

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

CARTOGRAFÍA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA CON LA APLICACIÓN DEL MÉTODO HEURÍSTICO, CASO DE ESTUDIO DEL BARRIO SANTA ROSA DE POMASQUI

UNIDAD DE TITULACIÓN

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

HÉCTOR GEORGY FREIRE CABRERA

hector.freire@epn.edu.ec

DIRECTOR: ELIANA FERNANDA JIMÉNEZ ÁLVARO

eliana.jimenez@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Héctor Georgy Freire Cabrera, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

HÉCTOR GEORGY FREIRE CABRERA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por el Sr. Héctor Georgy Freire Cabrera, bajo mi supervisión.

Ing. Eliana Jiménez Álvaro. MSc.
DIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

HÉCTOR FREIRE CABRERA

ELIANA JIMÉNEZ ÁLVARO

DEDICATORIA

*A mis amados padres Héctor y Georgina, por ser mis primeros maestros y mi mayor
inspiración.*

Al amor de mi vida Mishell, por ser mi cómplice en esta aventura llamada vida.

A mi gatita Pelusa por ser el mejor regalo que llego a mi vida.

A mi hermano Héctor por apoyarme y estar presente en cada logro.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por enseñarme que con esfuerzo todos somos capaces de llegar muy lejos.

A mis padres Héctor y Georgina porque con amor, supieron disfrutar cada momento y logro de mi vida, me enseñaron que los límites no existen y que con dedicación se puede alcanzar todo lo que me proponga.

Agradezco especialmente al amor de mi vida Mishell, por alegrar con su sonrisa cada día de mi vida, gracias por acompañarme siempre en cada locura, por tu paciencia, por tanto cariño y amor, porque contigo soy el más feliz del mundo.

A mi hermano Héctor y su familia por todo su apoyo y siempre estar presentes en cada ocasión especial llenando de alegría mi hogar.

A la Ing. Eliana Jiménez por su dedicación y conocimiento en cada fase de este proyecto. Cada enseñanza enriqueció y aportó significativamente a la culminación de esta investigación. Gracias por todo el tiempo y paciencia.

A mis amigos Britany, Richard y Andrés, por cada conversación y momentos de risa, ustedes hicieron que la estancia en la facultad sea más llevadera.

A todos los profesores de la Facultad de Geología porque con su enseñanza, paciencia y conocimientos han sabido transmitir el amor por la geología.

ÍNDICE

CERTIFICACIONES	i
DECLARACION DE AUTORÍA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo General.....	1
1.2 Objetivos Específicos.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco Teórico.....	3
1.4.1 Marco Geológico.....	3
1.4.1.1 Cuenca Quito – Guayllabamba.....	3
1.4.1.2 Subcuenca San Antonio de Pichincha.....	4
1.4.1.3 Microcuenca del Río Monjas.....	5
1.4.2 Marco Conceptual.....	6
1.4.2.1 Movimiento en Masa.....	6
1.4.2.2 Susceptibilidad.....	7
1.4.2.3 Método Heurístico.....	7
1.4.2.4 Inventario de Movimientos en Masa.....	8
1.4.2.5 Análisis de Estabilidad de Taludes.....	8
2 METODOLOGÍA	9

2.1 Mapas Temáticos.....	9
2.1.1 Mapa de Litología.....	12
2.1.2 Mapa de Geomorfología.....	12
2.1.3 Mapa de Uso de Suelos.....	13
2.1.4 Mapa de Pendientes.....	14
2.2 Mapa de Inventario de Movimientos en Masa.....	14
2.3 Mapa de Susceptibilidad.....	15
2.4 Calibración del Mapa de Susceptibilidad.....	16
2.5 Factor de Seguridad Estático.....	17
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	20
3.1 RESULTADOS.....	20
3.1.1 Mapas Temáticos.....	20
3.1.2 Mapa de Susceptibilidad.....	22
3.1.3 Mapa de Inventario de Movimientos en Masa.....	25
3.1.4 Calibración del Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa.....	27
3.1.5 Factor de Seguridad Estático.....	28
3.2 CONCLUSIONES.....	31
3.3 RECOMENDACIONES.....	33
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
5 ANEXOS.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	3
Figura 2. Columna estratigráfica de la Subcuenca de San Antonio de Pichincha (Pacheco., 2013).....	5
Figura 3. Fotografía de las secuencias de la Avalancha del Casitahua sobre yacidas por la Formación Mojanda Fuya-Fuya. Tomada de Pacheco, 2013.....	6
Figura 4. Diagrama metodológico para la construcción de la cartografía de susceptibilidad por MM. Modificado de Suarez (2009).....	9
Figura 5. Modelo de Elevación Digital (DEM) del barrio Santa Rosa de Pomasqui y representación del proceso para vectorizar un archivo ráster.....	10
Figura 6. Proceso para cortar un archivo shape.....	11
Figura 7. Proceso para transformar un archivo shape a ráster.....	11
Figura 8. Mapa de susceptibilidad a partir de la sumatoria de los ráster de los 4 mapas temáticos.....	15
Figura 9. Bloc de Notas del cálculo de las áreas por nivel de susceptibilidad de los MM.....	17
Figura 10. Ubicación de los perfiles topográficos para análisis de estabilidad de taludes.....	18
Figura 11. Modelo de perfil topográfico en el programa <i>Slide 6.0</i>	19
Figura 12. Interpretación del factor de seguridad mediante el método de Janbú Simplificado.....	20
Figura 13. Mapas temáticos. a) Mapa de Litología, b) Mapa de Geomorfología, c) Mapa de Uso de Suelos, d) Mapa de pendientes.....	22
Figura 14. Mapa de Susceptibilidad del Barrio Santa Rosa de Pomasqui.....	23

Figura 15. Mapa de Susceptibilidad para el Barrio Santa de Pomasqui. Tomado de Zapata, 2023.....	25
Figura 16. Inventario de MM.....	26
Figura 17. Mapa de Inventario de MM con rangos de susceptibilidad.....	27
Figura 18. Factor de seguridad estático en los 4 perfiles topográficos con el método de Janbú Simplificado (1968). a) Perfil Topográfico A-A', b) Perfil Topográfico B-B', c) Perfil Topográfico C-C', d) Perfil Topográfico D-D'.	29
Figura 19. Factor de seguridad estático en los 4 perfiles topográficos con el método de Bishop Simplificado (1955). a) Perfil Topográfico A-A', b) Perfil Topográfico B-B', c) Perfil Topográfico C-C', d) Perfil Topográfico D-D'.	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Movimientos en Masa (Hungu et al., 2013).....	7
Tabla 2. Reclasificación del parámetro de dureza según INIGEMM, 2013.....	12
Tabla 3. Reclasificación de la geomorfología según INIGEMM, 2013.....	13
Tabla 4. Reclasificación del uso de suelos según INIGEMM, 2013.....	13
Tabla 5. Reclasificación de las pendientes según INIGEMM, 2013.....	14
Tabla 6. Valores de susceptibilidad según INIGEMM, 2013.	16
Tabla 7. Valores para las unidades geológicas.	18
Tabla 8. Área y rangos de susceptibilidad en el Barrio Santa Rosa de Pomasqui.....	24
Tabla 9. Inventario de MM.....	26
Tabla 10. Áreas y rangos de susceptibilidad en los MM del Barrio Santa Rosa de Pomasqui.....	28
Tabla 11. Comparación del Factor de Seguridad Estático entre los métodos de Janbú Simplificado (1968) y Bishop Simplificado (1955).....	30

RESUMEN

Los movimientos en masa son una amenaza que han generado grandes impactos en la población del Barrio Santa Rosa de Pomasqui. Estos eventos están ligados a zonas críticas de altas pendientes como son las quebradas y taludes verticales en el cauce del Río Monjas.

Con el fin de apoyar a la comunidad y al Municipio de Quito en la planificación y crecimiento organizado de la zona urbana del DMQ, en este Trabajo de Integración Curricular (TICS) se ha desarrollado una evaluación de los distintos niveles de susceptibilidad por movimientos en masa (MM) a escala 1:20000 en el Barrio Santa Rosa de Pomasqui, con generación de cartografía utilizando el Método Heurístico. Este método analiza distintos parámetros como: litología, geomorfología, uso de suelos y pendientes que serán ponderados junto con el mapa de inventario de MM para determinar el valor de susceptibilidad que tiene cada píxel para generar un MM.

El presente trabajo está constituido por tres capítulos. En el primer capítulo se presentan los objetivos principales, ubicación, características de la zona de estudio y el marco conceptual. El segundo capítulo comprende el marco metodológico para la elaboración de cuatro mapas temáticos que se usaran para la construcción del mapa de susceptibilidad mediante el Método Heurístico que luego será calibrado con el mapa de inventario de MM. El tercer capítulo presenta los resultados de este estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan una mejor planificación territorial usando los resultados de cartografía de susceptibilidad a los MM, para así, mejorar el entorno de vida en el Barrio Santa Rosa de Pomasqui.

PALABRAS CLAVE: Movimientos en masa, susceptibilidad, factor de seguridad estático, Método Heurístico.

ABSTRACT

Mass movements are a threat that have generated great impacts on the population of the Santa Rosa de Pomasqui neighborhood. These events are linked to critical areas of high slopes such as streams and vertical slopes along the Monjas River.

In order to support the community and the Municipality of Quito in the planning and organized growth of the urban area of the DMQ, in this Curricular Integration Work (TICS) we have developed an evaluation of the different levels of susceptibility to mass movements (MM) at a scale of 1:20000 in the Santa Rosa de Pomasqui neighborhood, with the generation of cartography using the Heuristic Method. This method analyzes different parameters such as: lithology, geomorphology, land use and slopes that will be weighted together with the MM inventory map to determine the susceptibility value that each pixel has to generate a MM.

This project is made up of three chapters. The first chapter presents the main objectives, location, characteristics of the study area and the conceptual framework. The second chapter includes the methodological framework for the elaboration of four thematic maps that will be used for the construction of the susceptibility map using the Heuristic Method, which will then be calibrated with the MM inventory map. The third chapter presents the results of this study, conclusions and recommendations that will allow a better territorial planning using the results of the MM susceptibility mapping, in order to improve the living environment in the Santa Rosa de Pomasqui neighborhood.

KEY WORDS: Mass movements, susceptibility, static safety factor, Heuristic Method.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El presente trabajo es parte del proyecto internacional Tomorrow's Cities (Ciudades del Mañana) que tiene como objetivo aportar en la reducción del riesgo urbano en varias zonas del Distrito Metropolitano de Quito.

El trabajo de investigación curricular se enfocará en dos temas: el primero en el desarrollo de cartografía de susceptibilidad a movimientos en masa (MM) a nivel de la microcuenca hidrográfica del río Monjas y como punto de control en el barrio Santa Rosa de Pomasqui. La cartografía de susceptibilidad se obtendrá a través del uso del Método Heurístico con el desarrollo del mapa de pendientes que se obtendrá del modelo digital de elevación MED (Pleiades Digital Elevation Models of Quito v1.0. 2020 del proyecto Tomorrow's Cities, tamaño píxel 2 m) así como el mapa litológico, mapa geomorfológico y mapa de uso de suelo que serán integrados en un álgebra de mapas dentro del sistema de información geográfico, SIG. La cartografía de susceptibilidad será calibrada con el mapa de inventario de movimientos en masa levantado en la zona de Santa Rosa de Pomasqui de estudios anteriores para finalmente realizar el análisis de estabilidad que será usado para determinar el factor de seguridad estático. El análisis de la estabilidad para el cálculo del factor de seguridad, dentro del estudio de susceptibilidad permite comprender el nivel de importancia de los factores condicionantes en la generación de movimientos en masa. De esta manera los resultados obtenidos en este trabajo son un aporte a la planificación territorial de la zona de estudio, la cual ha estado expuesta a eventos como el flujo de escombros (aluvión) ocurrido en octubre del 2013 en donde el flujo comenzó en la cabecera de la quebrada con la ocurrencia de deslizamientos y pendiente abajo provocó una afectación a más de 150 personas y alrededor de 30 viviendas.

1.1. Objetivo general

Estudiar los movimientos en masa en el barrio Santa Rosa de Pomasqui a través de la evaluación de la Susceptibilidad con el Método Heurístico y el cálculo del factor de seguridad estático.

1.2. Objetivos específicos

- Construir el mapa de Susceptibilidad de movimientos en masa en el Barrio Santa Rosa de Pomasqui, utilizando el Método Heurístico.
- Calibrar el mapa de Susceptibilidad con el mapa de inventario de movimientos en masa obtenido por los estudiantes del semestre 2022 A de la Carrera de Geología y los datos levantados en el trabajo de campo.
- Calcular el Factor de Seguridad Estático en las laderas con niveles de Susceptibilidad muy alto y alto, para determinar la importancia del factor litológico en la inestabilidad de las laderas.

1.3. Alcance

El trabajo de titulación tiene como alcance la generación de un mapa de susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1:20000, el cual será generado a través de la aplicación del Método Heurístico en el Barrio Santa Rosa de Pomasqui (Fig. 1), integrando factores condicionantes determinados por la litología, el uso de suelo y la geomorfología, el mismo que será calibrado con el mapa de inventarios de movimientos en masa (IMM). Este mapa permite determinar las zonas donde pueden generarse MM y que a futuro pueden afectar a la población. Además, se realizará el análisis de estabilidad para el cálculo del factor de seguridad estático en 4 perfiles topográficos ubicados en las laderas de alta y muy alta susceptibilidad en las cuales no han ocurrido MM.

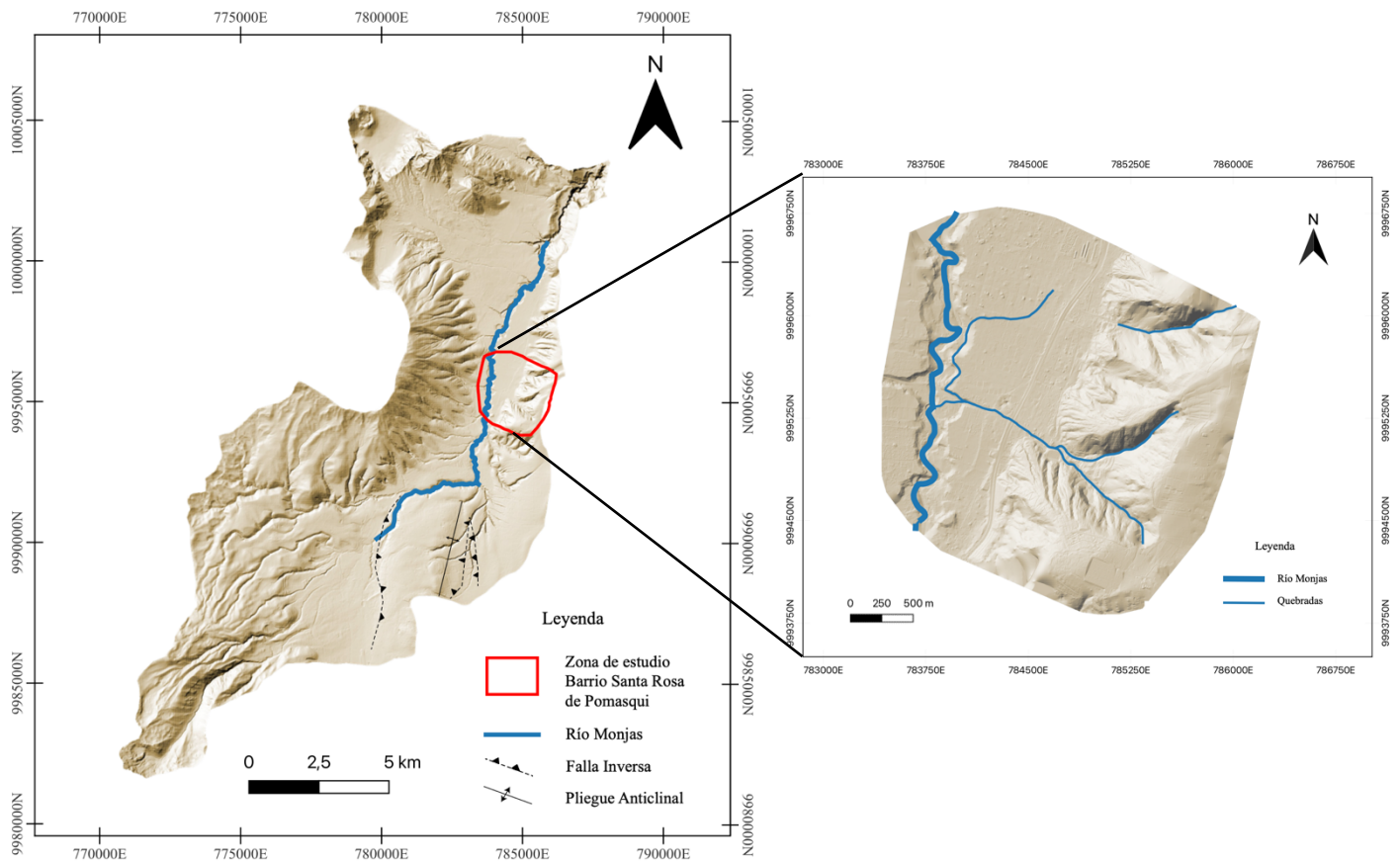


Fig. 1 Mapa de ubicación de la zona de estudio, Barrio Santa Rosa de Pomasqui.

