



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LA GEOLOGÍA EN EL SECTOR MARIANZA –
SAYAUSÍ Y SU RELACIÓN CON ZONAS VULNERABLES A
DESLIZAMIENTO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: MATAILO FERNANDEZ JUAN CARLOS

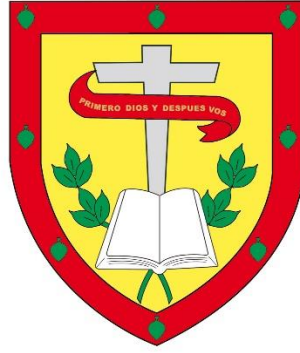
ROSALES TINOCO GABRIEL ALEXANDER

DIRECTOR: MSC. ING. CÉSAR HUMBERTO MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LA GEOLOGÍA EN EL SECTOR MARIANZA –
SAYAUSÍ Y SU RELACIÓN CON ZONAS VULNERABLES A
DESLIZAMIENTO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: MATAILO FERNANDEZ JUAN CARLOS

ROSALES TINOCO GABRIEL ALEXANDER

DIRECTOR: ING. MSC CÉSAR HUMBERTO MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2024


DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Juan Carlos Matailo Fernández y **Gabriel Alexander Rosales Tinoco** portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0106476062** y **0750199754**. Declaramos ser autores de la obra: **“Análisis de la geología en el sector Marianza – Sayausí y su relación con zonas vulnerables a deslizamiento”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 8 de octubre de 2024


F: 
.....
Juan Carlos Matailo Fernández
0106476062

F: 
.....
Gabriel Alexander Rosales Tinoco
0750199754

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ing. MSc. Cesar Humberto Maldonado Noboa, certifico que el presente trabajo de titulación realizado por los Sres. Juan Carlos Matailo Fernández y Gabriel Alexander Rosales Tinoco, egresados de la UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN, fue desarrollado bajo mi supervisión y tutoría con el tema **“ANÁLISIS DE LA GEOLOGÍA EN EL SECTOR MARIANZA – SAYAUSÍ Y SU RELACIÓN CON ZONAS VULNERABLES A DESLIZAMIENTO”**.

Atentamente,
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

F: 
Ing. MSc. César Maldonado Noboa

C.I. 0102260916

DOCENTE-TUTOR

DEDICATORIA

En profundo reconocimiento a mi madre Julia, quien ha sido el principal motivo e impulso que me ha permitido cumplir con mis objetivos, por el sacrificio que ha realizado con el fin de brindarme todo lo necesario y permitirme alcanzar este maravilloso momento.

A mis hermanos quienes han sido ese apoyo constante y cariño, por su confianza plena y sincera que han formado la persona que hoy en día soy.

A aquellas personas y amigos, quienes me han brindado su tiempo y supieron estar apoyándome en todo momento.

En honor a mi padre Aurelio, aunque ya no estés conmigo físicamente, sé que continúas guiándome y bendiciendo en cada etapa y paso de mi vida.

Att. Juan Carlos Matailo Fernández

Se la dedico a los esfuerzos y paciencia de Adelaida Reyes, Lupe Tinoco y Mabel Reyes, que, gracias a sus conocimientos, consejos, confianza, atención, amor que brindaron, me vieron crecer, la cual, pude lograr cumplir una de mis metas que es ser ingeniero civil.

A mis amigos Danilo Armijos y Juan Matailo que estuvieron conmigo desde que llegue a la ciudad Cuenca, brindándome confianza, sinceridad, seguridad, amistad y hermandad.

A mis amigos y compañeros que fui conociendo en el trayecto de la universidad, brindándome apoyo, confianza, amistad y ayuda entre todos, para lograr cumplir nuestro meta.

Por último, para aquellos que le apasione la investigación en el campo de la Ingeniería Civil.

Espero que este trabajo sea de gran utilidad para sus futuras investigaciones.

Att. Gabriel Alexander Rosales Tinoco

AGRADECIMIENTO

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Agradecido con Dios por brindarme salud y la fortaleza necesaria que me permitió alcanzar esta meta.

A un agradecimiento inmenso a mi madre cuyo amor y dedicación aún sido mi inspiración constante, por su ejemplo de sacrificio y por inculcarme los valores que me guían hoy, por su labor y sacrificio que me ha acompañado en cada paso importante de mi vida.

A mis hermanos, les agradezco de corazón por estar siempre presentes para mí. Su apoyo constante, sus palabras de aliento y su ayuda en cada momento han sido fundamentales para alcanzar esta meta. Gracias por creer en mí y por celebrar conmigo cada triunfo.

A mis amigos, les agradezco de corazón por todos los momentos que hemos compartido. Desde las largas noches de estudio hasta las celebraciones más emocionantes, ustedes siempre han estado ahí. Gracias por ser las personas en quienes siempre he podido confiar, por compartir conmigo las alegrías y las tristezas, y por hacer de cada día una experiencia inolvidable. Nuestra amistad es un tesoro que llevare conmigo siempre.

Agradezco enormemente al ingeniero César Maldonado, por su colaboración en mi proyecto de tesis. Su paciencia y disposición para compartir sus conocimientos me permitieron desarrollar mi proyecto. Fue un verdadero privilegio contar con su guía y experiencia.

Mi corazón está lleno de alegría y emoción al poder compartir este logro con todos ustedes. Gracias por ser parte de este viaje tan especial. Su apoyo me ha llenado de fuerza y motivación en cada paso del camino. Sin duda, este es un momento que recordaré por siempre.

La mayor victoria no es vencer a los demás, sino vencer nuestros propios miedos y limitaciones.

Atte. Juan Carlos Matailo Fernández

Primero le agradezco a Dios, que me ha puesto las personas indicadas para llevar a cabo la culminación de la tesis y cumplir la meta de ser ingeniero civil, con admiración y respeto quiero expresar mis agradecimientos para Adelaida Reyes, Mabel Reyes y Lupe Tinoco que es la familia que me acompaño en toda mi vida, la cual deseo que sigan a mi lado, dándome consejos, cariño y amor.

Agradezco a los compañeros y amigos que nos ayudamos, pasando buenos y malos momentos para cumplir nuestra meta, de igual manera le agradezco a los docentes de la universidad por transmitirnos los conocimientos básicos de nuestra carrera.

Att. Gabriel Alexander Rosales Tinoco

RESUMEN

Los movimientos en masa representan un riesgo geológico significativo que afecta a países de todo el mundo. En nuestro país, los deslizamientos han dejado una profunda huella, por la pérdida de vidas humanas y económicas. El sector de Marianza es una zona altamente vulnerable, donde la recurrencia de estos eventos pone en peligro la seguridad y el bienestar de su población. La influencia de factores que inducen estos eventos como la geología, ligada a otros factores como la litología, el relieve, la pendiente y el uso de suelo, influyen en la magnitud de estos eventos, adicionalmente factores como la precipitación y actividades antrópicas acrecientan esta posibilidad. El presente trabajo empleó una metodología basada en el criterio de varios autores, para identificar la susceptibilidad del sector. La elaboración de mapas y visitas de campo, permitieron verificar que, Marianza se asienta sobre una región montañosa, con presencia de fuertes pendientes que van del 30% al 70%, con una geología compuesta por la formación Tarqui y Célica, y predominio de rocas ígneas extrusivas. El sector registra en los últimos 2 años, al menos dos movimientos en masa, ocurridos entre el km 10 al 14, de la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal. La geología de las quebradas donde se suscitaron estos eventos se compone por depósitos coluviales y glaciares, desencadenados por las intensas precipitaciones de los meses de alta precipitación. El mapa de susceptibilidad evidencia que el 57.44% y 8.13% del territorio de Marianza se encuentran en zonas de alta y muy alta susceptibilidad.

Palabras clave: Marianza, deslizamientos, geología, susceptibilidad, inestabilidad

ABSTRACT

Landslides represent a significant geological risk affecting countries around the world. In our country, landslides have left a profound impact due to the loss of human lives and economic resources. The Marianza sector is a highly vulnerable area where the recurrence of these events threatens the safety and well-being of its population. The influence of factors that induce these events, such as geology, is linked to other factors like lithology, topography, slope, and land use, which affect the magnitude of these events. Additionally, factors such as precipitation and anthropogenic activities increase this possibility. This study used a methodology based on various authors' criteria to identify the sector's susceptibility. The creation of maps and field visits allowed for the verification that Marianza is situated in a mountainous region characterized by steep slopes ranging from 30% to 70% with a geology composed of the Tarqui and Cécica formations, and a predominance of extrusive igneous rocks. The sector has recorded at least two mass wastings in the last two years, between kilometers 10 and 14 of the Cuenca-Molleturo-Naranjal road. The geology of the gorges where these events occurred consists of colluvial and glacial deposits triggered by intense rainfall during the months of high precipitation. The susceptibility map shows that 57.44% and 8.13% of the Marianza territory are located high and very high susceptibility areas.

