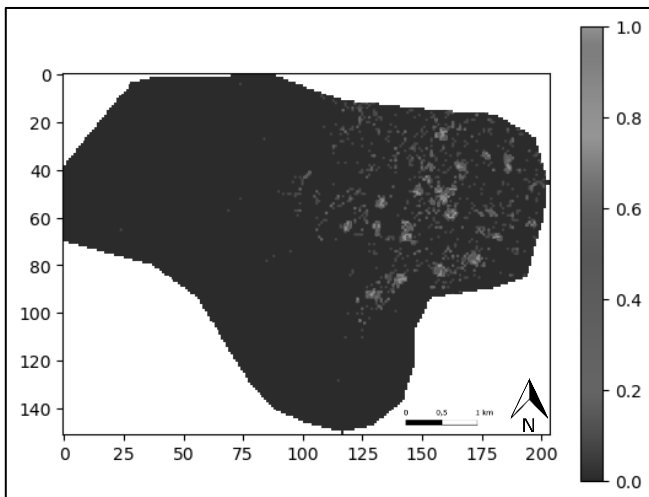


Figura 17. Resultado mapa evaluacion modelo.
Fuente: Elaboracion propia.

5 Conclusiones

Al modelo le hacen falta emplear mas variables. A pesar de que se comporta aceptable para las variables principales de Pendiente, Aspecto y Elevación, ya que en el resultado podemos observar que las zonas susceptibles son efectivamente aquellas que revisando imágenes satelitales o realizando trabajo de campo se podrían esperar con dicho comportamiento (basados en comparaciones con eventos anteriores), puede ser interesante observar si con la Litología (o geología superficial) u otras variables arroje resultados diferentes y mas precisos.

Definitivamente es muy necesario realizar un levantamiento en campo, para tener una cartografía detallada de la zona, ya que depender de información que se pueda encontrar sobre el lugar de estudio, o la interpretación de oficina, aumenta significativamente la incertidumbre de nuestros resultados, y conlleva posteriormente a decisiones tal vez, no tan correctas que pueden incluso terminar afectando la calidad de vida de las poblaciones ubicadas en el territorio de interés.

El modelo heurístico da como resultado un mapa más conservador y con mayor incertidumbre, debido a la calificación a criterio propio que se le da a las variables en el método SAATY.

Referencias

- [1] Saaty, T.L. (2008) Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1, 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- [2] David, J., Santamaría, C., & Rivera, M. J. (s/f). Estudio sobre los parámetros de sensibilidad y compresibilidad de suelos derivados de cenizas volcánicas en el área de expansión de Pereira. Edu.co. Recuperado el 9 de diciembre de 2022, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/20252/TrabajoDeGrado-GeraldineRubio.pdf?sequence=1>
- [3] María, A., Quintero, M., Rico, M. J., & Ablan, M. (s/f). Métodos heurísticos en la planificación del manejo forestal: Un ejemplo de aplicación Heuristics methods in forest management planning: An example. Ula.ve. Recuperado el 9 de diciembre de 2022, de http://www.ula.ve/ciencias-forestales-ambientales/indefor/wp-content/uploads/sites/9/2016/11/2010_Quintero_jerez_ablan.pdf
- [4] Cartografía Geotécnica. (s/f). Github.io. Recuperado el 9 de diciembre de 2022, de https://edieraristizabal.github.io/Libro_cartoGeotecnia/intro.html