1.4. Marco teórico

1.4.1 Marco Geológico

1.4.1.1 Cuenca Quito – Guayllabamba

La cuenca intermontana Quito – Guayllabamba está formada por una secuencia sedimentaria de alrededor de 1000m de espesor y depósitos que datan del Plioceno Tardío al Holoceno (Villagómez, 2003). El relleno volcánico y sedimentario de la Cuenca Quito – Guayllabamba superponen inconformemente a rocas máficas de edades cretácicas de

origen oceánico de la Unidad Pallatanga, la cual forma parte de la Cordillera Occidental y del basamento metamórfico de la Cordillera Oriental (Winkler et al., 2005).

En referencia al relleno de la cuenca, en la secuencia inferior constituida por las Formaciones Pisque y San Miguel (Plioceno Tardío – Pleistoceno Temprano) se encuentran tobas, lavas, lahares, fluviales, aluviales, lacustres y deltaicos. Al tope de la secuencia (Pleistoceno Medio – Holoceno) se presentan las Formaciones Mojanda Fuya – Fuya, Cangahua y Pululahua (Pacheco, 2013), que se caracterizan por secuencias piroclásticas retrabajadas en ambiente fluvial y eólico en el caso de la Formación Mojanda (Samaniego et al., 1994; Villagómez, 2003; Winkler et al., 2005), depósitos limo arenosos formados por piroclastos retrabajados con suelos volcánicos en la Formación Cangahua y depósitos piroclásticos, brechas dacíticas y capas de cenizas volcánicas de la Formación Pululahua (Pacheco 2013).

La cuenca Quito – Guayllabamba se divide en tres subcuencas: Subcuenca de Quito y Subcuenca San Antonio de Pichincha que se encuentran ubicadas en un banco estructural formado por actividad del sistema de fallas inversas de Quito; mientras que en los valles se encuentra la Subcuenca de Guayllabamba (Alvarado et al., 2014).

1.4.1.2 Subcuenca San Antonio de Pichincha

La principal estructura tectónica que limita el este de la Subcuenca de San Antonio es el sistema de fallas inversas de Quito, la cual se divide en tres segmentos: La Falla de Quito, La Falla Botadero y la Falla Catequilla (Villagómez, 2003). Esta subcuenca se caracteriza por la presencia de lomas anticlinales de Carcelén – El Inca y Bellavista – Catequilla, también se encuentra rodeada por varios edificios volcánicos que incluyen al Complejo Volcánico Pululahua al norte, el Complejo Mojanda Fuya – Fuya al noroeste, el volcán Casitahua al oeste y el Complejo Volcánico Pichincha al suroeste. (Pacheco, 2013)

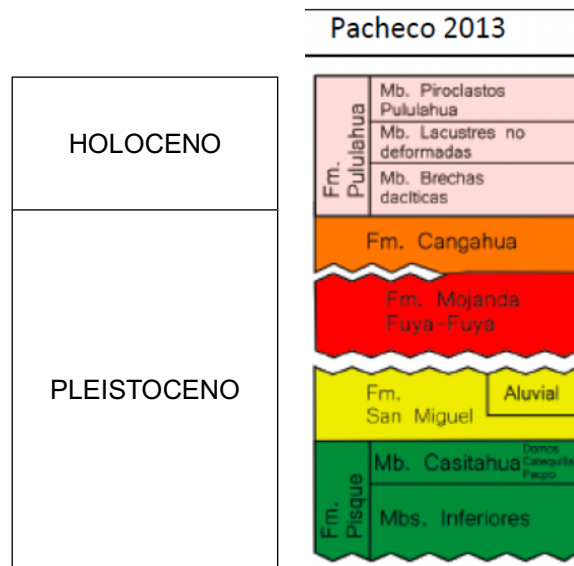


Fig. 2 Columna estratigráfica de la Subcuenca de San Antonio de Pichincha (Pacheco., 2013).

La Fm. Cangahua de edades entre 260ka – 10ka (Hall & Mothes, 2001) está distribuida a lo largo de la depresión Interandina y se caracteriza por ser un depósito limo arenoso de piroclastos retrabajados con suelos volcánicos, que, debido a su alto contenido de vidrio y minerales volcánicos, se sugiere que la fuente son fuentes volcánicas de erupciones ácidas de tipo dacíticas a riolíticas (Hall & Beate, 1991). La Fm. Mojanda Fuya-Fuya consta de una secuencia piroclástica retrabajada en ambiente eólico y fluvial (Winkler et al., 2005), intercalados con potentes depósitos de caídas plinianas (Villagomez, 2003) (Fig. 3)

1.4.1.3 Microcuenca del Río Monjas

El río Monjas es el principal sistema hídrico del norte de la ciudad de Quito con un cauce de aproximadamente 23 km fluyendo en sentido S – N, atravesando la subcuenca de San Antonio de Pichincha desembocando en el Río Guayllabamba (Pacheco, 2013). Posee varios drenajes que en su mayoría son efímeros y su cauce se limita a épocas lluviosas, sin embargo, sirven de un importante aporte hídrico al río Monjas y la microcuenca en general (Barragán, 2023)

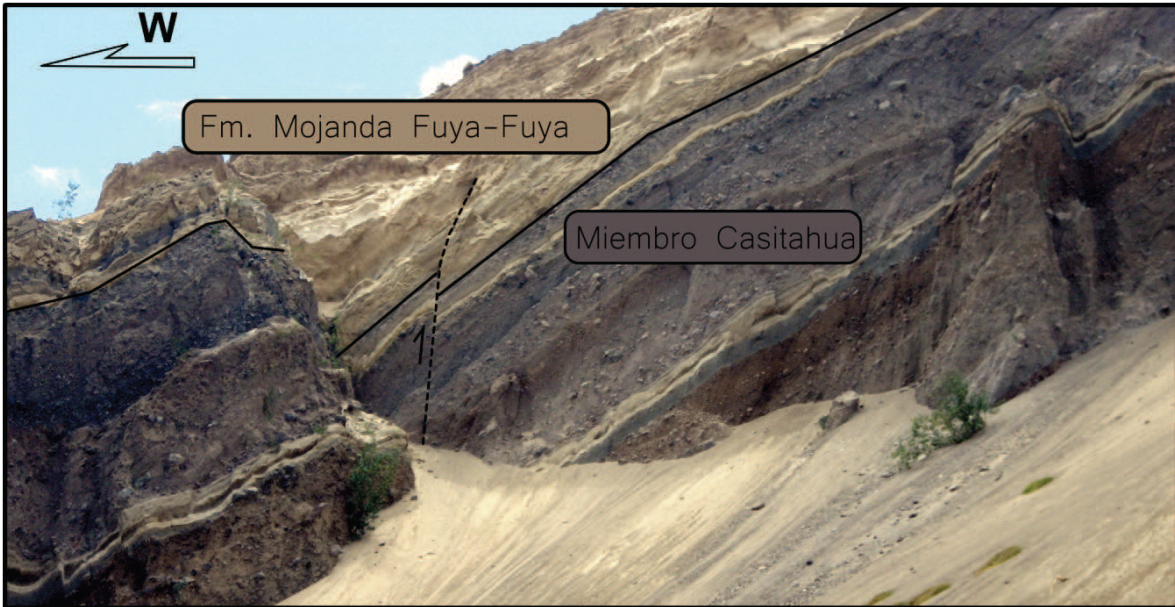


Fig. 3 Fotografía de las secuencias de la avalancha del Casitahua sobreyacidas por la Formación Mojanda Fuya-Fuya. Tomada de Pacheco, 2013.

1.4.2 Marco Conceptual

1.4.2.1 Movimiento en Masa

Es un movimiento de una masa de roca, detritos o tierra ladera abajo que ocurre a lo largo de una superficie de falla o una zona delgada de deformación cortante (Argentino A.S.G.M y Andino, 2007), y se producen por interacción de factores condicionantes y desencadenantes (Suarez, 2009).

Existen varios tipos de MM, por lo que es importante entender las características individuales ya que eso determinará la mecánica interna real, volumen, velocidad y distancia potencial de cómo se desplazará la masa (caída, derrumbe, deslizamiento, esparcimiento, flujos de escombros, etc.) para precisar los posibles impactos y establecer correctas medidas de mitigación (Highland y Bobrowsky, 2008). En la tabla 1 se muestran los 29 tipos de movimientos en masa que pueden ocurrir en tres tipos de materiales: roca (rock), escombros (debris) y suelo (earth) (Hung et al., 2013).

Movement type	Rock	Debris	Earth
Fall	1. Rock fall	2. Debris fall	3. Earth fall
Topple	4. Rock topple	5. Debris topple	6. Earth topple
Rotational sliding	7. Rock slump	8. Debris slump	9. Earth slump
Translational sliding	10. Block slide	11. Debris slide	12. Earth slide
Lateral spreading	13. Rock spread	–	14. Earth spread
Flow	15. Rock creep	16. Talus flow	21. Dry sand flow
		17. Debris flow	22. Wet sand flow
		18. Debris avalanche	23. Quick clay flow
		19. Solifluction	24. Earth flow
		20. Soil creep	25. Rapid earth flow
			26. Loess flow
Complex	27. Rock slide-debris avalanche	28. Cambering, valley bulging	29. Earth slump-earth flow

Tabla 1 Tipos de Movimientos en Masa (Hungar et al., 2013).

1.4.2.2 Susceptibilidad

La susceptibilidad a movimientos en masa es una función que se distribuye espacialmente y está definida como la densidad de movimiento en masa esperada medida según la ocurrencia temporal en km², por lo que, los mapas de susceptibilidad se construyen a partir de datos que representan los factores condicionantes representados a través de la cartografía de la zona de estudio, estos datos pueden ser: litológicos, geomorfológicos, topográficos, estructurales, uso de suelo, vegetación y otros, por tanto, el mapa de susceptibilidad resultante puede utilizarse para estimar la ocurrencia de futuros movimientos en masa (Argentino A.S.G.M y Andino, 2007).

En la actualidad, la elaboración de estos mapas se desarrolla en un entorno GIS, la cual constituye una herramienta adecuada que permite trabajar con metodologías que se integran en un álgebra de mapas a través de operaciones de geoprocésamiento en formato ráster y la manipulación de sus atributos (Carrara, 1983).

1.4.2.3 Métodos Heurísticos

Este método está basado en el análisis de los procesos de ocurrencia de los deslizamientos y necesita del criterio de profesionales expertos de la región estudiada, en donde el

conocimiento de dicho profesional es utilizado para la definición de las reglas y los criterios de evolución y estabilidad de los MM a través de fotointerpretación o trabajo de campo, teniendo como resultado el mapa de susceptibilidad, sin embargo, las reglas y las valoraciones pueden verse afectadas significativamente de un lugar a otro (Suárez, 2009).

1.4.2.4 Inventario de Movimientos en Masa

El inventario de movimientos en masa es un registro ordenado de la ubicación y las características individuales de movimientos ocurridos en un área específica y se pueden utilizar para analizar la sensibilidad de las condiciones de estabilidad de taludes, por ejemplo, identificar el tramo geológico más propenso a movimientos de tierra, que pendientes o alturas serian factores detonantes a generar estos movimientos para poder marcar correlaciones como lluvia, sismo, deslizamientos u otras condiciones ambientales (Argentino A.S.G.M y Andino, 2007).

1.4.2.5 Análisis de Estabilidad de Taludes

Es el proceso en el que se evalúa cuantitativamente las interacciones entre fuerzas que actúan en un talud: estabilizantes y movilizantes; con el fin de establecer condiciones de estabilidad actual o hipotética de dicho talud expresadas en términos del Factor de Seguridad (FS) y que involucra análisis de deformaciones del terreno (Argentino A.S.G.M y Andino, 2007).

El Factor de Seguridad es un valor que indica la relación de las fuerzas de resistencia al corte y las fuerzas desestabilizantes de un talud o ladera (Argentino A.S.G.M y Andino, 2007).

El objetivo del modelamiento de la ruptura del talud es calibrar los resultados que se obtienen en la evaluación de la susceptibilidad, es decir, clasificar la susceptibilidad en donde el Factor de Seguridad (FS) menor a 1 implica alta susceptibilidad, FS cercano a 1 en taludes con nivel de susceptibilidad media y FS mayor a 1 en taludes de susceptibilidad baja (Pillajo, 2016).

2. METODOLOGÍA

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) están diseñados para juntar, gestionar y analizar datos espaciales provenientes de distintas fuentes, lo cual facilita la manipulación de cada uno para estudiar y modelar las interrelaciones presentes entre ellos.