Keywords: Marianza, landslides, geology, susceptibility, instability

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES	17
1.1. Introducción	17
1.2. Antecedentes	18
1.2.1. Estado del arte	18
1.2.2. Formulación del problema	23
1.2.3. Delimitación del problema.....	23
1.3. Objetivos	24
1.3.1. Objetivo General.....	24
1.3.2. Objetivos Específicos.....	24
1.4. Justificación	24
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1. Movimientos de masa	25
2.1.1. Tipos de movimientos en masa.....	26
2.2. Factores condicionantes en un movimiento de masa.....	36
2.2.1. Geología.....	36
2.2.2. Depósitos.....	38
2.2.3. Geomorfología	39
2.2.4. Relieve	41
2.2.5. Pendiente.....	41
2.2.6. Litología.....	42
2.2.7. Hidrogeología	44

2.2.8.	Uso de suelo	44
2.2.9.	Clima.....	45
2.3.	Factores desencadenantes de los movimientos en masa	46
2.3.1.	Precipitación	46
2.3.2.	Actividad sísmica.....	48
2.3.3.	Actividad antrópica:.....	49
2.4.	Toma de muestra en campo.	49
2.5.	Método Analytic Hierarchy Process (AHP)	50
3.	CAPITULO III: METODOLOGÍA	51
3.1.	Revisión bibliográfica y contextualización.....	51
3.2.	Recopilación de datos	51
3.3.	Análisis de datos	52
3.4.	Elaboración del mapa de susceptibilidad.....	52
4.	CAPITULO IV: DESARROLLO E INVESTIGACIÓN	54
4.1.	Identificación de zonas afectadas.....	54
4.2.	Dimensionamiento de las áreas afectadas.....	54
4.3.	Elaboración de mapas	56
4.3.1.	Mapa de ubicación	57
4.3.2.	Mapa geológico, litológico y uso de suelo.....	57
4.3.3.	Mapa de pendiente	58
4.4.	Elaboración del mapa de susceptibilidad.....	62
4.4.1.	Identificación de factores.....	62

	12
4.4.2. Elaboración de matrices y cálculo de pesos.....	63
4.4.3. Elaboración del mapa de susceptibilidad.....	70
5. CAPÍTULO V: RESULTADOS OBTENIDOS	72
5.1. Identificación de deslizamientos en el sector Marianza y su geología	72
5.2. Dimensionamiento de las áreas afectadas.....	78
5.2.1. Afectaciones en la población	78
5.2.2. Expansión de quebradas.....	79
5.2.3. Tamaños del material arrastrado.....	81
5.3. Descripción de mapas e identificación de los factores condicionantes en un movimiento en masa	82
5.3.1. Geología.....	82
5.3.2. Litología.....	84
5.3.3. Geomorfología	84
5.3.4. Pendiente.....	85
5.3.5. Hidrología	86
5.3.6. Uso de suelo	87
5.3.7. Clima.....	88
5.4. Factores desencadenantes en un movimiento de masa	89
5.4.1. Precipitación	89
5.4.2. Actividades antrópicas	89
5.4.3. Actividad sísmica.....	92
5.5. Análisis del mapa de susceptibilidad.....	92

6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
6.1. Conclusiones	94
6.2. Recomendaciones	96
7. BIBLIOGRAFÍA	97
8. GLOSARIO	102
9. ANEXOS	102
Anexo 1. Medición del ancho de la quebrada afectada del km 14.	102
Anexo 2. Toma de muestra de los diámetros de rocas en el kilómetro 14.	102
Anexo 3. Tabla de toma de datos y cálculo de diámetro nominal.....	103
Anexo 4. Matrices de consistencia de la escala de Saaty	107
Anexo 5. Tabla de generalización de los factores para elaboración del mapa de susceptibilidad	110
Anexo 6. Mapas elaborados	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valor asignado y el grado de susceptibilidad en función de la pendiente	42
Tabla 2. Rangos de pendientes y su relación con la susceptibilidad.....	42
Tabla 3. Clasificación litológica en relación con la inestabilidad de laderas	43
Tabla 4. Valoración de las unidades de uso de suelo y cobertura vegetal.	45
Tabla 5. Valores y grado de susceptibilidad.	45
Tabla 6. Escala de Saaty	50
Tabla 7. Coordenadas de los deslizamientos en Marianza.....	54
Tabla 8. Datos del ancho afectado en el km 10.	55
Tabla 9. Datos del ancho afectado del km 14	55
Tabla 10. Valores asignados para los parámetros geológicos.....	63

Tabla 11.	Pesos de los parámetros de la geología.....	63
Tabla 12.	Valores asignados para los parámetros de geomorfología.....	64
Tabla 13.	Pesos de los parámetros de la geomorfología	64
Tabla 14.	Valores asignados para los parámetros de pendiente.....	65
Tabla 15.	Pesos de los parámetros de la pendiente	65
Tabla 16.	Valores asignados para los parámetros de litología.....	66
Tabla 17.	Pesos de los parámetros de la litología	66
Tabla 18.	Valores asignados para los parámetros de uso de suelo	67
Tabla 19.	Pesos de los parámetros del uso de suelo.....	67
Tabla 20.	Valores asignados de precipitación.....	68
Tabla 21.	Pesos de la precipitación.....	68
Tabla 22.	Valoración de los factores condicionantes.....	69
Tabla 23.	Pesos de los factores condicionantes	69
Tabla 24.	Parámetros de evaluación (tiempo de retorno)	70
Tabla 25.	Pesos de los parámetros de evaluación	70
Tabla 26.	Rangos de susceptibilidad.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Caída del material en la vía Cuenca – Molleturo – El Empalme.....	27
Figura 2.	Flujo de lodo producido por el aluvión de Gasca - Quito.....	28
Figura 3.	Deslizamiento rotacional en el cantón Alausí.....	29
Figura 4.	Deslizamiento traslacional en Atucucho, Quito.....	30
Figura 5.	Deslizamiento en cuña.	31
Figura 6.	Deslizamiento planar suscitado en la vía Cuenca -Molleturo.....	32
Figura 7.	Esquema de un volcamiento en bloque.....	32

Figura 8. Movimiento en masa con propagación lateral por licuación.	33
Figura 9. Hundimientos causados por las lluvias en las carreteras de Esmeraldas.	34
Figura 10. Esquema de un proceso de reptación.	35
Figura 11. Movimientos complejos provocado por fuertes tormentas en Gasca – Quito – Ecuador.....	36
Figura 12. Precipitación mensual en marzo de cada año.....	47
Figura 13. Precipitación del 27 de marzo 2022.....	48
Figura 14. Zonas sísmicas y valor del factor de zona Z.	49
Figura 15. Toma de tamaños de rocas en campo	56
Figura 16. Elaboración del polígono de Marianza	57
Figura 17. Delimitación de mapas.....	58
Figura 18. Delimitación de cuervas de nivel.....	59
Figura 19. Creación de TIN.....	59
Figura 20. Generación del Ráster	60
Figura 21. Mapa de pendientes inicial.....	61
Figura 22. Clasificación de pendientes.....	61
Figura 23. Mapa de pendientes de Marianza.....	62
Figura 24. Cálculo del valor de factor condicionante.....	71
Figura 25. Mapa de ubicación	73
Figura 26. Flujo de detritos en el km 14.....	73
Figura 27. Litología en la zona de flujo de detritos.....	74
Figura 28. Depósito glaciario en la zona de flujo de detritos del km 14.....	75
Figura 29. Deposito coluvial no consolidado	75
Figura 30. Deslizamiento de flujos de detritos en el km 10.....	76
Figura 31. Deposito coluviales gruesos.....	77
Figura 32. Afloramientos rocosos fracturados.	77

Figura 33. Vivienda afectada en el km 10.....	78
Figura 34. Deslizamiento por actividades antrópicas.....	78
Figura 35. Afectación en el km 13.	79
Figura 36. Medición del ancho de canal afectado del km14.....	80
Figura 37. Afectación del flujo de detritos en el kilómetro 14.....	80
Figura 38. Medición del ancho de canal afectado del kilómetro 10.....	81
Figura 39. Afectación del flujo de detritos en el km 10.	81
Figura 40. Determinación de tamaños de grandes bloques.	82
Figura 41. Mapa geológico del sector Marianza	83
Figura 42. Mapa litológico del sector Marianza.....	84
Figura 43. Morfología del sector Marianza.....	85
Figura 44. Mapa de pendientes del sector Marianza	86
Figura 45. Mapa hidrológico del sector Marianza.....	87
Figura 46. Uso de suelo del sector Marianza	88
Figura 47. Construcciones en pendiente.....	90
Figura 48. Deslizamientos en la vía Cuenca – Molleturo – Naranjal.....	91
Figura 49. Deforestación para cultivo de pastos.	92
Figura 50. Mapa de susceptibilidad.....	93

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

Ecuador dada su localización geográfica en el Cinturón de Fuego del Pacífico, presenta una región geodinámica activa, la cual es la principal responsable de la ocurrencia de desastres naturales como terremotos, erupciones volcánicas y deslizamientos (Basabe et al., 1996).

