

**ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA
ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN MINERA EN LA LOCALIDAD DE USME,
BOGOTÁ D.C.**

GOMEZ MORENO DAVID SANTIAGO

MARTIN CRUZ ANDREA CAROLINA

Universidad Santo Tomás

Facultad de ingeniería ambiental

Facultad de ingeniería civil

Bogotá D.C

2023

**ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA
ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN MINERA EN LA LOCALIDAD DE USME,
BOGOTÁ D.C.**

GOMEZ MORENO DAVID SANTIAGO

MARTIN CRUZ ANDREA CAROLINA

Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Ambientales e Ingenieros Civiles.

Director: María Victoria Mejía Ramírez

Geóloga, candidata Msc Planeación Urbana y Regional

Codirector: Yenny Beatriz Mendoza Plazas

Agróloga, Msc Suelos y agua

Universidad Santo Tomás

Bogotá D.C

2022

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Bogotá, febrero de 2023.

DEDICATORIA

Nos complace dedicar este trabajo a nuestros padres y familiares, quienes han sido un apoyo constante y nos han guiado durante todo el proceso de nuestras carreras profesionales. Que nos han regalado su tiempo, consejos y motivación, lo cual ha sido fundamental para nuestro crecimiento personal y académico. También queremos agradecer a nuestros hermanos, quienes han estado presentes en todo momento y nos han motivado a seguir adelante.

Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a los docentes que nos han brindado valiosos conocimientos, herramientas y habilidades necesarias para la realización de este proyecto. Su dedicación y compromiso con nuestra formación han sido fundamentales para nuestro desarrollo profesional.

Por último, pero no menos importante, deseamos agradecer a nuestros directores por su confianza y constante apoyo durante todo el proceso. Gracias a su guía y orientación, hemos logrado superar los desafíos y alcanzar nuestros objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

A nuestros padres y familiares por brindarnos la oportunidad de estudiar las carreras de ingeniería ambiental y civil en la Universidad Santo Tomás

A las docentes María Victoria y Yenny Beatriz por sus conocimientos y entrega constante para el desarrollo pleno en el trabajo de grado

A los docentes de las facultades de ingeniería ambiental y civil por guiarnos en este proceso de convertirnos en ingenieros de doble programa.

Por último, a la Universidad Santo Tomás por las instalaciones brindadas que fueron de ayuda para ampliar nuestros conocimientos en la vida profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	12
2. ABSTRACT	13
3. INTRODUCCIÓN	14
4. OBJETIVOS	16
4.1 OBJETIVO GENERAL	16
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
5. ANTECEDENTES	17
6. MARCO TEÓRICO	20
6.1. MARCO CONCEPTUAL	20
6.1.1. Minería.....	20
6.1.2. Amenaza	20
6.1.3 Movimientos en masa	20
6.1.4. Mora Vahrson	21
6.1.5. Geología.....	21
6.1.6. Geomorfología	21
6.1.7. Cobertura vegetal	23
6.1.8. Pendiente.....	23
6.1.9. Sismicidad.....	24
6.1.10. Precipitación.....	24
6.1.11. Servicios ambientales.....	25
6.2. MARCO CONTEXTUAL	26
6.3. MARCO LEGAL	28
7. METODOLOGIA.....	30
8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
8.1 Geología.....	33
8.2 Geomorfología.....	34
8.3 Cobertura vegetal.....	35
8.4 Pendiente	36
8.5 Precipitación	37
8.6 Sismicidad	39
8.7 Ubicación minera	40
9. CLASIFICACIÓN MORA VAHRSON	42
9.1 Geologia	¡Error! Marcador no definido.

9.2	Geomorfología	44
9.3	Cobertura Vegetal	46
9.4	Pendiente	48
9.5	Precipitación.....	50
9.6	Sismicidad	52
10.	SERVICIOS AMBIENTALES.....	61
11.	IMPACTO EN LAS COMUNIDADES ALEDAÑAS.....	67
12.	IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO	74
13.	CONCLUSIONES	75
14.	RECOMENDACIONES.....	77
15.	BIBLIOGRAFÍA	78
16.	ANEXOS	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad minera de Colombia.....	28
Tabla 2. Precipitación multianual de las estaciones de Usme.....	38
Tabla 3. Clasificación Litológica de Usme.....	42
Tabla 4. Clasificación Geomorfológica.....	44
Tabla 5. Clasificación cobertura vegetal.....	47
Tabla 6. Clasificación pendiente.....	49
Tabla 7. Clasificación precipitación.....	50
Tabla 8. Clasificación sismicidad.....	52
Tabla 9. Áreas según clasificación del grado de amenaza.....	55
Tabla 10. Comparación de resultados y mapa IDIGER.....	58
Tabla 11. Comparación de resultados y mapa Alcaldía.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la localidad de Usme.....	26
Figura 2. Mapa geológico de la localidad de Usme.....	34
Figura 3. Mapa geomorfológico de la localidad de Usme.....	35
Figura 4. Mapa de cobertura vegetal de la localidad de Usme.....	36
Figura 5. Mapa de pendiente de la localidad de Usme.....	37
Figura 6. Precipitación multianual de las estaciones de Usme.....	38
Figura 7. Mapa de precipitación de la localidad de Usme.....	39
Figura 8. Mapa de sismicidad de la localidad de Usme.....	40
Figura 9. Mapa de ubicación de minas de la localidad de Usme.....	41
Figura 10. Mapa para la clasificación del grado de amenaza geológico.....	43
Figura 11. Mapa para la clasificación del grado de amenaza geomorfológico.....	46
Figura 12. Mapa de cobertura vegetal de la localidad de Usme.....	48
Figura 13. Mapa de pendiente de la localidad de Usme.....	50
Figura 14. Mapa de precipitación de la localidad de Usme.....	51
Figura 15. Mapa de sismicidad de la localidad de Usme.....	53
Figura 16. Herramienta calculadora del software ArcGIS.....	54
Figura 17. Mapa de grado de amenaza de la localidad de Usme.....	55
Figura 18. Mapa de amenaza por movimientos en masa localidad Usme IDIGER.....	58
Figura 19. Mapa de grado de amenaza de la localidad de Usme.....	60
Figura 20. Imagen satelital del año 2002.....	61
Figura 21. Imagen satelital del año 2022.....	62
Figura 22. Corrientes de agua de la localidad de Usme año 2009.....	64
Figura 23. Corrientes de agua de la localidad de Usme año 2022.....	65
Figura 24. Comparativa de corrientes de agua en la localidad de Usme.....	66

Figura 25. Mapa de ubicación canteras mineras del año 2002.....	67
Figura 26. Mapa de riesgos y amenazas naturales de Usme años 2005.....	68
Figura 27. Mapa de ubicación canteras mineras del año 2022.....	69
Figura 28. Mapa actual de amenaza por movimientos en masa localidad Usme.....	70
Figura 29. Imagen satelital año 2002.....	72
Figura 30. Imagen satelital año 2022.....	73

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Clasificación Litológica.....	81
Anexo 2. Clasificación Pendiente.....	81
Anexo 3. Clasificación precipitación.....	82
Anexo 4. Clasificación Sismicidad.....	83
Anexo 5. Evidencia estudio de campo.....	83

1. RESUMEN

En el presente trabajo se analizó la amenaza por fenómenos de remoción en masa sobre los servicios ambientales en la localidad de Usme empleando factores morfodinámicos asociados a la explotación minera, para ello se identificaron las zonas que presentan un alto riesgo a deslizamientos por medio de la metodología Mora Vahrson, seguido a esto se reconoció el cambio en la cobertura vegetal y recurso hídrico a través del tiempo evaluando la incidencia que ha tenido sobre los servicios ambientales y por último se evaluaron los mapas de susceptibilidad a deslizamientos de diferentes años con los cuales se obtuvo la incidencia de la minería sobre las comunidades aledañas. Como resultado se tiene que 1.260,39 Ha de Usme se encuentran en una amenaza alta de deslizamientos, como consecuencia se están afectando los 4 servicios ambientales de abastecimiento, regulación, soporte y cultural, además las UPZ susceptibles a derrumbes son Danubio, Gran Yomasa y parque entre nubes.

Palabras clave: Remoción en masa, servicios ambientales, mineros, morfodinámicos.

2. ABSTRACT

In the present work, the threat of landslide phenomena on environmental services in the locality of Usme was analyzed using morphodynamic factors associated with mining exploitation, for which the areas with a high risk of landslides were identified by means of the Mora Vahrson methodology, This was followed by recognizing the change in vegetation cover and water resources over time, evaluating the impact it has had on environmental services, and finally, the landslide susceptibility maps for different years were evaluated to obtain the impact of mining on the surrounding communities. As a result, 1,260.39 hectares of Usme are under a high landslide threat, as a consequence, the four environmental services of supply, regulation, support and cultural services are being affected, and the UPZ susceptible to landslides are Danubio, Gran Yomasa and Parque Entre Nubes.

Keywords: Mass removal, environmental, mining and morphodynamic services.

3. INTRODUCCIÓN

Los movimientos de remoción masa, deslizamientos o desprendimientos de tierra, son procesos que se generan cuando los materiales constituidos por rocas, suelo, tierra o detritos se derrumban ladera abajo por acción de la gravedad, son causados por diversos factores que aumentan la probabilidad de ocurrencia, tales como las condiciones del terreno, procesos naturales y procesos artificiales, además se clasifican en tres tipos de movimientos: desprendimientos y volcamientos, los deslizamientos y los flujos y reptaciones (IDIGER, 2021). Una de las principales causas de este tipo de fenómenos se da por las actividades antrópicas, principalmente la minería, pues solo en la ciudad de Bogotá se desarrolla el 16% de los títulos mineros del país que están relacionados a los materiales de construcción (arenas, gravas y arcillas) (ANM, 2022). Este alto porcentaje se debe por la cantidad de proyectos de obras civiles en procesos constructivos que se desarrollan como consecuencia del crecimiento poblacional de la ciudad y consumen con rapidez los recursos naturales del para la obtención de dichos materiales (Gómez, Hernández & Zafra, 2020).

La minería se concentra principalmente en seis localidades, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Rafael Uribe, Usaquén y Usme, siendo esta última una de las que presenta mayor cantidad de explotación de canteras debido a que una parte importante del área urbana y rural de Usme se encuentra asentado sobre los cerros orientales que contienen areniscas y arcillas los cuales son usados para la fabricación de hormigón, morteros, cementos asfálticos, entre otros materiales necesarios para la construcción y ejecución de obras de infraestructura (Gómez, 2015). Debido a que esta localidad presenta alto potencial minero es probable que sea susceptible a fenómenos de remoción en masa que se dan como consecuencia de la afectación a los factores geomorfológicos, provocando un alto grado de susceptibilidad al desprendimiento de tierra o remoción de masa.

Dicha actividad trae consigo diversos impactos negativos directos entre los que se encuentra la remoción de las capas del suelo, cambio en la cobertura vegetal, modificaciones geomorfológicas, generación de cargas contaminantes que afectan la calidad del agua en ríos, lagos y acuíferos, así como la calidad del aire, procesos de erosión, cambio del curso de los cauces, contaminación por metales, generación de ruido, entre otros (Cárdenas & Chaparro, 2004); los cuales afectan directamente a los servicios ambientales que puede ofrecer dicha localidad, entre los que se encuentran el abastecimiento, soporte, regulación y culturales. Es importante resaltar que no solo afecta al medio ambiente, sino que pone en riesgo la salud de las personas que viven cerca de las canteras, puesto que al estar expuestas a este tipo de actividades pueden generar enfermedades patológicas, problemas respiratorios, etc., así como afectaciones a los bienes como consecuencia de los derrumbes que se pueden llegar a presentar (Gómez, 2015).

Con el fin de evaluar las consecuencias que trae la actividad minera a la localidad de Usme, el presente proyecto analiza la amenaza por fenómenos de remoción en masa sobre los servicios ambientales por medio de la metodología Mora Vahrson que se encarga de llevar a cabo un estudio de deslizamientos a través de factores morfodinámicos de susceptibilidad entre los que se encuentran el relieve relativo, litología y humedad relativa; y factores de detonantes como sismicidad y precipitación; todo esto por medio del software Arcgis siendo este un sistema de información geográfica que permite el geoprocetamiento y análisis de datos para la obtención de resultados (Mora & Vahrson, 1993). Por último, se evalúa la incidencia, de las zonas con susceptibilidad de amenaza alta, sobre los servicios ambientales propios de la localidad y las comunidades aledañas a las canteras para identificar las afectaciones que se están presentando como consecuencia de las actividades extractivas.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la amenaza por fenómenos de remoción en masa sobre los servicios ambientales en la localidad de Usme empleando factores morfodinámicos asociados a la explotación minera de la zona de estudio.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Categorizar las áreas susceptibles a fenómenos de remoción en masa como consecuencia de la actividad minera por medio de metodología Mora-Vahrson.
- Evaluar la incidencia que tiene la explotación minera en los servicios ambientales presentes en la zona de estudio.
- Identificar el impacto de la remoción en masa en las comunidades aledañas a las canteras que se presenta por la actividad minera en la localidad de Usme.

5. ANTECEDENTES

La explotación minera surge a partir del siglo XIX y se posiciona en las décadas de los 50 a los 70 debido a la densificación demográfica que presenta Bogotá, que se ve reflejada principalmente en las cabeceras municipales; a partir de esto se empieza a generar una alta demanda de extracción de minerales para la construcción de la infraestructura de la ciudad en los cerros orientales (Secretaria de ambiente, 2020); lo cual se intensifica cuando la Real audiencia dicta parámetros en la construcción de las casas, estipulando que estas debían ser de piedra y teja para evitar incendios; por lo que se convierten los cerros orientales como el primer proveedor de materias primas para las obras civiles (Gómez, Hernández & Zafra, 2020).

A lo largo del tiempo la actividad minera se empezó a concentrar específicamente en cinco localidades; San Cristóbal donde prima la extracción de arcillas, Ciudad Bolívar para la formación de canteras a cielo abierto de areniscas y lodolitas, Rafael Uribe para la conformación de chircales y ladrilleras, Tunjuelito y Usme donde se extraen lodolitas y arcillolitas (secretaria de ambiente, 2020). Por otro lado, Usme se ha catalogado como una de las principales localidades promotoras de la extracción minera, actualmente las empresas que se dedican a la explotación de minerales son Ladrilleras Prisma SAS, Helios SA, Yomasa SA y Zigurat SAS, por lo que se deben otorgar títulos mineros que certifiquen que estas empresas llevaran a cabo una actividad donde se prevenga la remoción en masa (Secretaria de ambiente, 2020), por lo cual la Alcaldía de Bogotá realizó una Caracterización General de Escenarios de Riesgo donde se identifica la amenaza que existe por los movimientos en masa por cambios en la estabilidad del suelo donde se encontró que las UPZ Danubio y Gran Yomasa están en una categoría de “zonas de alto riesgo no mitigable” donde cabe resaltar que la localidad entera se encuentra asociada a fenómenos geológicos por sismos siendo un detonante en cuanto a derrumbes (CL GR-CC USME, 2018).

Para reconocer las zonas de mayor amenaza se llevan a cabo diferentes métodos donde se determine las zonas susceptibles a deslizamientos, para ello (Román & Feoli-Boraschi, 2018) analizan el uso de la metodología Mora-Vahrson y el método morfométrico para determinar áreas de susceptibles a deslizamientos en una microcuenca ubicada en Costa Rica, donde se evidencia que las dos son de gran utilidad porque tienen resultados lo suficientemente precisos para la gestión del riesgo de desastres, la principal diferencia radica en la cantidad de base de datos disponibles en la investigación; mostrando a partir de la metodología Mora- Vahrson que el 35,4% de la microcuenca se encuentra en susceptibilidad de deslizamiento “Mediana” mientras otro 8% del área de estudio está clasificado como susceptibilidad de desplazamiento “Alta”. Otro estudio relacionado con la metodología Mora-Vahrson, en el cual Alvarado et al. (2019) plantearon un modelo de susceptibilidad de derrumbes para el volcán Poás como respuesta al terremoto de Cinchona con una magnitud de Mw 6.2 donde se usaron datos LiDAR Atenuación PGA y GIS y se obtuvo como resultado que los cañones de los ríos Toro y Sarapiquí ubicados al oeste del cráter principal del Poás y áreas donde se ubica La Paz se encuentran con un grado de susceptibilidad “Alta”, a diferencia del Río Cuatro Lavas que tiene una susceptibilidad de derrumbe “Baja”, esto debido a las altas pendientes y por el nivel de meteorización de las rocas.

También se han realizado estudios donde se evalúa la susceptibilidad de deslizamientos por minería con datos basados en SIG; como un estudio realizado por Chen et al. (2018) donde realiza una comparación de tres técnicas de minería de datos de última generación para la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en Longhai, China, utilizando el modelo de bosque aleatorio, el mejor árbol de primera decisión y el árbol ingenuo de Bayes; donde se evidencia que el primer método obtuvo el error estándar más pequeño de 0,025, con un intervalo de confianza del 95 %, demostrando así que es una de las técnicas más eficientes para utilizar en el mapeo de datos de deslizamientos de tierra.

Es importante aclarar que también se han realizado investigaciones donde se analiza la probabilidad de remoción en masa a través de Mora Vahrson, en el que se encuentra un estudio denominado “Evaluación y zonificación de susceptibilidad y amenazas/peligros por fenómenos de remoción en masa en el cantón Pallatanga, escala 1:50.000”, para lo cual se evidencia como resultado para el modelo de deslizamientos que aquellas zonas con un grado de amenaza muy alto, están principalmente compuestas por una cobertura de pastos cultivados, cultivos anuales que se encuentran asociados a geoformas con una pendiente superior al 40% y un desnivel de 150 m que se encuentran localizadas en los sectores de La Cruz, Trigoloma, Los Santiagos, Multitud, y lugares aledaños al poblado de Pallatanga (Garzón & Pabón, 2014).

Además también se ha realizado estudios en Colombia, específicamente en el Valle del Cauca donde presenta una zonificación del grado de amenaza por deslizamiento en el barrio El Mortiñal, en el que utilizan los mismos parámetros planteados en la ecuación original de Mora Vahrson y como resultado tiene que la zona de estudio se encuentra en grado de amenaza alta por lo cual propone diferentes planes de prevención y mitigación a favor de la comunidad (Mercedes & Figuerosa, 2017), para el municipio de Onzaga en el departamento de Santander, el ingeniero Gustavo Rey realizó el análisis amenaza, vulnerabilidad y riesgo, donde obtuvo que la zona de estudio tiene un grado de amenaza por remoción en masa bajo por las características intrínsecas y extrínsecas del área de estudio (Rey, 2020).

De igual manera se tiene para el municipio de Lenguazaque del departamento de Cundinamarca en el que analizan la influencia que tienen los factores geológicos y geomorfológicos asociados a la explotación minera de acuerdo a la amenaza por lo fenómenos de remoción en masa donde se identifica que dicho municipio tiene una susceptibilidad de amenaza intermedia con un 44,3%; sin embargo se presenta una amenaza alta principalmente en la parte central con un 19,15% de área que se categoriza en riesgo 3 (Gómez & Rincón, 2021)

6. MARCO TEÓRICO

6.1. MARCO CONCEPTUAL

6.1.1. Minería

La minería en Colombia es considerada una actividad económica que tiene cuatro etapas principales las cuales son; exploración, construcción, explotación y abandono dispuesto así por la Ley 685 de 2001, además a ello se clasifica de acuerdo al tamaño del proyecto y los minerales extraídos, por lo cual cuantifica el número de hectáreas utilizadas, si es menor o igual a 150 es pequeño, entre 150 -5000 es mediano y mayor a 5000 hasta 10000 es grande, para el segundo parámetro se mide la cantidad de toneladas por año de los minerales tales como; carbón, materiales de construcción, metálicos, no metálicos, materiales preciosos y piedras preciosas (EITI COLOMBIA,2016)

6.1.2. Amenaza

Está caracterizada como un evento físico que se da por origen natural o que puede ser provocado por las actividades humanas; su efecto puede causar pérdida de vidas, impactos, daños o pérdidas de bienes, infraestructura y aspectos ambientales; la caracterización de esta por movimientos en masa se evalúa según su intensidad y frecuencia de ocurrencia; expresando cuantitativamente la magnitud de factores detonantes (lluvia o sismo) para una región determinada (SGC, 2017).

6.1.3 Movimientos en masa

Es considerado un proceso de remoción en masa que se da por movimientos de laderas, fallas de taludes, detritos o tierras; su magnitud se describe cuantitativamente por el volumen o área y su intensidad está dada por datos descritos como atributos de velocidad o desplazamiento diferencial. Se determina por medio de factores intrínsecos o condicionantes y detonantes, que demuestran información sobre el tipo de deslizamiento y probabilidad de ocurrencia que se puede generar (SGC, 2017).

6.1.4. Mora Vahrson

Es una metodología que permite realizar un análisis a priori de la amenaza de deslizamientos de un área en específico por medio de factores morfodinámicos de susceptibilidad entre los que se encuentran el relieve relativo, litología y humedad relativa; y factores de disparo como sismicidad y precipitación; cada uno de estos presenta un índice de influencia que la combinarse se obtiene un valor de susceptibilidad de amenaza (Mora & Vahrson, 1993).

6.1.5. Geología

Es una ciencia que tiene por objeto el estudio de la composición, estructura y evolución de los materiales que componen la tierra, comprende ramas de estudio tales como la geofísica, tectónica, estratigrafía, edafología, meteorología, geomorfología, etc y su importancia se basa en el estudio de prevención de fenómenos naturales, análisis de recursos hídricos o exploración de yacimientos (Montoya & Reyes, 2005).

En el caso de Bogotá, se encuentra ubicado en la parte central de la cordillera Oriental que se conforma por rocas sedimentarias que van desde el cretácico superior hasta el cuaternario; aquellas con mayor antigüedad se encuentran ubicadas en las formaciones Chipaque, Simijaca, Conejo y La Frontera; sin embargo, en el Paleógeno la sedimentación fluvial dio origen a formaciones como Cacho, Bogotá, Regadera y Tilatá. Además, a esto es posible ubicar zonas de fallas de cabalgamientos y retrocabalgamiento, así como áreas con gran diversidad de recursos disponibles para el abastecimiento (Montoya & Reyes, 2005).