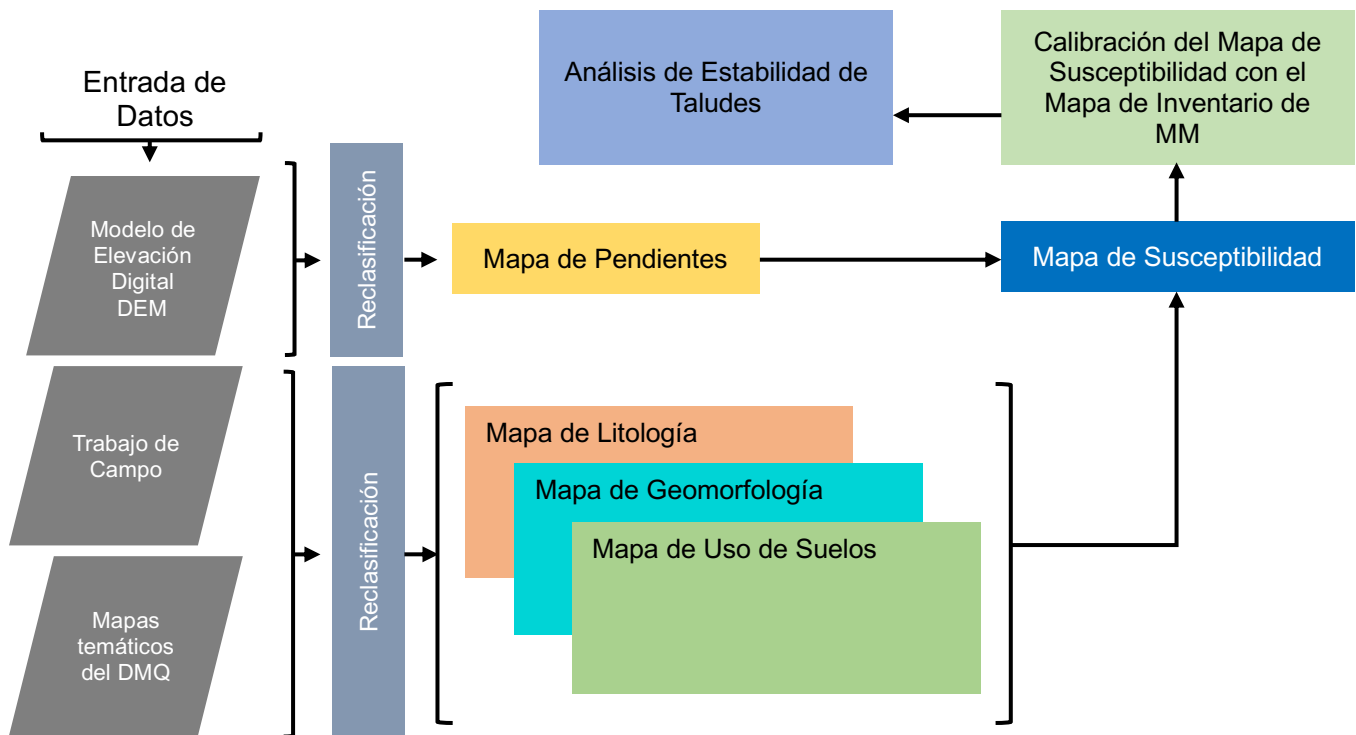


Fig. 4 Diagrama metodológico para la construcción de la cartografía de susceptibilidad por MM. Modificado de Suarez (2009).

2.1 Mapas Temáticos

Los mapas temáticos fueron elaborados con información previa y el polígono que limita el área del barrio. El recorte de la información se lo realiza con el Modelo de Elevación Digital (MED) cuyo nombre de archivo es “*dtm_50cm*” y tiene escala 1:20000 (SRC: EPSG: 32717 – WGS 84 / UTM zone 17S), obtenido a través de vuelo de dron en el proyecto Tomorrow’s Cities (*pie-dg-ig-uedinburgh-2020*). El polígono del Barrio Santa Rosa de Pomasqui llamado

“*dtm50 polígono*”, obtenido mediante la herramienta “*Poligonizar (ráster a vectorial)*” (Fig. 5), fue utilizado para obtener todos los mapas temáticos recortados de información previa del Distrito Metropolitano de Quito, los cuales se presentan en las coordenadas *EPSG: 32717 – WGS 84/UTM zone 17S*.

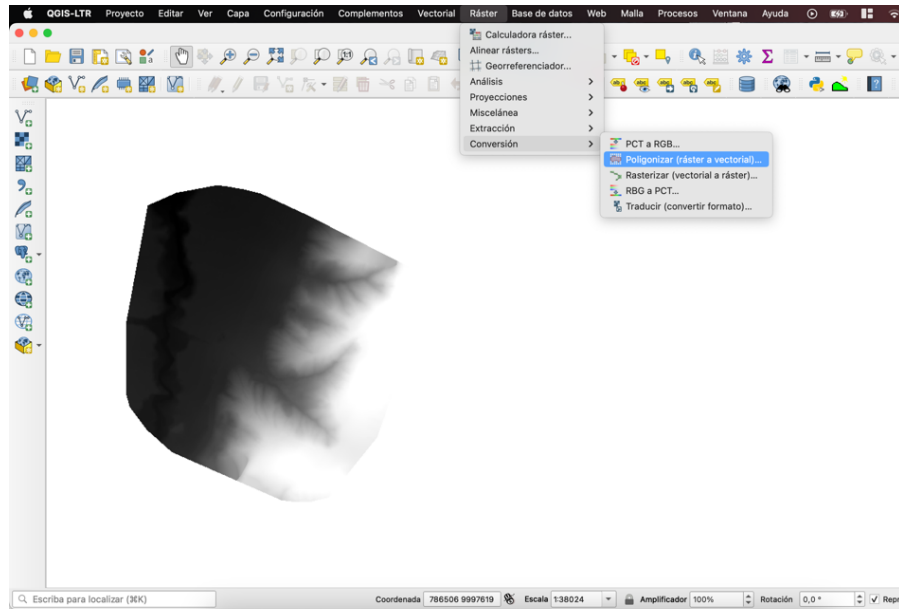


Fig. 5 Modelo de Elevación Digital (MED) del barrio Santa Rosa de Pomasqui y representación del proceso para poligonizar un archivo ráster.

Una vez obtenido el archivo “*dtm50 polígono*”, utilizando la opción “*Cortar*” ubicada en la pestaña *Vectorial > Herramientas de Geoproceso > Cortar*, se procede a cortar todos los mapas del DMQ para delimitar la zona de estudio y obtener los mapas temáticos exclusivos del Barrio Santa Rosa de Pomasqui. (Fig. 6)

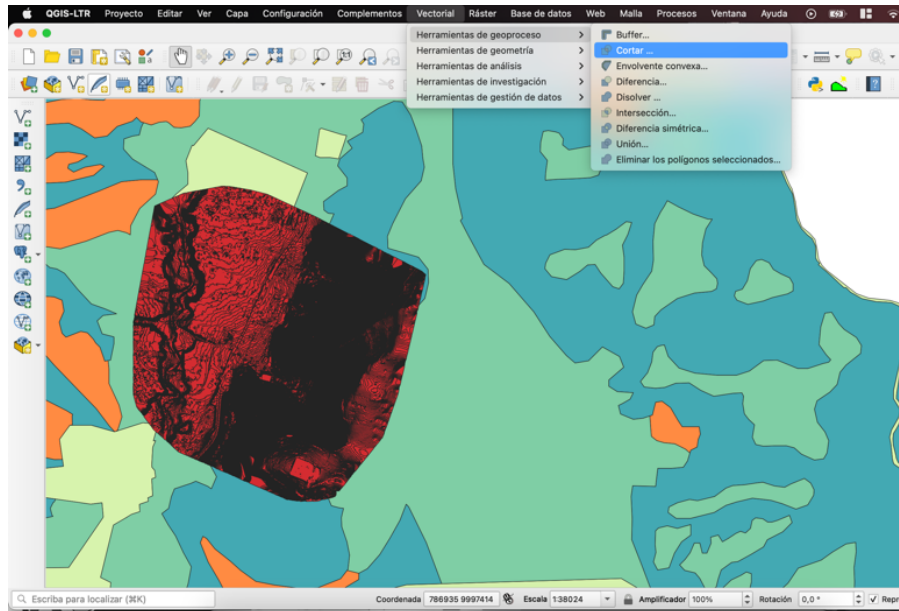


Fig. 6 Proceso para cortar un archivo shape.

Por último, para poder hacer uso de la calculadora ráster para obtener el mapa de susceptibilidad final, es necesario transformar todos los mapas temáticos a ráster tal y como se muestra en la figura 7.

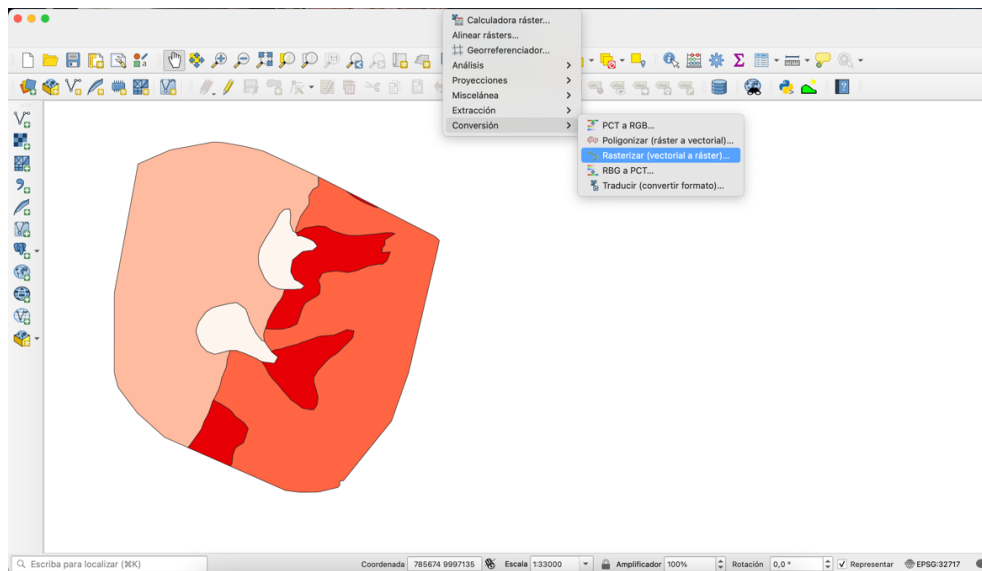


Fig. 7 Proceso para transformar un archivo shape a ráster.

Hay que tener en cuenta que se reclasifica cada mapa temático asignando una valoración correspondiente a la litología, geomorfología, uso de suelos y pendientes, dicha valoración se usa dentro de la calculadora ráster en el apartado de “*Campo a usar para un valor de marcado*” y en la sección “*Unidades tamaño del ráster de salida*” se selecciona “Píxeles”.

2.1.1 Mapa de Litología

El principal parámetro para estimar condiciones de estabilidad de los afloramientos es la litología, ya que estos están formados por distintos tipos de materiales cada uno con su respectiva resistencia al corte y permeabilidad, que afectan de manera activa o pasiva a la zona de estudio.

Este mapa se crea a partir del recorte del archivo proporcionado por la *Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito CGIACATÁLOGO AMBIENTAL (2012): Formaciones Geológicas DMQ Geo (código FS: 030201, fuente MAGAP, escala 1:50000)* y una vez obtenido el archivo “*shape*” en el SIG, reclasificamos los tipos de depósitos en la zona de acuerdo con la dureza que presenta su litología en base al Proyecto de Zonificación (INIGEMM, 2013) (Tabla 2)

#	Símbolo	Litología	Valoración
1	Dc	Depósito Coluvial	4
2	t	Terraza indiferenciada	3
3	Qc/Pv	Cangahua sobre volcánicos indiferenciados	2
4	Pv	Volcánicos Indiferenciados	1

Tabla 2 Reclasificación del parámetro de dureza según INIGEMM, 2013.

2.1.2 Mapa de Geomorfología

El área de estudio presenta una morfología bastante variada, en donde las partes más altas hacia el este están caracterizadas por relieves colinados, mientras que, al oeste, las zonas bajas tienen pendientes suaves que luego aumentan su desnivel cerca al río Monjas.

Se identificaron 3 unidades geomorfológicas definidas como Antiguas Cuencas Lacustres (O), Rellenos volcano-sedimentarios (Rc) y Cornisas y vertientes abruptas (Rs) (*Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito CGIACATÁLOGO AMBIENTAL (2012): Formaciones Geomorfológicas DMQ Geo (código FS: 030201, fuente MAGAP, escala 1:50000)*), las cuales se asignaron valores de acuerdo con el Proyecto de Zonificación (INIGEMM, 2013) (Tabla 3)

#	Símbolo	Geomorfología	Valoración
1	Rc	Rellenos volcano-sedimentarios	1
2	O	Antiguas cuencas lacustres	2
3	Rs	Cornisas y vertientes abruptas	3

Tabla 3 Reclasificación de la geomorfología según INIGEMM, 2013.

2.1.3 Mapa de Uso de Suelos

Este mapa se creó a partir del corte del archivo Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito CGIACATÁLOGO AMBIENTAL (2012): Suelo_DMQ_Geo (código FS: 030101, fuente MAGAP, escala 1:250000) e incorpora los cambios del suelo resultado de actividades antrópicas como las zonas de pastoreo, agricultura, deforestación y tipos de vegetación.

Posteriormente se reclasifica el mapa de uso de suelos de acuerdo con la valoración del parámetro de cobertura vegetal del Proyecto de Zonificación (INIGEMM, 2013) tal y como se muestra en la Tabla 4.

#	Símbolo	Suelo	Valoración
1	Pn	Pasto natural	1
2	Va	Vegetación arbustiva	2
3	Cm/Ae	Cultivos	3
4	U	Área urbana	4

Tabla 4 Reclasificación del uso de suelos según INIGEMM, 2013.

2.1.4 Mapa de Pendientes

La pendiente es un factor condicionante en la ocurrencia de MM a través de la relación que tienen los niveles de frecuencia y el ángulo de inclinación que presenta la pendiente y que va desde los 0° a > 35° (INIGEMM, 2013). Este mapa se elabora a partir del MED de origen “*dtm_50cm*” con la Caja de herramientas de Procesos, en el buscador colocamos *Pendiente* y hacemos uso de *GDAL Pendiente* con la capa de entrada “*dtm_50cm*”, de donde se obtiene como resultado un *ráster* de pendiente.

Es necesario reclasificar el *ráster* de pendiente obtenido, para ello se comparó los intervalos de pendientes utilizados en el Proyecto de Zonificación (INIGEMM, 2013). (Tabla 5)

#	Rango de Pendientes (°)	Valoración
1	0 - 2	0
2	2 - 4	1
3	4 - 8	2
4	8 - 16	3
5	16 - 35	4
6	>35	5

Tabla 5 Reclasificación de las pendientes según INIGEMM, 2013.

2.2 Mapa de Inventario de Movimientos en Masa

Este mapa de inventario de MM se elabora a partir de los registros de Jaya, DMQ (2013) y del levantamiento de campo realizado por el grupo de estudiantes de la materia de Fenómenos de Remoción en Masa (GEOD432) del semestre 2022-A de la carrera de Geología (RRA20) y verificados a través de trabajo de campo realizado dentro de este proyecto de titulación.