Los movimientos en masa figuran el 4.89% de la incidencia global de desastres naturales registrados durante el año 1990 y 2005, estos deslizamientos de tierra ocasionan pérdidas económicas de miles de dólares anualmente y decenas de víctimas mortales (Basu & Pal, 2019). Ecuador en un estudio realizado por la Corporación OSSO desde el año 1970 hasta el 2019 ha registrado un total de 7771 eventos de deslizamientos representado una gran amenaza en el país (Pachay et al., 2021).

En los últimos 3 años Ecuador ha registrado grandes deslizamientos de tierra, este es el caso del cantón Alausí de la provincia de Chimborazo suscitado el 26 de marzo de 2023, en este evento de deslizó una gran cantidad de material desde el cerro Casual hasta el colegio González Suarez afectando una área de 24.3 hectáreas, teniendo como resultado un total de 104 viviendas dañadas, 57 viviendas destruidas, 65 personas fallecidas y 800 personas damnificadas (SNGRE, 2023). Otro evento de movimiento en masa se suscitó en Quito en los barrios altos de la Gasca, La Comuna y Pambachupa el 31 de enero de 2022, donde se produjo un aluvión producto de las actividades antrópicas por el acelerado crecimiento poblacional, este aluvión afectó a 41 viviendas, 7 viviendas destruidas, 28 personas fallecidas, una persona desaparecida y 53 familias damnificadas (Borja, 2022). De igual manera se registró otro evento de deslizamiento en la parroquia Sayausi, sector de Marianza el 27 de marzo de 2022, donde se depositaron aproximadamente 7000 metros cúbicos de material, según el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE), este

evento es producto de las intensas lluvias que se presentaron en ese día, dejando como resultado 4 personas fallecidas, 5 personas heridas, 27 viviendas afectadas con ingreso de agua y lodo, 9 viviendas destruidas, 5 familias damnificadas y un daño total a la edificación de la Unidad Educativa “Escuela de Marianza Laureles” (SNGRE, 2022).

A partir de estos acontecimientos suscitados se ha planteado como objetivo analizar la geología que se presenta en el sector de Marianza, identificar las zonas vulnerables a deslizamientos del sector, e identificar los factores que intervienen en los deslizamientos de tierra, mismos que afectan de manera directa al sector en el ámbito económico, turístico, agrícola y salud.

El sector de Marianza está ubicada al oeste de la parroquia rural de Sayausi del cantón Cuenca, limita con la comunidad de Gulag al Este y al Oeste con la parroquia Molleturo, cruzada por la carretera Sayausi Puerto Inca, y limitada entre la estribación de la cordillera occidental de los Andes y el río Tomebamba. Para la comunidad de Marianza, es de mucha importancia conocer las zonas vulnerables a deslizamientos para crear medidas de prevención que ayuden a solventar y dar soluciones rápidas frente a estos eventos (GAD Parroquial Sayausí, 2020).

1.2. Antecedentes

1.2.1. Estado del arte

La región Sierra se encuentra conformada por la cordillera de los Andes, que atraviesan al país en sentido noroeste – suroeste. Esta cordillera se compone de dos cadenas montañosas principales: la cordillera Occidental y la cordillera Central, a consecuencia de esta, presenta una geomorfología muy compleja conformada por valles y cuencas interandinas. (Nuñez, 2003).

Azuay tiene un relieve característico debido a la conformación de dos cadenas montañosas, la cordillera Oriental y Occidental que atraviesan a la provincia en sentido

Noreste a Suroeste. La conexión entre estas cordilleras forman hoyadas que definen los sistemas hidrográficos, estas presentan cumbres que no sobrepasan los 4500 m.s.n.m. (Prefectura del Azuay, 2012).

El estudio de la geología y la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos en diversos sectores ha sido un tema de constante investigación a lo largo del tiempo. Esta acción, brinda información relevante para el desarrollo sostenible, la planificación urbana y la elaboración de planes de contingencia ante eventos naturales adversos, mismos que deben contemplar acciones de alerta temprana, evacuación, respuesta y recuperación ante posibles eventos de deslizamiento.

Existen varias investigaciones sobre la geología y los factores que inducen a un posible deslizamiento en el sector de Marianza entre ellos está el trabajo de (Morales & Oleas, 2023), donde indicaron que los factores que conducen a un deslizamiento de tierra en la comunidad de Marianza son los factores naturales y los factores antrópicos, dentro de los factores naturales están las precipitaciones, el tipo de suelo, la topografía y la hidrografía, mientras que los factores antrópicos son el uso del suelo, obras de ingeniería y las construcciones irregulares.

El uso de imágenes satelitales es una herramienta útil que ayuda a identificar los cambios en el uso de suelo, ya que cuenta con una gran variedad de imágenes que acompañadas de un software de procesamiento computacional, permiten conocer el crecimiento urbano, zonas de deforestación, la ocupación en suelos susceptibles a amenazas de origen natural, etc, (Morales & Oleas, 2023) aplicaron el uso de imágenes satelitales para identificar el uso de suelo en el sector, para clasificar el suelo usaron el método “Corine Land Cover”, el cual permite analizar, comparar y distinguir diferentes coberturas de suelo mediante un lenguaje unificado, estos se clasifican en cinco categorías:

- Superficies artificiales (áreas construidas, minas y espacios urbanos)

- Áreas agrícolas (Cultivos, pastos y prados)
- Bosques y áreas seminaturales (Bosques, arbustos, y áreas de baja vegetación)
- Humedales (Marismas y planicies intermareales)
- Cuerpos de agua (Aguas continentales y aguas marinas)

Para el análisis de los factores que influyen en el movimiento de masas (Morales & Oleas, 2023), aplicaron una metodología basada en extraer información de cartografía, visitas a sitio, levantamientos fotográficos, aerofotogrametría, información de estaciones meteorológicas e información del PDOT de Sayausi.

(Morales & Oleas, 2023) concluyeron que el sector de Marianza cuenta con altos niveles de vulnerabilidad a deslizamientos derivada de los factores preexistentes como la topografía irregular, altos índices de precipitación en época de invierno, la composición del suelo y el mal estado de los cauces de agua. También resolvieron que la población es responsable de los cambios perjudiciales en el sector mediante el emplazamiento de edificaciones, actividades agrícolas y ganaderas.

Por otra parte, (Chaca & Rea, 2023) en su trabajo de titulación realizaron un análisis comparativo de los factores determinantes en la susceptibilidad del sector, identificando la relación entre los factores geomorfológicos e hidrológicos que provocaron el deslizamiento el 27 de marzo de 2023 en Marianza. Para ello realizaron una caracterización geológica, geomorfológica, ensayos de suelo, análisis de la precipitación, además aplicaron la metodología RES en dos microcuencas del sector. La metodología Rock Engineering System (RES), fue propuesto por Hudson en 1992, el cual se basó en un enfoque matricial en la que permite la codificación numérica de interacciones mutuas entre factores predisponentes.

Mediante el RES, (Chaca & Rea, 2023), realizaron un mapeo de susceptibilidad de flujo de detritos, mediante el cual consideraron siete factores: Geología/Litología, Pendiente, Red de canal, Curvatura, Geomorfología, tipo de suelo hidrológico y uso de suelo. La

metodología que aplicaron permitió determinar las zonas susceptibles a flujos detríticos que se concentran a lo largo de los valles principales. Una alta concentración a lo largo de las laderas colindantes y cerca de la red de canales, especialmente en las intermediaciones laterales a la arteria vial Cuenca – Molleturo - El Empalme.

Así mismo,(Chaca & Rea, 2023) en la caracterización geológica, mencionaron que el sector de Marianza contiene dos formaciones rocosas predominantes, la formación Rio Blanco y la unidad geológica Tomebamba. La unidad geológica Tomebamba está constituida por toba masivas andesíticas y dacíticas básicas resultado de los flujos de cenizas. La formación geológica Rio Blanco se compone de lava andesíticas feldespáticas donde se encuentra minerales como el hipersteno y la hornblenda.

En la caracterización geológica (Chaca & Rea, 2023) recopilaron información a partir del SIGTIERRAS, vistas al sector, sobrevuelos de dron, procesamientos de shapefile, imágenes satelitales y algoritmos de información satelital (GDAL, SAGA, GRSS), todo está basado en lo que establece el manual del U.S.D.A. Forest Service en la publicación Geomorphic Classification. Ellos definieron que el sector mantiene evidencias de una erosión glaciaria, con presencia de valles glaciares en forma de U. En la parte baja indica un relieve poligénico influenciado por el clima frío. En la parte central del valle se muestran antiguos depósitos coluvio-aluviales, en los laterales de la arteria vial se observan laderas con vertientes rectilíneas y abruptas.