6.1.6. Geomorfología

Es la ciencia que estudia y clasifica las geoformas de la tierra y procesos asociados, las cuales se dan por el resultado de procesos endógenos formadores de el relieve principal y exógenos asociados al desgaste del relieve y formación de llanuras; estas se componen de múltiples ambientes morfogenéticos tales como (Castiblanco, Jaramillo & Robertson, 2013):

- Glacial: Pertenece al periodo cuaternario formado por diversos ciclos glaciales y periodos fríos altamente erosivos y de acumulación que se asocian a la gelifracción y abrasión de glaciares
- Estructural: Corresponde a las zonas de bloques tectónicos de rocas sedimentarias y macizos ígneos metamórficos.
- Volcánico: Se caracteriza por las geoformas construidas por erupciones magmáticas lávicas de miles de kilómetros de extensión.
- Fluvial: Denominado por las corrientes de agua y transporte de sedimentos en la superficie terrestre.
- Eólico: Son procesos que se relacionan con la erosión, transporte y sedimentación como consecuencia del viento.
- Cárstico: Es caracterizado por los procesos de disolución de las rocas carbonatadas.
- Denudacional: Son procesos erosivos hídricos y gravitatorios que se dan en condiciones secas relacionadas con la disección y pérdida del suelo.
- Marino: Son geoformas de la zona costera que se dan por el resultado de procesos marinos de oleaje sobre factores continentales como la litología.
- Antropogénico: Son geoformas presentadas por la alteración del terreno como consecuencia de las actividades antropogénicas.

Para el caso de Bogotá la geomorfología se compone principalmente de los ambientes antrópico, denudacional, glacial, fluvial y estructural; comprendiendo diversas unidades tales como aquellas modificadas por el hombre, colinas residuales, laderas coluviales, conos aluvio torrenciales, valles coluvio aluvial, circos glaciares, laderas glaciadas, crestas, escarpes tectónicos, entre otros (Castiblanco, Jaramillo & Robertson, 2013).

6.1.7. Cobertura vegetal

Es la cobertura física que se muestra en la superficie terrestre que incorpora aspectos como la vegetación, elementos antrópicos, afloramientos rocosos y cuerpos de agua existentes, esta surge por medio de análisis espectrales de características fisonómicas y ambientales; para realizar la caracterización de este factor se emplea la metodología europea CORINE Land Cover con el fin de establecer un monitoreo para generar información actualizada y confiable (IDEAM, 2012). Bogotá se caracteriza esencialmente en la parte norte por una gran área de zona tejido urbano ya sea continuo o discontinuo y en el sector del sur en su mayoría se compone de herbazales y pastos limpios; sin embargo, también existen otros sectores de plantación forestal de bosques de galería o riparios, zonas industriales, láminas o cuerpos de agua, etc. (Jardín botánico de Bogotá, 2020).

6.1.8. Pendiente

La pendiente de un suelo es denominada como el ángulo de un suelo que se forma con el plano horizontal y el plano de la tangente de un terreno; su cálculo se realiza a través de un modelo digital de elevación y de acuerdo al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se determinaron siete categorías de clasificación que se componen de los siguientes porcentajes (CAR, 2017):

- 0-3% A nivel
- 3-7% Ligeramente Inclínada
- 7-12% Moderadamente Inclínada
- 12-25% Fuertemente Inclínada
- 25-50% Ligeramente empínada o ligeramente escarpada
- 50- 75% Moderadamente empínada o moderadamente escarpada
- >75% Fuertemente escarpada o fuertemente empínada.

Para la zona urbana de Bogotá y cerros orientales las pendientes oscilan entre los valores del 10% al 40%, en su mayoría se concentran en rangos planos, pero también existen unas zonas categorizadas como bajas, medias y altas.

6.1.9. Sismicidad

Se considera como la medida de la actividad sísmica de un área determinada con referencia a su intensidad y frecuencia; para evaluar la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos en un periodo de tiempo es necesario conocer las fallas activas y la información registrada a nivel histórico de la zona; para el presente caso Colombia se ubica dentro de una de las zonas pertenecientes a las más activas del planeta puesto que en el país convergen las placas tectónicas Nazca y Caribe contra la Suramericana las cuales chocan y producen la formación de cordilleras y fallas geológicas (IDIGER, 2021). En el territorio se presentan diferentes niveles de amenaza categorizados como zonas altas, medias y bajas; los cuales se definen en función de la aceleración pico efectiva (A_a) y la velocidad pico efectiva (A_v) para una probabilidad de ser excedida en un lapso de 50 años, puntualmente la ciudad de Bogotá se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia debido a que representa un lugar donde A_a o A_v , o ambos, son mayores de 0.10 y ninguno de los dos excede 0.20 (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010).

6.1.10. Precipitación

Es un fenómeno por el cual el vapor de agua se condensa y llega al suelo como líquido o sólido en forma de rocío, granizo, nieve o agua lluvia; esta se mide sobre la base de una columna vertical de agua que se acumula sobre la superficie por medio de un pluviómetro que tiene una banda registradora que se encuentra en estaciones ya sean pluviográficas y pluviométricas que registran de forma mecánica y continua los datos en gráficas donde se presenta la información de la cantidad, duración, intensidad y periodo de dicho parámetro (IDEAM, s.f.); .

En Bogotá se presentan valores multianuales de precipitación que oscilan de 500 a 1000 mm, siendo los meses de abril, mayo, octubre y noviembre los más lluviosos del año; y enero, junio, julio y agosto los de menor precipitación.

6.1.11. Servicios ambientales

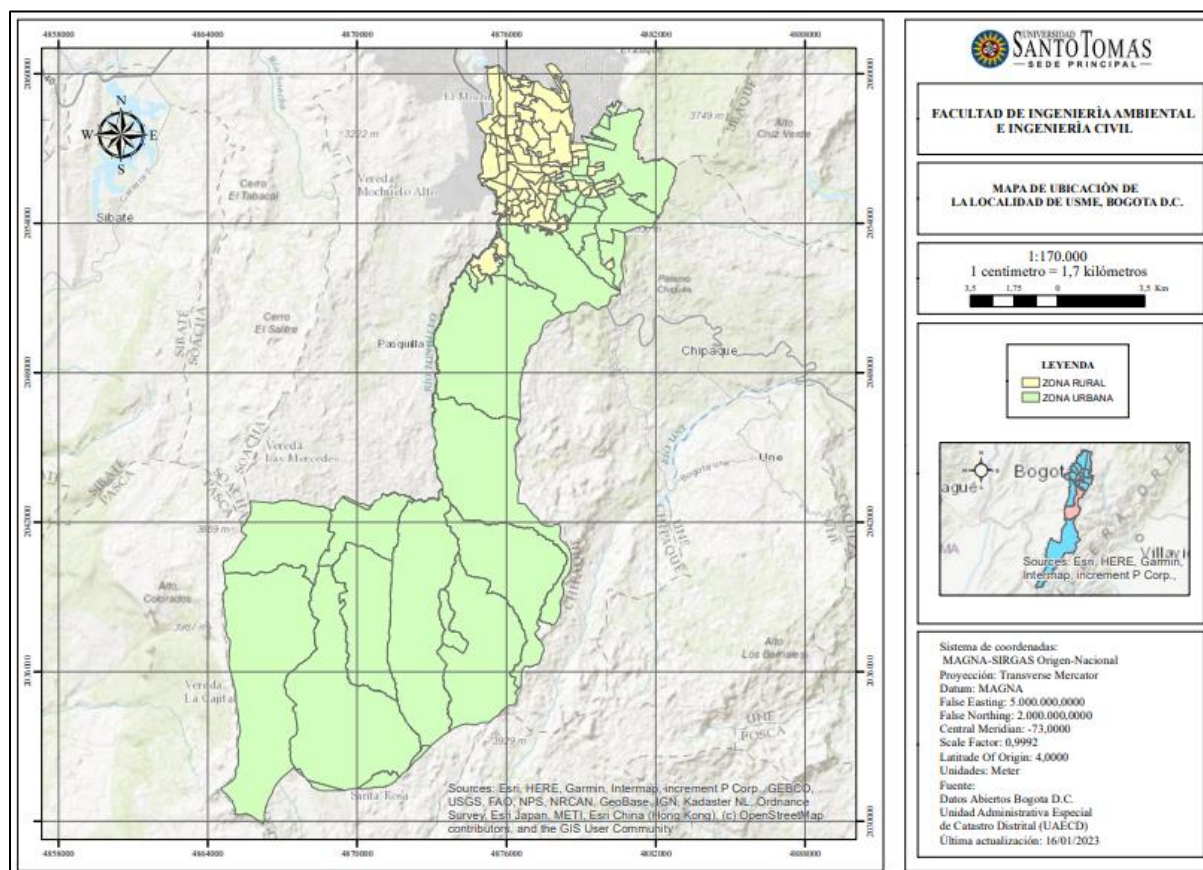
Son considerados beneficios que ofrece la naturaleza con los cuales las personas pueden satisfacer sus necesidades y requerimientos de diversas especies, existen cuatro categorías las cuales se clasifican en:

- Servicios de provisión: Alimentación, agua, madera y recursos genéticos.
- Servicios de regulación: Regulación climática e hídrica y desastres naturales
- Servicios de sostenimiento: Ciclos de nutrientes y formación de suelos.
- Servicios culturales: Educativos, recreativos y paisajísticos.

6.2. MARCO CONTEXTUAL

La localidad de Usme se encuentra al sur oriente de la ciudad de Bogotá, cuenta con un área de 21.506 Ha; limitando al norte con las localidades de Tunjuelito, Rafael Uribe y San Cristóbal, al sur con la localidad de Sumapaz; al occidente con la localidad de ciudad Bolívar y el municipio de Pasca; y al oriente con los municipios de Ubaque y Chipaue. Dicha localidad está dividida en 7 UPZ que se denominan como La Flora, Danubio, Gran Yomasa, Comuneros, Alfonso López, Parque Entrenubes y ciudad Usme; estas a su vez se conforman en la parte urbana por 279 barrios y parte rural por 14 veredas, haciendo referencia a un total de 21.506,7 Ha de las cuales 2120,7 Ha se clasifican como suelo urbano, 2120,7 Ha como suelo de expansión urbana y 18.483,9 Ha como suelo rural (Alcaldía local de Usme, 2017).

Figura 1. Mapa de ubicación de la localidad de Usme



Fuente: Elaboración propia basado en datos abiertos Bogotá

Esta zona se caracteriza por poseer diversas actividades económicas entre las que se encuentra la agricultura, ganadería, silvicultura, uso urbano y minería, esta última ha traído un gran auge no solo en la localidad, sino en diferentes puntos de la ciudad; pues tan solo La Sabana de Bogotá tiene un total de 410 títulos mineros legales que se posicionan en 35.076 hectáreas donde su principal extracción es de materiales de construcción y arcilla, dentro de la capital se hace minería en 6 localidades (ANM, 2022). En el caso de la Localidad de Usme es una actividad que se lleva desarrollando por muchos años, la cual se basa principalmente en la extracción de arcilla, gravas y arenas; evidenciándose actualmente 14 títulos mineros vigentes entre las que se encuentra la ladrillera Prisma, Cemex, Gres-que, Los Tejares, Monasterio, entre otras; dicha actividad trae consigo diversas afectaciones al medio ambiente y la salud humana puesto que gracias al aumento del crecimiento poblacional las comunidades se instalan cada vez más cerca de estos puntos de extracción (Secretaría de ambiente, 2020), la zonificación sectorial por UPZ muestra que en 7 de ellas cuenta con amenaza media a alta lo que indica que son sitios poco aptos para asentamientos humanos y una de las razones de esto, es que tiene altas probabilidades de generar movimientos grandes cantidades de material rocoso o suelo, siendo ocasionado por la fuerza de gravedad, fenómenos antrópicos o por la misma naturaleza (Alcaldía mayor de Bogotá D.C, 2018).

6.3. MARCO LEGAL

En el sector minero colombiano existen reformas normativas comprendidas en leyes, decretos y resoluciones que se encargan de regular y verificar los aspectos fundamentales de la actividad minera del país, las más esenciales se describen a continuación (EITI COLOMBIA, 2016):

Tabla 1. Normatividad minera de Colombia

Título	Disposición
Ley 685 de 2001.	El presente Código tiene como objetivo fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada, verificando que se realice de forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible.
Resolución 40391 de 2016	Por medio de esta resolución se modifica la estructura del Ministerio de Minas y Energía y se adopta la política en materia de minas, energía eléctrica, energía nuclear, materiales radiactivos, fuentes alternativas de energía, hidrocarburos y biocombustibles.
Decreto 4134 de 2011.	Por medio de este decreto se crea la Agencia Nacional de Minería, su objetivo y estructura orgánica.
Decreto 2191 de 2003	Reglamentación de elementos técnicos y administrativos del código de minas el cual establece los derechos mineros y la figura de concesión minera para la exploración y explotación.
Ley 1658 de 2013	Establece la formalización y legalización de la minería en Colombia, con el fin de garantizar la sostenibilidad y seguridad jurídica.
Decreto 1073 de 2015.	Este decreto expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía
Ley 1382 de 2010	Establece la distribución de las regalías en los diferentes entes territoriales

Resolución 180005 de 2018	Plan Nacional de Desarrollo Minero, donde se busca maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales.
Resolución 523 de 2020	Reglamentación de la explotación de yacimientos mineros, en el cual se establecen procedimientos y otros requisitos legales.
Decreto 1886 de 2015	Este decreto establece las normas mínimas para la prevención de los riesgos en las labores mineras subterráneas, adopta los procedimientos para efectuar la inspección, vigilancia y control de todas las labores mineras subterráneas y las de superficie para la preservación de las condiciones de seguridad y salud en los lugares de trabajo en que se desarrollan tales labores.
Ley 1523 de 2012	En esta ley se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, se basa en la formulación de planes y estrategias para la reducción de los mismos.
Decreto 1478 de 2022	En este decreto se adopta la actualización del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres que tiene como objetivo orientar las acciones en cuanto al conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres en cumplimiento de la Política Nacional de Gestión del Riesgo.
Decreto 1807 de 2014	Este decreto reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 relacionado en la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial.

Fuente. EITI Colombia

7. METODOLOGIA

El presente trabajo se basó en un enfoque cuantitativo y cualitativo, con el fin de cumplir el objetivo principal de analizar los fenómenos de remoción en masa sobre los servicios ambientales en la localidad de Usme empleando factores morfodinámicos asociados a la explotación minera de la zona de estudio; esto se llevó a cabo en tres grandes fases que asimismo se desglosaron en procedimientos específicos donde se articuló todo el proyecto, los cuales se presentan a continuación:

En la primera fase se utilizó la metodología Mora Varhson para identificar las zonas de Usme que son más susceptibles a fenómenos de remoción en masa para ello se recolectaron datos secundarios pertenecientes a la morfología del área, los cuales fueron clasificados en valores algebraicos donde se les otorgó un puntaje de grado de amenaza de remoción en masa que fue evaluado en tres niveles, alto (3), medio (2) y bajo (1); en el caso de cada parámetro se categorizaron usando información anexada, donde la geología y cobertura vegetal se basaron de la metodología Mora Vahrson, geomorfología de la “Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos” del IDEAM, pendiente de la “metodología del nivel de pendientes” del IGAC, precipitación de “Categorización climatológica de Bogotá” del IDIGER y sismicidad del título A de la NSR-10 “Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente”; estos fueron categorizados en factores intrínsecos y extrínsecos que se explican a través de la siguiente relación matemática:

$$S = Fc * Fd$$

Donde:

S: Índice de susceptibilidad

Fc: Factores intrínsecos condicionales (pasivos)

Fd: Factores extrínsecos condicionales (activos)

Donde la geología (Geo), Geomorfología (Gmr), Cobertura vegetal (Cveg) y la pendiente (Pend) hacen referencia a los factores intrínsecos y la sismicidad (Ts) y la precipitación (Tp) a los extrínsecos, de manera que se agrupan en la siguiente ecuación:

$$I = ((Geo * Gmr * Cveg * Pend) / 4) * ((Ts + Tp) / 2)$$

Seguido a esto se calculó un factor desencadenante, el cual se realiza de la siguiente manera:

$$F = (I * A) / 2$$

Por último se traspuso un mapa de las canteras mineras de la localidad de Usme donde se hizo el análisis de la relación existente entre el grado de amenaza por remoción en masa y la ubicación de estas; resaltando que un nivel muy bajo que no requiere medidas correctivas, bajo que requieren medidas correctivas menores y no se pueden hacer construcciones de gran envergadura, moderado donde no se pueden hacer proyectos de infraestructura sin hacer estudios de geotecnia donde se tenga en cuenta realizar estructuras de retención, alta se tienen una probabilidad <50% para ser utilizado se deben hacer estudios de estabilización a detalle e implementar medidas correctivas en toda la zona y por último probabilidad de deslizamientos muy alta >50% la cual está prohibida para usos de construcciones urbanas (Gómez & Rincón, 2021). Para segunda fase del proyecto se evaluó la incidencia que tiene la explotación minera en los servicios ambientales en las zonas de mayor riesgo de deslizamiento por medio de imágenes satelitales donde se ubicó la cobertura vegetal que está relacionada con los servicios de almacenamiento de agua, hábitat de las especies, plantación forestal, formación de suelos, regulación hídrica, entre otros; para ello se identificaron las zonas con una categoría de amenaza alta identificando los servicios ambientales que se han perdido a través del tiempo por la actividad minera (Minambiente, s.f.).

La última fase que corresponde a determinar la influencia de la remoción en masa en las comunidades aledañas a las canteras se realizó con la recolección de información de diferentes bases de datos asociadas a registros de deslizamientos a través del tiempo en la zona de estudio

haciendo la comparación de aquellos barrios propensos a deslizamientos en los que se pueden ver perjudicada la infraestructura y la salud pública, además a ello se recopiló la ubicación espacial de la extracción minera en el año 2002 y el año actual realizando una comparativa que permite reflejar la proximidad entre las comunidades y esta actividad económica.

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

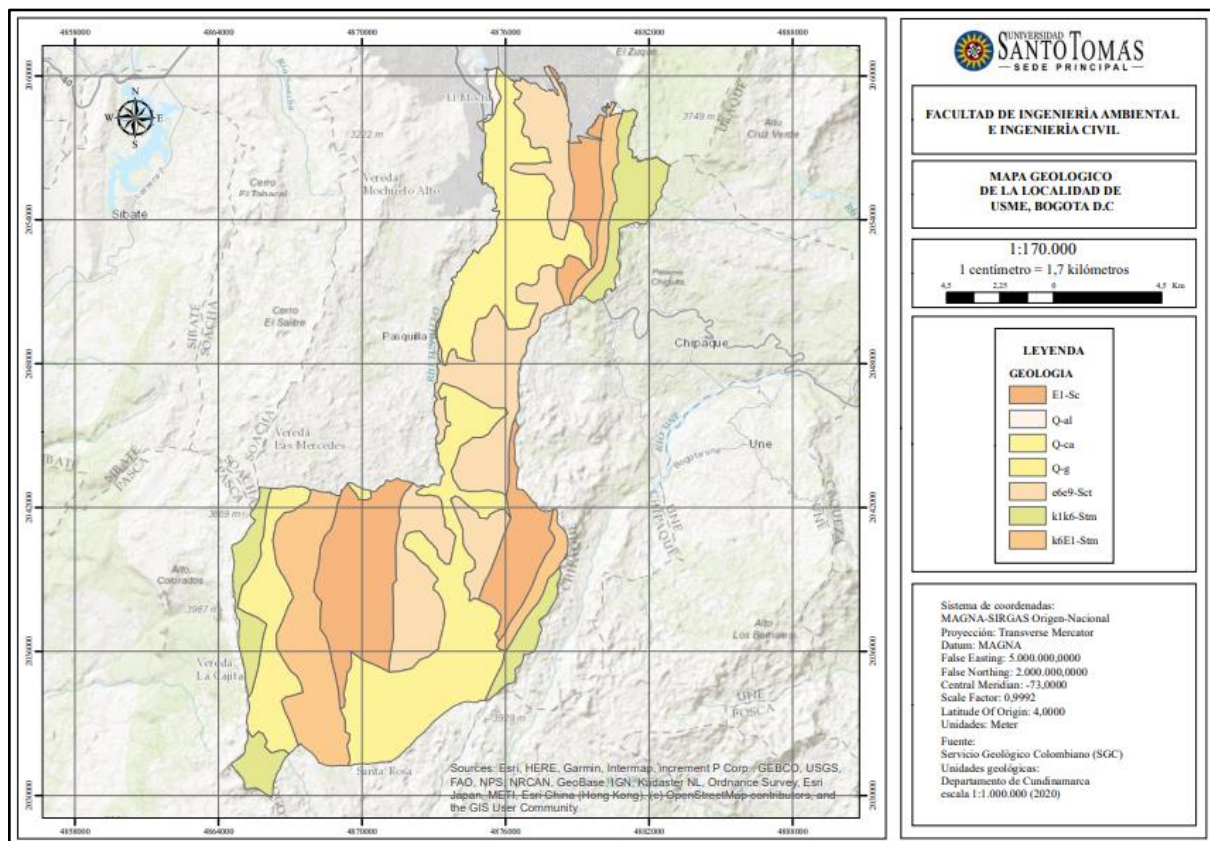
De acuerdo a la metodología planteada y de acuerdo al primer objetivo propuesto, se realizó el análisis de los factores intrínsecos y extrínsecos de la zona de estudio, con el fin de poder aplicar la ecuación mencionada para el desarrollo de la metodología Mora Varhson, como se evidencia a continuación:

Factores intrínsecos condicionales (Fc)

8.1 Geología

En la localidad de Usme se pueden encontrar 3 formaciones geológicas las cuales son; Formación Usme, Formación Guaduas y Formación La Regadera (INGEOMINAS, 2005), con datos obtenidos del Servicio Geológico Colombiano indica que los materiales presentes en esta unidad litoestratigráfica son; conglomerados de arenitas y grano medio a grueso, lodolitas, arenitas de grano fino, depósitos glaciares, coluviales y aluviales, arcillolitas rojizas, cuarzo arenitas de grano fino, entre otros (SGC, 2015), como se puede observar en el siguiente mapa:

Figura 2. Mapa geológico de la localidad de Usme.