2.3 Mapa de Susceptibilidad

La construcción del mapa de susceptibilidad con el Método Heurístico se lo realiza con la sumatoria de píxeles en la calculadora ráster con los mapas temáticos de litología, geomorfología, uso de suelos y pendientes reclasificados. El nombre del archivo de salida es “*Mapa de Susceptibilidad*” y es importante colocar las coordenadas geográficas correctas para este proyecto: “*EPSG: 32717 – WGS 84/UTM zone 17S*”. (Fig. 8)

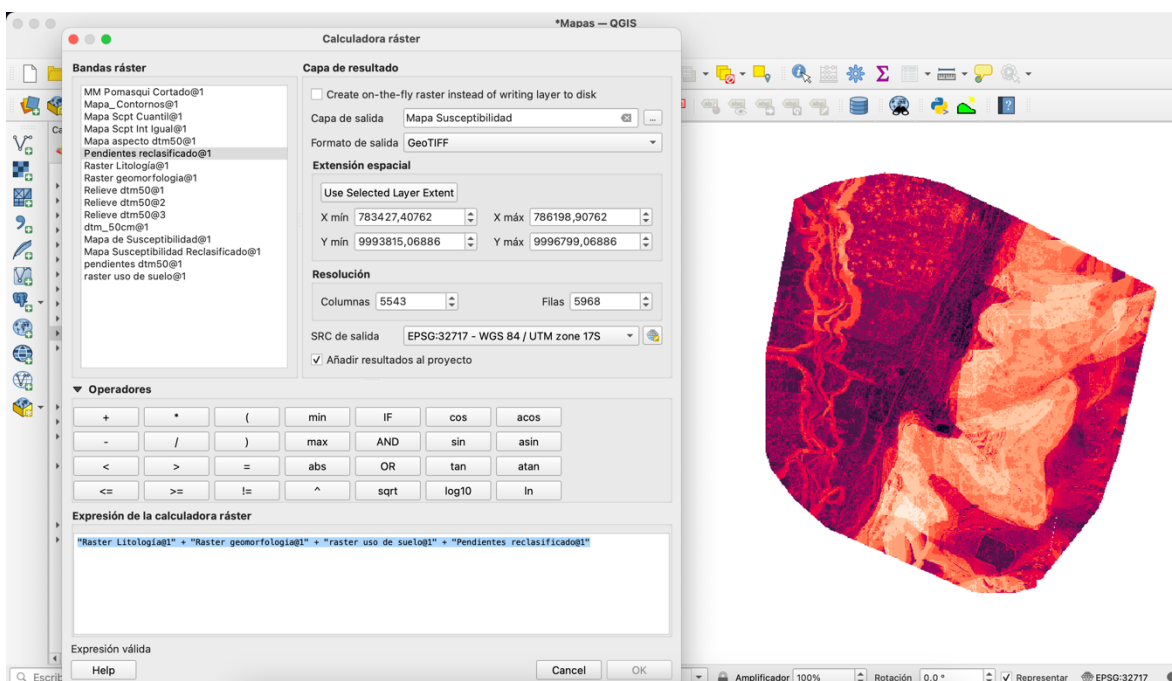


Fig. 8 Mapa de susceptibilidad a partir de la sumatoria de los ráster de los 4 mapas temáticos.

Posteriormente, para definir los niveles de susceptibilidad se realiza una nueva reclasificación en función de los valores del Proyecto de Zonificación (INIGEMM, 2013). (Tabla 6)

#	Clases de Susceptibilidad a los MM	Índice de Susceptibilidad a los MM (INIGEMM, 2013)
1	Muy Bajo	4 – 6,2
2	Bajo	6,2 – 8,4
3	Moderado	8,4 – 10,6
4	Alto	10,6 – 12,8
5	Muy Alto	12,8 - 15

Tabla 6 Valores de susceptibilidad según INIGEMM, 2013.

2.4 Calibración del Mapa de Susceptibilidad

Para iniciar la calibración del mapa de susceptibilidad mediante el inventario de MM, es necesario cargar todos los archivos *shape* elaborados a partir de la información de Jaya, DMQ (2013) y el trabajo de campo de los estudiantes de la materia de Fenómenos de Remoción en Masa (GEOD432) del semestre 2022-A de la carrera de Geología (RRA20).

Luego de obtener los polígonos de los MM en formato *ráster* se hallan cada una de las áreas con cada nivel de susceptibilidad, para ello se usa la Caja de Herramientas por procesos > r. report > seleccionar la capa ráster de MM > Ejecutar.

Como resultado se genera un documento de tipo TXT en el Bloc de Notas con las áreas pertenecientes a cada nivel de susceptibilidad en metros cuadrados. (Fig. 9)

RASTER MAP CATEGORY REPORT		
LOCATION:	temp_location	Tue Jul 4 20:51:22 2023
REGION	north: 0:02:01.062841S south: 0:03:11.033208S res: 0:00:00.006437	east: 78:26:03.63944W west: 78:26:50.60881W res: 0:00:00.006437
MASK:	none	
MAP:	(untitled) (rast_64a4cc95be2793 in PERMANENT)	
Category Information		square meters
#	description	
1-1.015686	from to	41.28
1.988235-2.003922	from to	643.22
2.992157-3.007843	from to	1479.47
3.996078-4.011765	from to	98,805.22
4.984314-5	from to	335,911.17
TOTAL		436,880.36

Fig. 9 Bloc de Notas del cálculo de las áreas por nivel de susceptibilidad de los MM.

2.5 Factor de Seguridad Estático

Para la creación de los perfiles se usa la herramienta “*Terrain Profile*” en donde se usa como capa base el ráster *dtm_50cm*, sobre el cual se elaborarán 4 perfiles topográficos ubicados en zonas de alta y muy alta susceptibilidad, en laderas donde no han ocurrido MM, pero que se ubican cerca a zonas inestables. Estos perfiles serán utilizados para el análisis de estabilidad de taludes (Fig. 10). Una vez creado los perfiles, se deben guardar las coordenadas generadas por la herramienta Terrain Profile en un archivo de tipo CSV (delimitado por comas).

En función de los datos levantados en campo y por la disposición de los estratos de las formaciones litológicas (Fig. 3), la zona de estudio ha sido afectada por la ocurrencia de deslizamientos traslacionales, caídas de rocas y flujos de escombros (épocas lluviosas), debido a que niveles de poco espesor de las Formaciones Cangahua y Mojanda, depositadas en forma periclinal, se deslizan sobre depósitos más compactados y estratificados de la avalancha de rocas del volcán Casitagua. De esta manera, en la modelación de talud de los 4 perfiles topográficos se ha usado el método de Janbú (1968) del límite al equilibrio, ya que permite analizar cualquier forma geométrica en la superficie de falla del MM (Suárez, 2009)

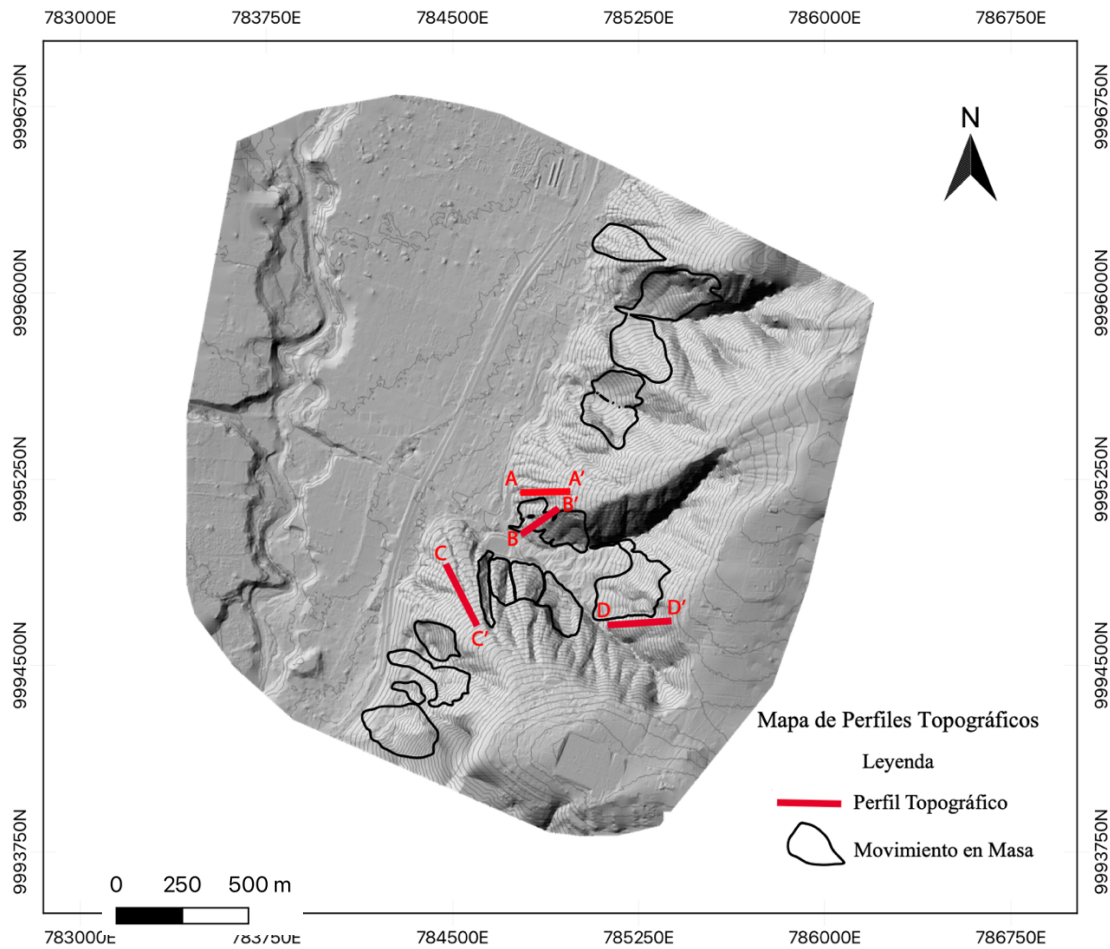


Fig. 10 Ubicación de los perfiles topográficos para análisis de estabilidad de taludes.

Los datos geomecánicos de las Formaciones Cangahua y Mojanda fueron obtenidos de Montatixe y Chango (2018); mientras que los datos para la avalancha volcánica del Casitahua se obtuvieron de Hoek & Bray (1981).

Unidad Geológica	Peso Unitario (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Ángulo de Fricción Interna (°)	Fuente
Cangahua Retrabajada	14,34	25,17	43,45	Montatixe y Chango (2018)
Avalancha de escombros	30	55	45	Hoek & Bray (1981)

Tabla 7 Valores para las unidades geológicas.

Para el análisis de estabilidad de taludes se usa el programa *Slide 6.0*, el cual se puede descargar desde la página web oficial de ROCSCIENCE (www.rocscience.com). Una vez instalado el programa genera un proyecto en el cual se introduce el perfil con los datos topográficos extraídos del MED, para ello se usa la opción “Add External Boundary” ubicada en la pestaña *Boundaries* > *Add External Boundary* y aquí se debe cargar el archivo de tipo CSV de cada perfil topográfico.

Después se debe crear la forma geométrica como se muestra en la figura 11. Para crear una nueva capa de litología *Boundaries* > *Add Material Boundary*. Con las capas litológicas creadas, se deben proporcionar las distintas características del material de cada una de acuerdo con la tabla 7, crear una grilla de 20x20 con la herramienta *Surfaces* > *Auto Grid* y luego para el computo matemático que realiza el programa se usa la herramienta *Analysis* > *Compute*.

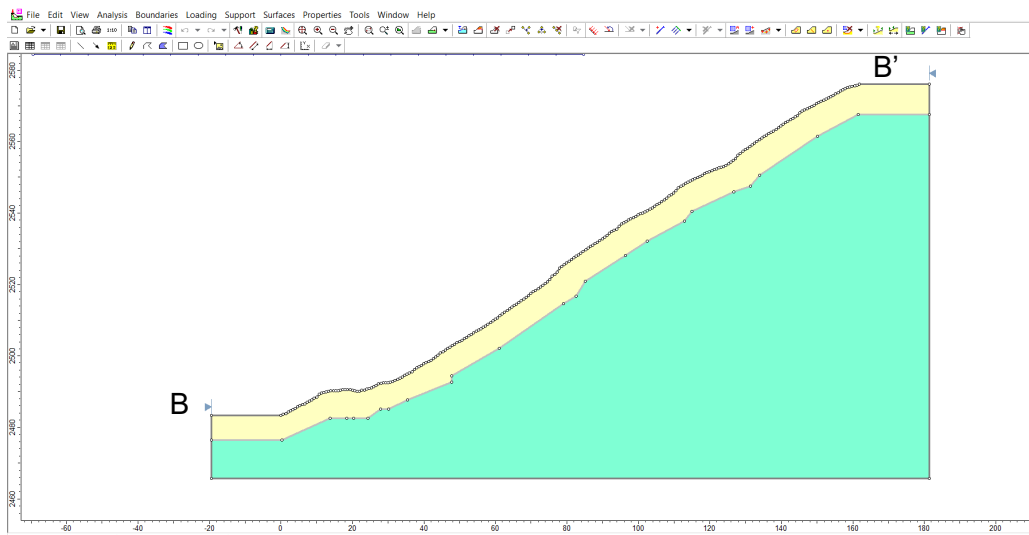


Fig. 11 Modelo de perfil topográfico en el programa *Slide 6.0*.

Una vez ingresados todos los datos, se usa la herramienta *Analysis* > *Interpret* con la cual se hace la modelación de la superficie de ruptura más crítica para la ruptura de la ladera. El resultado teórico es el Factor de Seguridad Estático (FSe) mediante el método de Janbú Simplificado, que nos indica un tipo hipotético de ruptura. (Fig. 12)

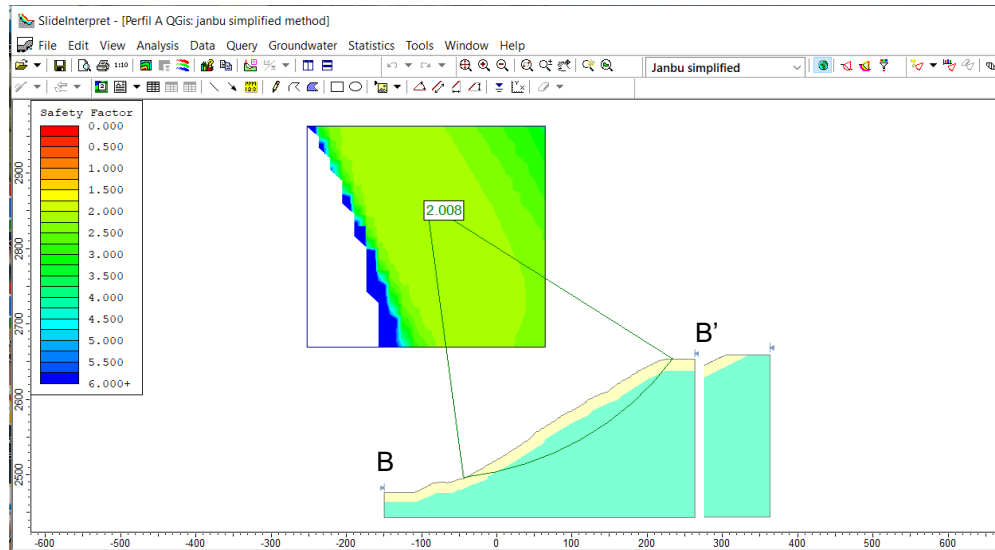


Fig. 12 Interpretación del factor de seguridad mediante el método de Janbú Simplificado.

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Se construyeron un total de 6 mapas, cada uno con características especiales para analizar los rangos de susceptibilidad en toda la zona de estudio y su posterior identificación a las áreas propensas a MM. Se generaron tablas de inventario de MM para categorizar el nivel de susceptibilidad de las zonas propensas a presentar MM de acuerdo con investigaciones previas y actuales.

3.1.1 Mapas Temáticos

El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en el barrio Santa Rosa de Pomasqui fue obtenido a través de herramientas GIS, con la interrelación de cuatro mapas temáticos: mapa litológico, geomorfológico, uso de suelos y mapa de pendientes.