(Chaca & Rea, 2023) concluyeron que existen obstrucciones en los canales en la parte alta del sector a causa de deslizamientos, estas obstrucciones habrían provocado el taponamiento y la acumulación de agua en la zona, y la presencia de áreas cóncavas ayudó a la infiltración de agua en la parte inferior factor que detonó el deslizamiento de tierra el 27 de marzo. La geología compuesta por formaciones rocosas con una matriz arcillosa y un manto superficial de suelo rocoso con baja permeabilidad, generan una mayor susceptibilidad a los

deslizamientos en los eventos de lluvia intensa. Ellos determinaron que la microcuenca de Marianza presenta un suelo con alta susceptibilidad al flujo en condiciones de saturación, debido a su composición por sistemas clásticos con una matriz compuesta por grava y arena limo arcillosa, y a la vez es propensa a procesos de meteorización y erosión hídrica. También establecieron que, debido a la expansión agrícola y el pastoreo en terrenos de pendiente pronunciada, han afectado a las áreas de las redes de drenaje, disminuyendo su cobertura vegetal arbustiva y forestal.

(Vásquez & Constante, 2023), es su trabajo “Propuesta de un plan de gestión ante deslizamientos e inundaciones en la comunidad de Marianza” tuvieron como objetivo el diagnóstico de las zonas susceptibles a deslizamientos en el sector y la determinación de la amenaza y vulnerabilidad ante la ocurrencia de deslizamientos o inundaciones. Para ello, se caracterizaron las amenazas, identificando el impacto, nivel de exposición y los factores que influyen en la ocurrencia de los deslizamientos, tales como: Geología, Pendiente y Tipo de suelo.

En el análisis que realizaron de las propiedades del terreno (Vásquez & Constante, 2023), definieron que el relieve en el sector está compuesto por: relieves montañosos, valles encañonados, pendientes fuertes a muy fuertes que van desde los 40° hasta los 70° de inclinación, una geología compuesta por la formación Célica y presencia de depósitos coluviales, suelo de tipo Alfisol mismo que se vuelve inestable por la saturación que presenta la zona y el uso suelo donde contemplaron que Marianza está constituida principalmente por páramos, áreas de abundante recursos hídricos.

Según (Vásquez & Constante, 2023), determinaron que el sector de Marianza, el 9.07% de la superficie presenta una susceptibilidad baja, mientras que el 35.24% presenta una susceptibilidad alta a deslizamientos, siendo este un valor alto y alarmante. En las amenazas identificadas por lo que determinaron que existe una alta probabilidad de deslizamiento por

las condiciones geológicas presentes, otro factor que aumenta la probabilidad de deslizamiento es el tipo de suelo arcilloso que se presenta y las pendientes pronunciadas.

1.2.2. *Formulación del problema*

La reiterada ocurrencia de eventos de deslizamientos en el territorio ecuatoriano ha convertido este fenómeno en una problemática que genera incertidumbre y vulnerabilidad a nivel local, nacional e incluso internacional. Estos eventos en su mayoría vienen acompañados de daños materiales y humanos considerables, afectando directamente la seguridad y bienestar de las comunidades, así como la estabilidad económica y social del país.

Las condiciones orográficas, hidrográficas y climatológicas de Marianza provocan que el sector sea vulnerable a movimientos de masas, los cuales son más frecuentes en las épocas de invierno, donde el agua actúa como un factor detonante, sumado a esto se encuentran otros factores como el relieve, actividad antrópica y otros factores que erosionan los suelos.

Con base a lo acontecido en el sector, nace la necesidad de analizar la geología y las zonas vulnerables a deslizamientos en el sector de Marianza, identificando los principales factores que influyen o inducen a un deslizamiento.

1.2.3. *Delimitación del problema*

La comunidad de Marianza perteneciente a la parroquia rural de Sayausi del Cantón Cuenca, está localizada a 12 kilómetros del Cantón Cuenca por la vía que conecta Cuenca-Molleturo-Naranjal. Por sus condiciones geológicas, hidrográficas y climáticas el sector es propenso a sufrir deslizamientos por lo que se propuso dar repuesta a lo siguiente:

¿Cuál es la geología que presenta la comunidad de Marianza?

¿Cuáles son los principales factores que influyen directamente a un deslizamiento?

¿Cuales son las zonas vulnerables a deslizamientos?

Mediante esta investigación se busca tener un enfoque claro acerca de vulnerabilidad de deslizamientos en la zona, a fin de reducir los riesgos y daños en caso de un evento similar o mayor al suscitado el 27 de marzo del 2022.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

- Analizar la geología del sector Marianza y su relación con las zonas vulnerables a deslizamientos.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Conocer las afectaciones que se han presentado en el sector Marianza por los movimientos en masas y sus formaciones geológicas.
- Identificar los principales factores que intervienen en un corrimiento de masas enfatizándose en la geología local.
- Integrar y comparar la información proveniente de juicios de expertos, estudios previos y cartografía temática para generar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el sector de Marianza.

1.4. Justificación

Los movimientos de masa han afectado de manera directa a la población de Marianza, dejando pérdidas enormes dentro de la comunidad, por ende, es necesario conocer información precisa acerca de los factores determinantes en un deslizamiento tales como: La geología, geomorfología, hidrología, uso de suelo y las condiciones climáticas.

La presente investigación mantendrá un enfoque, en identificar y describir las características de los factores que intervienen en un movimiento de masas en el sector de Marianza. Para lo cual, se aplicarán diversas técnicas y herramientas para la recopilación de datos, constatar información bajo el concepto de expertos y la verificación mediante vistas de campo. El desarrollo de este trabajo tiene como objetivo la contribución tanto en el ámbito

científico como ayuda en el ámbito local, la información que se obtenga puede servir como base para planificaciones urbanas y en el desarrollo de planes o estrategias de prevención y gestión de riesgos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Movimientos de masa

Según (GEMMA, 2007), señala que el movimiento en masa incluye todos los deslizamientos o movimientos en pendiente abajo, llevándose rocas, detritos, arena o tierra por efecto de la gravedad. Este movimiento en masa ocasiona graves daños tanto social como económico, dando pérdidas humanas, daños estructurales o colapso de las obras civiles. Los movimientos del suelo pueden causar alteraciones significativas como grietas, hundimientos y desprendimientos masivos de tierra o roca. Estas transformaciones geológicas conllevan graves consecuencias, incluyendo daños a infraestructuras públicas y viviendas, pérdida de cultivos y posibles obstrucciones en ríos y arroyos.

El movimiento en masa son el resultado de la debilitación progresiva de las propiedades mecánicas del suelo por varios factores como levantamientos tectónicos, erosión y actividades humanas (Aristizábal et al., 2010).

Las remociones en masa de gran magnitud, ya sea por volumen o área afectada, son menos frecuentes que los eventos menores, siguiendo un patrón común en muchos procesos naturales. Aunque podría pensarse que los eventos de mayor magnitud afectan a más personas, esta relación no es directa. Un evento masivo en un área poco poblada puede tener un impacto mínimo, salvo que desencadene procesos secundarios de largo alcance, como el desbordamiento de un lago. En contraste, eventos menores en zonas densamente pobladas pueden ser devastadores (Mergili et al., 2015).

Los mecanismos de remoción en masa se clasifican en dos categorías principales: estructurales y plásticos. Los mecanismos estructurales ocurren cuando bloques de roca definidos fallan y se desplazan como unidades discretas. En contraste, los mecanismos plásticos implican el movimiento de masas de roca o suelo de manera similar a un fluido viscoso. Existe además una categoría intermedia donde los desplazamientos son transitorios: inicialmente, un bloque rocoso se separa y desliza, pero durante el proceso se desintegra y tritura, adoptando un comportamiento más fluido. Este fenómeno combina características tanto de los mecanismos estructurales como de los plásticos (Almaguer & Guardado, 2006).

Los movimientos de masa inducidos por lluvia son comunes en suelos residuales en pendientes. Estos suelos mantienen su estabilidad natural gracias a la presión negativa del agua en sus poros. Sin embargo, la infiltración del agua de lluvia incrementa el contenido de humedad del suelo, desencadenando tres efectos críticos: disminución de la tensión efectiva, reducción de la resistencia al cizallamiento y aumento del peso del suelo. Esta combinación de factores compromete la estabilidad de la pendiente, propiciando deslizamientos y otros tipos de movimientos de masa (Ordoñez, 2019).