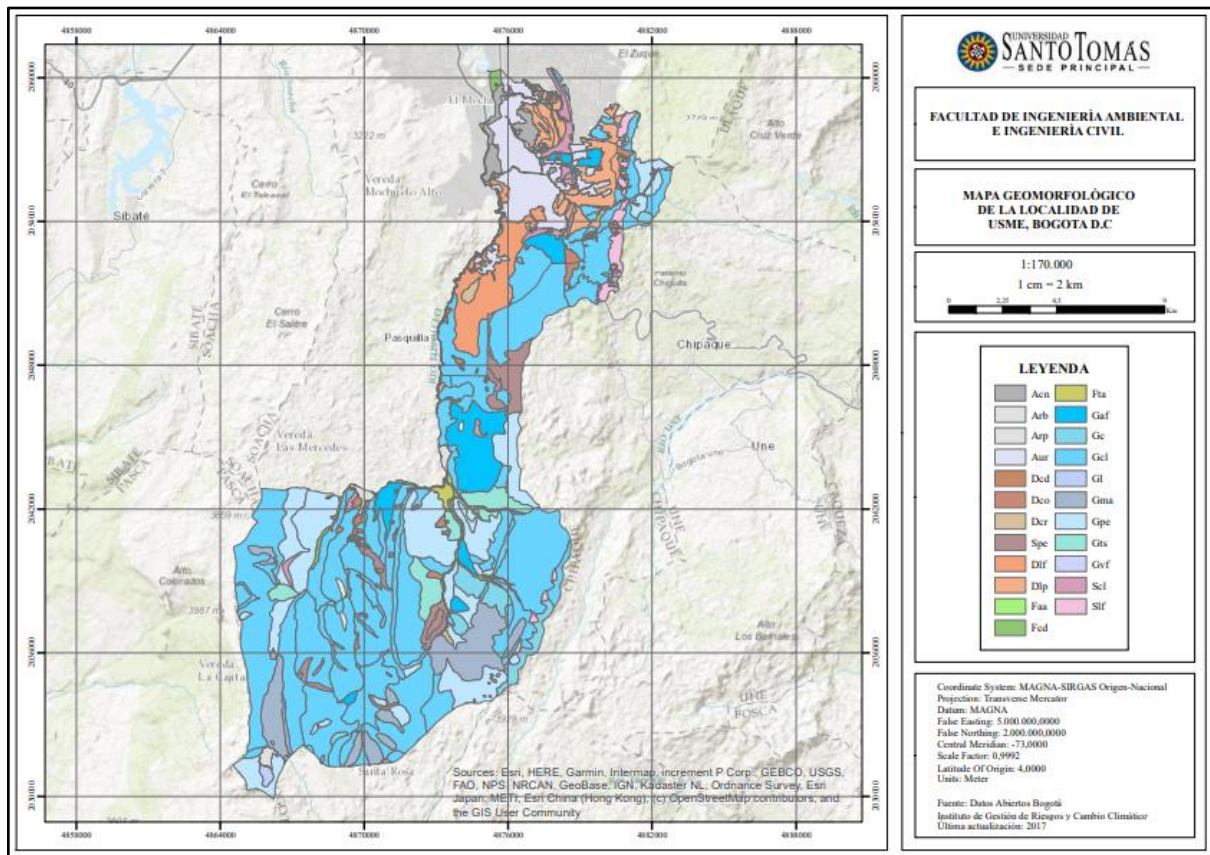


Fuente: Elaboración propia basado en datos del Servicio Geológico Colombiano

8.2 Geomorfología

Para la elaboración del mapa geomorfológico se obtuvo información de tipo Shapefile brindada por el Instituto de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, de acuerdo a esto y en base al software Arcgis se logró recopilar las unidades geomorfológicas que corresponden a la localidad de Usme, en la Imagen 3 es posible evidenciar que se encontraron cinco ambientes geomorfológicos diferentes propios de la zona de estudio los cuales son: antrópico, denudacional, fluvial, glacial y estructural (Castiblanco, Jaramillo & Robertson, 2013). De igual manera se observaron 23 sub ambientes morfodinámicos entre los que predominan la ladera estructural de espinazo glaciado, ladera en pendiente y contrapendiente estructural denudada, planchas y espolones estructurales glaciados, ladera Estructural Denudada y Residual, entre otras (IDECA, 2017).

Figura 3. Mapa geomorfológico de la localidad de Usme.

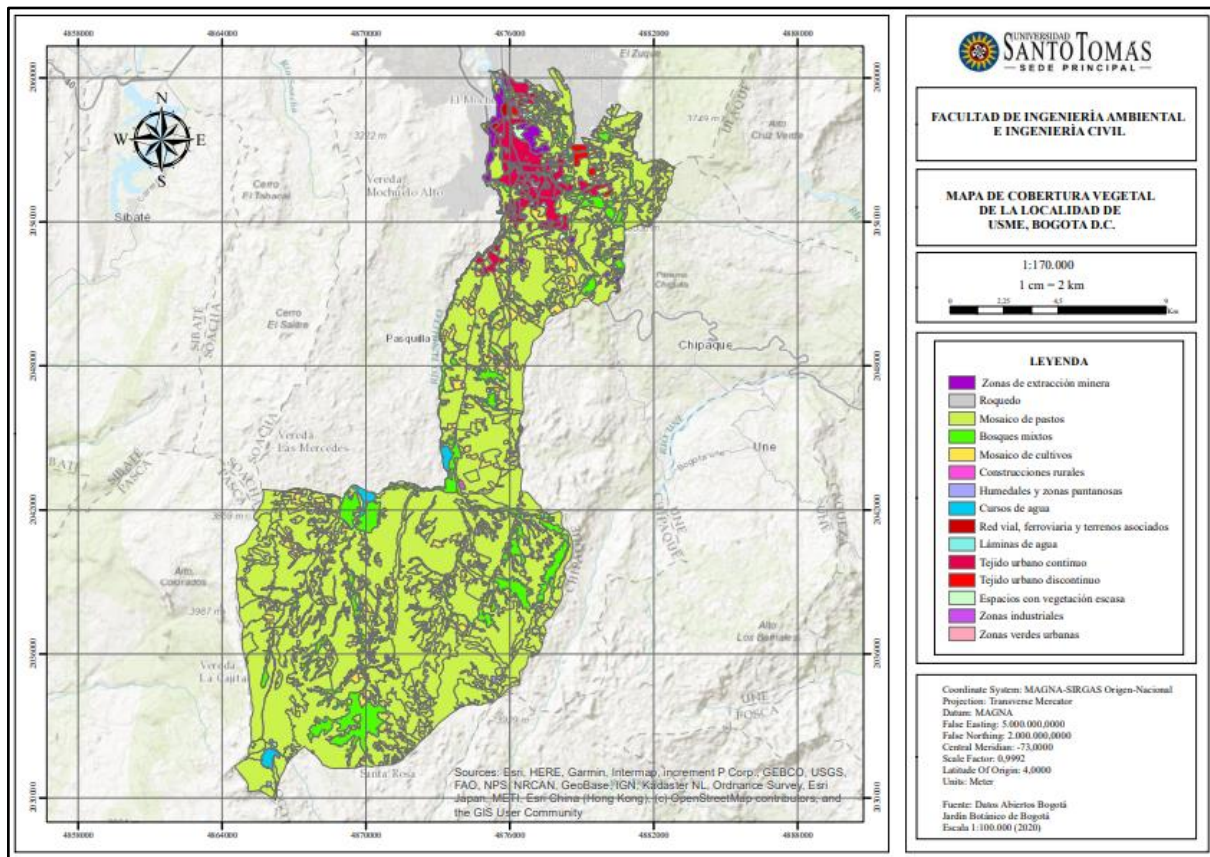


Fuente: Elaboración propia, basado en datos del IDIGER

8.3 Cobertura vegetal

De acuerdo con la información brindada por datos abiertos de Bogotá se obtuvo el mapa de cobertura vegetal de Usme que se presenta en la Imagen 4 obtenido para el año 2020, de acuerdo a esto se identificó que la zona de estudio está caracterizada principalmente por mosaico de pastos que son utilizados en su mayoría para actividades agropecuarias; sin embargo también se observó que gran parte del área está ocupada por el tejido urbano ya sea continuo o discontinuo, zonas de extracción minera, algunos segmentos de plantación forestal y cursos de agua, entre otros (Datos abiertos Bogotá, 2020).

Figura 4. Mapa de cobertura vegetal de la localidad de Usme.

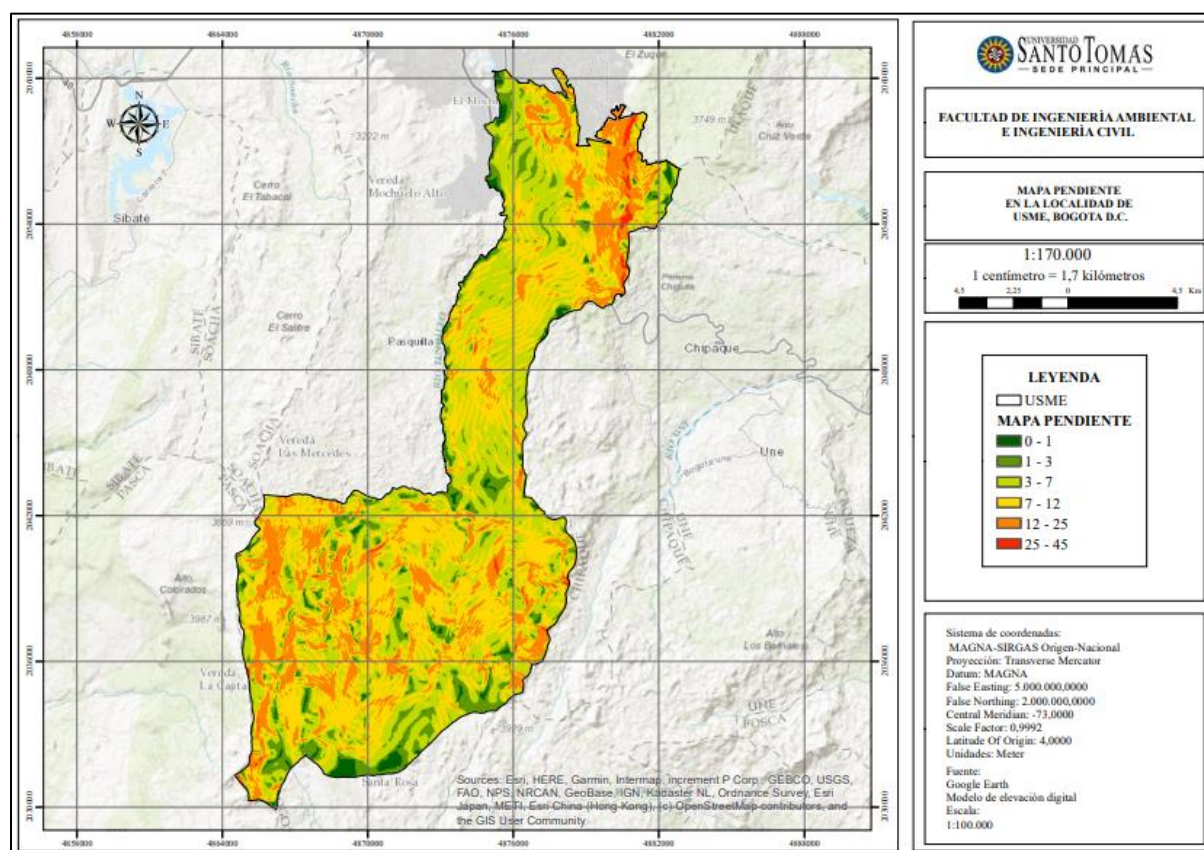


Fuente: Elaboración propia, basado en datos del Datos Abiertos Bogotá

8.4 Pendiente

Para mapa de pendiente se utilizó un modelo de elevación digital del cual se pudo obtener las curvas de nivel y a partir de un sistema de información geográfica se generaron las pendientes que fueron trabajadas a escala 1:100.000, las cuales se clasificaron según los estándares publicados del Instituto Agustín Codazzi, como resultado se observa que la zona del parque entre nubes es donde hay pendientes ligeramente escarpadas, en el resto del mapa predomina una pendiente ligeramente inclinada a fuertemente inclinada (IGAC, 2014), este es mostrado a continuación:

Figura 5. Mapa de pendiente de la localidad de Usme.



Fuente: Elaboración propia, basado en la estandarización del IGAC

Factores extrínsecos condicionales (Fd)

8.5 Precipitación

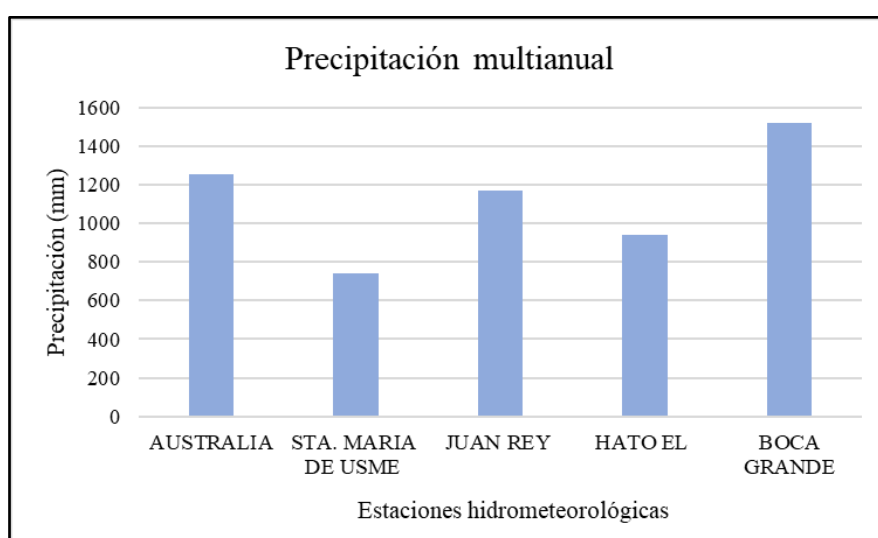
En cuanto a la precipitación, Usme se encuentra ubicado hidrográficamente dentro de la cuenca alta del río Tunjuelo y el río Blanco, para este caso se obtuvieron los datos de cinco estaciones hidrometeorológicas activas del IDEAM con un registro de 20 años (2002-2022), entre las cuales se encuentran, Australia, Sta María de Usme, Hato El, Boca Grande y Juan Rey, en la siguiente tabla se presentan los valores de precipitación multianual para cada una de las estaciones (IDEAM, s.f.):

Tabla 2. Precipitación multianual (2002-2022) de las estaciones de Usme.

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN MULTIANUAL (mm)
Australia	1254,52
Sta María de Usme	742,22
Hato El	941,62
Boca Grande	1517,08
Juan Rey	1168,12

Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDEAM

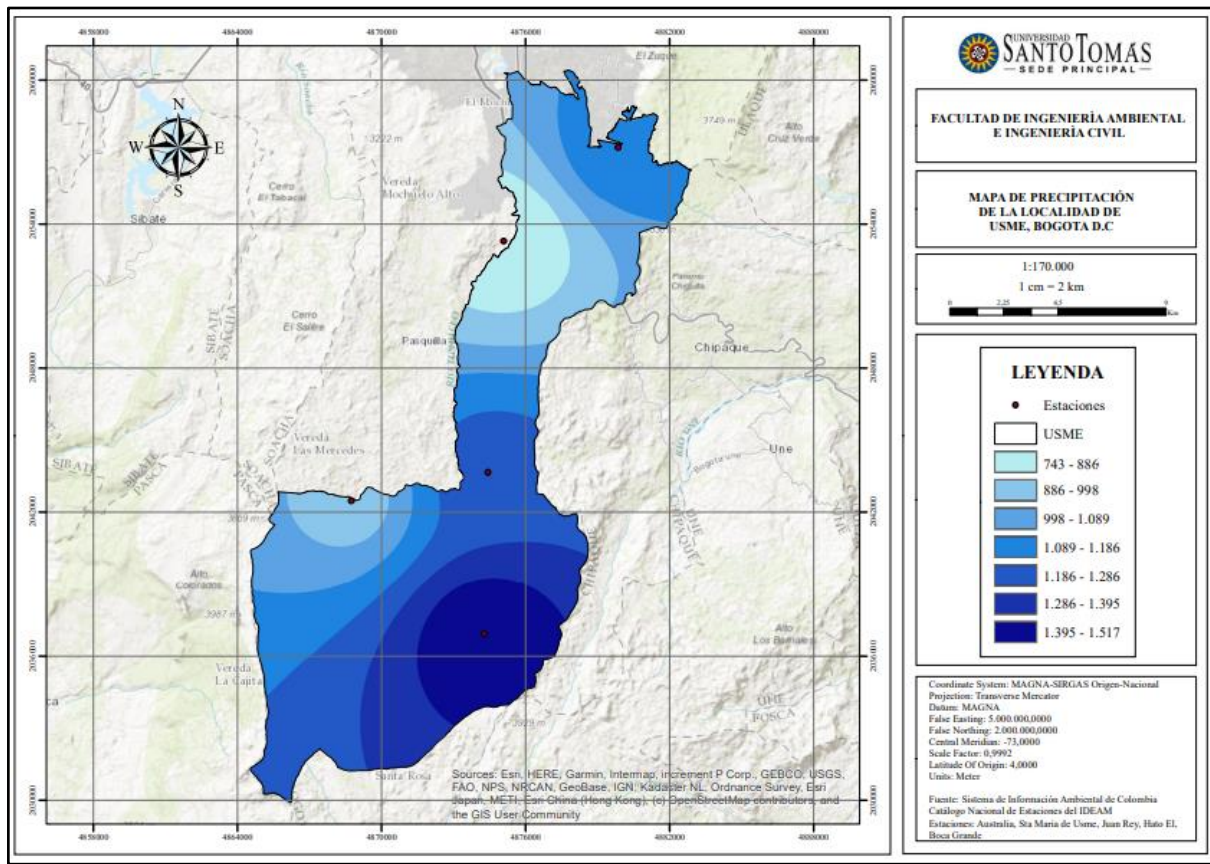
Figura 6. Precipitación multianual de las estaciones de Usme



Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDEAM

En base a los datos de precipitación multianual y por medio del método de interpolación de distancia inversa ponderada (IDW) se obtuvo el mapa correspondiente a la precipitación, en el que se observaron datos que oscilan entre los 715 mm a 1517 mm, como se observa a continuación (IDEAM, s.f.):

Figura 7. Mapa de precipitación de la localidad de Usme.

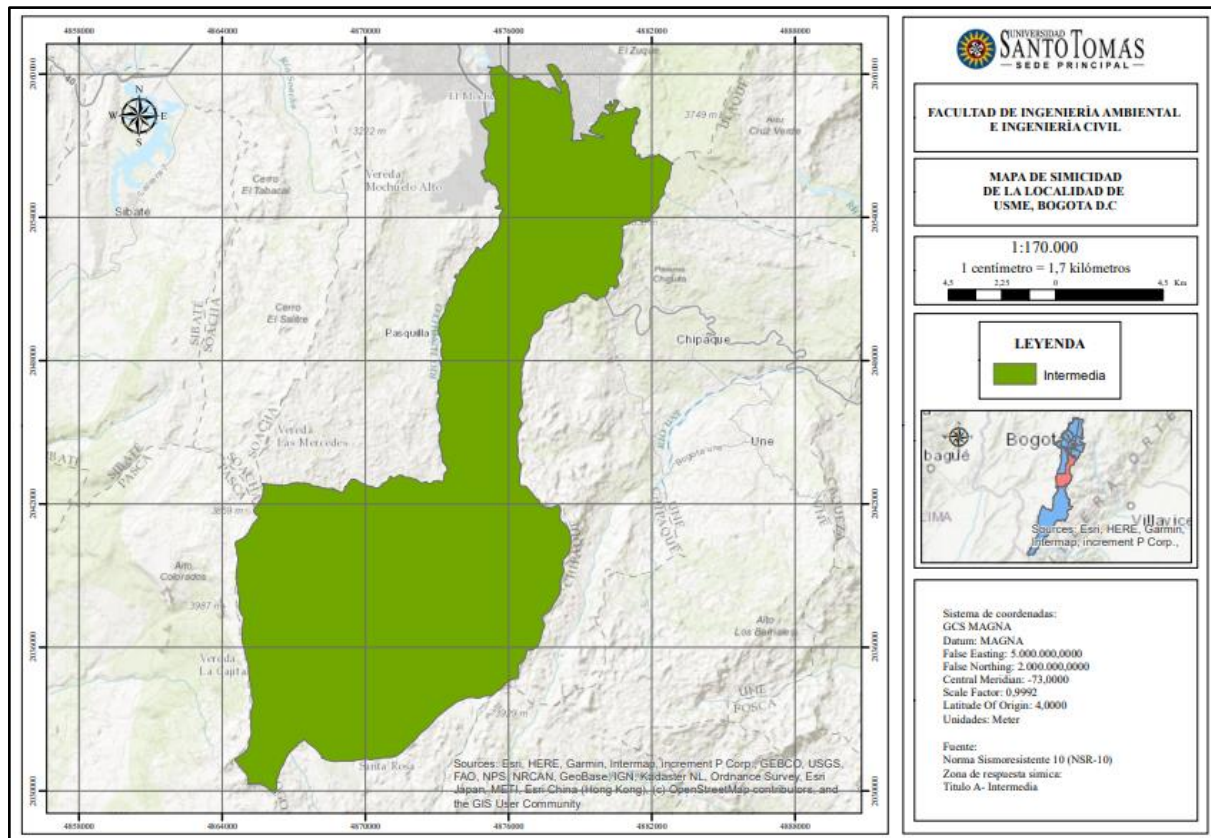


Fuente: Elaboración propia, basado en datos del IDEAM

8.6 Sismicidad

En el título A de la Norma Sismorresistente número 10 (NSR-10) la localidad de Usme se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia, donde los valores de la aceleración horizontal pico efectiva (A_a) corresponde a un valor de 0,15, esto se debe a su ubicación geográfica en el mapa nacional colombiano (NSR.10, 2010), este se puede observar en el siguiente mapa:

Figura 8. Mapa de sismicidad de la localidad de Usme



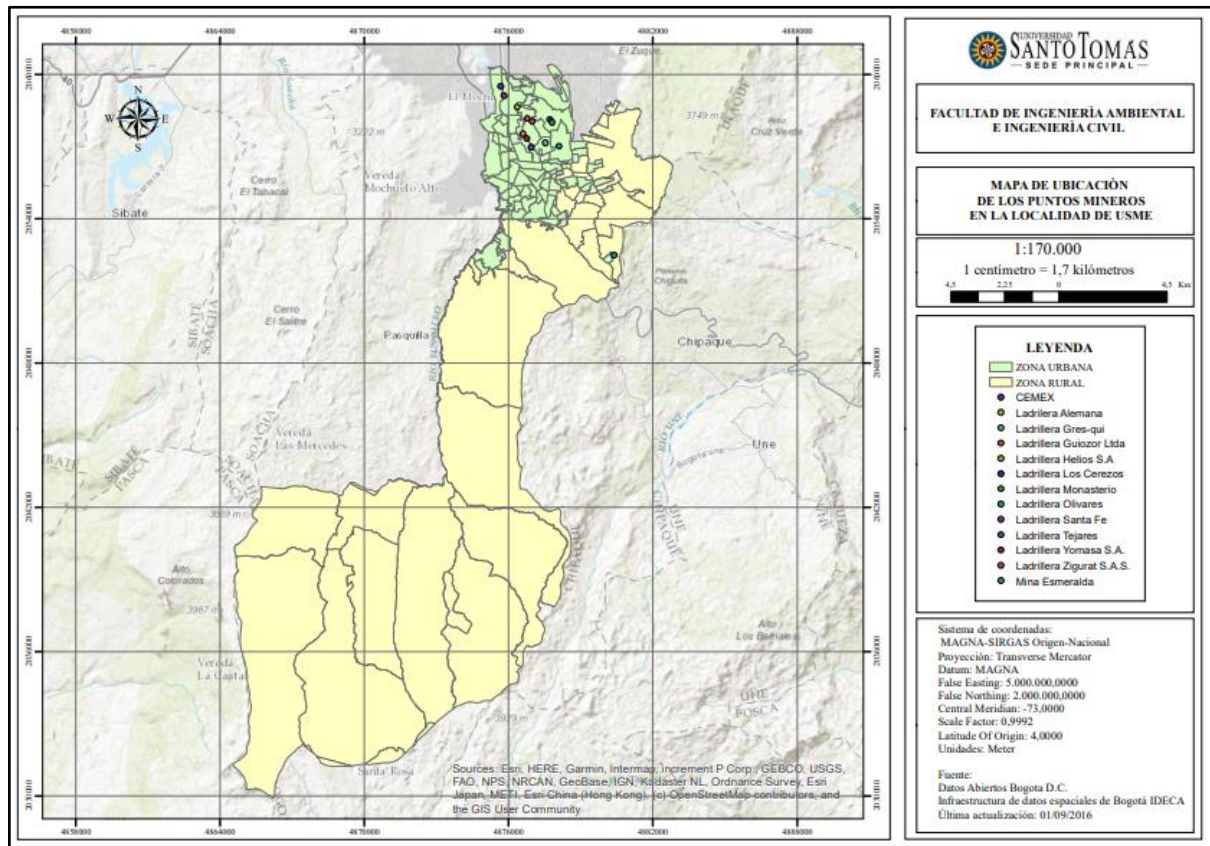
Fuente: Elaboración propia, basado en datos del NSR-10

8.7 Ubicación minera

La localidad de Usme se encuentra ubicada en el suroriente de la ciudad de Bogotá D.C, este sector tiene una extensión de 21.506 hectáreas (ha), de las cuales 2.120 hectáreas (ha) corresponden al casco urbano y 18.483 hectáreas (ha) constituyen un casco rural (Trujillo, 2013), estas zonas se organizan en 7 Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ), las cuales son; La Flora, Danubio, Gran Yomasa, Comuneros, Alfonso López, Parque Entrenubes y Ciudad Usme, estas se dividen en 120 barrios y 17 veredas (Alcaldía local de Usme, 2016), la zona rural se caracteriza por realizar actividades de extracción minera por sus características geológicas y geomorfológicas donde se ubican las siguientes ladrilleras; Alemana, Gres-qui,

Guizor Ltda, Helios S.A, Los Cerezos, Monasterio, Olivares, Tejares Yomasa S.A. Ladrillera
Zigurat S.A.S. Mina Esmeralda (IDECA, 2016), como es mostrado en el siguiente mapa:

Figura 9. Mapa de ubicación de minas de la localidad de Usme



Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDECA

9. CLASIFICACIÓN MORA VAHRSON

Con la información obtenida anteriormente se procedió a realizar la caracterización de la amenaza de los factores tanto extrínsecos como intrínsecos, la cual se clasificó en tres rangos, alto, medio y bajo, los cuales se asignaron de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de deslizamientos para cada categoría.

9.1 Geología

La clasificación del mapa de geología para otorgarle un valor de amenaza de remoción en masa se realizó por medio de la información que suministra la metodología de Mora Varhson, donde categoriza la litología del suelo y según la susceptibilidad que tenga el material a deslizamiento propone puntajes a cada uno, los cuales son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Clasificación Litológica de Usme

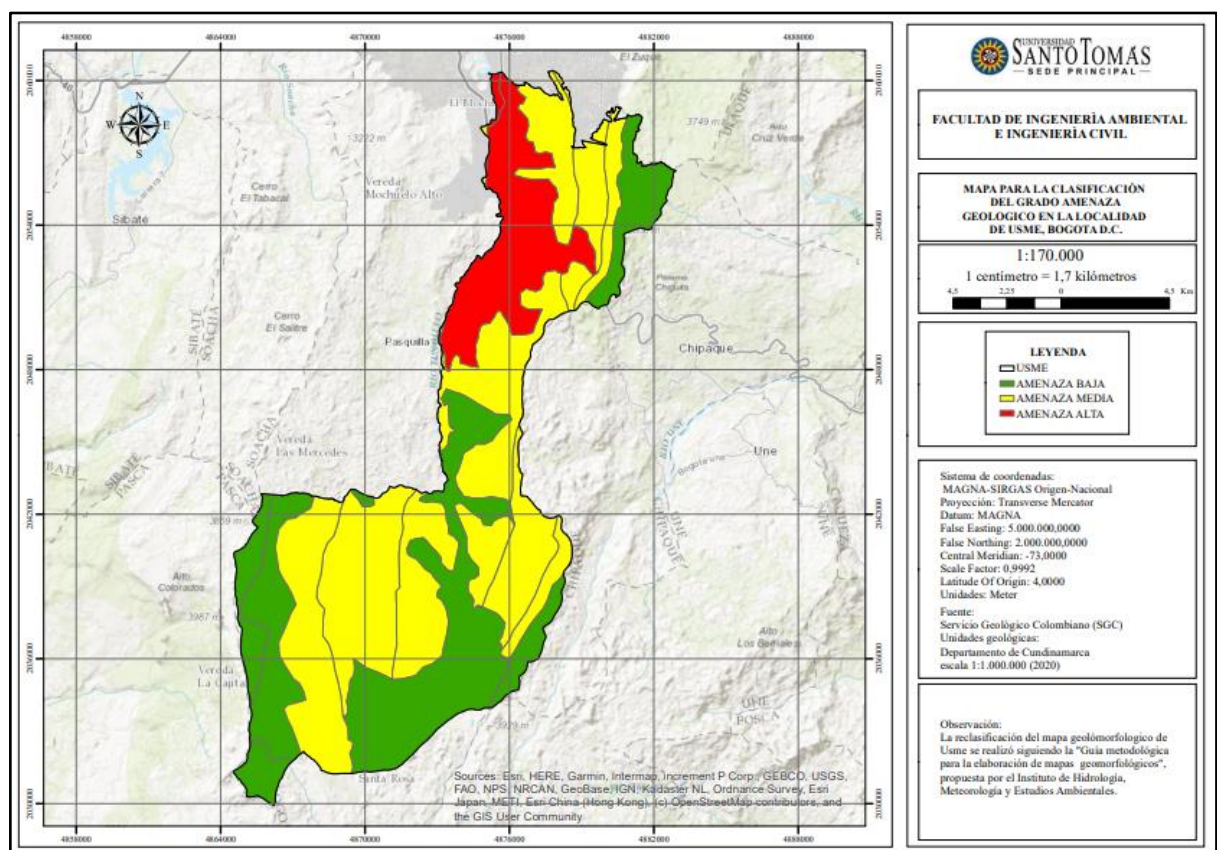
Símbolo	Descripción	Nivel susceptibilidad	VALOR
E1-Sc	Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas	ALTO	1
e6e9-Sct	Arenitas de grano fino a conglomeráticas interestratificadas con arcillolitas y limolitas.	MEDIO	1
Q-g	Depósitos glaciares	BAJO	2
Q-al	Depósitos coluviales y aluviales	ALTO	3
k6E1-Stm	Arcillolitas rojizas de grano fino.	MEDIO	1

Q-ca	Abanicos aluviales y depósitos coluviales	ALTO	3
k1k6-Stm	Shales, fosforitas, cherts y cuarzoarenitas	BAJO	1

Fuente. Elaboración propia, basado de datos del Servicio Geológico Colombiano

Esta base de datos se transfiere en forma de mapa por medio de las herramientas de un sistema de información geográfica, como lo muestra la tabla 4 los depósitos glaciares se ubican con riesgo de amenaza baja, los materiales de grano fino tales como arcillolitas, areniscas y limolitas están clasificados como riesgo medio y como alto los conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas, depósitos y abanicos coluviales y aluviales y Shales, fosforitas, cherts y cuarzoarenitas:

Figura 10. Mapa para la clasificación del grado de amenaza geológico



Fuente. Elaboración propia, basado en datos de la metodología Mora Vahrson

9.2 Geomorfología

Para la clasificación del grado de amenaza de geomorfología se tomó como referente la “Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos”, elaborada por el Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM,2014), la cual a través de técnicas de sensores remotos y cartografía digital busca proponer un sistema estándar para jerarquizar la susceptibilidad en comparación a estas se muestra la tabla de resultados:

Tabla 4. Clasificación Geomorfológica

SUBUNIDAD	NOMENCLATURA	CLASIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA
Cantera	Acn	ALTO	3
Represas	Arb	ALTO	3
	Arp	MEDIO	2
	Aur	MEDIO	2
Conos de deslizamiento rotacional recientes y antiguos	Dcd	ALTO	3
Conos y lóbulos Coluviales y de Solifluxión	Dco	ALTO	3
Cerros remanentes o relictos	Dcr	BAJO	1
Flujo Torrencial	Dlf	MEDIO	2
Ladera en pendiente y contrapendiente estructural denudada	Dlp	ALTO	3
Abanicos Aluviales	Faa	BAJO	1

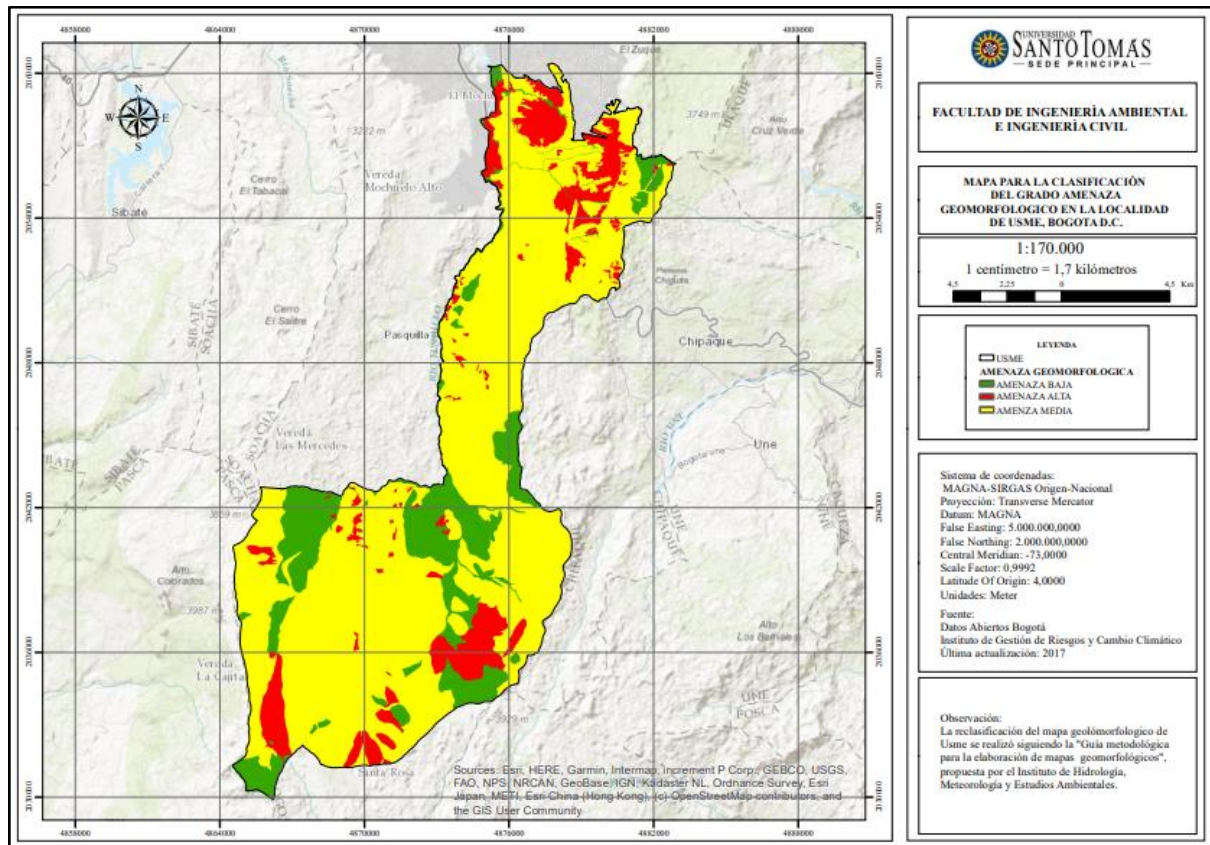
Cuencas de decantación fluvial (basines)	Fcd	BAJO	1
Terrazas fluviales actuales y recientes	Fta	BAJO	1
Abanicos fluvio glaciares	Gaf	MEDIO	2
Circos glaciares y de nivación	Gc	MEDIO	2
Ladera estructural de espinazo glaciado	Gcl	MEDIO	2
Lago glaciar	Gl	BAJO	1
Morrenas de ablación	Gma	ALTO	3
Planchas y espolones estructurales glaciados	Gpe	BAJO	1
Kames y terrazas de gelifracción	Gts	MEDIO	2
Valles o artesas glaciares	Gvf	BAJO	1
Ladera Estructural de Cuestas Denudadas y Residuales	Scl	MEDIO	2
Escarpe de Línea de Falla	Slf	MEDIO	2
Ladera Estructural Denudada y Residual	Spe	MEDIO	2

Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDEAM

Esta información es suministrada a un sistema de información geográfica, además a ello se tiene en cuenta su origen, tales como; antrópico, denudacional, glacial, fluvial y estructural, donde aquello por la geoforma del material se le denomino la clasificación susceptibilidad de

remoción en masa donde se prioriza las canteras mineras como grado alto, esto es mostrada en la siguiente figura:

Figura 11. Mapa para la clasificación del grado de amenaza geomorfológico



Fuente: Elaboración propia, basado en datos del IDEAM

9.3 Cobertura Vegetal

El mapa de reclasificación de cobertura vegetal para darle un puntaje de grado de amenaza se llevó a cabo según la metodología de Mora Vahrson por la cual otorga valores mayores a las zonas detonantes antrópicas (zonas de extracción minera, zonas de construcción) por el impacto que este puede traer sobre el terreno vegetal, la clasificación tomada se muestra para el sistema de información geográfico se muestra a continuación:

Tabla 5. Clasificación cobertura vegetal

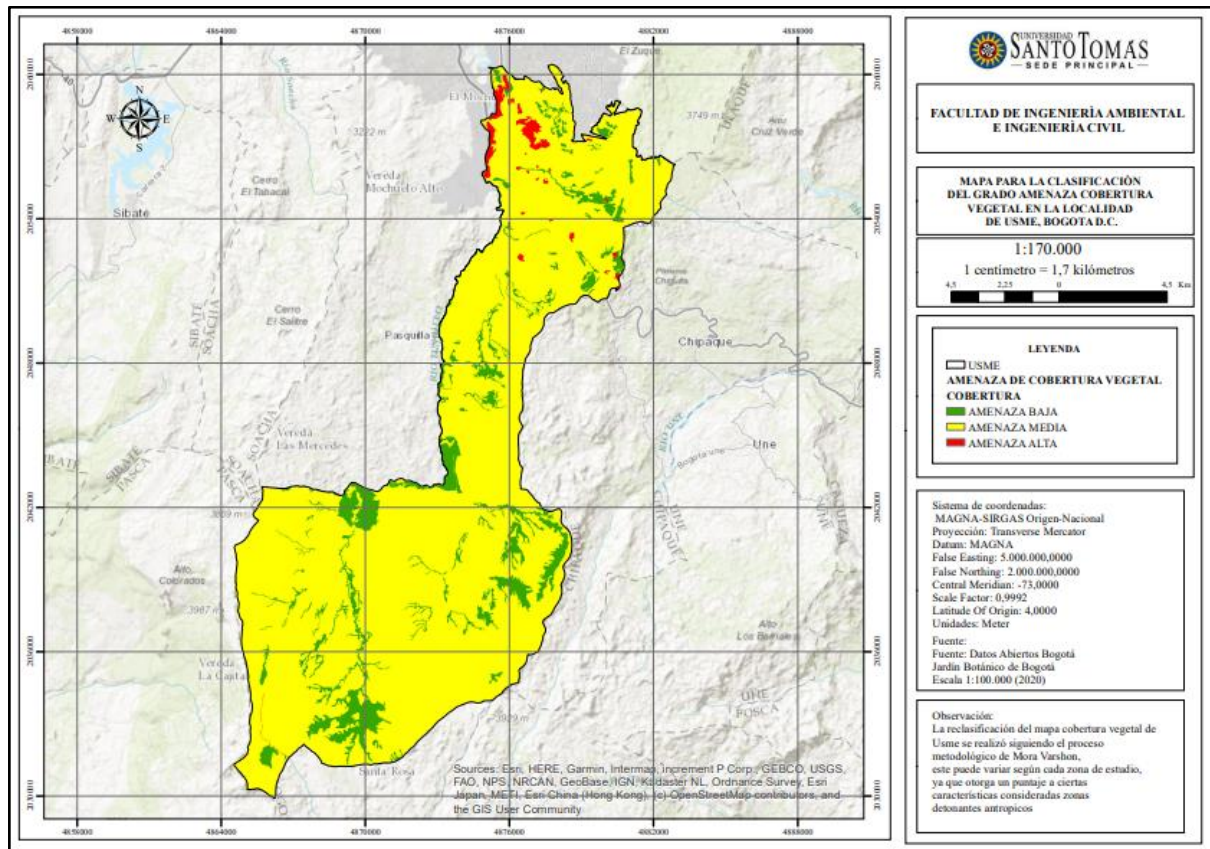
Descripción	Nivel susceptibilidad	VALOR
Zona extracción minera	ALTO	3
Roquedo	MEDIO	2
Pastizales naturales	MEDIO	2
Bosques mixtos	BAJO	1
Mosaico de cultivos	MEDIO	2
Zonas de construcción	ALTO	3
Humedales y zonas pantanosas	BAJO	1
Cursos de agua	BAJO	1
Red vial	MEDIO	2
Láminas de agua	BAJO	1
Tejido urbano continuo	MEDIO	2
Tejido urbano discontinuo	MEDIO	2
Zonas industriales	ALTO	3
Zonas verdes urbanas	MEDIO	2

Fuente: Elaboración propia, basado en metodología Mora Vahrson

Con la información tomada de la anterior tabla se realizó un mapa donde se ubica la amenaza por cobertura vegetal donde se muestra la mayor área de la localidad en grado medio en la que se ubican las zonas verdes, tejido urbano continuo y discontinuo, red vial, cultivos, pastizales y roquedos; para la zona baja se encuentran los bosques y cuerpos y de agua, y por último en

la zona de mayor amenaza se ubican las zonas industriales, de construcción y explotación minera, como se presenta a continuación:

Figura 12. Mapa de cobertura vegetal de la localidad de Usme



Fuente. Elaboración propia, basado en datos del Datos Abiertos Bogotá

9.4 Pendiente

Para el mapa de clasificación de pendiente se siguieron las indicaciones dadas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, dando valores a las pendientes para toda Colombia que son clasificados en porcentajes de 0 a >75% desde un terreno ligeramente inclinado hasta totalmente inclinado, para esta metodología se tomaron porcentajes de 0 a 45% por las condiciones propias de la zona de estudio, evaluando la situación más crítica, tomando únicamente 3 rangos como se ha manejado en los anteriores factores, siendo evaluados de 0 a 12% con susceptibilidad baja porque el IGAC toma este rango como ligeramente inclinada a

moderadamente inclinada, de 12 a 25% son pendientes fuertemente inclinadas por lo que se toman como valores de susceptibilidad media y desde 25 a 50% son zonas empinadas y escarpadas donde se le otorga un valor de susceptibilidad de alto (IGAC, 2014) esto se muestra en la siguiente tabla:

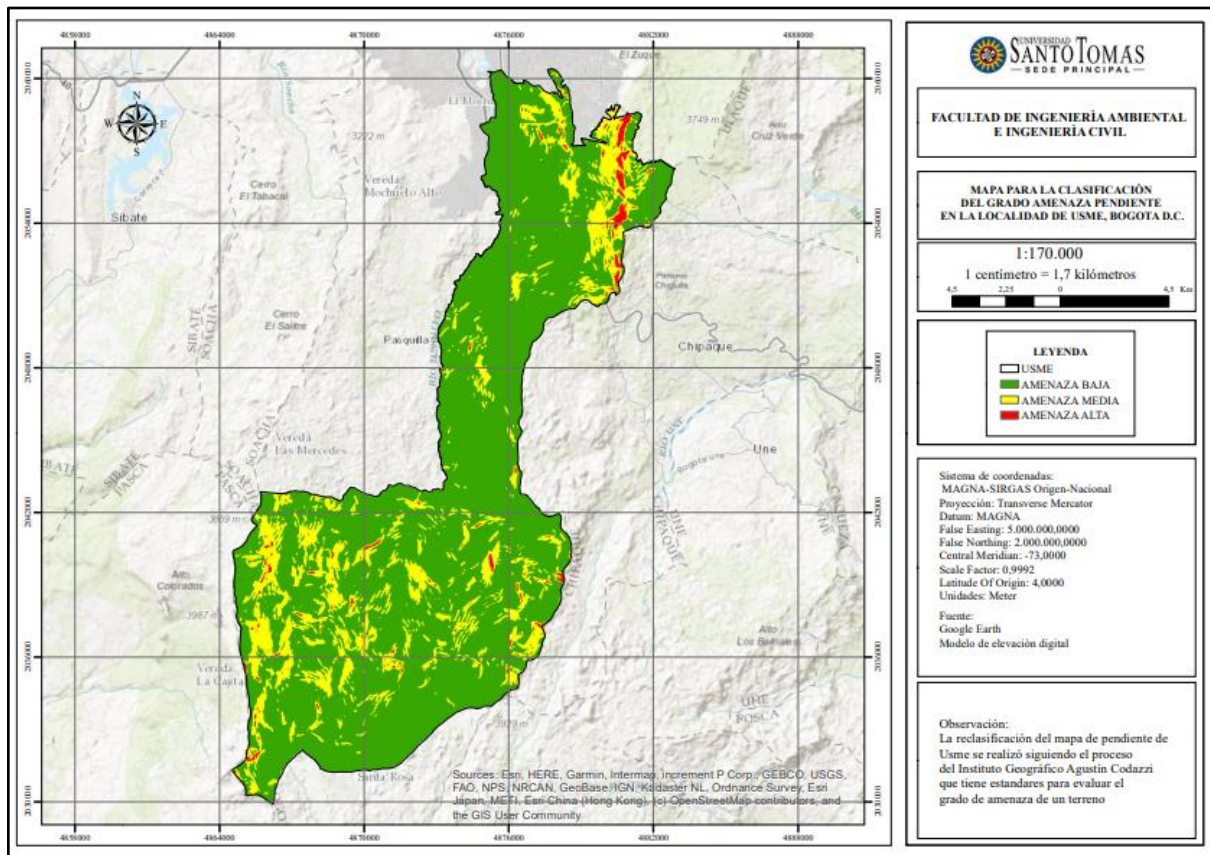
Tabla 6. Clasificación pendiente

<i>Descripción</i>	<i>Nivel susceptibilidad</i>	<i>VALOR</i>
<i>0-12%</i>	<i>BAJO</i>	<i>1</i>
<i>12-25%</i>	<i>MEDIO</i>	<i>2</i>
<i>25-45%</i>	<i>ALTO</i>	<i>3</i>

Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IGAC

Con los valores anteriormente mencionados se ingresan a un sistema de información geográfico donde se los rangos mayores se encuentran donde hay mayores laderas hacia los cerros orientales, para que puedan ser manejados con mayor facilidad, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 13. Mapa de pendiente de la localidad de Usme



Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IGAC

9.5 Precipitación

Para el mapa de clasificación de precipitación se tomó un estudio realizado por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, en el cual organizan la cantidad de lluvia en milímetros en un histórico de datos para la ciudad de Bogotá D.C, y con ello se le dan puntajes de amenaza como detonante para la remoción en masa, estos puntajes son mostrados a continuación:

Tabla 7. Clasificación precipitación

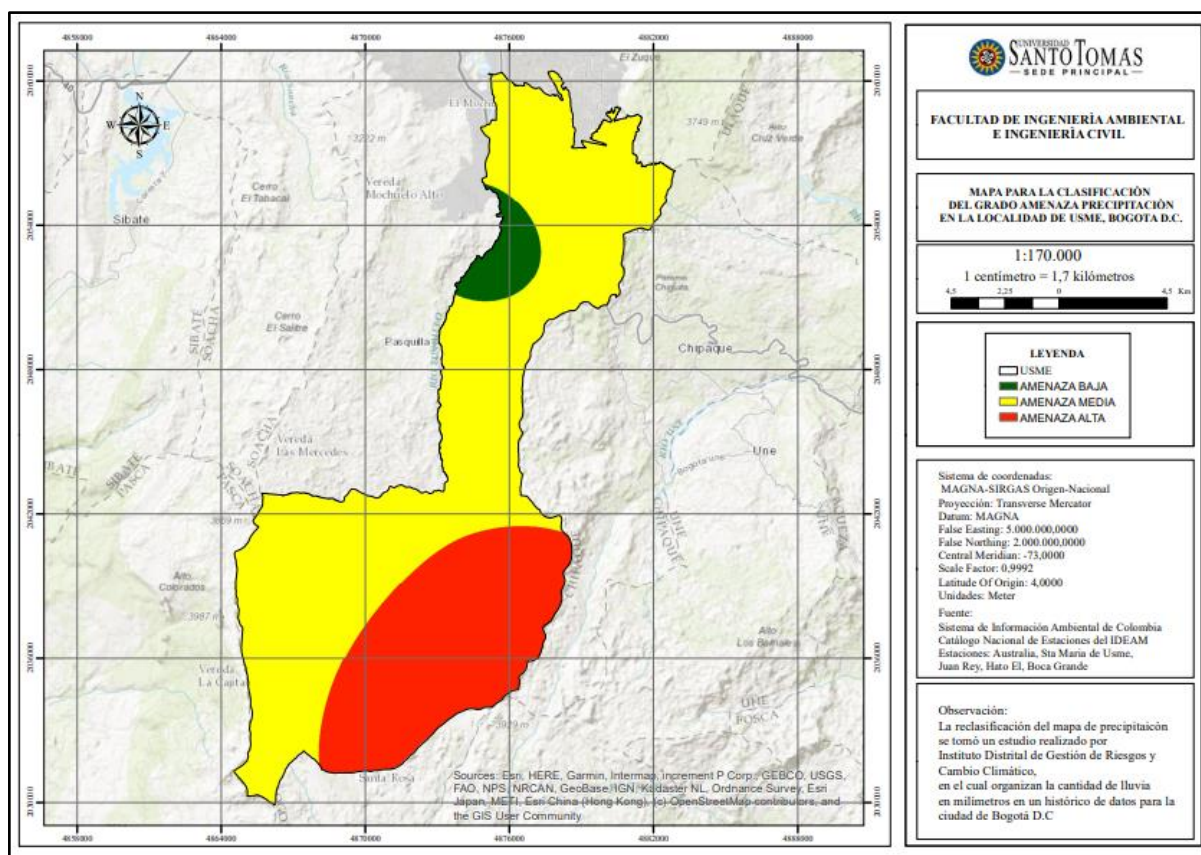
Rango	Nivel susceptibilidad	VALOR
500-800	BAJO	1

800-1200	MEDIO	2
1200-1500	ALTO	3

Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDIGER

Teniendo esta base de datos se llevó a un sistema de información geográfica con el fin de generar un mapa que evidenciara las zonas con mayor susceptibilidad, donde se obtuvo que la amenaza alta se presentó en la parte suroriente de la localidad, la media se ubicó en casi toda el área de Usme y la baja se presentó en la parte Sur, como se presenta a continuación:

Figura 14. Mapa de precipitación de la localidad de Usme



Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDIGER

9.6 Sismicidad

Para el mapa de amenaza sísmico se siguió con las indicaciones de la metodología de Mora Vahrson, dónde se clasifica la aceleración pico del terreno con el producto de la aceleración pico efectiva y la gravedad (NSR.10, 2010).

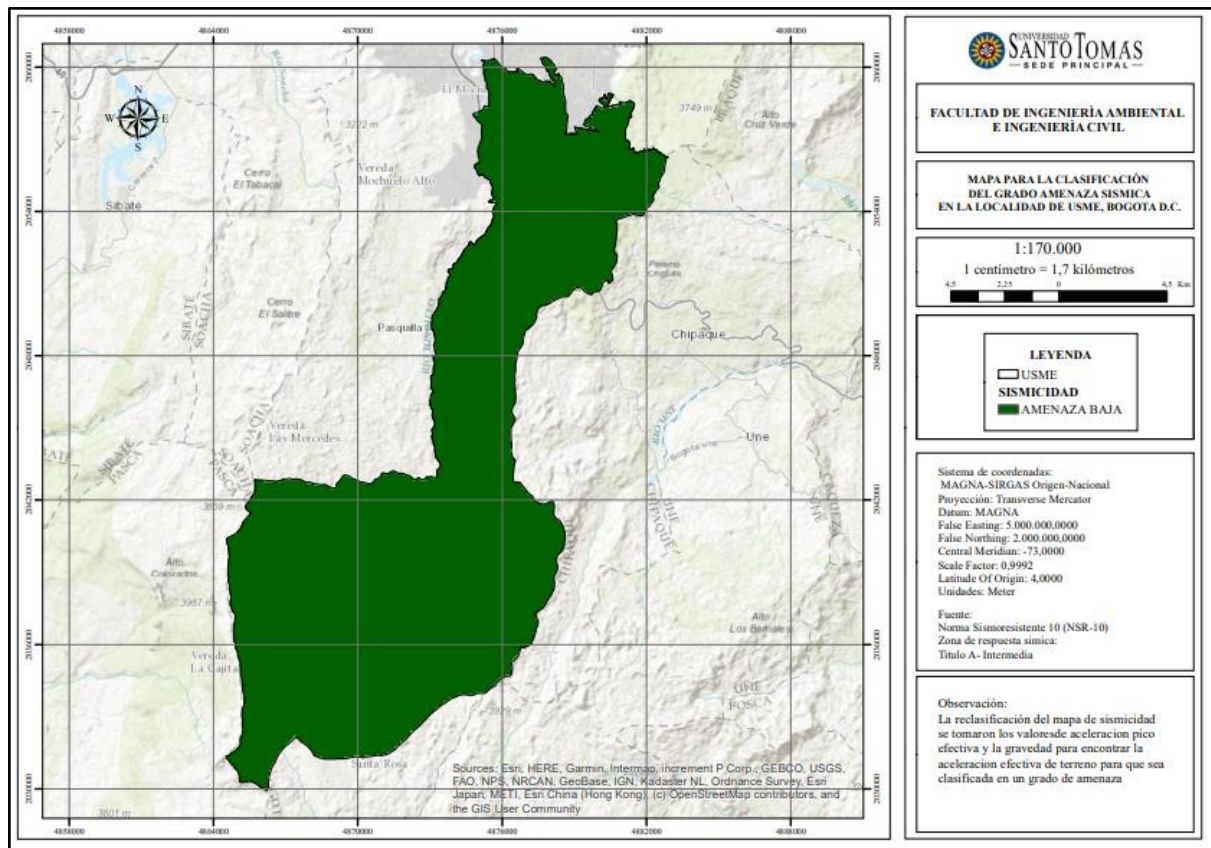
Tabla 8. Clasificación sismicidad

Municipio	Aa	Zona de amenaza sísmica	G (m/s ²)	Aceleración PGA	Valor Ds	Susceptibilidad	Puntaje
Bogotá D. C.	0.15	Intermedia	9.81	1.4715	2	BAJO	1

Fuente. Elaboración propia, basado en la metodología Mora Vahrson

Esta información obtenida del título A de la norma sismorresistente dando el resultado por la ubicación de la ciudad es intermedia, pero al utilizar las ecuaciones pico efectivas del terreno se disminuye esta categorización a baja, después se ingresa a un sistema de información geográfica la cual sirve para el manejo multiespacial de la metodología planteada, este es mostrado como imagen a continuación:

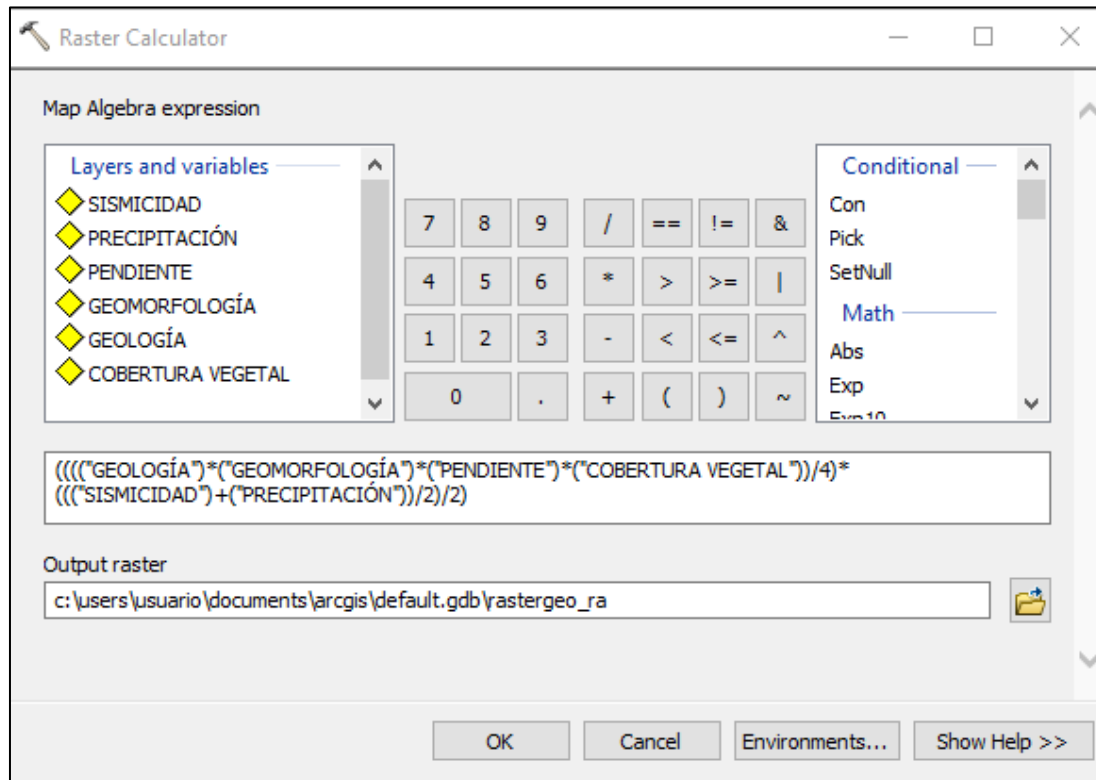
Figura 15. Mapa de sismicidad de la localidad de Usme



Fuente. Elaboración propia, basado en la metodología Mora Vahrson

Con la clasificación de cada uno de los factores intrínsecos y extrínsecos se llevó a cabo la ecuación mencionada en la metodología, utilizando la herramienta calculadora del software de ArcGIS la cual construye y ejecuta expresiones algebraicas de mapas utilizando la sintaxis de Python en un interfaz similar a una calculadora, para el presente caso se utilizó el grado de amenaza de baja (1), media (2) y alta (3) dado para uno de los rasters y se incorporaron todos estos en la siguiente ecuación (Mora & Vahrson, 2014):

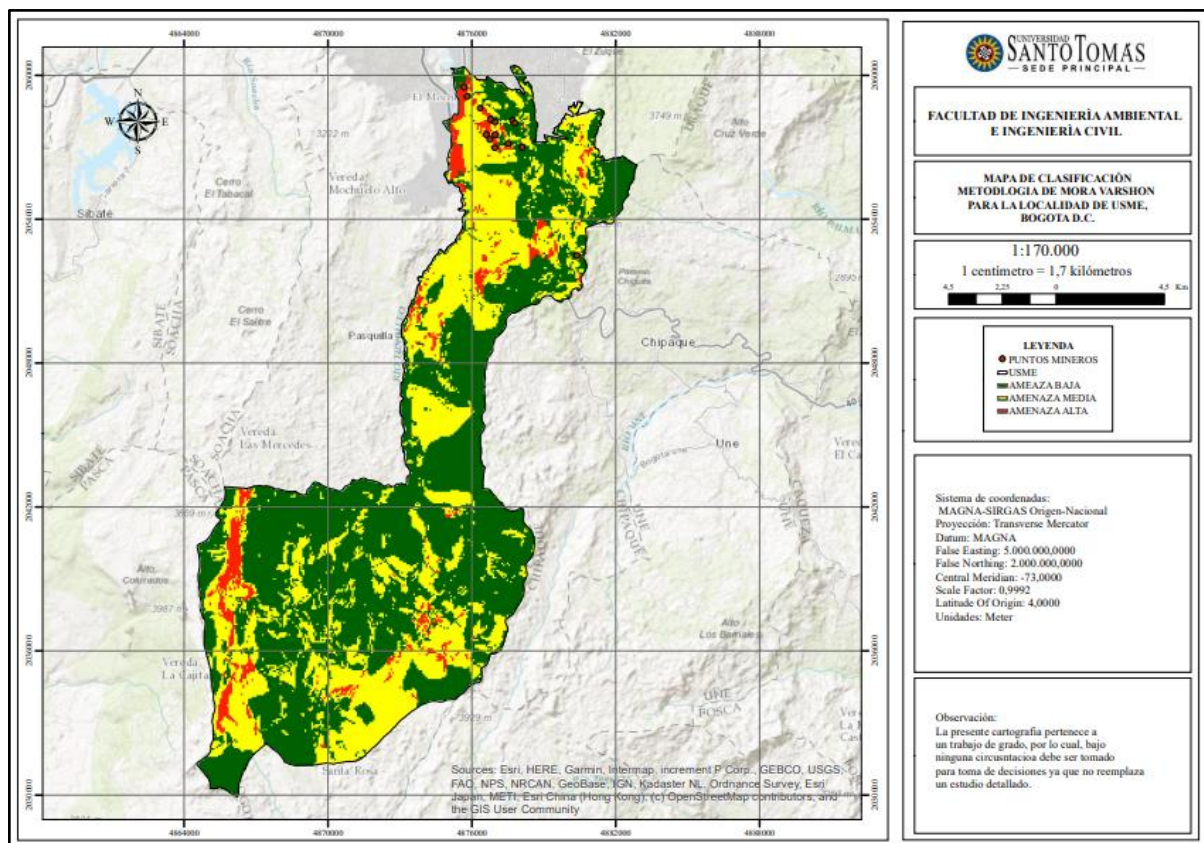
Figura 16. Herramienta calculadora del software ArcGIS



Fuente. Elaboración propia

De acuerdo a lo anterior se obtuvo como resultado el siguiente mapa:

Figura 17. Mapa de grado de amenaza de la localidad de Usme



Fuente. Elaboración propia

Tabla 9. Áreas según clasificación del grado de amenaza

Clasificación de grado de amenaza	Área total (Ha)	Porcentaje (%)
Baja (1)	12.368,77	57,51
Media (2)	7.876,84	36,62
Alta (3)	1.260,39	5,87
TOTAL	21.506	100

Fuente. Elaboración propia

Los anteriores resultados representan una clasificación de amenaza baja correspondiente al 57,51%, media del 36,62% y alta del 5,87%; reflejando que esta última se evidencia en dos zonas, la parte norte de Usme donde se encuentra el casco urbano que resalta principalmente las áreas donde se evidencian los puntos de explotación minera y la parte sur donde se presentan de igual manera alta probabilidad de amenaza por factores propios del lugar; cabe resaltar que

esto se debe a factores intrínsecos y extrínsecos de la zona estudio que se describirán a continuación:

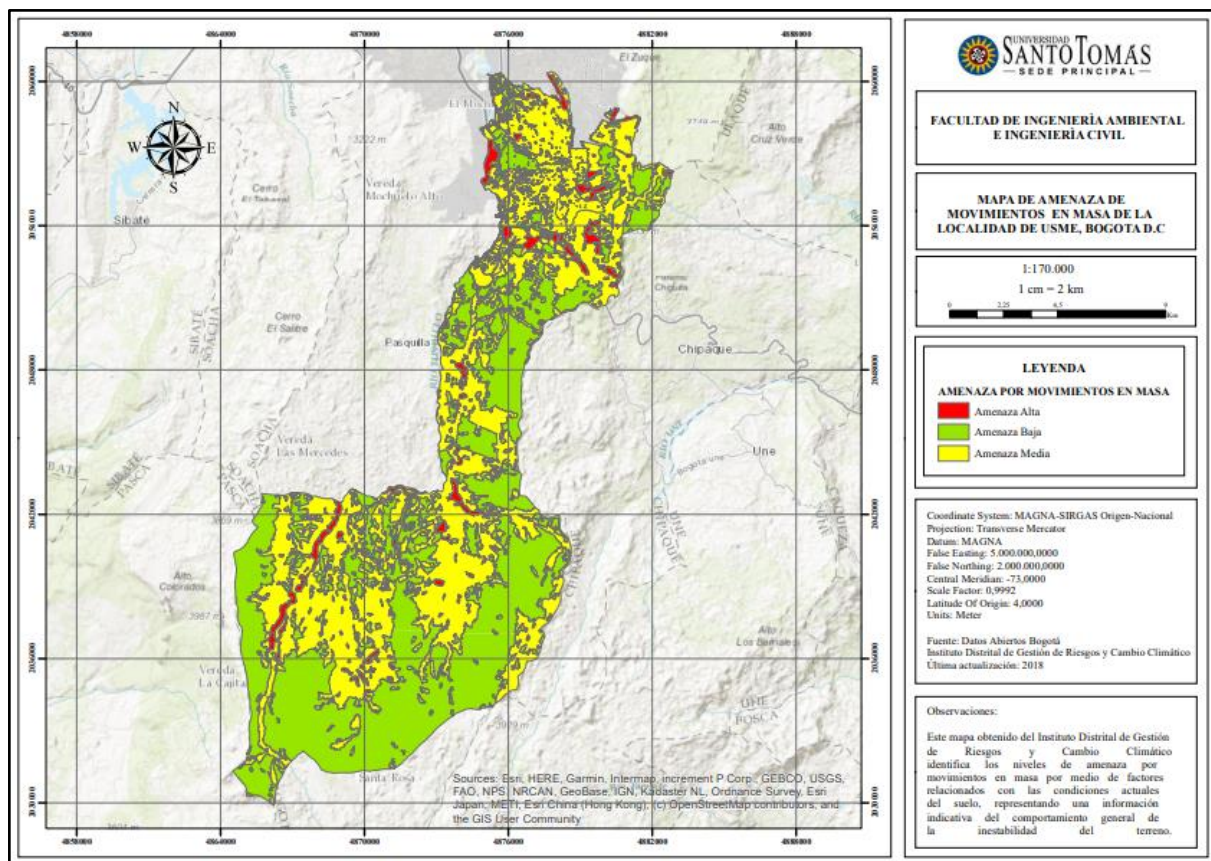
Los resultados obtenidos en la parte norte se deben principalmente a la geología donde está presente la formación Usme que se caracteriza por tener depósitos y abanicos coluviales y aluviales; los cuales se constituyen por ser suelos con masas inestables de gravas angulosas, arenas y arcillas de tipo lodo soportados con rocas extremadamente alteradas que representan una baja resistencia al corte, sobre todo en zonas de contacto con el sustrato rocoso; además de acumulaciones de materiales deslizados que están asociados a escarpes de fallas y se encuentran poco consolidados provocando deslizamientos por movimientos sísmicos y altas precipitaciones (Fuentes, 2017); (Gómez & Hernán, 2018) .