El Mapa Litológico (Fig. 13; a) muestra hacia el este las Formaciones Cangahua y Mojanda depositadas de forma periclinal sobre la avalancha volcánica del Casitagua, hacia las zonas altas y quebradas que descienden del anticlinal de Bellavista – Catequilla. Los depósitos piroclásticos originados por las erupciones del Pulumahua se ubican en las zonas planas y

terrazas del río Monjas, además se tienen depósitos coluviales producto de la inestabilidad de las laderas, así como el desprendimiento de los macizos rocosos, materiales que son transportados ladera abajo por la gravedad y el efecto del agua. En el Mapa Geomorfológico (Fig. 13; b) se observan cornisas y vertientes abruptas en las zonas de las quebradas al este de la zona de estudio; al oeste predominan las zonas planas; y al noroeste una pequeña zona de antiguas cuencas lacustres. Para el Mapa de Uso de Suelos (Fig. 13; c) se observa predominio de vegetación arbustiva en las zonas de altas pendientes, mientras que los asentamientos urbanos y los cultivos se ubican en las zonas planas. El Mapa de pendientes (Fig. 13; d) indica que las pendientes más altas, con ángulos de inclinación que van desde 16° hasta más de 35° , están asociadas a zonas de quebradas y orillas del río Monjas, en cambio, las zonas planas con ángulos de inclinación menores a 16° , están localizadas en los depósitos piroclásticos del volcán Pululahua y restringidas a asentamientos urbanos.

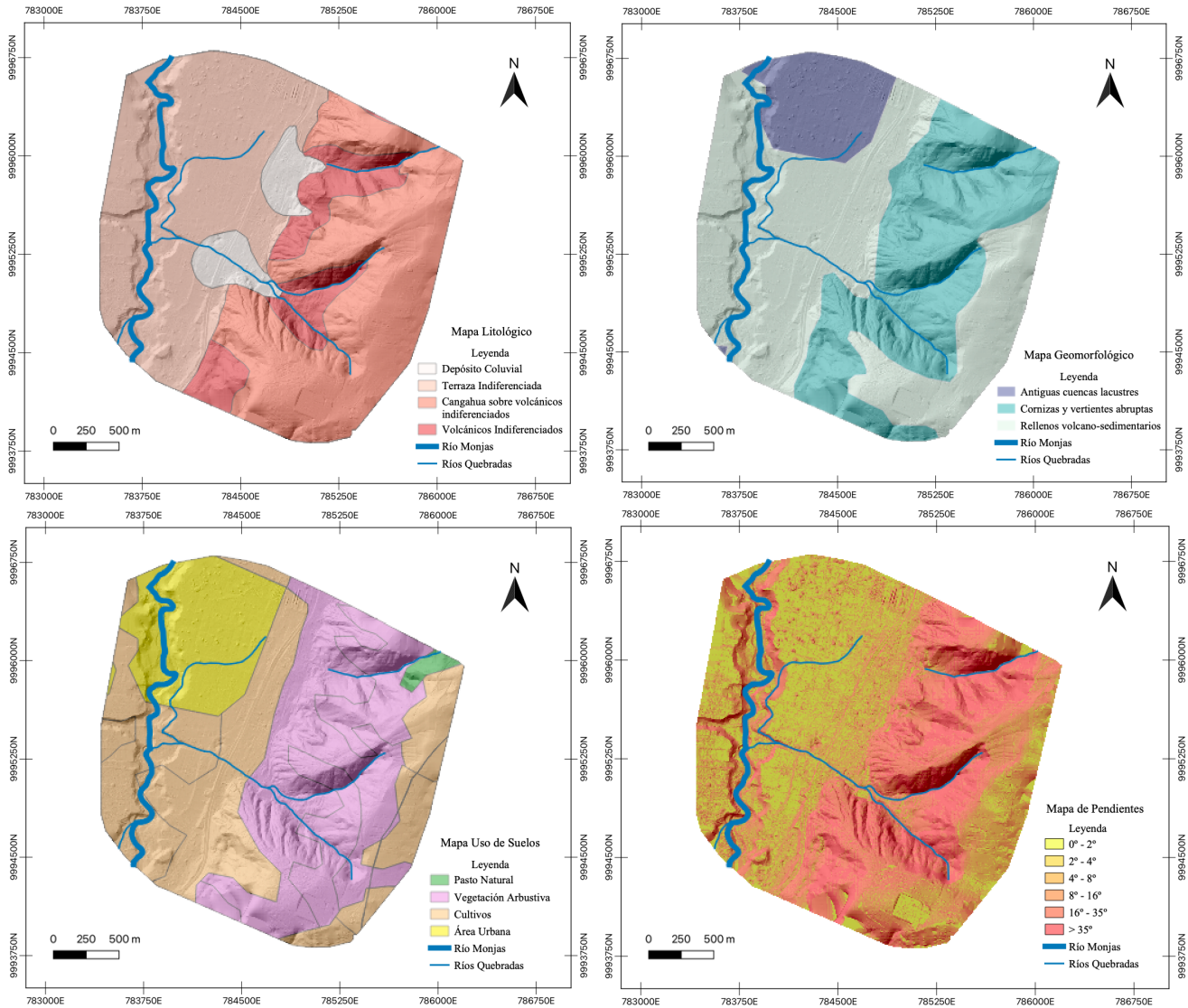


Fig. 13 Mapas temáticos. a) Mapa de Litología, b) Mapa de Geomorfología, c) Mapa de Uso de Suelos, d) Mapa de pendientes.

3.1.2 Mapa de Susceptibilidad

El mapa presenta 5 rangos de susceptibilidad desde muy alta a muy baja, donde las zonas con susceptibilidad alta y muy alta se ubican al este, en zonas de quebradas de altas pendientes con vegetación arbustiva y rocas de las formaciones Cangahua y Mojanda depositadas periclinalmente sobre la avalancha del Casitagua. Se observan también zonas de susceptibilidad alta y muy alta al oeste de la zona de estudio en los taludes del río Monjas. Las zonas con rangos moderados se ubican al pie de las quebradas y en las

terrazas indiferenciadas que bordean al río Monjas. Finalmente, los rangos bajos y muy bajos de susceptibilidad se encuentran en la parte central de la zona de estudio que presentan pendientes muy bajas en las zonas que corresponden al flujo piroclásticos del volcán Pululahuá. (Fig. 14)

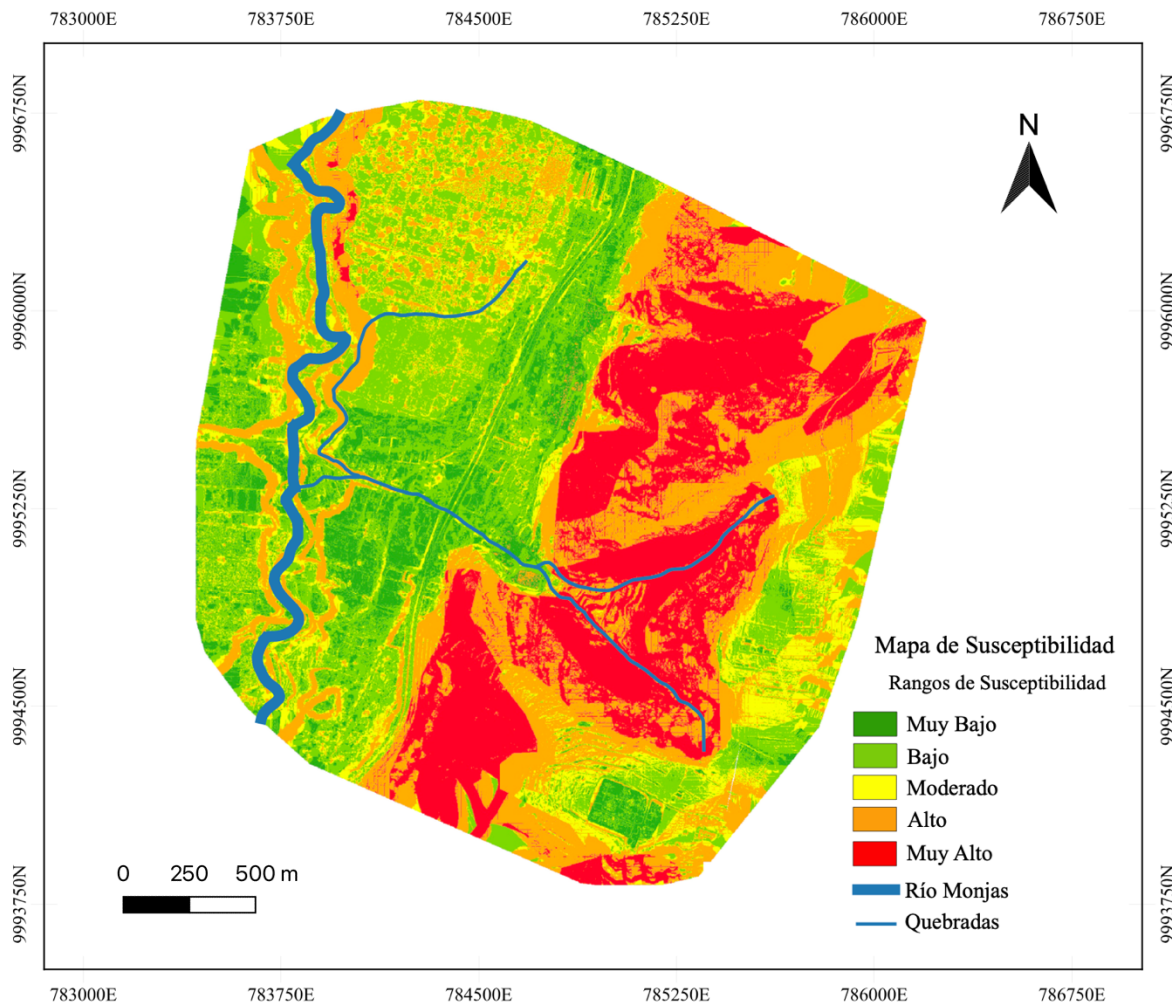


Fig. 14 Mapa de Susceptibilidad del Barrio Santa Rosa de Pomasqui.

En la tabla 8 muestra las áreas que ocupan los distintos niveles de susceptibilidad en relación con el área total de la zona de estudio que tiene una extensión de 6,14 km². Los niveles muy bajo a moderado, abarcan el 60,41% con 3,71 km² de la zona de estudio, mientras que los niveles alto y muy alto ocupan el 39,56% cubriendo un área de 2,43 km² del Barrio Santa Rosa de Pomasqui.

Mapa de Susceptibilidad				
Valor	Susceptibilidad	Área (m ²)	Área (km ²)	%
1	Muy Bajo	533669	0,533669	60,4318822
2	Bajo	1650232	1,650232	
3	Moderado	1530315	1,530315	
4	Alto	1074434	1,074434	39,568134
5	Muy Alto	1357471	1,357471	
TOTAL		6146120	6,14612	100

Tabla 8 Área y rangos de susceptibilidad en el Barrio Santa Rosa de Pomasqui.

La figura 15 muestra el mapa de susceptibilidad elaborado dentro del proyecto *Multi-scale landslide hazard assessment to support future integrated disaster management: The case of Quito, Ecuador (Zapata, 2022)*, el cual parte de cartografía empírico – estadística convencional de la susceptibilidad basada en un SIG. Este método además del análisis en factores como la litología, geomorfología, uso de suelo y pendientes, incluye análisis estadísticos de cientos de combinaciones de la pendiente, urbanización y eventos pluviométricos, por lo que el mapa de susceptibilidad de Zapata, 2022 muestra una mayor certidumbre en la definición de zonas de alta y muy alta susceptibilidad ya que se han integrado un mayor número de factores condicionantes y un procesamiento estadístico de los datos.

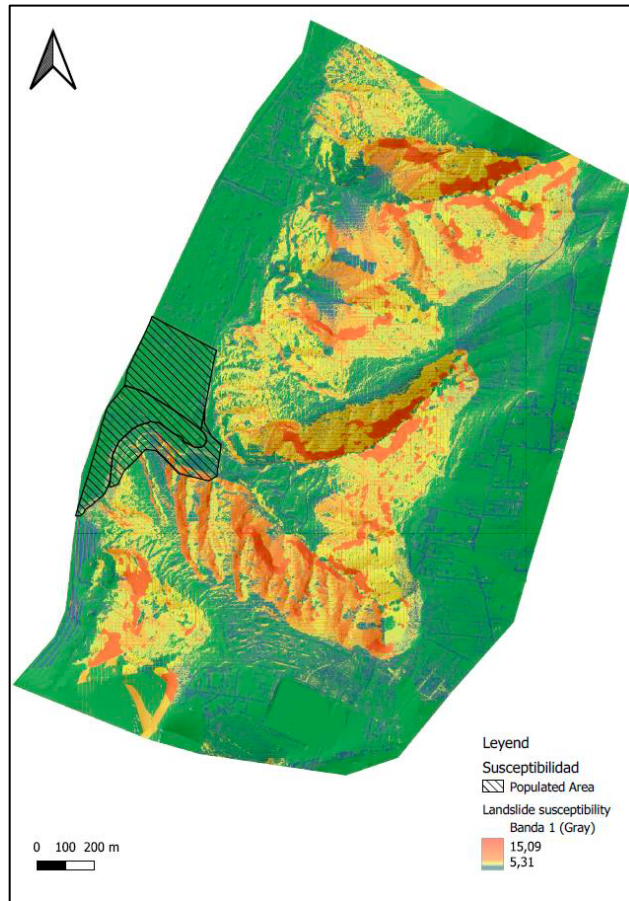


Fig. 15 Mapa de Susceptibilidad para el Barrio Santa de Pomasqui. Tomado de Zapata, 2022.

3.1.3 Mapa de inventario de MM

En el mapa de inventario de MM se observa un total de 17 movimientos en masa (Tabla 9), donde predominan los flujos – caídas de escombros con material volcánico – clástico proveniente de las formaciones Cangahua y Mojanda y rocas de la avalancha volcánica del Casitahua. Estos movimientos en masa se ubican en las zonas con pendientes más altas hacia la cabecera del drenaje secundario del río Monjas con ángulos de inclinación mayores a 16°. (Fig. 16)

Tipo de MM	#MM	Área (m ²)	Área (km ²)
Caída de escombros	1	9384,93144	0,009384931
Flujo-Caída de escombros	8	276818,808	0,276818808
Deslizamiento Rotacional-Caída de escombros	2	41866,0001	0,041866
Flujo de escombros	4	79729,1785	0,079729178
Deslizamientos Traslacionales	2	29081,4423	0,029081442
TOTAL	17	436880,3685	0,4368803685

Tabla 9 Inventario de MM.