2.1.1. Tipos de movimientos en masa

- **Caídas, desprendimientos, desplomes:** Según (Segarra & Montalván, 2022), las caídas se definen como deslizamientos de tierras que ocurren en pendientes empinadas, donde el material desciende rápidamente a través del aire por caída libre o rebotando. Por otro lado, los desprendimientos implican una disgregación o separación del terreno, ya sea de suelo, roca fracturada o roca descompuesta, un ejemplo de caídas es la vía Cuenca – Molleturo – El Empalme, como se observa en la Figura 1. En cuanto a los desplomes, (Reyes, 2023) los describe como un colapso de una masa litológica de volumen considerable que se desploma sobre su base, formando en ella un depósito de material grueso.

Figura 1.

Caída del material en la vía Cuenca – Molleturo – El Empalme



Nota: Tomado de (EL UNIVERSO, 2023).

- **Flujos:** Este tipo de movimiento se puede clasificar en dos categorías principales: flujos de lodo y flujos de roca. Los flujos de lodo son movimientos rápidos compuestos por una mezcla de suelos finos saturados como arcillas y limos, que presentan una baja cohesión, como es el caso de Gasca – Quito ilustrado en la Figura 2. Por otro lado, los flujos de roca ocurren en áreas de rocas muy fracturadas y a lo largo de drenajes con pendientes pronunciadas. Estos últimos pueden tener una velocidad variable, desde rápidos hasta lentos, dependiendo de la saturación del suelo y el grado de fracturamiento de la roca. En ambos casos, el factor desencadenante principal es la presencia de agua, que reduce la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales involucrados y ocasiona este tipo de movimientos de masa (Vargas, 2000).

Figura 2.

Flujo de lodo producido por el aluvión de Gasca - Quito



Nota: Tomado de (PRENSA MERCOSUR, 2022).

- ***Deslizamientos:*** Los deslizamientos consisten en el movimiento o remoción de masas de roca, suelo o residuos de tierra ladera abajo por la fuerza de la gravedad. El término "deslizamiento" engloba tanto procesos erosivos como denudacionales. Estos movimientos ocurren generalmente a lo largo de una superficie de falla, ya sea por caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos. Algunos segmentos de la pendiente pueden desplazarse hacia abajo, mientras que otros solo se mueven lateralmente. Los fenómenos de inestabilidad de laderas involucran una combinación de procesos erosivos y denudacionales interrelacionados y frecuentemente superpuestos (Suarez, 2009), existen diferentes tipos de deslizamientos, mismos que se explican a continuación:

Deslizamiento rotacional: Los deslizamientos rotacionales son característicos de suelos cohesivos homogéneos. La superficie de ruptura ya sea superficial o profunda, adopta una forma cóncava similar a una cuchara. Una vez iniciado el movimiento, la

masa deslizando experimenta una rotación que puede fragmentarla en bloques escalonados. En la parte inferior de la ladera, el material desplazado se acumula formando un depósito ondulado con grietas de tracción transversales, como ocurrió en el cantón Alausí demostrado en la Figura 3. Este patrón distintivo de movimiento y deposición es clave para identificar y comprender la dinámica de los deslizamientos rotacionales (Quezada, 2015).

Figura 3.

Deslizamiento rotacional en el cantón Alausí.



Nota: Fotografía tomada de (SISGEO, 2023)

Deslizamiento traslacional: Los deslizamientos traslacionales se caracterizan por un movimiento paralelo a la superficie del terreno, ocurriendo a lo largo de una superficie de ruptura plana o ligeramente ondulada. Estos deslizamientos suelen aprovecharse de planos de debilidad preexistentes como fallas, diaclasas, juntas, planos de estratificación o interfaces entre roca y materiales coluviales, lo mismo que ocurrió Atucucho – Quito, como se presenta en la Figura 4. Durante el proceso, la masa deslizando puede sufrir deformación y desintegración, potencialmente evolucionando a un flujo. Típicamente, los deslizamientos traslacionales presentan una relación entre profundidad y longitud (D_r/L_r) inferior a 0.1, y su velocidad puede variar desde rápida hasta extremadamente rápida (Chiriboga & Méndez, 2022).

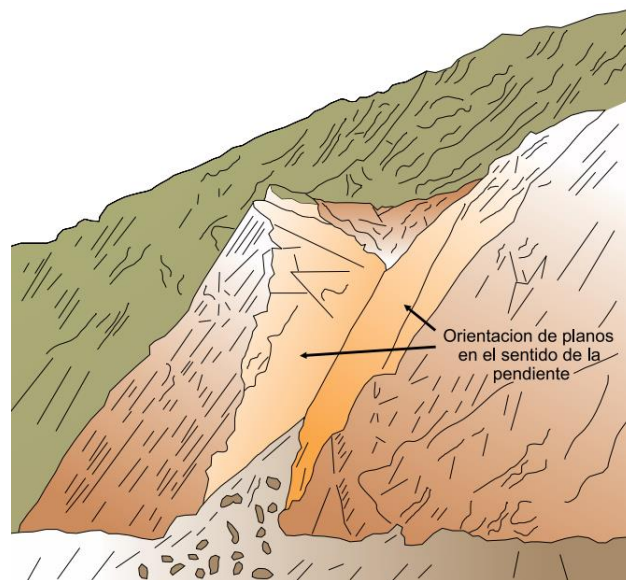
Figura 4.

Deslizamiento traslacional en Atucucho, Quito.



Nota: Fotografía tomada de (Bomberos Quito, 2022)

Deslizamiento en cuña: La rotura por cuña es un tipo de falla que ocurre en taludes o laderas cuando dos discontinuidades geológicas se interceptan. Estas discontinuidades están orientadas de tal manera que su línea de intersección aflora en la superficie del talud. Este mecanismo de falla se caracteriza por el deslizamiento de una masa rocosa en forma de cuña a lo largo de la línea de intersección de las dos discontinuidades, lo que resulta en un desprendimiento distintivo y potencialmente peligroso, como se muestra en la Figura 5 (Almaguer & Guardado, 2006).

Figura 5.*Deslizamiento en cuña.*

Nota: Tomada de (GEMMA, 2007)

Deslizamiento planar: El deslizamiento planar es un fenómeno gravitacional que ocurre cuando un bloque de roca se asienta sobre una discontinuidad geológica. Para que este tipo de movimiento se produzca, deben cumplirse tres condiciones fundamentales; la pendiente de la discontinuidad debe ser menor que la del talud natural, la inclinación del plano de deslizamiento debe superar el ángulo de fricción interna de ese plano y el rumbo del plano de deslizamiento debe ser aproximadamente paralelo al del talud. Estas condiciones geométricas y mecánicas crean una situación inestable donde la fuerza de la gravedad supera la resistencia al deslizamiento, propiciando el movimiento del bloque rocoso a lo largo de la superficie de discontinuidad (Ramírez, 2017), un ejemplo de este deslizamiento es la vía Cuenca – Molleturo, como se ilustra en la Figura 6.

Figura 6.

Deslizamiento planar suscitado en la vía Cuenca -Molleturo.

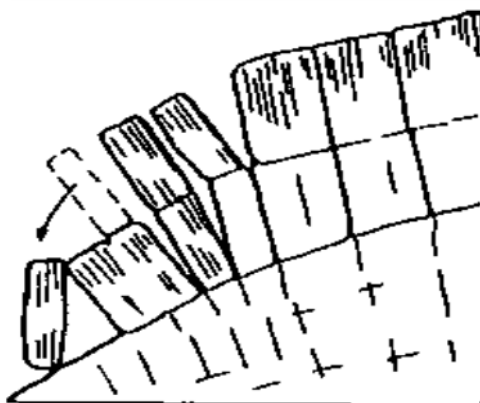


Nota: Tomada de (ECUADOR NEWS, 2021).

- **Volcamientos:** Son movimientos producidos sobre la pendiente debido al colapso de material rocoso. Este movimiento se caracteriza por una mezcla de diferentes elementos litológicos, alrededor de un punto de giro y gracias a la gravedad el material volcado se deposita en la base del suelo, como se presenta en la Figura 7 (Reyes, 2023).

Figura 7.

Esquema de un volcamiento en bloque.

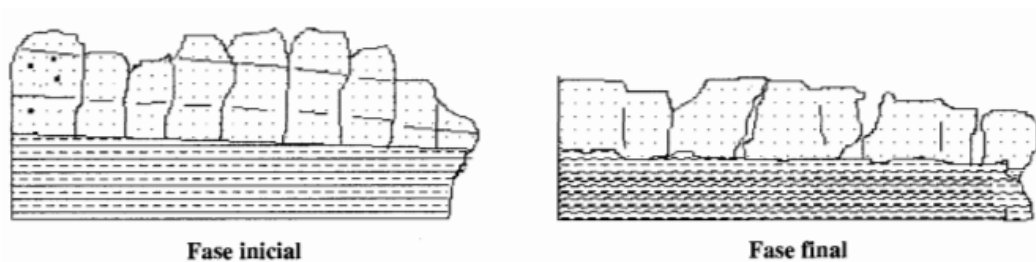


Nota: Tomado de (Ramírez, 2017)

- **Propagación Lateral:** Los desplazamientos laterales son movimientos lentos y graduales de material rocoso compuesto principalmente por arcillas, expresada en la Figura 8. Estos fenómenos están relacionados con la licuefacción o el comportamiento plástico de los materiales arcillosos cuando se ven sometidos a la acción de eventos sísmicos. La naturaleza lenta y paulatina de estos desplazamientos dificulta su apreciación a simple vista sobre el terreno. Sin embargo, a medida que transcurre el tiempo, los efectos acumulados pueden representar un riesgo significativo para cualquier infraestructura ubicada en la zona afectada (Vargas, 2000).