En cuanto a la geomorfología en las zonas de amenaza alta se presentan conos de deslizamiento rotacional que se caracterizan por ser una superficie de ladera curva y cóncava donde estos fenómenos se producen fundamentalmente en materiales macizos rocosos muy fracturados, los cuales ocurren en suelos arcillosos blandos y en formaciones de rocas blandas mostrando una morfología distintiva que tiene escarpes y contrapendiente en la superficie de la cabeza del deslizamiento; los factores que desencadenan esta remoción en masa son rocas muy fracturadas, saturación de suelos, deforestación de tierras, erosión de laderas, modificación de taludes y actividad sísmica (Manrique & Sonco, 2018), además a ello se presentan laderas en pendiente y contrapendiente las cuales son seguras cuando el suelo tiene una alta resistencia, sin embargo, cuando existen cambios en el relieve por causas internas o externas se favorecen la presencia de fenómenos de remoción en masa que ocasionan la ruptura del equilibrio de las fuerzas para la estabilidad de estas generando procesos de inestabilidad y erosión (Alcántara & Borja, 2004).

Para la parte de cobertura en la zona norte se localizan principalmente las zonas de extracción minera y de construcción e industriales las cuales presentan un impacto significativo en la

contribución de los procesos de remoción en masa, este valor se debe ya que haciendo una inadecuada explotación puede causar el fracturamiento de grandes rocas dejando materiales sueltos, además a ello deja cortes de terreno con taludes altos y pendientes verticales generando así un grado de amenaza alto de deslizamiento; por último se tiene el factor de pendiente que para este sector presenta en algunas zonas valores que oscilan entre 25% a 45% para lo cual se tiene la mayoría del terreno como ligeramente plana hasta, y el mayor grado de pendiente que se clasifica como ligeramente escarpado donde el puntaje de amenaza es alto por su inclinación. En cuanto a la parte sur de Usme se presentan zonas con categorías alta de amenaza debido a factores intrínsecos como la geomorfología puesto que allí se presentan unidades como morrenas de ablación que se caracterizan por ser inestables tanto a medio como a largo plazo, ya que producen deslizamientos con superficies de ruptura irregulares (Jeanneret & Maris, 2018); además de factores de disparo como la precipitación, puesto que en esta zona se encuentran rangos altos de lluvia que oscilan de 1200 mm a 1500 mm lo que afecta directamente a que se puedan producir deslizamientos en esta parte de la localidad. Por otra parte, se presentó el mapa de amenaza por movimientos en masa del instituto distrital de gestión del riesgo y cambio climático donde se evidenciaron las zonas con susceptibilidad alta, media y baja a deslizamientos, este fue realizado en el año 2018 utilizando la metodología de la “Guía para la zonificación de susceptibilidad al terreno a los movimientos en masa”.

Figura 18. Mapa de amenaza por movimientos en masa localidad Usme IDIGER

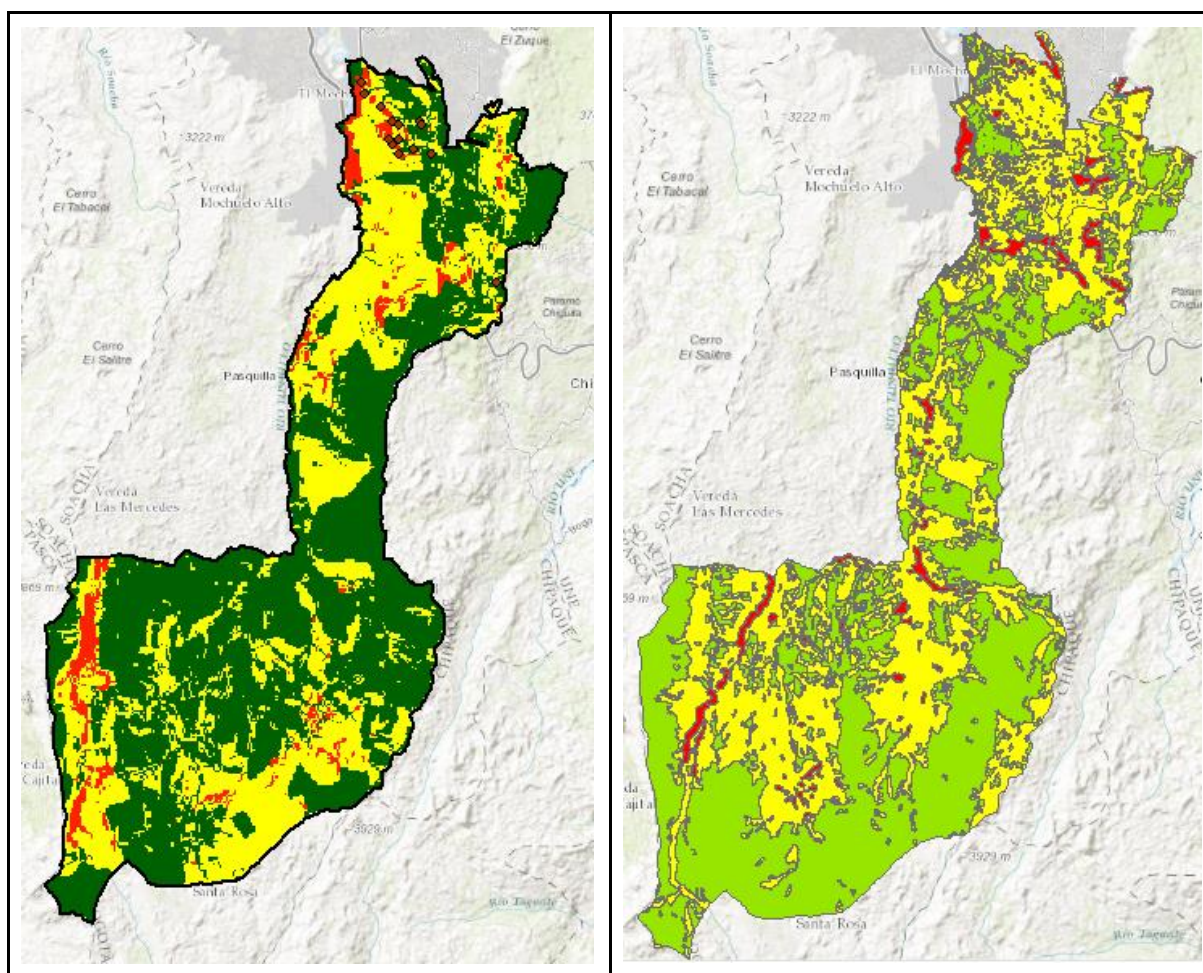


Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDIGER

Con el fin de realizar una comparativa con el mapa obtenido de la clasificación de Mora Vahrson que se presenta en la imagen 16 y el obtenido del IDIGER, se presenta a continuación una tabla que refleja de manera más directa los resultados obtenidos para la zona de estudio de acuerdo con cada metodología utilizada.

Tabla 10. Comparación de resultados y mapa IDIGER.

RESULTADOS	
Metodología Mora Vahrson	Mapa IDIGER

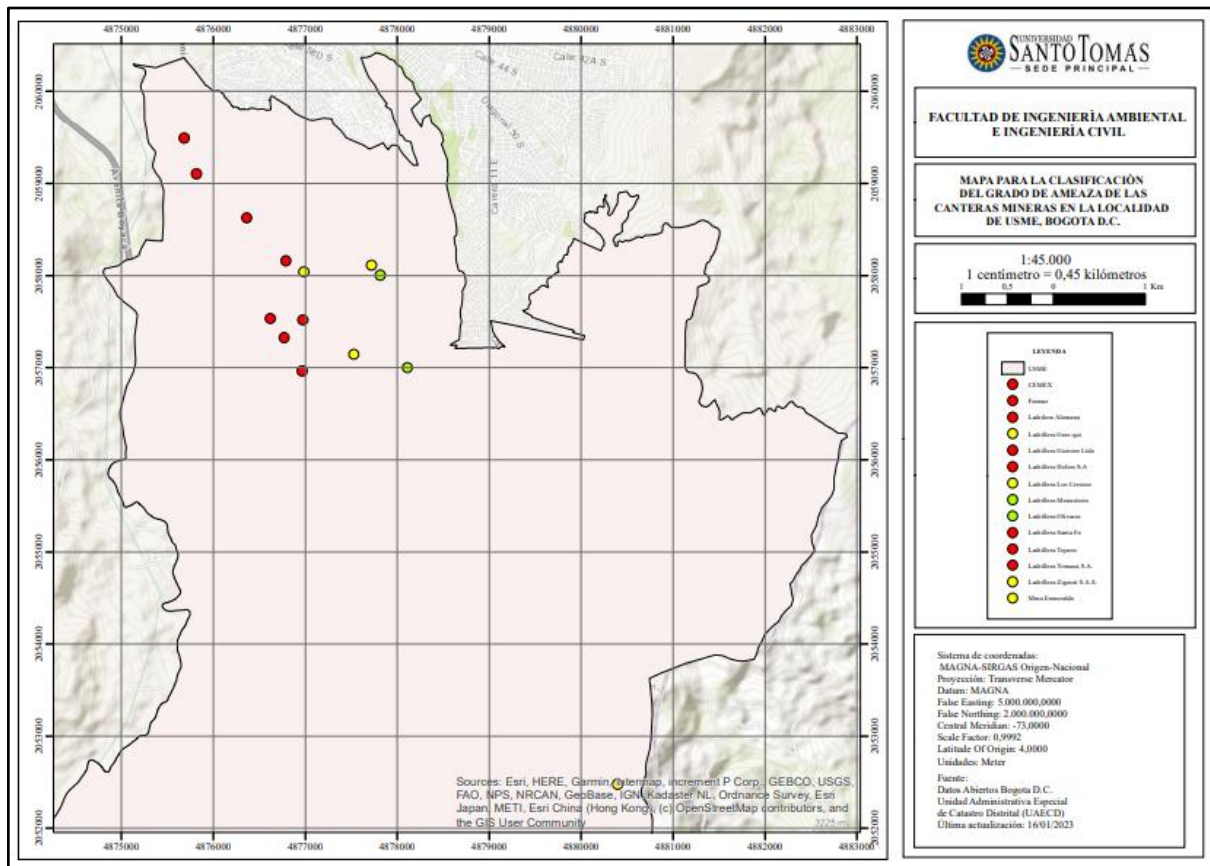


Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDIGER

Es posible evidenciar que se presentaron similitudes en las zonas de amenaza alta, media y baja, lo cual sirve de apoyo para darle validez a la información presentada; sin embargo existen algunas diferencias que se deben a que el mapa del IDIGER otorga valores de importancia de la siguiente manera: Geología 21%, Geomorfología 36%, Suelos 26% y Cobertura Vegetal 17%, mientras que Mora Vahrson utiliza mayor cantidad de factores ya que presenta parámetros extrínsecos como precipitación y sismicidad e intrínsecos como geología, geomorfología, pendiente y cobertura, los cuales presentan igual nivel importancia.

Además, en base al mapa de Mora Vahrson se relacionó cada clasificación de los mapas con la ubicación minera de las canteras existentes en la localidad de Usme por medio de la herramienta intersecar en ArcGIS tal como se presenta a continuación:

Figura 19. Mapa de grado de amenaza de la localidad de Usme



Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDECA

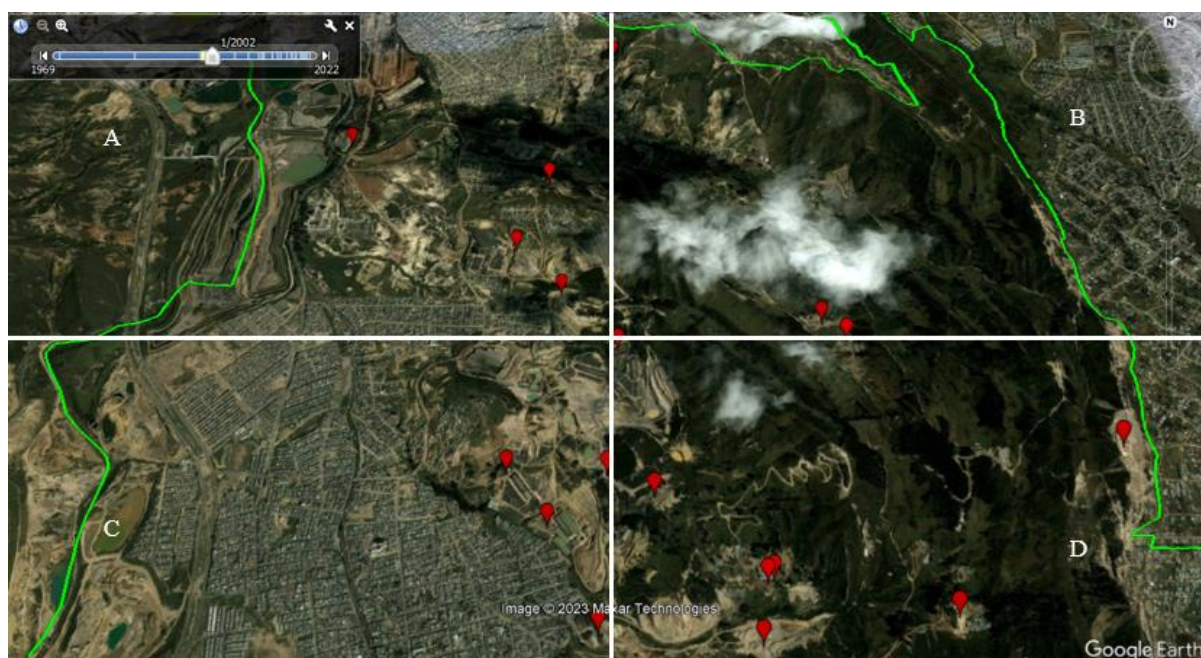
Como resultado se obtuvo que las ladrilleras de amenaza alta son; CEMEX, Framar, Alemana, Guizor Ltda, Helios S.A, Santafé, Tejares, Yomasa S.A, de amenaza media son Gres-qui, Los Cerezos, Zigurat S.A.S y Esmeralda; y de amenaza baja son Monasterio y Olivares; esto se debe a varios factores, uno de ellos que presentan todas las minas es que en el proceso constructivo llevan a cabo una inestabilidad de taludes cambiando forma natural del terreno, además a ello se pueden presentar inadecuadas prácticas del uso de explosivos desprendiendo la capa parental del suelo lo que facilita el deslizamiento de la tierra, también se debe a que muchas canteras están presentes en el parque minero de Usme donde las condiciones del terreno han sido modificadas a lo largo del tiempo sin darle un espacio de rehabilitación a esta zona.

10. SERVICIOS AMBIENTALES

Para la parte de servicios ambientales se presentan diferentes imágenes satelitales correspondientes a diversos periodos donde se evidenció la pérdida que han sufrido de los servicios ambientales propios de la localidad. En primera instancia para la parte de cobertura vegetal los servicios afectados son para el caso de abastecimiento son las materias primas, en regulación el secuestro y almacenamiento de carbono, prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo, polinización, en el caso de apoyo el hábitat de las especies, y por último en la parte cultural se tiene turismo y actividades de recreación (FAO, 2023).

Para llevar a cabo el análisis de la cobertura vegetal se tomaron imágenes satelitales de los años 2002 y 2022, teniendo en cuenta las canteras mineras que se encontraban presentes en esas mismas fechas, con ello se puede visualizar los cambios a través del tiempo en los puntos mineros, para ello se tomaron cuatro diferentes tramos con el fin de realizar un análisis más detallado, como se presenta a continuación:

Figura 20. Imagen satelital del año 2002



Fuente. Google Earth

Figura 21. Imagen satelital del año 2022



Fuente. Google Earth

Zona A: En esta zona se pudo evidenciar que la ladrillera Santa Fe realizó un plan de recuperación y manejo ambiental ante la secretaria distrital de medio ambiente, ya que para el año 2022 se muestra mayor cobertura vegetal y se disminuyó el área de influencia de la cantera, de igual manera se observa que CEMEX aporta cierto impacto negativo a la zona, sin embargo, realiza una medida de compensación con plantación forestal. Por otra parte, la ladrillera del Mirador para el año 2002 tiene zonas con descapotes, pero llevó a cabo un plan de manejo ambiental presentado ante la SDA y se pudo evidenciar el aumento de la cobertura vegetal y asentamientos de comunidades para el presente año. Se mostró una situación muy similar para las ladrilleras alemana y Guiozor Ltda las cuales disminuyeron su área de impacto y se pudo reflejar la expansión de la cobertura vegetal en la zona.

Zona B: En esta zona se presentó un panorama parecido al anteriormente mencionado puesto que las ladrilleras Monasterio y los Cerezos disminuyeron su área de extracción lo que incidió a la rehabilitación de la cobertura vegetal.

Zona C: En esta zona se ubica una parte de la ladrillera Santa Fe en la que se evidenció con el paso del tiempo la recuperación de las capas vegetales, puesto que en la imagen del año 2022

se observan zonas verdes donde antes había pozos producto de las actividades extractivas, mostrando que hubo la implementación del plan de manejo ambiental. Además, en el parque minero industrial de Usme las ladrilleras de Helios S.A., Yomasa y Framar aprovecharon el recurso minero para crecer en sus actividades extractivas hacia los cerros lo que causó una mayor deforestación a los alrededores y dentro del mismo.

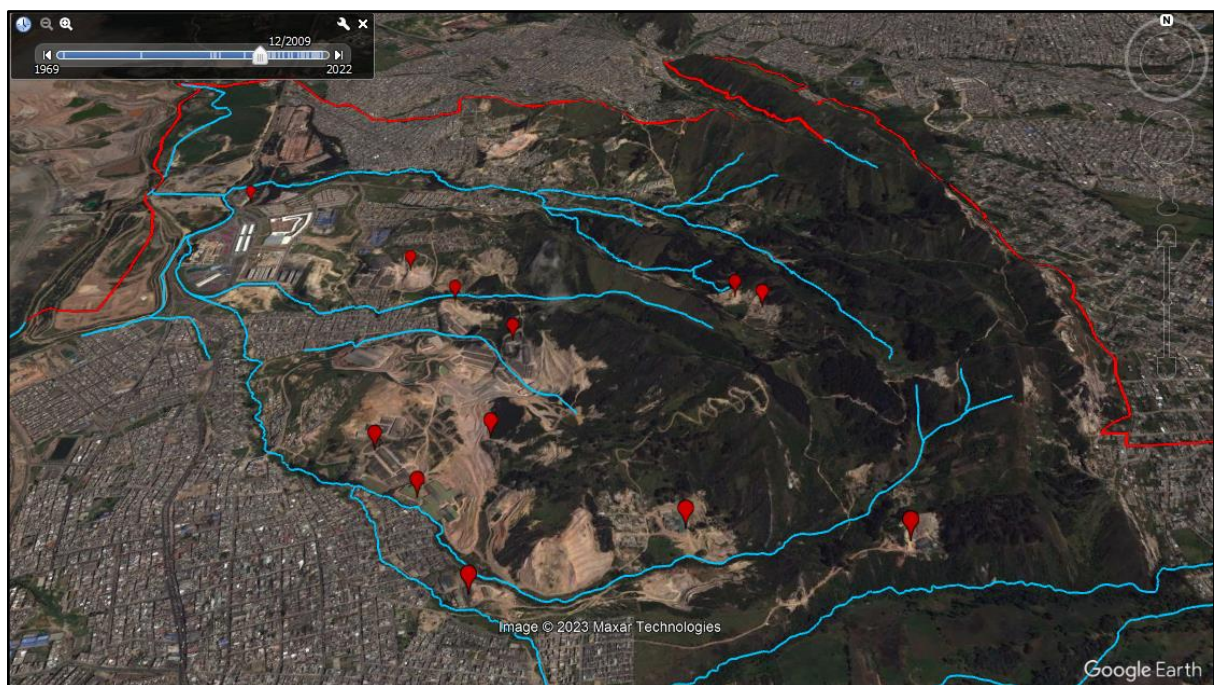
Zona D: En esta zona una ladrillera que desapareció a través del tiempo fue la Esperanza del Sur, esta misma le dio paso al crecimiento de explotación minera de la cantera Framar, evidenciando la pérdida de cobertura vegetal y la expansión del parque minero. Por otro lado, las ladrilleras presentes en el 2002 como Famoru y El Rosal dejaron sus actividades y no ejercieron ningún plan de restauración; en esta misma área se encuentra Gres-qui la cual continuó con la actividad minera y adoptó parte de los terrenos de las otras dos ladrilleras. Por último, se encuentra la ladrillera entre nubes la cual se retiró y realizó durante el transcurso de este tiempo plantación forestal con el fin de restaurar las huellas que dejaron la explotación minera, que han sido recuperadas usando una fibra natural que ayuda en el control de la erosión y el sedimento rehabilitando el suelo con el fin de utilizar estas zonas como senderos ecológicos para el ecoturismo de la población.