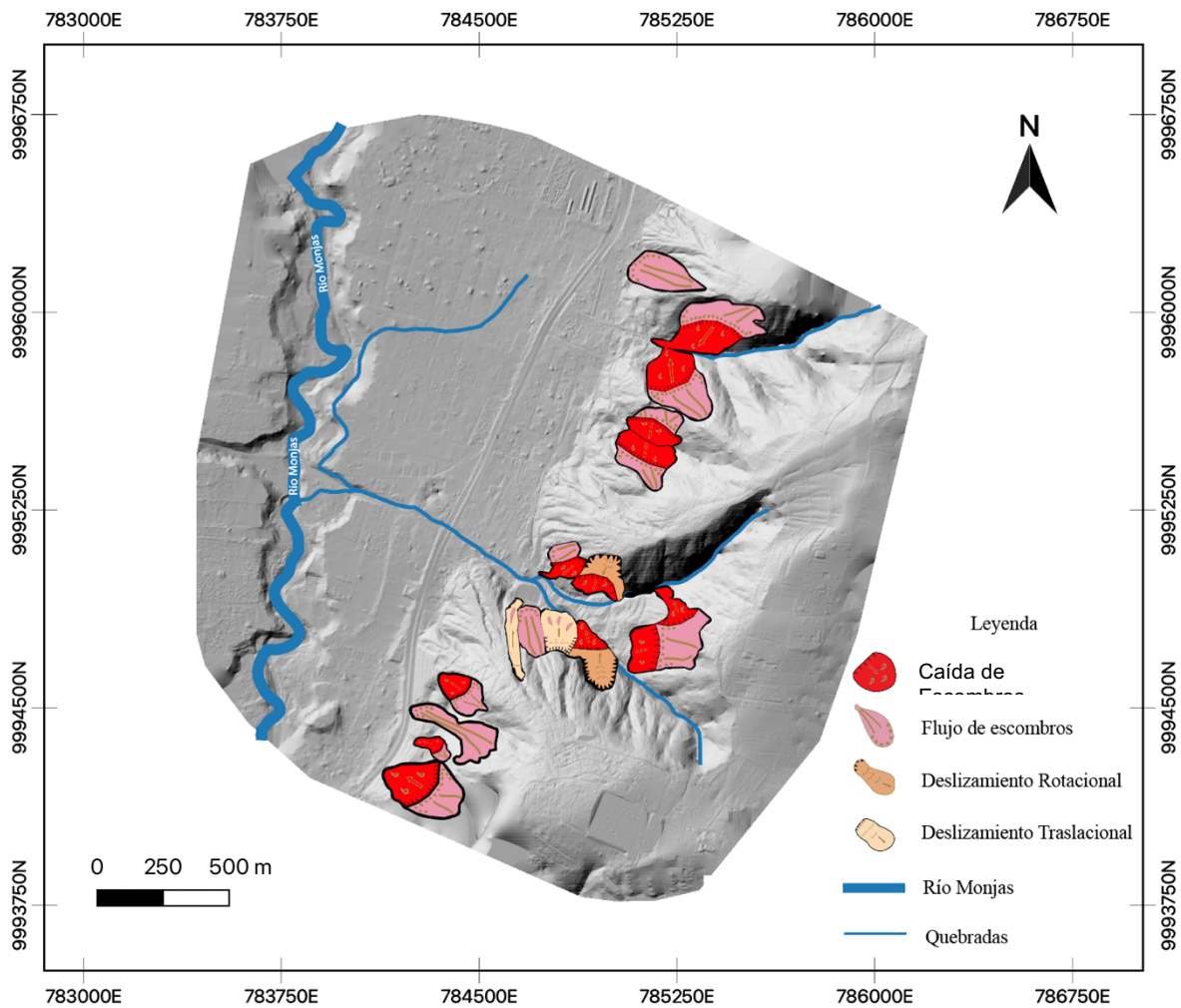


Fig. 16 Mapa de Inventario de MM en la zona de Santa Rosa de Pomasqui.

3.1.4 Calibración del Mapa de Susceptibilidad por MM

En la Figura 17 y en la Tabla 10 se presentan las áreas de cada nivel de susceptibilidad dentro de los polígonos de los MM registrados en el inventario. En relación con el área total de los MM levantados en el Barrio Santa de Pomasqui que corresponde a 0,436 km², los niveles de susceptibilidad alto y muy alto suman un área de 0,434 km² con un porcentaje del 99,50% del área de los MM, mientras que los niveles muy bajo, bajo y moderado tienen un área de 0,0021 km² ocupando el 0,49% del área.

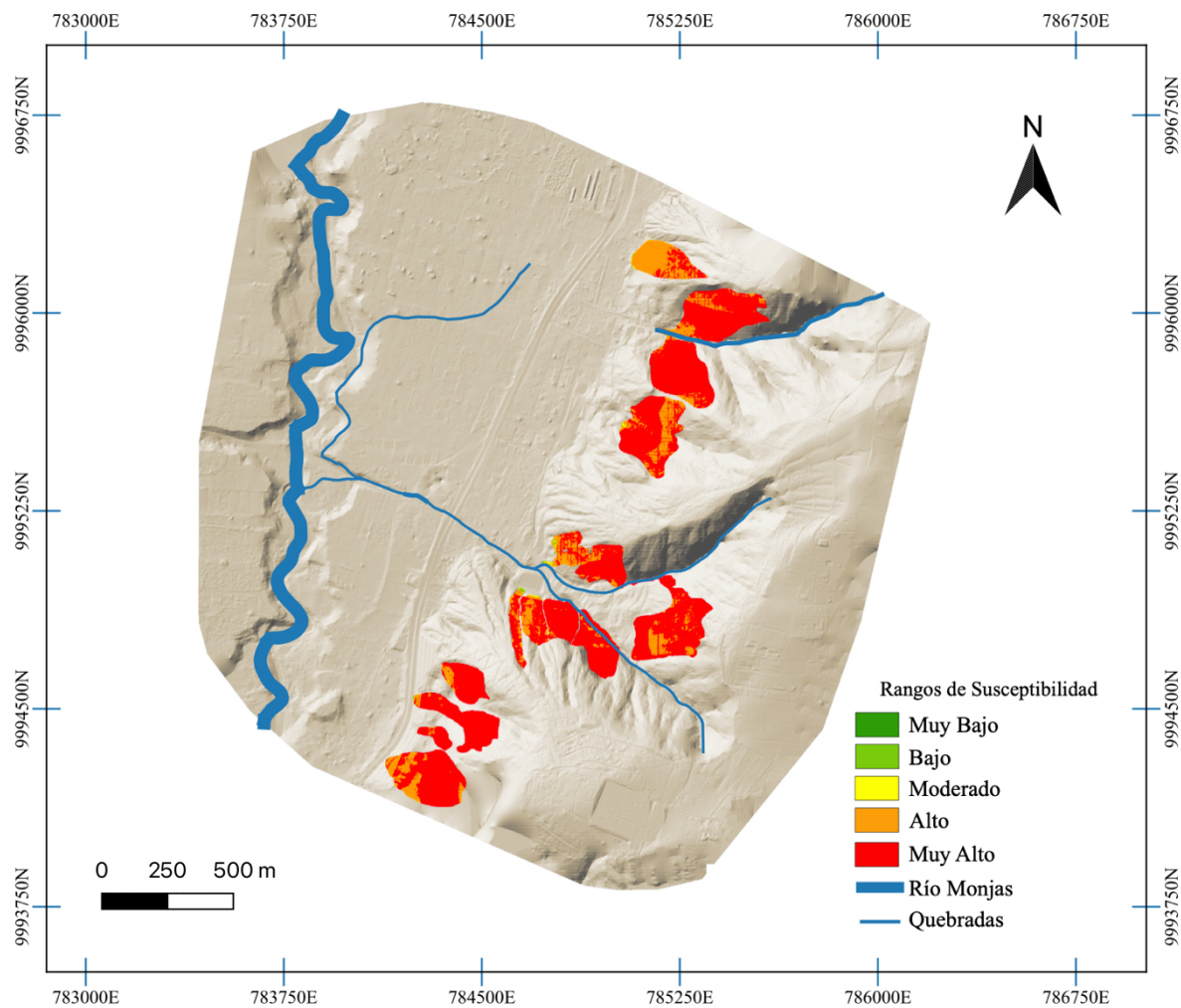


Fig. 17 Mapa de Inventario de MM con rangos de susceptibilidad.

Inventario de MM				
Valor	Susceptibilidad	Área (m ²)	Área (km ²)	%
1	Muy Bajo	41,28	0,00004128	0,49532325
2	Bajo	643,22	0,00064322	
3	Moderado	1479,47	0,00147947	
4	Alto	98805,22	0,09880522	99,5046767
5	Muy Alto	335911,17	0,33591117	
TOTAL		436880,36	0,43688036	100

Tabla 10 Áreas y rangos de susceptibilidad en los MM del Barrio Santa Rosa de Pomasqui.

3.1.5 Factor de Seguridad Estático

La figura 18 muestra el análisis de estabilidad de los cuatro perfiles ubicados en laderas con alta y muy alta susceptibilidad, para la obtención del Factor De Seguridad Estático (FSe), con el método de Janbú Simplificado (1968) y en la figura 19 a través del método de Bishop Simplificado (1955). El factor obtenido con cada uno de los métodos difiere debido a que en el caso de Janbú contempla cualquier forma asumiendo que no existe fuerza cortante entre dovelas, sin embargo, con el método de Bishop se contemplan superficies de falla circulares en el que todas las fuerzas cortantes entre dovelas son cero. (Suarez, 2009) y ha sido utilizado para observar el cambio del FSe en el caso de las zonas de cantera donde la actividad antrópica ha generado perfiles profundos con la ocurrencia de deslizamientos de tipo rotacional. Los resultados obtenidos con cada método de limite al equilibrio se muestran en la tabla 11 como una comparación entre los factores de seguridad.

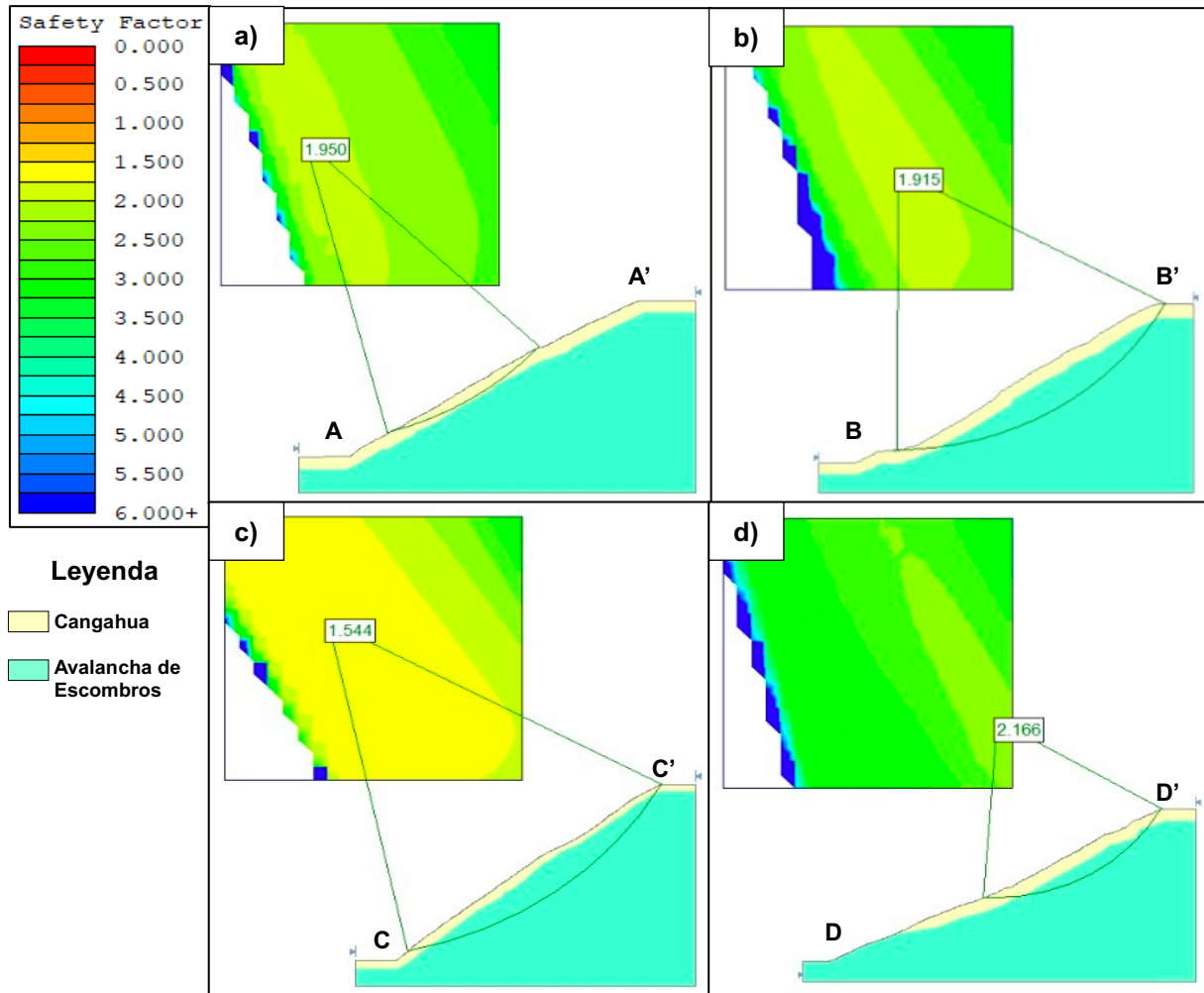


Fig. 18 Factor de seguridad estático en los 4 perfiles topográficos con el método de Janbú Simplificado (1968). a) Perfil Topográfico A-A', b) Perfil Topográfico B-B', c) Perfil Topográfico C-C', d) Perfil Topográfico D-D'.

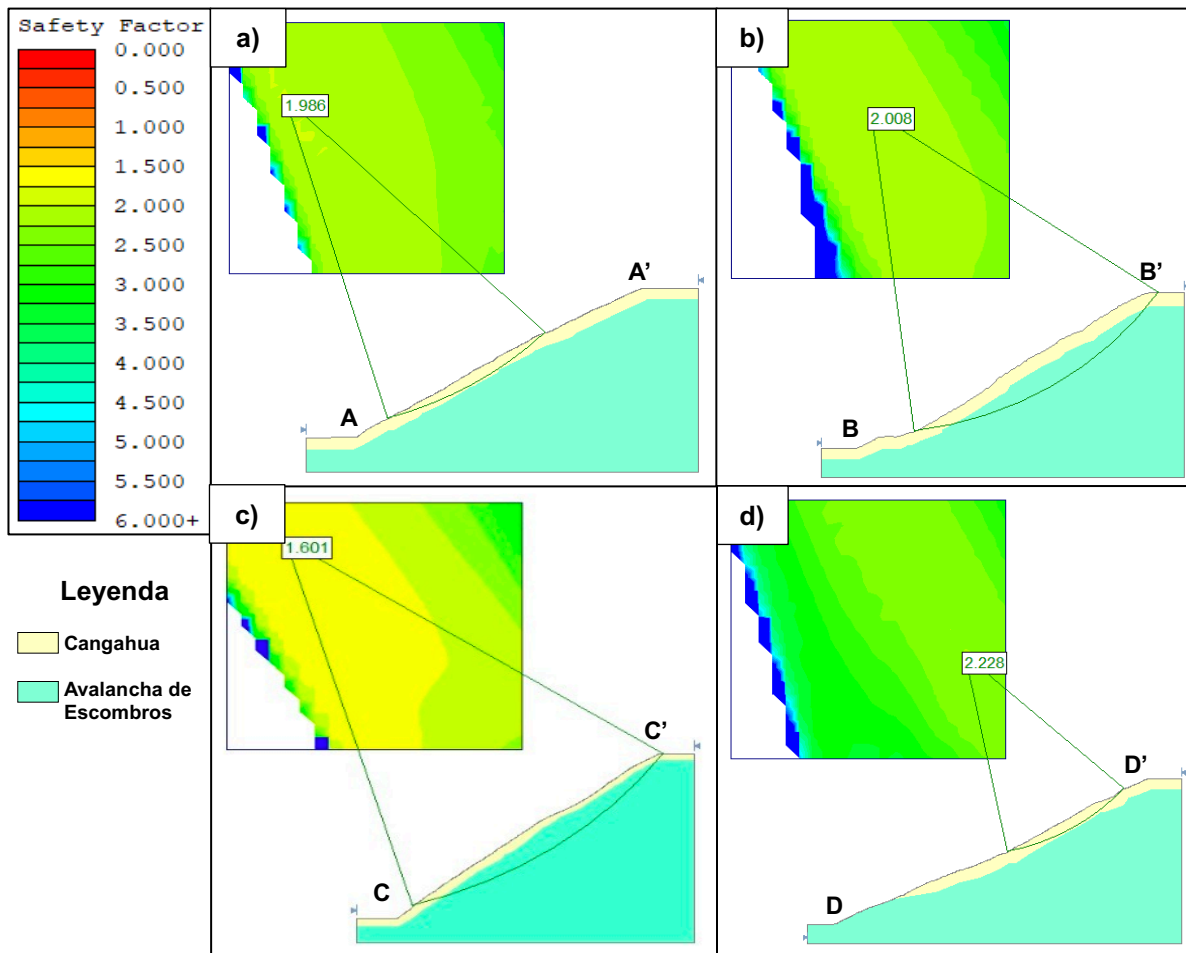


Fig. 19 Factor de seguridad estático en los 4 perfiles topográficos con el método de Bishop Simplificado (1955). a) Perfil Topográfico A-A', b) Perfil Topográfico B-B', c) Perfil Topográfico C-C', d) Perfil Topográfico D-D'.