Figura 8.

Movimiento en masa con propagación lateral por licuación.



Nota: Tomado de (Vargas, 2000)

- **Hundimientos o subsidencia:** Los hundimientos son movimientos generalmente verticales de masas de suelo, en los cuales ocurre una disminución del volumen del terreno. Los procesos de hundimiento de gran magnitud se clasifican como parte de los movimientos en masa o deslizamientos, aunque su ocurrencia no requiere necesariamente la presencia de un talud. Estos pueden ser de gran escala o relativamente pequeños, como son los casos de las carreteras de Esmeraldas, presentada en la Figura 9. Los hundimientos por deformación geológica a gran escala ocurren bajo la influencia de la gravedad. Se presentan en macizos rocosos aparentemente competentes donde han ocurrido procesos internos de cambio de esfuerzos (Suarez, 2009). La subsidencia consiste en un hundimiento generalizado del

terreno. Los movimientos masivos de subsidencia pueden ocurrir desde muy lentos a rápidos y pueden estar relacionados con diversas causas naturales, entre las que se encuentran la presencia de formaciones solubles o kársticas y la sobreexplotación de aguas subterráneas. La meteorización química de las rocas solubles o kársticas produce vacíos o cavernas dentro de la formación rocosa, que pueden alcanzar grandes dimensiones. El colapso del techo de estas cavernas origina deslizamientos o hundimientos súbitos del terreno (Suarez, 2009).

Figura 9.

Hundimientos causados por las lluvias en las carreteras de Esmeraldas.

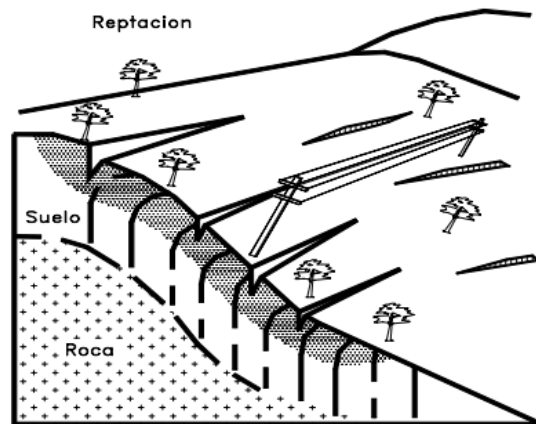


Nota: Tomado de (EXTRA, 2024).

Reptación: Es un movimiento superficial lento y continuo, debido a materiales de baja unión entre la masa del suelo favorecidos por el agua, detallada en la Figura 10. Un dato curioso es que la reptación no presenta ningún tipo de ruptura, pero se desarrollan características que se pueden detectar como la rugosidad presente en el terreno, efectos de geotropismo en los árboles, morfología ondulada, etc (Reyes, 2023).

Figura 10.

Esquema de un proceso de reptación.



Nota: Tomado de (Suarez, 2009)

- **Avenidas torrenciales:** Este movimiento ocurre cuando se presenta varios movimientos en masa, de una magnitud considerable, donde vierten materiales litológicos o son depositados en un cauce estrecho, formando en ella una masa semilíquida de bloques y lodo que conduce pendiente abajo con una gran velocidad y poder de arrastre (Vargas, 2000).
- **Avalanchas:** Un deslizamiento de tierra ocurre cuando una masa considerable de suelo o roca se desplaza pendiente abajo por una superficie de falla en una ladera o talud pronunciado. Estos movimientos se desencadenan cuando se rompe el equilibrio entre las fuerzas que mantienen estable el material y aquellas que tienden a generar el deslizamiento, como la gravedad, las presiones de agua, la erosión, entre otras (Golubev, 2014)

Los deslizamientos de tierra suelen producirse de forma repentina y violenta, adquiriendo grandes velocidades conforme avanzan por la pendiente. Esta energía cinética les confiere una tremenda capacidad destructiva, convirtiendo a estos fenómenos en una de las amenazas naturales más peligrosas para los asentamientos

humanos y la infraestructura ubicados en zonas montañosas o con importantes desniveles topográficos (Golubev, 2014).

- **Movimientos complejos:** Este movimiento ocurre cuando se presentan diferentes tipos de rupturas o fallas en el terreno y la combinación de dos o más tipos de movimientos en masa (Vargas, 2000), un ejemplo de este movimiento es el caso de Gasca – Quito, expresada en la Figura 11.

Figura 11.

Movimientos complejos provocado por fuertes tormentas en Gasca – Quito – Ecuador.



Nota: Tomado por (Diario Digital RD, 2022).

2.2. Factores condicionantes en un movimiento de masa

2.2.1. Geología

La geología es la clave para comprender nuestro planeta. Esta ciencia fundamental estudia el origen, composición y evolución de la Tierra, aplicando conocimientos de matemáticas, física, química y biología. La geología nos permite entender fenómenos naturales como terremotos, erupciones volcánicas y cambios climáticos, y es esencial para la

exploración de recursos naturales y la mitigación de riesgos geológicos (Rojas & Paredes, 2016).

La geología abarca aspectos individuales muy importantes en el análisis de deslizamientos o movimientos en masa, los cambios en las condiciones geológicas muestran importantes indicios en áreas de desastre y de actividad de deslizamiento, por lo que es importante identificar la variedad de los suelos y las unidades rocosas. Según (Erazo, 1965) en su libro determina que la era cuaternaria es la más inestable, debido a sus depósitos inestables los cuales se destruyen por los deslizamientos y fenómenos erosivos relacionados al ciclo geológico. Así mismo considera que los depósitos fluviales como los más estables.

La Sierra ecuatoriana está conformada por dos cordilleras principales: la Occidental y la Central, separadas por el Valle Interandino. Este valle, dividido en cuencas por umbrales transversales, presenta altitudes entre 2500 y 3000 msnm y alberga los principales centros poblados. Su relleno sedimentario es predominantemente continental y volcánico cenozoico, aunque en algunas zonas afloran sedimentos marinos cretácicos. La región norte y central se caracterizan por una gruesa cobertura de materiales volcánicos cuaternarios (Nuñez, 2003)

2.2.1.1. Geología local

La geología local abarca el estudio detallado de diversos aspectos del terreno en el área de interés. Esto incluye; las características litológicas, los depósitos cuaternarios, las unidades geomorfológicas, la dinámica externa, el análisis de riesgos específicos y las formaciones geológicas (Resolución Administrativa de la Republica del Peru, 2020).

Las formaciones geológicas poseen una susceptibilidad específica a los deslizamientos, cada formación geológica mantiene un determinado patrón de comportamiento. Generalmente, dentro de una formación geológica se encuentran diferentes tipos de material, los cuales determinan las principales características de los movimientos en masa (Suarez, 2009).

El Proyecto (PRECUPA, 1998) mediante un estudio efectuado en la cuencas altas y medias del Rio Paute, realizó la caracterización geológica y geotécnica de las formaciones geológicas, describiendo la susceptibilidad en terrenos inestables de las unidades y formaciones geológicas, la cual se describirá la formación Célica y la formación Tarqui pertenecientes al sector Marianza:

- **Formación Célica (Kc):** Esta formación presenta una susceptibilidad baja a nula, está relacionada con los derrumbes, deslizamientos de pequeñas dimensiones y la caída de bloque en pendiente fuertes. Debido a sus fallas mantiene una relación estrecha al fracturamiento.
- **Formación Tarqui (Pt):** La formación presenta una susceptibilidad moderada, principalmente debido a las características de su capa superficial. Las formaciones rocosas alteradas y los suelos residuales que la componen son propensos a la rotura, especialmente en condiciones de saturación. Estos suelos residuales, con baja plasticidad y escasa resistencia, se vuelven aún más vulnerables en condiciones de drenaje deficiente.

2.2.2. Depósitos

El tipo de depósito condiciona ciertas características en el comportamiento de remoción de masas, ejemplos son los depósitos volcanoclásticos, glaciales, escombros de falda, aluviales, coluviales, y antiguos flujos detríticos, los cuales son susceptibles a ser movilizados, ya que presentan materiales permeables.