Con respecto a lo anterior, se pudo evidenciar que la ausencia de cobertura vegetal depende directamente de la actividad de la explotación minera reflejando la pérdida de los servicios ambientales que van de la mano con este factor, sin embargo, fue posible indicar que aquellas zonas en las que las ladrilleras tomaron un Plan de Recuperación Ambiental se mostró un cambio significativo en comparación con aquellas áreas de canteras abandonadas demostrando así la importancia de regirse a un estudio de impacto ambiental y a la normativa presente.

En cuanto a la parte de recurso hídrico se puede evidenciar que los servicios que se ven afectados son los siguientes, para la parte de abastecimiento se encuentra el suministro y almacenamiento de agua dulce; en regulación el tratamiento de aguas residuales y la regulación

de los flujos de agua, y por último en apoyo al hábitat para las especies (FAO, 2023). Además, cabe resaltar que las ladrilleras que presentan un plan de restauración y manejo ambiental tienen permisos de vertimientos con parámetros máximos permisibles de aguas residuales que pueden generar de sus actividades las cuales son Gres-qui, Guiozor, Prisma S.A., Santa Fe, alemana, Helios S.A. y Yomasa Ltda, por otra parte, las que no presentan son Monasterio, Los Cerezos, Los Olivares y Los Tejares (secretaria de ambiente, s.f.). A continuación, se presenta el mapa correspondiente a las corrientes de agua para el año 2009 que se obtiene del observatorio de recurso hídrico de Usme donde se enfoca principalmente en las zonas de extracción minera que se presentan en la parte norte de la localidad.

Figura 22. Corrientes de agua de la localidad de Usme año 2009



Fuente. Observatorio recurso hídrico de Usme

De igual manera se presenta el mapa de corrientes hídricas de la localidad para el año 2022 teniendo en cuenta la misma área de estudio con el fin de realizar una comparativa y determinar la incidencia que ha tenido esta actividad extractiva.

Figura 23. Corrientes de agua de la localidad de Usme año 2022



Fuente. Datos Abiertos Bogotá

En la siguiente figura se presenta la comparativa realizada con las imágenes anteriormente mostradas donde se evidencio un cambio notorio en los cauces que se dio con el paso del tiempo, puesto que en algunos de estos se reflejan desviaciones y disminuciones de su caudal; las cuales se están dando principalmente en aquellos que cuentan con zonas cercanas donde se realiza extracción minera, por ejemplo en la parte noroccidente de la localidad se pudo evidenciar una disminución en el Drenaje de la quebrada San Andrés de los Altos la cual desemboca de la Quebrada Santa Librada debido a que en cercanías de esta se encuentra la cantera Santa fe en la cual ni siquiera se cumple la ronda hídrica generando una afectación directa sobre esta; de igual manera esto se reflejó en la Quebrada Santa Librada que su recorrido inicia en la parte alta de la montaña observando que se encontraba en toda la zona del parque minero industrial siendo la ladrilleras Zigurat y Guiozor de las más cercanas a esta; por ultimo en la Quebrada el Curí que se encuentra en la parte nororiental de la localidad donde se evidencio una desviación del cauce producto de la actividad extractiva de la cantera Los Olivares. Dichas consecuencias anteriormente mencionadas se deben principalmente a la generación de vertimientos de escombros, desaparición de los cauces por las técnicas

inadecuadas de usos de explosivos, pérdida de la vegetación propia del cauce, contaminaciones por aceites o grasas utilizadas en el mantenimiento de la maquinaria, invasión de las rondas hídricas, entre otras (Secretaría de ambiente, s.f.); sin embargo es importante resaltar que estas afectaciones no solo se generan por la actividad minera, sino que existen diversas causas que conllevan a que se presenten estos fenómenos entre las que se encuentra las intervenciones antrópicas, cambios geológicos de la zona, actividades agrícolas , etc.

Figura 24. Comparativa de corrientes de agua en la localidad de Usme.



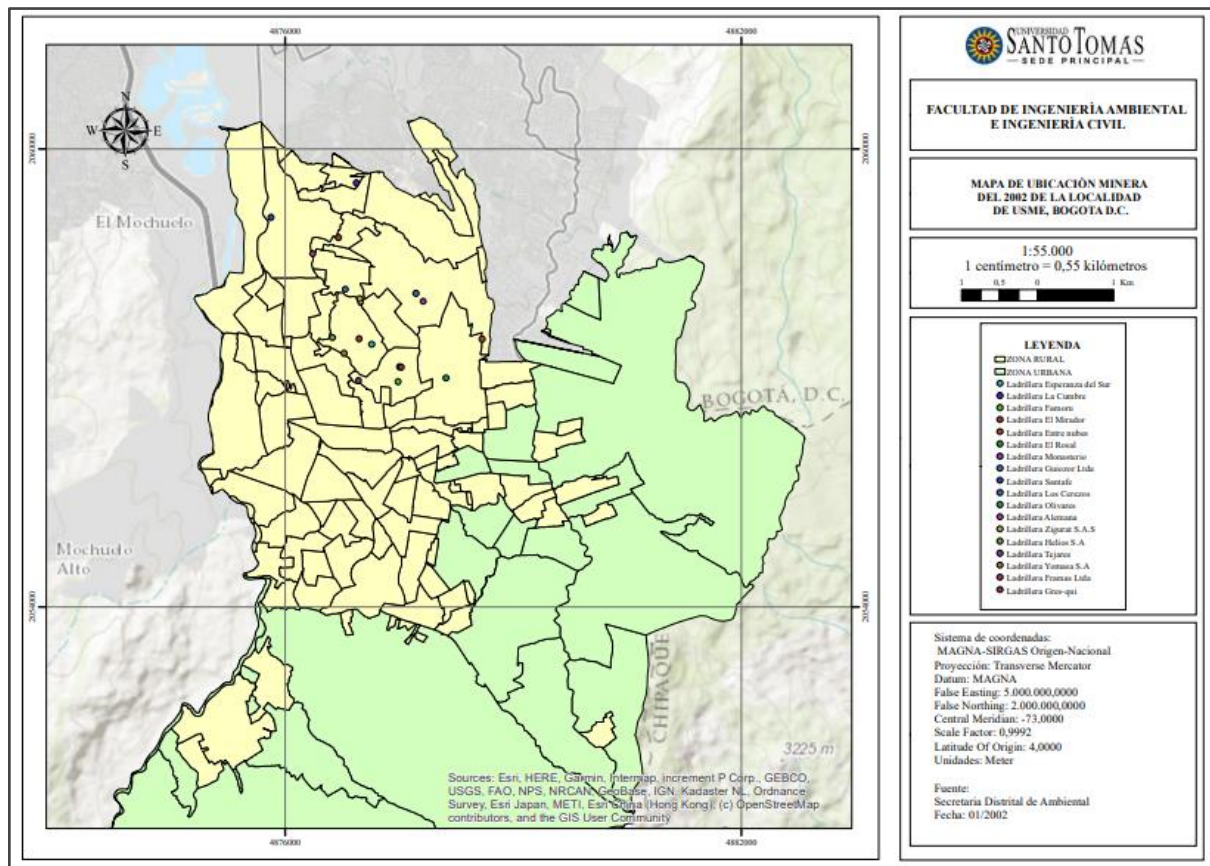
Fuente. Datos Abiertos Bogotá & Observatorio recurso hídrico de Usme

Además, a esto se pudo identificar en las imágenes satelitales la presencia de pozos que se dan como producto de las actividades extractivas los cuales se encuentran principalmente en el área del parque minero de Usme que se hacen con el fin de disminuir el nivel freático para que quede por debajo de los niveles de explotación y así evitar problemas de estabilidad, agua en los barrenos y reducir los costos en algunos procesos unitarios (Herrera, 2009).

11. IMPACTO EN LAS COMUNIDADES ALEDAÑAS

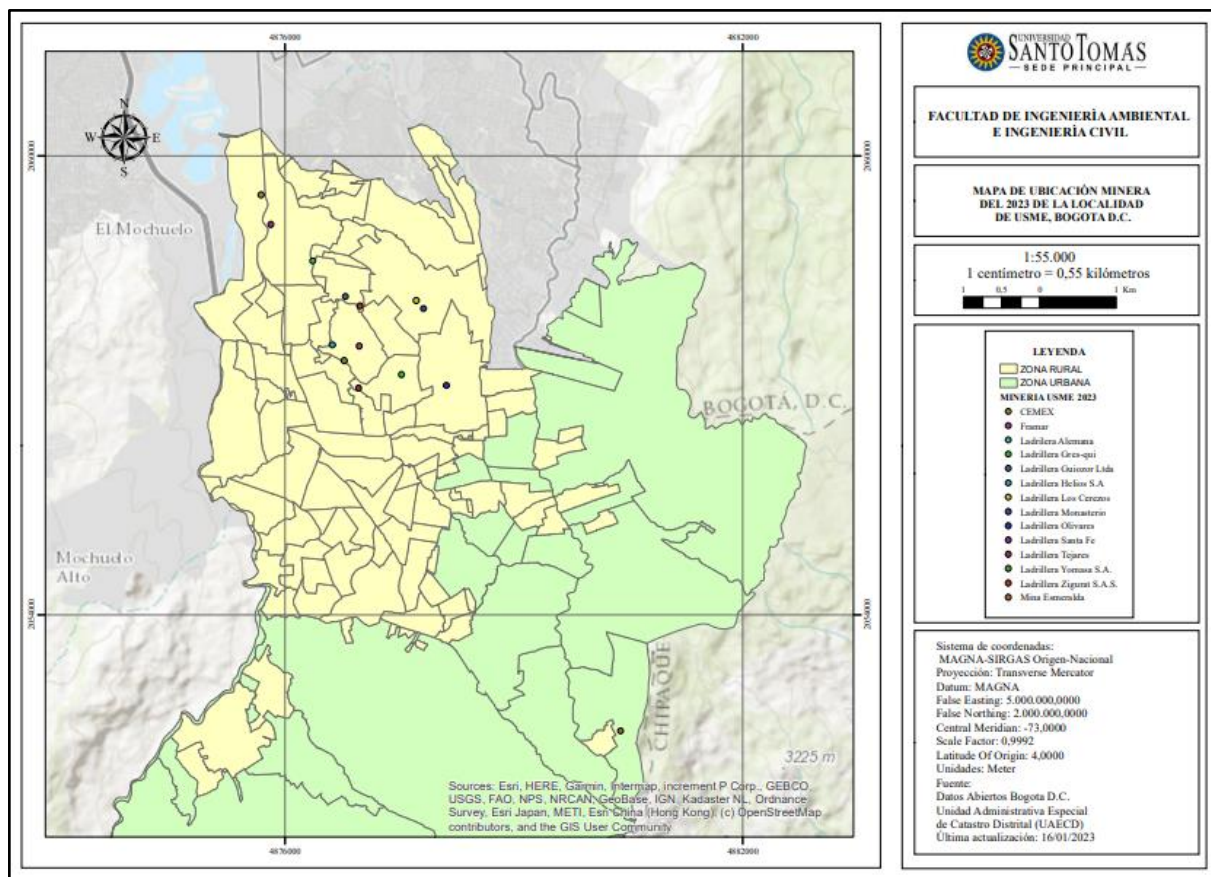
Para determinar la incidencia que ha tenido los fenómenos de remoción en masa sobre las comunidades presentes en áreas cercanas a las canteras de la localidad de Usme se presentó el mapa de ubicación de los puntos de extracción minera para el año 2002 obtenido de una base de datos suministrada por la Secretaría Distrital de Ambiente.

Figura 25. Mapa de ubicación canteras mineras del año 2002



Fuente. Elaboración propia, basado en datos del DAMA

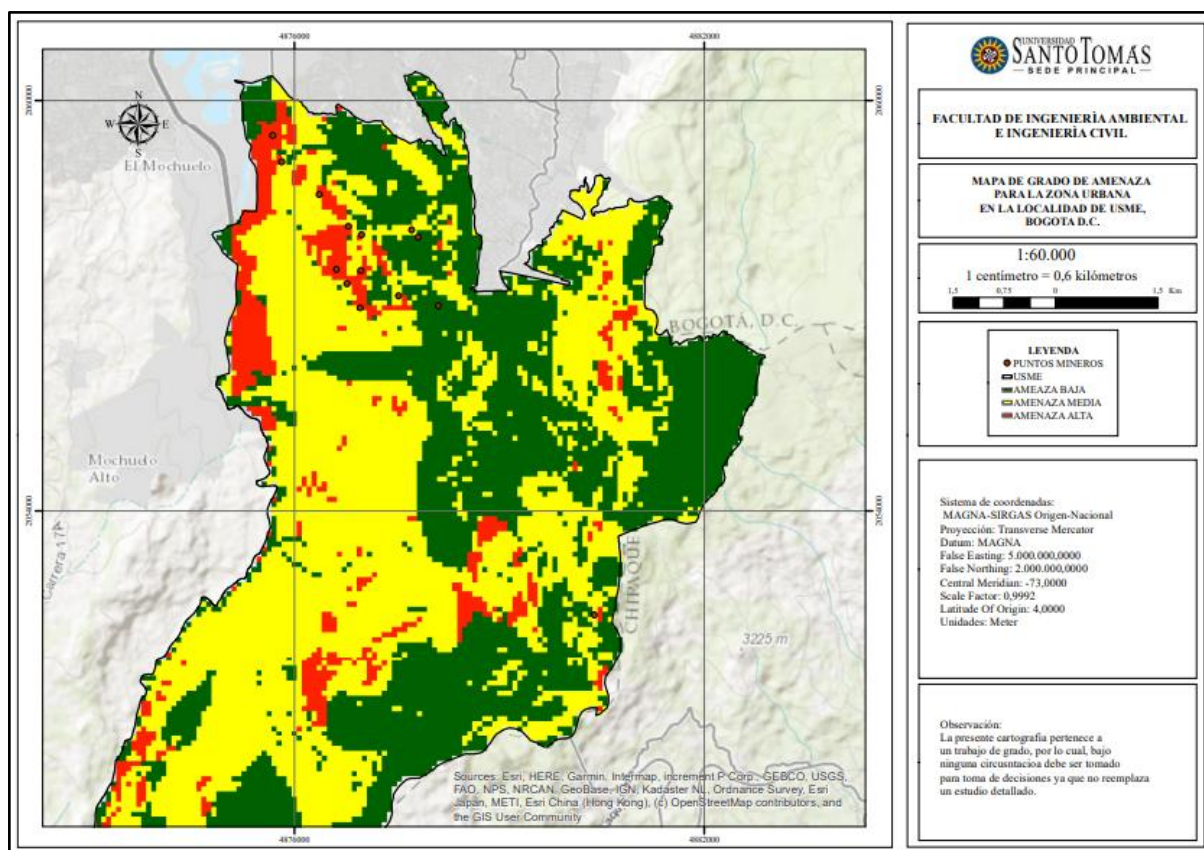
En relación con lo anterior, se mostró el mapa de amenaza por deslizamientos de la zona de estudio para el año 2005, donde se evidencia una alta erosión de los suelos que se concentra en las colinas bajas y montañas urbanizadas, generando una alta inestabilidad por la alteración de la cobertura vegetal causando que el material parental quede descubierto y por consecuencia de agentes externos tales como el viento, corrientes de agua y precipitaciones inducen a la denudación de estos, lo que genera deslizamientos de tierra y hundimientos asociados a las



Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDECA

Se presentó el mapa obtenido en la metodología la cual relaciona directamente los deslizamiento con la actividad minera, en donde se muestra el grado de amenaza localizado para la zona urbana de Usme en el que se evidenciaron amenazas altas que corresponden de las UPZ de Danubio, Gran Yomasa y Comuneros; sin embargo también se presentaron zonas de alta amenaza de deslizamiento en una pequeña parte de las UPZ de parque Entre nubes, Ciudad Usme y Alfonso López; por otro lado, la amenaza media se encuentra en gran parte de la localidad de Usme como se expone en la siguiente imagen:

Figura 28. Mapa actual de amenaza por movimientos en masa localidad Usme

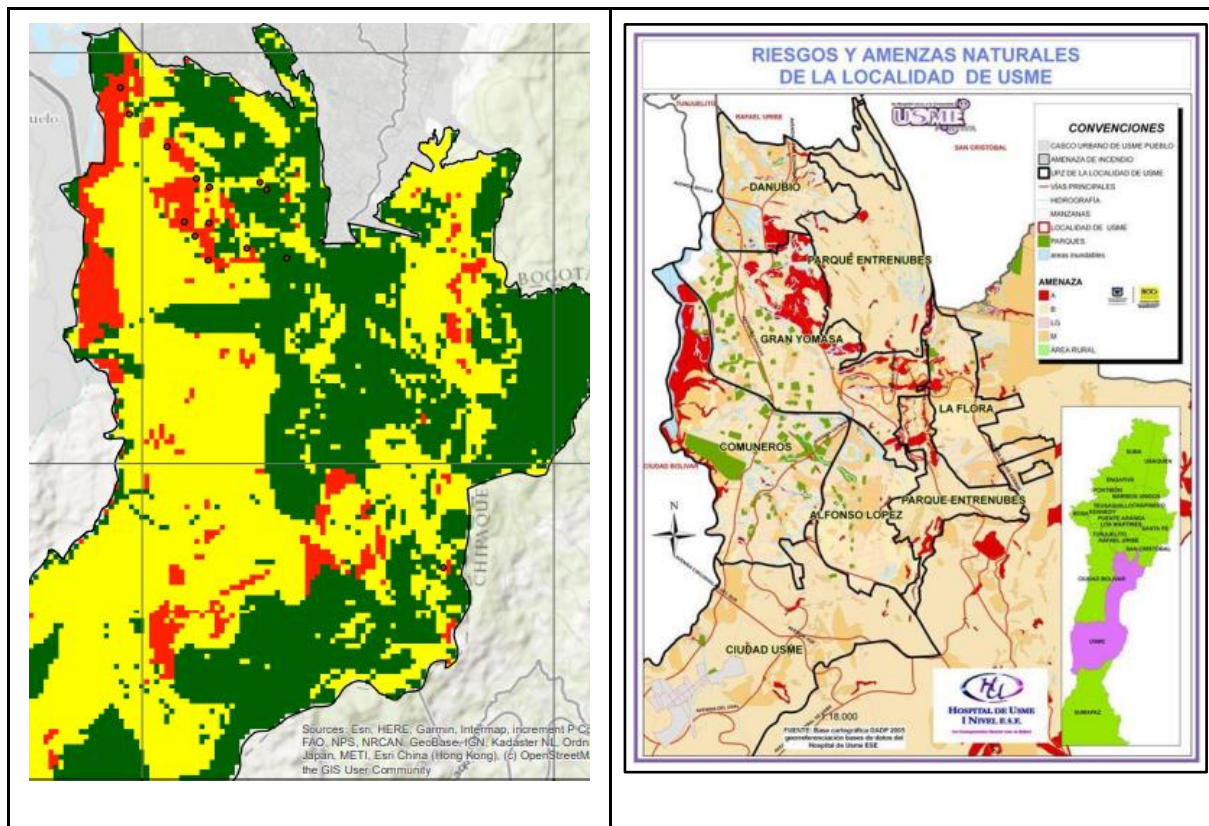


Fuente. Elaboración propia

A continuación, se muestra la tabla de resultados donde se compara el mapa obtenido por la metodología Mora Varhson y mapa de riesgos y amenazas naturales de Usme del año 2005, esto con el fin de hacer un análisis detallado donde se pueda evidenciar la incidencia de la minería a través del tiempo en las comunidades aledañas.

Tabla 11. Comparación de resultados y mapa Alcaldía

RESULTADOS	
Mapa actual de amenaza por movimientos en masa localidad Usme	Mapa de riesgos y amenazas naturales de Usme años 2005

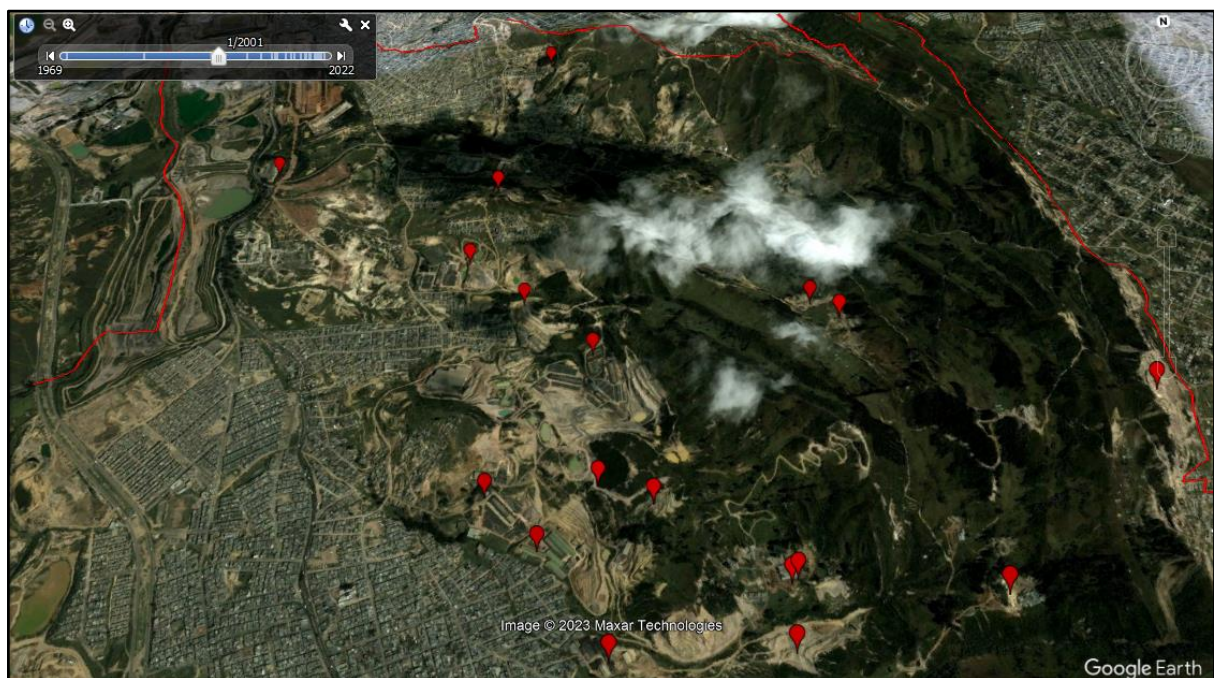


Fuente. Elaboración propia, basado en datos de la Alcaldía de Usme

De acuerdo a lo mostrado en los mapas anteriores fue posible resaltar que las zonas de amenaza alta coinciden, puesto que se ubican principalmente en las UPZ de Danubio y Gran Yomasa; sin embargo, se resaltan ciertas diferencias entre estos, puesto que se observó que en la imagen 25 del mapa de deslizamientos del 2005 se encuentra una mayor área de amenaza alta ubicada en la parte central donde se localiza el parque minero industrial en comparación con el mapa del 2022, esto se debe porque de acuerdo a la ubicación de las minas existía un mayor número en esta área para dichos años, generando así mayor susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa; de igual manera se evidencio que en la parte noroccidental se presenta mayor amenaza en el 2022 esto como consecuencia de una nueva cantera denominada CEMEX que en la actualidad ocupa 348,9 hectáreas repartidas entre la Localidad de Ciudad Bolívar Y Usme. Lo anterior representa que los fenómenos de remoción en masa que se originan en Usme se están dando directamente como consecuencia de la minería, esto se ve reflejado en la concentración de zonas de remoción en masa que se están generando alrededor del casco

urbano en las UPZ Gran Yomasa y Danubio principalmente en los barrios Salazar Usme, El Pedregal, El Nevado, Alaska, El Mochuelo Oriental, La Aurora, Barranquillita, La Fiscala, San Juan Bautista, Porvenir, La Marichuela, Santa Librada, La Andrea y Tunjuelito; lo que conlleva a generación de impactos negativos sobre las comunidades que habitan en estos sectores puesto que la presencia de deslizamientos puede provocar daños a la infraestructura de viviendas y afectaciones a la salud pública como la generación de focos de olores ofensivos y vectores por el apozamiento de las aguas residuales de las canteras, así como enfermedades respiratorias producto del material particulado que se da en la actividad de extracción (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2010).