Tabla de Comparación del Factor de Seguridad Estático			
Perfil Topográfico	Janbú Simplificado (1968)	Bishop Simplificado (1955)	Pendiente Promedio (°)
A – A'	1,950	1,986	29,94
B – B'	1,915	2,008	29,85
C – C'	1,544	1,601	36,94
D – D'	2,166	2,228	26,10

Tabla 11 Comparación del Factor de Seguridad Estático entre los métodos de Janbú Simplificado (1968) y Bishop Simplificado (1955).

3.2 CONCLUSIONES

- Debido a factores condicionantes como la litología, geomorfología, uso de suelo y altas pendientes, así como factores agravantes como la actividad antrópica por el acelerado proceso de urbanización, el Barrio Santa Rosa de Pomasqui se ubica en una zona muy susceptible a MM teniendo ocurrencia de MM de tipo deslizamiento traslacional que se originan en la cabecera de las quebradas y que con el factor desencadenante lluvia, genera flujo de escombros , como el aluvión ocurrido en octubre de 2013 producto del desbordamiento de la quebrada Santa Teresa, al darse un taponamiento de un colector, lo que ocasionó inundaciones en la zona.
- El método Heurístico se basa principalmente en la experiencia y conocimientos de un profesional familiarizado con el área de estudio, en donde los análisis se los realiza a través de datos litológicos y geomorfológicos que son clasificados en niveles en función del trabajo de campo, para posteriormente identificar los parámetros más relevantes en la generación de MM y asignar valores subjetivos de acuerdo con su importancia. Este es un método sencillo pero que permite obtener una imagen de la condición de las laderas frente a la ocurrencia de movimientos en masa.
- Los niveles de susceptibilidad alta y muy alta de las áreas de los eventos pasados (mapa de inventario de MM) tienen un porcentaje del 99,5% y se ubican en las zonas de altas pendientes con ángulos de inclinación mayores a 16° y ocupan un área de 2,43 km², lo cual, estadísticamente valida el mapa de susceptibilidad en el Barrio Santa Rosa de Pomasqui.
- En el mapa de inventario de MM se obtuvieron en total 17 MM, de los cuales 7 son MM simples y 10 son complejos, teniendo así: 1 caída de escombros, 4 flujo de escombros y 2 deslizamientos traslacionales en el caso de movimientos simples; 8 flujo-caída de escombros y 2 deslizamiento rotacional-caída de escombros para los movimientos complejos.

- El factor de seguridad estático fue calculado en laderas estables donde no existe la ocurrencia de MM, de esta manera el FSe tiene una estrecha relación con los factores condicionantes como la litología, geomorfología y las características geomecánicas de las rocas de la zona de estudio. Entre los métodos de Janbú (1968) y Bishop (1955) no existe una diferencia importante del FSe ya que podrían estar mostrando una ruptura inicial de tipo circular en el nivel de las rocas de la formación Cangahua y Mojanda, la cual produce un deslizamiento traslacional ladera abajo y posteriormente un flujo de escombros cuando ocurre precipitaciones.
- El modelo realizado con el método de Bishop tiene un aumento promedio del 3,31% en el FSe con respecto al de Janbú y se hace evidente en zonas con pendientes muy altas, y se lo ha utilizado debido a que en esas zonas es posible la formación de MM rotacionales que se relacionan exclusivamente a actividad antrópica como la explotación de material pétreo en canteras.

3.3 RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del mapa de susceptibilidad generado en este trabajo como una herramienta para la planificación territorial del barrio Santa Rosa de Pomasqui para intervención en las zonas de alta y muy alta susceptibilidad con el fin de promover el crecimiento urbano planificado y organizado con el menor impacto posible por la formación de movimientos en masa.
- Colaborar con el Municipio de Quito en realización de estudios geológicos y geotécnicos en la zona con mayores niveles de susceptibilidad para tomar medidas de mitigación de taludes en futuras construcciones de infraestructura. Es importante incentivar estudios ambientales para la conservación y restauración del sistema de quebradas y reforestación de flora nativa que ayude a la estabilización de los taludes.
- Acercamiento a la comunidad con charlas de prevención y concientización a los moradores del barrio Santa Rosa de Pomasqui para una mejor planificación en cuanto a la construcción de nueva infraestructura y manejo de residuos sólidos en zonas aptas que no conviertan a las quebradas en botaderos.
- Se recomienda realizar análisis geotécnicos exclusivos del Barrio Santa Rosa de Pomasqui para que los valores de cohesión y fricción sean más reales, debido a que en este estudio se tomaron los valores de otros estudios.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

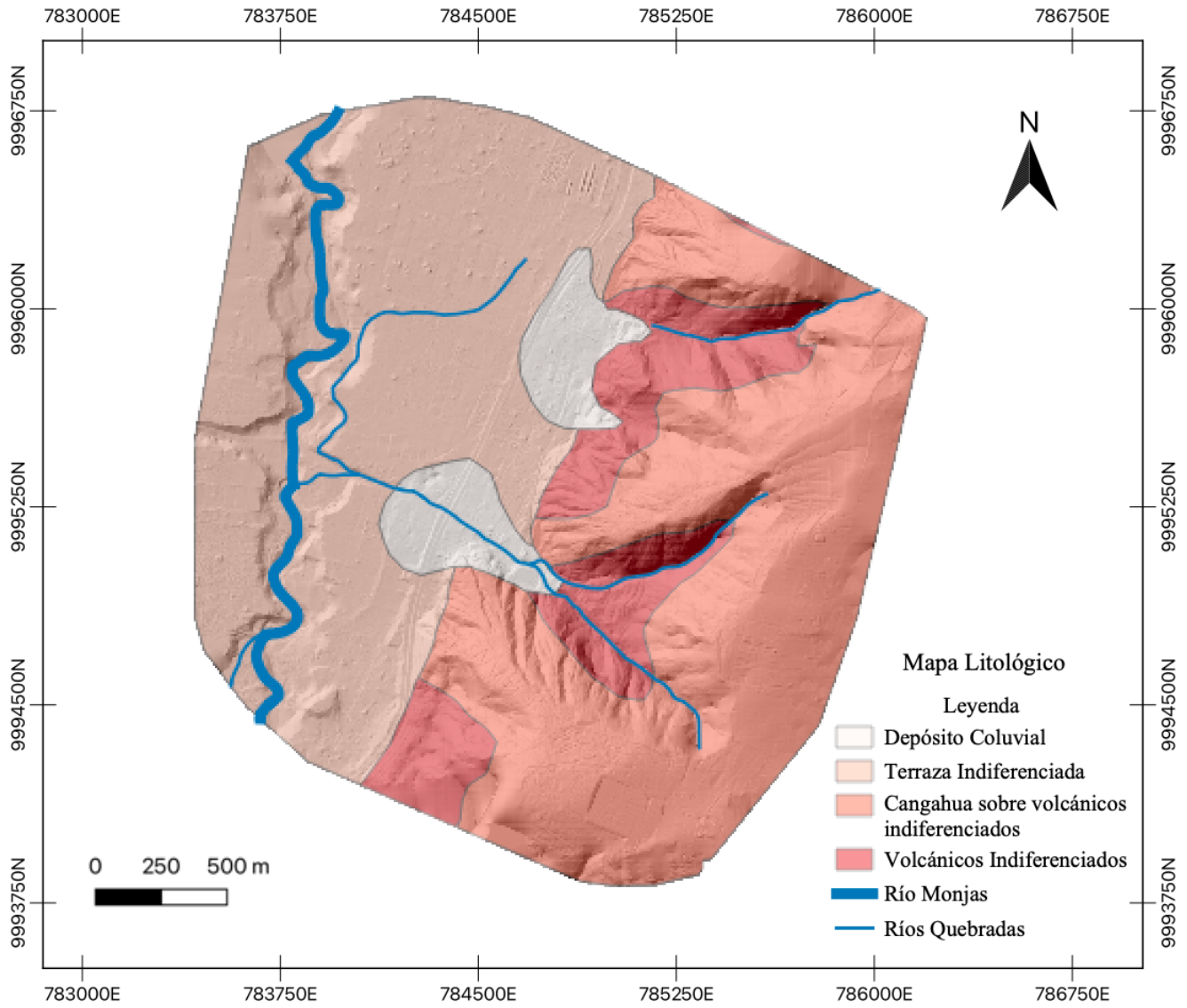
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., ... & Quidelleur, X. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *Tectonics*, 33(2), 67-83.
- Argentino, A. S. G. M., & Andino, P. M. (2007). PMA: GCA. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). Movimientos en Masa de la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No.4 4, 432 p.
- Barragán Kondracka, R. E., & Murillo Gavilánez, A. S. (2023). *Estudio morfodinámico de la cuenca del río Monjas por trasvase de agua de los ríos orientales Papallacta, Tumiguina y Blanco Chico* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Hall M, Beate B (1991) El volcanismo Plio-Cuaternario en los Andes del Ecuador. El paisaje volcánico de la Sierra Ecuatoriana - Estudios de Geografía. Corporación Editora Nacional, Quito - Ecuador: 6 - 16.
- Hall M, Mothes P (2001) La Caldera Chacana, el centro riolítico más grande de los Andes Septentrionales. Cuartas Jornadas en Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica Nacional - Quito: 57 - 59.
- Highland, L., & Bobrowsky, P. T. (2008). *The landslide handbook: a guide to understanding landslides* (p. 129). Reston, VA, USA: US Geological Survey.
- Hoek, E., & Bray, J. D. (1981). *Rock slope engineering*. CRC press.
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167-194.
- INIGEMM (2013). Memoria Técnica Ensayos Metodológicos Para La Zonificación De La Susceptibilidad /Amenaza Por Movimientos En Masa, Zona De Riobamba.

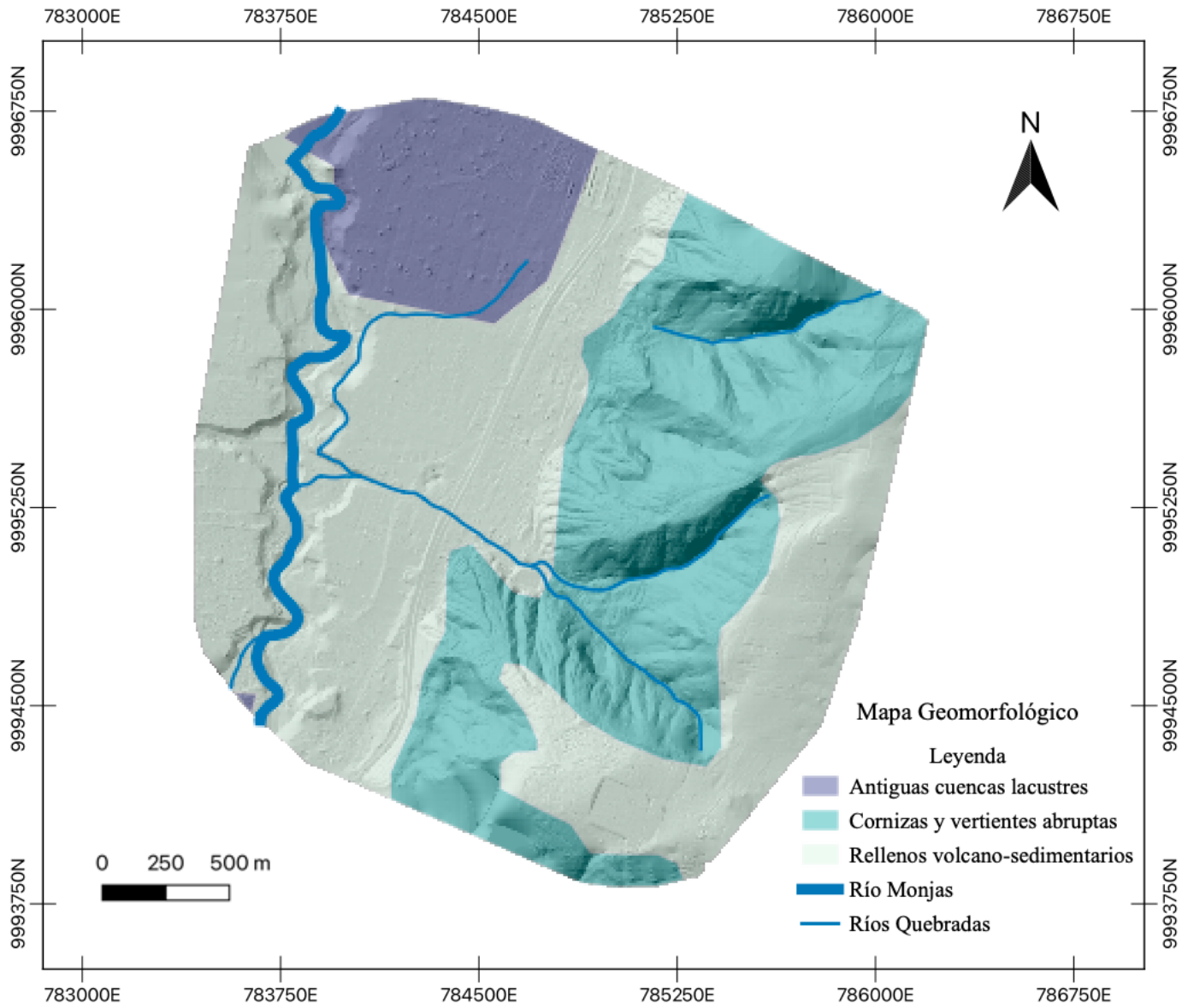
- Montatixe Chicaiza, E., & Chango Alvarez, D. (2018). *Análisis de estabilidad de taludes en un tramo de las avenidas Simón Bolívar y Gonzalo Pérez Bustamante, distrito metropolitano de Quito* (Doctoral dissertation, Tesis de pre grado).
- Pacheco, D. (2013). Estudio geológico de las formaciones cuaternarias en la zona San Antonio de Pichincha-Pomasqui. *Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología, Minas y Petróleos, Tesis de Ingeniero Geólogo*.
- Pillajo Criollo, T. E. (2016). *Análisis, evaluación y gestión de riesgo por fenómenos de remoción en masa en el barrio San Jacinto de Atucucho, noroccidente de Quito* (Bachelor's thesis, Quito, 2016.).
- Samaniego P, Egüez A, Hibsich C, Villagómez R, Segovia M (1994) Estratigrafía y tectónica de la Cuenca Guayllabamba. Terceras Jornadas en Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica Nacional - Quito: 49 - 50.l
- Suarez Díaz, J. (2009). Deslizamientos. Análisis geotécnico vol. 1. *Editorial Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga*.
- Villagómez, D. (2003). Evolución Plio-Cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (zona Quito - Guayllabamba - San Antonio de Pichincha). Tesis de ingeniería. Escuela Politécnica Nacional - Quito, 130.
- Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P., & Egüez, A. (2005). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the Inter-Andean Depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(1), 5-19.