Según (Hauser, 1993), señala que, en las quebradas andinas caracterizadas por un escurrimiento efímero, cuyo cauce está delimitado por gruesos depósitos coluviales de baja cohesión, y por tanto, altamente susceptibles a la erosión hídrica, el riesgo de formación de flujos de lodo o detritos es considerablemente elevado.

(González de Vallejo et al., 2004) en su libro describe varios tipos de depósitos identificando sus composición y comportamiento. El sector Marianza presenta varios depósitos, ente ellos destacan los siguientes:

Depósitos coluviales: contienen suelos muy anisotrópicos y propiedades geotécnicas altamente variables, están relacionadas a masas inestables, ya que sus materiales presentan una baja resistencia principalmente en las zonas de contacto con el sustrato rocoso y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales producto de las intensas lluvias.

Depósitos aluviales: se desarrollan en los climas templados, presentes en los cauces y valles fluviales, llanuras y abanicos fluviales. Suelos anisotrópicos con alto nivel freático, manteniendo una continuidad muy irregular, su comportamiento va de la mano con su granulometría ya que algunos casos pueden tener un alto contenido de materia orgánica.

Depósitos glaciares: sus materiales van desde las arcillas hasta las gravas gruesas y grandes bloques por lo que su comportamiento es muy variable, son suelos muy sensibles a los incrementos de presión intersticial producto de las lluvias. Son depósitos donde se presentan fenómenos de solifluxión y la inestabilidad de laderas.

2.2.3. Geomorfología

Una topografía escarpada y con pendientes abruptas es uno de los principales factores geomorfológicos que deben tenerse en cuenta en la generación de flujos, deslizamientos y derrumbes. En todos estos casos, es indispensable la existencia de material susceptible de ser movilizado por la fuerza de la gravedad a lo largo de las laderas pronunciadas (Ordoñez, 2019)

Los principales rasgos geomorfológicos que influyen en los eventos de remoción en masa son: la topografía general del terreno, las pendientes de las laderas, los cambios abruptos en la inclinación de las laderas y la extensión y altura de las laderas. Estas características determinan la velocidad, energía y volumen de las posibles remociones. Es

crucial entender que la modificación antropogénica de estos rasgos geomorfológicos puede incrementar significativamente el riesgo de inestabilidad en las laderas (Lara & Sepúlveda, 2008).

Según la información obtenida del (SIGTIERRAS, 2015), la zona de estudio presenta los siguientes paisajes geomorfológicos:

- ***Paisajes glaciares:*** Se encuentra en las zonas más frías de la Cordillera Occidental y Real, donde predominan las formas y depósitos glaciares, tanto actuales como antiguos. En ocasiones, estas formas se superponen con aquellas originadas por procesos periglaciares.
- ***Cimas frías de las cordilleras de formas heredadas paleoglaciares:*** Las cimas frías de las Cordilleras Occidental y Real, desde la frontera con Colombia hasta el sur de Amaluza, presentan una notable fragmentación geográfica. Estas zonas frías dibujan dos franjas paralelas que recorren longitudinalmente ambas cordilleras, evidenciando una distribución lineal y segmentada a lo largo de la región Andina.
- ***Paisajes de paramo con modelado periglacial y huellas glaciares poco marcadas:*** Estos paisajes se caracterizan por formas suaves y redondeadas, con cimas y divisorias de agua amplias y onduladas. Localmente, afloramientos rocosos rompen esta suavidad, contrastando con el relieve general. Las pendientes son moderadas y se conectan gradualmente a depresiones pantanosas.
- ***Relieves de los márgenes de las cimas frías:*** Este relieve se caracteriza por vertientes escarpadas y rectilíneas, con una incisión inicial marcada. La resistencia diferencial de las rocas ha influido en la formación de este escarpado paisaje. Desarrollado sobre una secuencia de areniscas grises intercaladas con limolitas y lutitas, ligeramente metamorfizadas.

La susceptibilidad a deslizamientos está fuertemente ligada a la geomorfología debido a sus diversos componentes los cuales son considerados parámetros esenciales en la dinámica de la superficie terrestre. La modificación de la geomorfología activa movimientos lentos e imperceptibles ya que sus propiedades mecánicas decrecen gradualmente (Aristizabal & Yokota, 2006).

2.2.4. *Relieve*

Es un factor determinante en la ocurrencia de los movimientos gravitacionales o en masa, ya que se requiere un cierto grado de pendiente para producirlo, por lo que las regiones montañosas son las más propensas a estos movimientos (González de Vallejo et al., 2004).

2.2.5. *Pendiente*

La superficie del terreno presenta, en general, una gran diversidad de valores de pendiente o inclinación, lo cual afecta a cualquier cuerpo estático o en movimiento que se encuentre sobre el relieve (López, 2015). La inclinación de una ladera está directamente relacionada con su estabilidad. A medida que aumenta la pendiente, se incrementan las fuerzas desestabilizadoras que actúan sobre la ladera, reduciendo consecuentemente los factores de seguridad frente a movimientos en masa. Los taludes con pendientes pronunciadas son particularmente susceptibles a tres tipos principales de movimientos: caídas, volcamientos y flujos (Chiriboga & Mendez, 2022)

El (INIGEMM, 2013) realiza una ponderación basándose en el estudio de (R. Mora, 2004) donde indica las siguientes ponderaciones como se describe en la Tabla 2, en la Tabla 1 se muestran los valores asignado y la susceptibilidad en función de la pendiente.

Tabla 1.

Valor asignado y el grado de susceptibilidad en función de la pendiente

Valor	Susceptibilidad
0	Sin ocurrencia
1	Muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

Nota: Adaptado de (INIGEMM, 2013) y (R. Mora, 2004).

Tabla 2.

Rangos de pendientes y su relación con la susceptibilidad

PENDIENTE		CONDICIONES DEL TERRENO Y PROCESOS CARACTERÍSTICOS	VALOR
0 – 2°	0 – 2%	Planicie, sin denudación apreciable	0
2 – 4°	2 – 7%	Pendiente muy baja, peligro de erosión	1
4 – 8°	7 – 15%	Pendiente baja, peligro severo de erosión de suelos	2
8 – 16°	15 – 30%	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión del suelo y deslizamiento	3
16 – 35°	30 – 70%	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos	4
> 35°	> 70%	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	5

Nota: Adaptada de (INIGEMM, 2013) y (R. Mora, 2004).

2.2.6. Litología

Las características particulares de las rocas, como su composición, granulometría y estructura interna, determinan su calidad y resistencia. Asimismo, es importante considerar la presencia de fracturación y el grado de descomposición de los materiales rocosos. Todos

estos factores influyen en el comportamiento diferencial que pueden presentar las masas rocosas ante eventuales movimientos del terreno. Por consecuencia, algunos materiales tenderán a ser más susceptibles a sufrir movimientos que otros, dependiendo de sus características particulares (Centro Administrativo Municipal de Medellín, n.d.)

(S. Mora & Vahrson, 1994) en un estudio realizado en Costa Rica y América Central realizaron una clasificación de las diferentes litologías y su susceptibilidad a deslizamientos, donde dan la siguiente clasificación que se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3.

Clasificación litológica en relación con la inestabilidad

Litología	Clasificación	Valor
Aluviones: gruesos, permeable, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeables. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo.	Bajo	1
Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático o profundidades intermedias.	Moderado	2
Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas. Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.	Medio	3
Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, se incluyen las categorías 3 y 4 con niveles freáticos muy someros.	Muy alto	5

Nota: Tomada de (S. Mora & Vahrson, 1994)

Por otra parte el (INIGEMM, 2013), realiza una ponderación sobre la susceptibilidad a deslizamientos en función de la litología de cada formación litológica del Ecuador, lo cual, la formación Célica presenta la siguiente litología; lavas andesíticas y basálticas, piroclastos, que lo califica como susceptibilidad media.

2.2.7. Hidrogeología

La red de drenaje, el nivel freático, los caudales, los coeficientes de escorrentía y de infiltración son factores hidrológicos e hidrogeológicos que condicionan la generación de remociones en masa, al estar directamente relacionados con la incorporación de agua en los suelos o macizos rocosos. Un suelo saturado experimenta variaciones en su cohesión según su granulometría. En general, la incorporación de agua en la estructura del suelo, que en algunos casos puede llevarlo a la saturación, genera una disminución de la resistencia del material al disminuir su tensión efectiva por el aumento de las presiones de poro. En el caso de las rocas, el agua puede infiltrarse en sus estructuras, ejerciendo presiones que se oponen a las tensiones que las mantienen estables, contribuyendo así a la pérdida de resistencia (Lara & Sepúlveda, 2008)

2.2.8. Uso de suelo

El uso de suelo se refiere a las diferentes categorías de utilización de las tierras en el sector rural. Entre las principales se encuentran: cultivos permanentes, cultivos transitorios y barbechos, pastos cultivados, pastos naturales, montes y bosques, páramos y otras áreas de uso específico. Esta clasificación permite identificar los distintos aprovechamientos que se le da al suelo en las zonas rurales del país (Chaves et al., 2012).