Figura 29. Imagen satelital año 2002



Fuente. Google Earth

Figura 30. Imagen satelital año 2022



Fuente. Google Earth

Por otra parte se recolectaron imágenes satelitales del año 2002 y 2022 enfocadas en la zona del casco urbano y las canteras mineras como se mostró en la imagen 28 y 29 en las que se pudo observar un cambio significativo en el transcurso del tiempo observando diferencias como el aumento de los escarpes presentados en la zona noroccidental de la localidad, se pudo visualizar la disminución de las áreas de esta actividad económica donde las mismas ladrilleras utilizan menos espacio, incluso la eliminación de algunas canteras que estaban ubicadas en el parque entre nubes, el cual ahora presta un servicio de conservación y recuperación del ecosistema; además se evidencio un crecimiento poblacional desmedido que se extiende a hacia los cerros, tanto así que algunas zonas donde existe actividad minera en la actualidad están ocupadas por viviendas, lo que produce un mayor riesgo para los habitantes de esta zona.

12. IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO

Al llevar a cabo el análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa a causa de la explotación minera en la localidad de Usme, se determinó que el impacto social se basa principalmente en la afectación que implica esta actividad en las comunidades aledañas a la ubicación de las 14 canteras mineras registradas en la zona de estudio, evidenciando aquellas que presentan una caracterización de amenaza alta y pueden ser susceptibles a deslizamientos, lo que podría provocar diversas afectaciones negativas para la población como expropiación de viviendas por daños en la infraestructura de los barrios cercanos, problemas de salud pública como enfermedades pulmonares debido a la exposición al polvo respirable que se encuentra suspendido en el aire al momento de realizar las actividades de extracción (NIOSH, 2021). Lo anterior reflejó la importancia de dicho aspecto, el cual se realizó por medio de los siguientes factores:

- Identificación de las comunidades que se ven afectadas por la explotación minera para que las autoridades puedan utilizar este estudio como herramienta con el fin de proponer soluciones sobre aquellas que se encuentran en alto riesgo a deslizamientos.
- Comparativa de las anteriores canteras mineras que había en la zona de estudio para reflejar la incidencia que producen en las comunidades que tienen un gran acercamiento, además dicho estudio fue de suma importancia para brindar información a posteriores investigaciones que estén interesadas en estudiar los fenómenos de remoción en masa por explotación minera, usando como base el presente estudio de la localidad de Usme.

13. CONCLUSIONES

De acuerdo a la clasificación realizada con la metodología de Mora-Vahrson, se obtiene que el 5,87% de la localidad de Usme presenta una amenaza alta, el 36,62% una amenaza media y el 57,51% una amenaza baja, debido a sus características geológicas ya que en la parte noroccidental tiene depósitos y abanicos coluviales y aluviales, además a ello la presencia de arenitas de grano medio, por parte de la geomorfología se presentan conos de deslizamiento rotacional y laderas de pendiente y contrapendiente y en la parte baja morrenas de ablación, por otra parte se tiene el factor de extracción minera ubicado en el casco urbano que por el proceso de explotación genera inestabilidad de taludes, ruptura de la capa parental, pérdida de vegetación y operaciones inadecuadas

-Se evaluó la incidencia que tiene la minería en los servicios ambientales en la zona de estudio, para lo cual se encontró que se están viendo afectados los 4 tipos como lo son abastecimiento, regulación, soporte y cultural debido a que la minería está incidiendo directamente sobre la pérdida de cobertura vegetal en consecuencia a su proceso constructivo y al crecimiento desmedido que presentan las canteras con el paso del tiempo; además de la afectación que se genera a los cauces por vertimientos de agua residual y pozos mineros ya que la mayoría de veces estas no presentan ningún plan de manejo ambiental; provocando efectos perjudiciales en factores de estos servicios como lo son la obtención de materias primas, almacenamiento de agua dulce, tratamiento de aguas residuales, secuestro y almacenamiento de carbono, prevención de la erosión, fertilidad del suelo, polinización, hábitat de las especies, turismo y actividades de recreación.

-Se logró identificar el impacto que la minería tiene en las comunidades aledañas donde se encontró que tienden a seguir el mismo patrón, donde la explotación minera es el detonante. En el año 2005, las UPZ Danubio, Gran Yomasa y parte de Entre Nubes y Comuneros estaban en alto riesgo de deslizamiento debido a la presencia de las ladrilleras en la zona en aquellos

años. Con el tiempo, en lugares donde desaparecieron las canteras, la probabilidad de derrumbes disminuyó; sin embargo para el año 2022, aumentó la incidencia de desprendimientos de tierra en lugares donde hay nuevas empresas de explotación minera, como CEMEX que ocupa un área más grande que el parque minero industrial.

14. RECOMENDACIONES

- Implementar estudios de campo donde se tomen muestras de los afluentes de agua antes y después de los vertimientos realizados por las canteras mineras para ser analizados en laboratorios donde se conozca la afectación que trae esta actividad económica al recurso hídrico.
- Ampliar la perspectiva del trabajo de grado institucional, a fin de enviar los resultados a entidades dedicadas a la gestión del riego y el planeamiento del ordenamiento territorial para que contribuyan a la toma de decisiones de la comunidad
- Solicitar a las entidades competentes datos históricos de los factores utilizados para realizar una comparación exhaustiva en diferentes años

15. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía mayor de Bogotá D.C. (2018). Caracterización general de escenarios de riesgo. Recuperado de: <https://www.idiger.gov.co/documents/220605/232445/Identificaci%C3%B3n+y+Priorizaci%C3%B3n+.pdf/3297214a-9582-49d4-8c69-f83c7d8ce46b>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, (2010). Localidad de Usme Diagnóstico local de salud con participación social 2009-2010. Secretaria Distrital de salud. Recuperado de: <http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Todo%20IIH/DX%20USME.pdf>
- Alcaldía local de Usme. (2017). Plan ambiental local de Usme 2017-2020. Comisión ambiental local de Usme. Recuperado de: https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARC_HIVO&p_NORMFIL_ID=9990&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILENAME
- Alcaldía local de Usme. (2016). Localidad de Usme. Alcaldía mayor de Bogotá D.C. Recuperado de: <http://www.usme.gov.co/content/upz-barrios-y-veredas>
- Alcántara, I & Borja, B. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla. Instituto de geografía UNAM. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112004000100002
- Alvarado, G; Carr, M; Feigenson, M; Mana, S; Ruiz, P; Sáenz, L & Soto, G. (2019). Coseismic Landslide Susceptibility Analysis Using LiDAR Data PGA Attenuation and GIS: The Case of Poás Volcano, Costa Rica, Central America. Retomado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-02156-0_4
- ANM. (2022). Así es nuestra Colombia minera. Recuperado de: <https://www.anm.gov.co/?q=Asi-es-nuestra-Colombia-minera>
- CAR. (2017). Actualización POMCA Río Garagoa. Minambiente. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5c1a9ff24fef0.pdf>
- Cárdenas, M & Chaparro, E. (2004). Industria minera de los materiales de construcción. Su sustentabilidad en América del Sur. División de Recursos Naturales e Infraestructura Santiago de Chile. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6442/1/S049694_es.pdf
- Castiblanco, M; Jaramillo, O & Robertson K. (2013). Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000. IDEAM. Recuperado de:

http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152722/Guia_Enero_201401+%281%29.pdf

Chen, W; Li, R; Shahabi, H & Zhang, S. (2018). Performance evaluation of the GIS-based data mining techniques of best-first decision tree, random forest, and naïve Bayes tree for landslide susceptibility modeling. Science of the total environment. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.389>

CLGR-CC USME. (2018). Caracterización general de escenarios en riesgo. Recuperado de: <https://www.idiger.gov.co/documents/220605/232445/Identificaci%C3%B3n+y+Priorizaci%C3%B3n+.pdf/3297214a-9582-49d4-8c69-f83c7d8ce46b>

Datos abiertos Bogotá. (2020). Cobertura de la tierra 2016. Bogotá D.C. Alcaldía de Bogotá. recuperado de: <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/cobertura-de-la-tierra-2016-bogota-d-c>

EITI COLOMBIA. (2016). Sector minería. Recuperado de: <https://www.eiticolombia.gov.co/es/informes-eiti/informe-2016/marco-institucional/sector-mineria/>

FAO. (2023). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Recuperado de: <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

Fuentes, B. (2017). Análisis geodinámico de las zonas inestables en los alrededores del Poblado de Jesús. Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado de: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1413/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Garzón, O & Pavón, N. (2014). Evaluación y zonificación de susceptibilidad y amenazas/peligros por fenómenos de remoción en masa en el cantón Pallatanga, escala 1: 50.000. Universidad Central de Ecuador. Retomado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2261>

Gómez, A. (2015). Explotación minera en los cerros orientales del sur de Bogotá D.C. Análisis desde la teoría de la justicia espacial. Universidad distrital. Recuperado de: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4931/G%c3%b3mezAvellanaAndr%c3%a9sLeonardo2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gómez, A; Hernández, E & Zafra, C. (2020). Minería en Usme, Bogotá: Justicia espacial y percepciones sociales. Recuperado de: <https://ciencia.lasalle.edu.co/eq/vol1/iss35/6/>

Gómez, R & Hernán, D. (2018). Amenazas por remoción en masa en el corredor vial Cúcuta - Pamplona, Norte de Santander. Universidad Católica de Manizales. Recuperado de: <http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl/vufind/Record/oai:localhost:10839-2209>

Gómez, Y & Rincón, R. (2021). Influencia de los factores geológicos y geomorfológicos asociados a la explotación minera en la amenaza por remoción en masa del municipio de Lenguaque Cundinamarca mediante análisis espacial a escala básica. Universidad Santo Tomás. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/42746>

Herrera, J. (2009). Introducción al drenaje de explotaciones mineras. Universidad politécnica de Madrid. Recuperado de: https://oa.upm.es/10404/8/INTRODUCCION_AL_DRENAJE_MINERO-R01-090320_2.pdf

IDEAM. (s.f.). Precipitación total anual y mensual. IDEAM. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/Definiciones+CNE.pdf/25e1cca5-ee47-4eaf-86c0-c4f5192a9937?version=1.0>

IDEAM. (2012). Coberturas de la tierra. IDEAM. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>

IDEAM. (2014). Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152722/Guia_Enero_201401+%281%29.pdf

IDEAM. (s.f.). Sistema de Información para la gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos. DHIME. Recuperado de: <https://dhime.ideam.gov.co/webgis/home/>

Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital. (2017). Geomorfología Urbana Bogotá D.C (2017). Instituto de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. Recuperado por: <https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/geomorfologia-urbana-bogota-dc-2017>

Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital. (2016). Sector Catastral. Bogotá D.C. Unidad catastral. Recuperado de: <https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/sector-catastral-bogota-dc>

IDIGER. (2021). Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico. IDIGER. Recuperado de: <https://www.idiger.gov.co/rsismico>

Instituto Agustín Codazzi. (2014). Clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Levantamiento de suelos. Recuperado de: <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/2014/M40100->

[02%2014V2%20Para%20la%20clasificacion%20de%20las%20tierras%20por%20su%20capacidad%20de%20uso.pdf](#)

Instituto Colombiano de Geología y Minas. (2005). Ministerio de minas y energía. Geología de la Sabana de Bogotá. Recuperado de: https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf

Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional. (2021). Enfermedades respiratorias. Centro de control y prevención de enfermedades. Recuperado de [Omineros%20est%C3%A1n%20en%20riesgo,puede%20entrar%20al%20tejido%20pulmonar.](#)

Jardín botánico de Bogotá. (2020). Manual de coberturas vegetales de Bogotá D.C. Alcaldía Mayor de Bogotá. Recuperado de: https://jbb.gov.co/documentos/cientifica/publicaciones/MANUAL_COBERTURAS_VEGETALES.pdf

Jeanneret, P & Maris, S. (2018). Inventario de procesos de remoción en masa en la cuenca baja del Río Blanco (31°S), Andes Centrales Argentinos. Scielo. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v35n3/2007-2902-rmcg-35-03-215.pdf>

López, R.E., Zuluaga, A.D., Gómez, F. & Tapia, L. (2020). *Aplicación del Método Mora-Vahrson para Evaluar la Susceptibilidad a Deslizamiento en el Municipio de Manaure, Cesar, Colombia.* Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152722/Guia_Enero_201401+%281%29.pdf

Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993). Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. Tecnología ICE. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/283730363_Determinacion_a_priori_de_la_amenaza_de_deslizamientos_utilizando_indicadores_morfodinamicos

Manrique, N & Sonco, Y. (2018). Peligro por deslizamientos en el sector Matarani. INGEMMET. Recuperado de: https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1929/1/A6833-Peligro_por_deslizamientos_sector_Matarani-Tacna.pdf

Mercedes, Y & Figuerosa, S. (2017). Zoning of hazards by landslides starting from the model Mora and Vahrson. Universidad del Valle. Recuperado de: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/11580/Zonificacion%20de%20amenazas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Minambiente. (s.f.). Pago por Servicios Ambientales. Minambiente. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/pagos-por-servicios-ambientales/>

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). NSR 10. Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. Recuperado de: <https://www.scg.org.co/Titulo-A-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-13.pdf>

Montoya, D & Reyes, G. (2005). Geología de la Sabana de Bogotá. INGEOMINAS. Recuperado de: https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf

Mora, S., & Vahrson, W. G. (1993). Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. Tecnología ICE. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/283730363_Determinacion_a_priori_de_la_a_menaza_de_deslizamientos_utilizando_indicadores_morfodinamicos

Norma Sismorresistente. (2010). Título A. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. Recuperado de: <https://www.scg.org.co/Titulo-A-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-13.pdf>

Rey, G. (2020). Asistencia técnica en el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa para la construcción de una central hidroeléctrica en el municipio de Onzaga, Santander. Recuperado de: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/9098/1440_e_4%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Román, A & Feoli-Boraschi, S. (2018). Comparación de la metodología Mora-Vahrson y el método morfométrico para determinar áreas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(61), 17-45. Recuperado de: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/10677>

SGC. (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000. Servicio geológico colombiano. Recuperado de: [https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM\(2017\).pdf](https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM(2017).pdf)

Servicio Geológico Colombiano. (2015). Infraestructura de Datos Espaciales Regional. Mapa geológico de Cundinamarca. Recuperado de: <https://ider.cundinamarca.gov.co/maps/cundinamarca-map::mapa-geol%C3%B3gico-de-cundinamarca-escala-1100-000-2015-web-map/about>

Secretaría de ambiente. (s.f.). Minería al sur de Bogotá. Alcaldía mayor de Bogotá. Recuperado de: https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/mineria_en_el_sur_de_bogota_01-09-2020.pdf

Trujillo, R. (2013). Dinámica de la construcción por usos de la localidad de Usme. Observatorio técnico catastral. Recuperado de: <https://www.catastrobogota.gov.co/sites/default/files/archivos/usme.pdf>

16. ANEXOS

Anexo 1. Clasificación Litológica

MAPA MORA VAHRSON	Cuantificación	Factor Susceptibilidad
Aluvión compacto permeable, caliza permeable, intrusiones ligeramente fisuradas, basalto, ignimbrita, gneis, hornfels, bajo grado de erosión, nivel freático bajo, fracturas limpias y rugosas, alta resistencia a la erosión.	Bajo	1
Mayor grado de meteorización de las litologías mencionadas y de las rocas sedimentarias masivas duras, menor resistencia al cizallamiento y fracturas cizallables.	Moderado	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, metamórficas y volcánicas muy erosionadas, suelos arenosos regolíticos compactados, fracturas considerables, niveles freáticos fluctuantes.	Medio	3
Rocas de cualquier tipo considerablemente meteorizadas, alteradas hidrotérmicamente, fuertemente fracturadas y fisuradas, rellenas de arcilla; suelos piroclásticos y fluvio-lacustres poco compactados, capas freáticas poco profundas.	Alto	4
Roca extremadamente alterada, suelos aluviales, coluviales y residuales poco resistentes al cizallamiento, capas freáticas poco profundas.	Muy alto	5

Fuente. Elaboración propia, basado de Metodología Mora Vahrson

Anexo 2. Clasificación Pendiente

Pendiente (%)	Descripción	Cuantificación	Factor Susceptibilidad
0-1	A nivel	Muy baja	1
1-3	Ligeramente plana	Muy baja	1
3-7	Ligeramente inclinada	Muy baja	1

7-12	Moderadamente inclinada	Baja	2
12-25	Fuertemente inclinada	Media	2
25-50	Ligeramente escarpada	Alta	3
50-75	Moderadamente escarpada	Alta	3
75-100	Fuertemente escarpada	Muy Alta	3

Fuente. Elaboración propia, basado del IGAC

Anexo 3. Clasificación precipitación

Total, lluvia anual (mm)	
Muy baja	500-600
Baja	600-800
Moderada	800-1000
Media	10000-12000
Alta	12000-14000
Muy alta	14000-16000

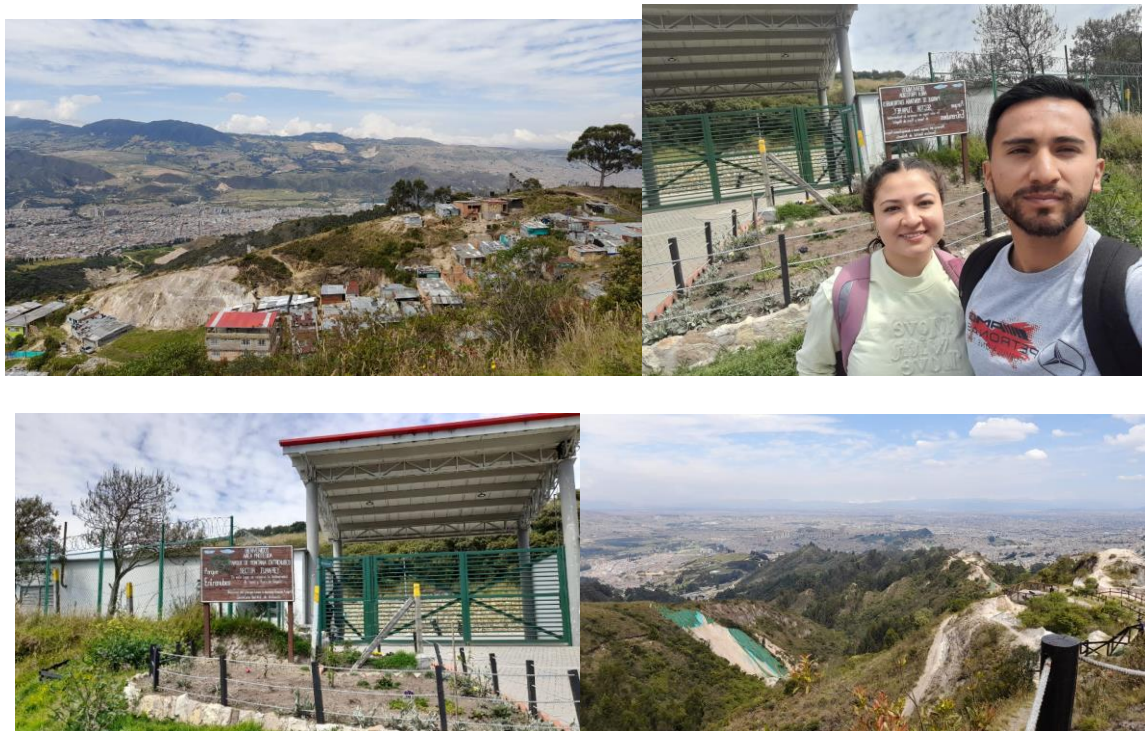
Fuente. Elaboración propia, basado en datos del IDIGER

Anexo 4. Clasificación Sismicidad

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Nelva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Fuente. Elaboración propia, basado del NSR-10

Anexo 5. Evidencia estudio de campo



Fuente. Elaboración propia