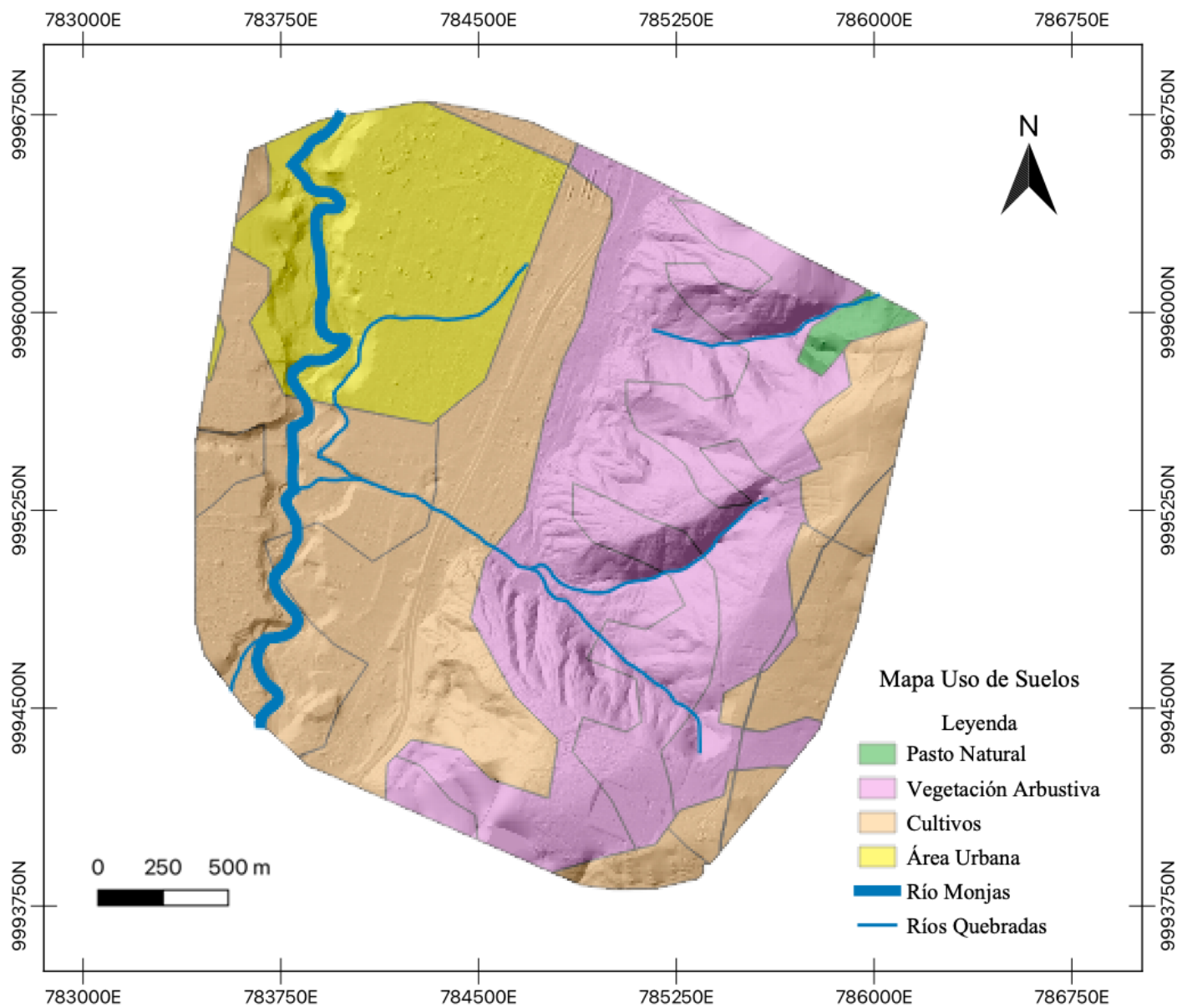
5 ANEXOS

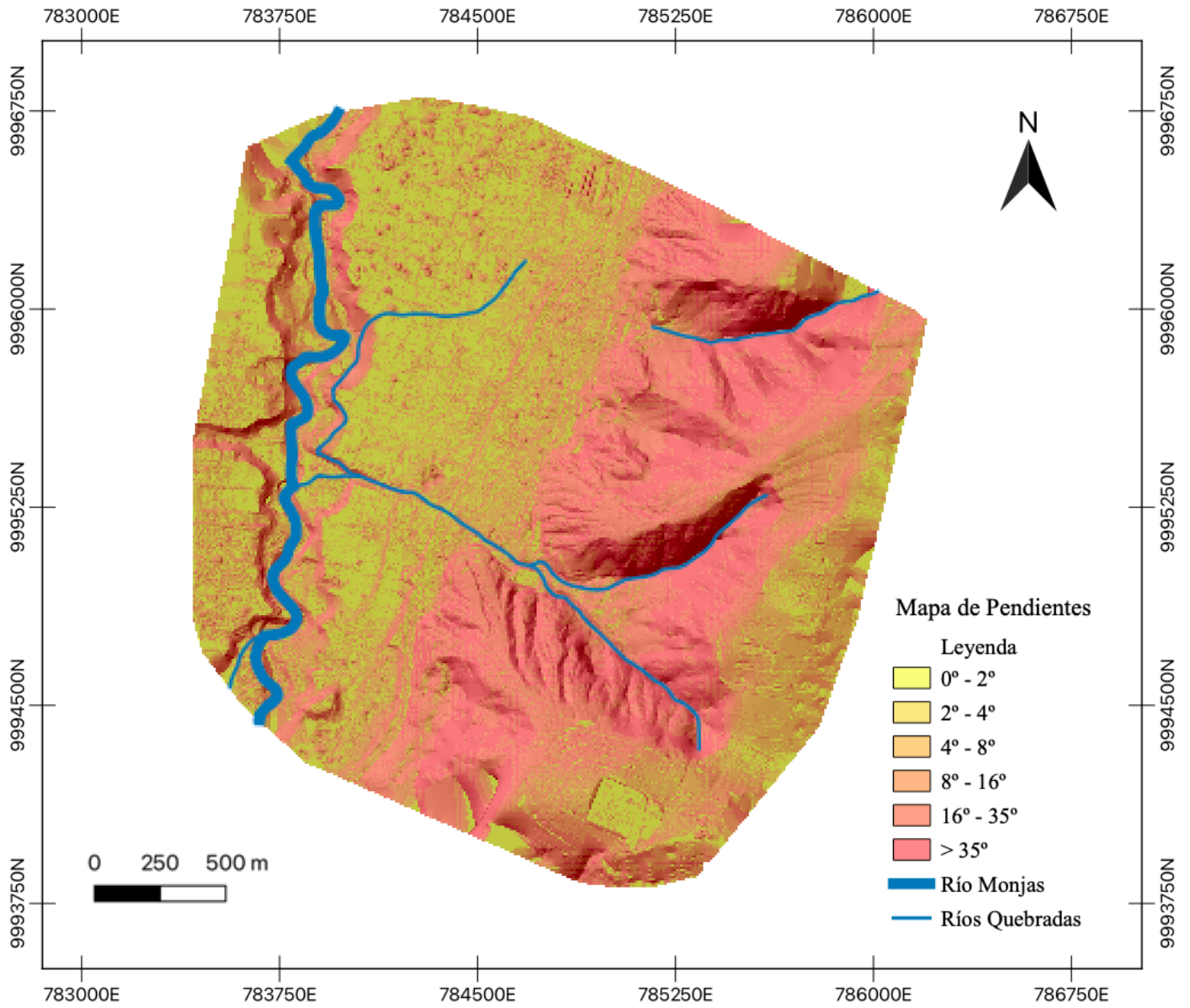
ANEXO I

Anexo 1. Mapas temáticos.

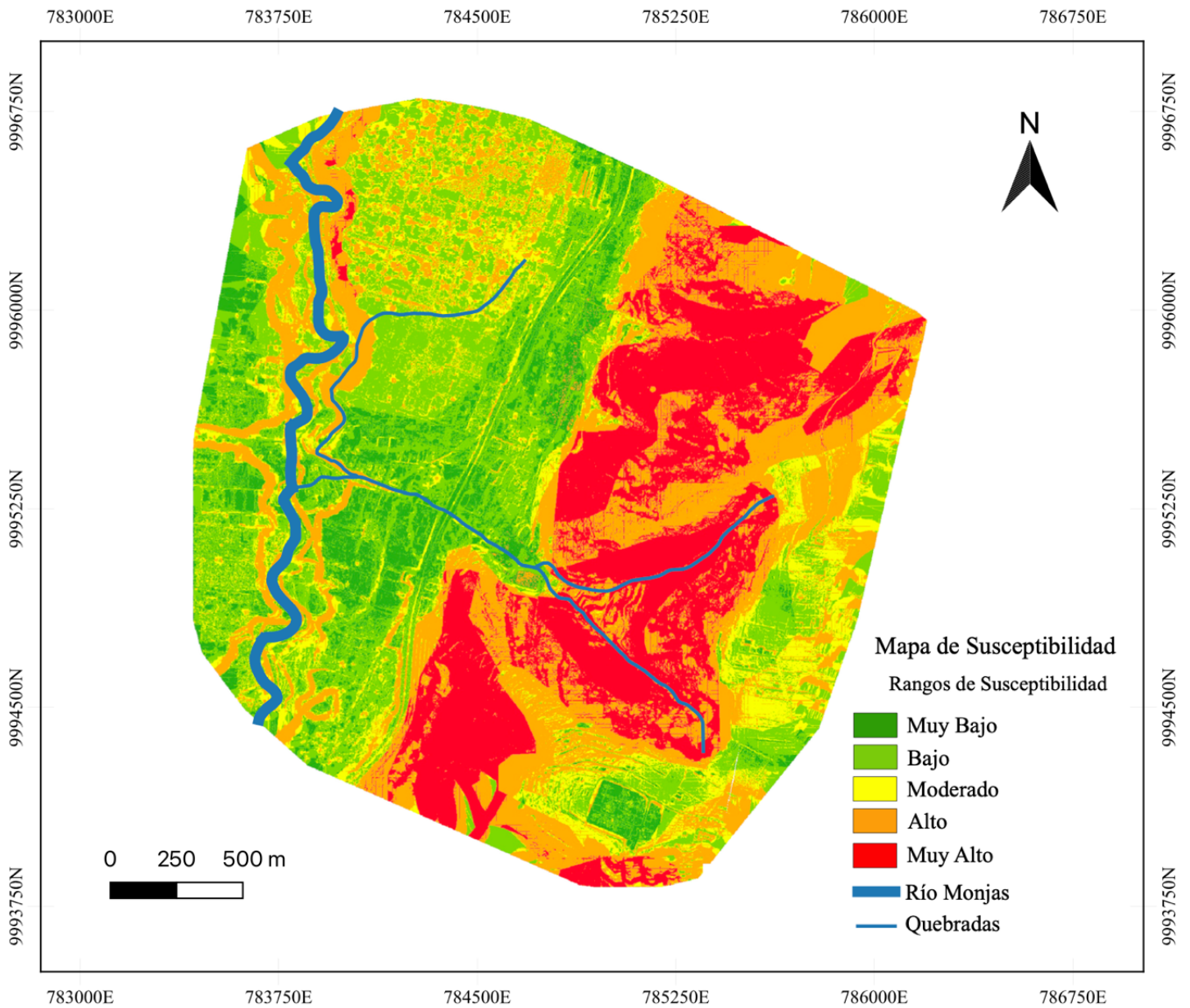




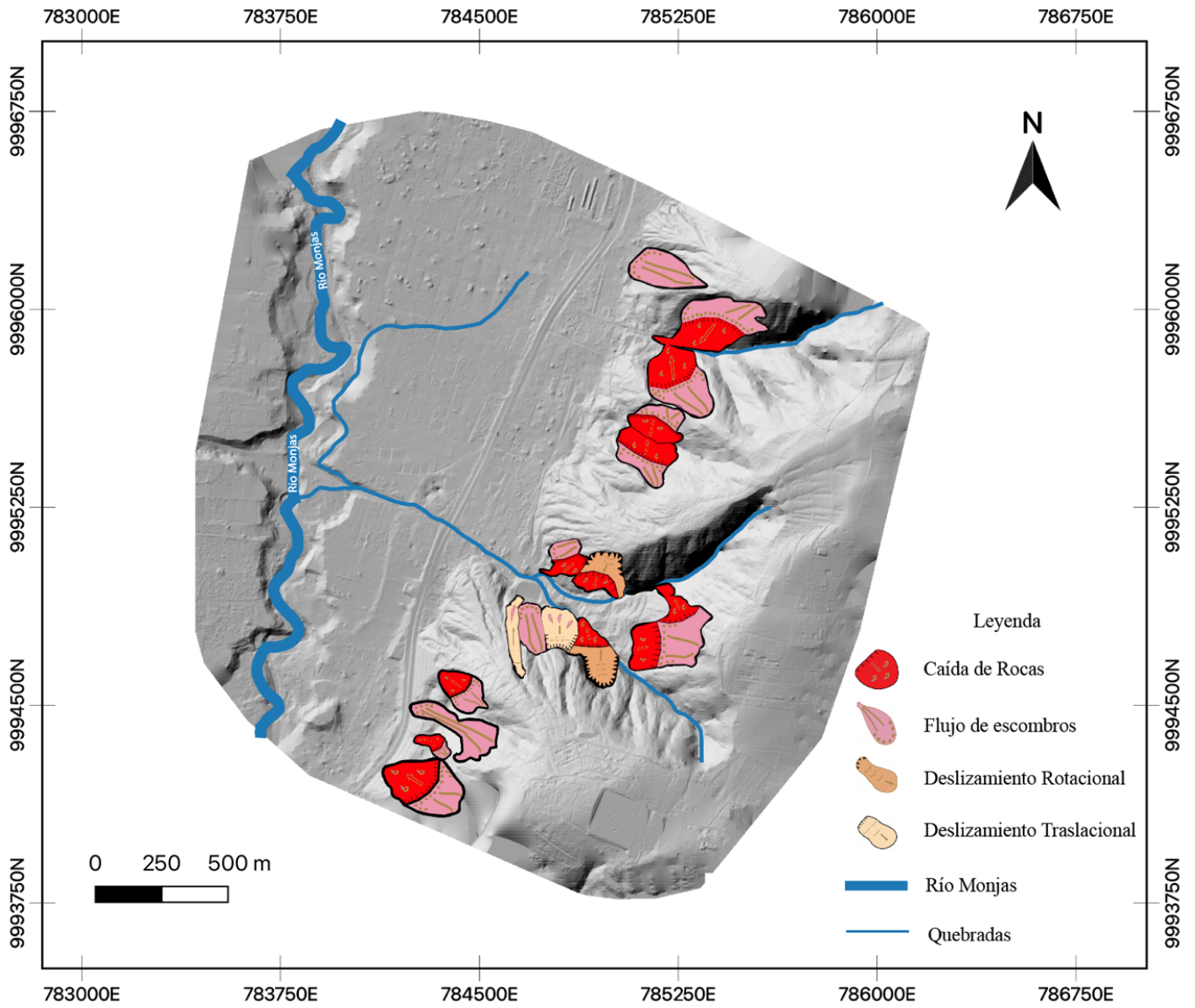




Anexo 2. Mapa de Susceptibilidad.



Anexo 3. Mapa de Inventario de Movimientos en Masa.



Anexo 4. Calibración del mapa de susceptibilidad por inventario de MM.