Para identificar la susceptibilidad por uso de suelo en Ecuador, se utilizó la información proporcionada por el INIGEMM (2013). Donde establecen una valoración de las unidades de suelo en una escala de 0 a 5, clasificándolo de nula a muy alta respectivamente. Los detalles de esta valoración y significado se presentan en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4.*Valoración de las unidades de uso de suelo y cobertura vegetal*

Uso	Valor
Cuerpo de Agua Natural	0
Bosque Intervenido	2
Páramo	2
Pasto Cultivado	2
Vegetación Arbustiva	2
Bosque Natural	3
Cultivos Indiferenciados	4
Cultivos de Ciclo corto	5

Nota: Tomada de (INIGEMM, 2013).

Tabla 5. *Valores y grado de susceptibilidad*

Valor	Susceptibilidad
0	Nula
1	Muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

Nota: Adaptado de (INIGEMM, 2013)

2.2.9. Clima

El clima influye en el tipo y extensión de los deslizamientos en masa debido a su relación con la hidrología y la vegetación de una región. En zonas templadas con lluvias moderadas y fluctuaciones estacionales de los niveles freáticos, se propicia la reactivación de deslizamientos. Por otro lado, en regiones semiáridas, sometidas a períodos de escasas y

abundantes precipitaciones, los daños por flujos superficiales afectan áreas muy extensas (Hincapié, 2011)

Entre los principales factores climáticos que provocan la erosión de laderas destacan las precipitaciones, la temperatura, el viento y la radiación solar, siendo las precipitaciones el más significativo. Estas no solo son consideradas uno de los desencadenantes más importantes de remociones en masa, sino que también reducen la resistencia de las estructuras al infiltrarse en las fracturas del macizo rocoso y/o en la estructura del suelo, disminuyendo así el coeficiente de fricción. Este factor es particularmente relevante en la generación de desprendimientos de rocas en zonas de acantilados, donde el agua se infiltra desde la parte superior y las caídas suelen ocurrir cerca de la cima de las laderas.

2.3. Factores desencadenantes de los movimientos en masa

Los factores desencadenantes o factores activos son procesos que, una vez que se cumplan una serie de factores condicionantes o factores inactivos, modifican los esfuerzos, la geometría del relieve o la resistencia que tienen los materiales en el terreno, provocando un deslizamiento de ladera.

2.3.1. Precipitación

Las precipitaciones influyen en la remoción en masa debido a su intensidad, duración y distribución. Por un lado, las lluvias de baja intensidad, pero prolongadas en el tiempo pueden desencadenar eventos de remoción en masa. Por otro lado, las precipitaciones de gran intensidad, pero de corta duración también pueden originar estos fenómenos en zonas propensas a ello (Ordoñez, 2019).

Las precipitaciones juegan un papel crucial en la estabilidad de los macizos rocosos y suelos, siendo uno de los factores desencadenantes más significativos de las remociones en masa. Su impacto se manifiesta de varias formas como: disminución de la resistencia, es cuando el agua se infiltra en las fracturas del macizo rocoso y en la estructura del suelo,

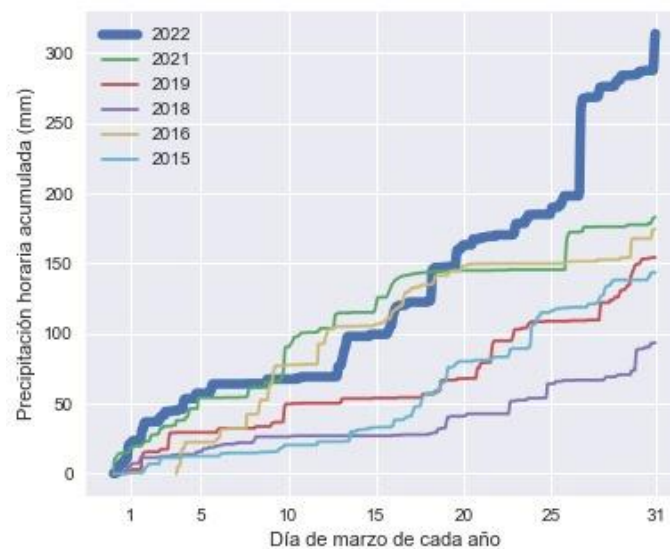
reduciendo la cohesión entre partículas, la reducción del coeficiente de fricción es por la presencia del agua que disminuye la fricción interna del material, facilitando su deslizamiento y por último el aumento de peso es cuando la saturación del material incrementa su peso, aumentando las fuerzas desestabilizadoras (Lara & Sepúlveda, 2008).

Según el (PDOT Sayausí, 2015), el sector Marianza posee una precipitación mensual de 92 mm y el pico máximo de la precipitación se da en los meses de abril a junio con un valor de 130.5 mm.

Según los datos de (Muñoz, 2022), del grupo de Investigación de Recursos Hídricos de la Universidad de Cuenca, realizó un estudio de precipitación mensual del mes de marzo en desde el año 2015 hasta el 2022, como se muestra en la Figura 12, también realizó un hietograma de precipitación suscitada el 27 de marzo del 2022 como se indica en la Figura 13.

Figura 12.

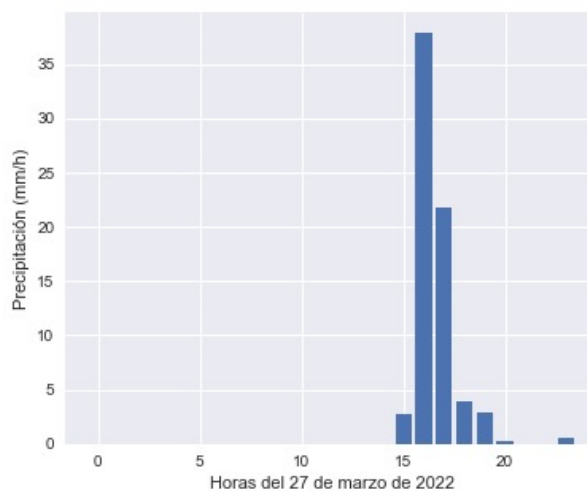
Precipitación mensual en marzo de cada año.



Nota: Tomado de (Muñoz, 2022)

Figura 13.

Precipitación del 27 de marzo 2022.



Nota: Tomado de (Muñoz, 2022)

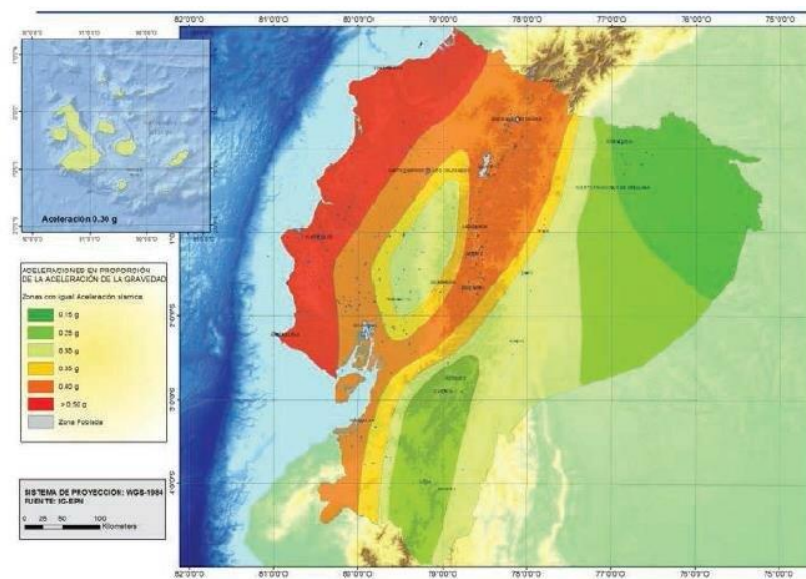
2.3.2. Actividad sísmica

La actividad sísmica constituye otro factor desencadenante de los movimientos en masa. Las deformaciones dinámicas generadas por las ondas sísmicas pueden provocar la licuefacción de suelos limosos saturados y poco compactos, el remoldeo de arcillas sensitivas y el colapso de arenas (Chacón, 2012).

Ecuador presenta una notable actividad sísmica debido a su ubicación en la zona de colisión entre las placas de Nazca y Sudamericana. En respuesta a esta realidad geológica, el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM) realizó en 2013 un estudio basado en el registro histórico de sismos y en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) 2011. Según el mapa de aceleración sísmica elaborada por la (NEC-SE-DS, 2015), Marianza se encuentra en una zona clasificada como $Z=0.25$, según el INIGEMM, (2013), indica una susceptibilidad baja a media. Los eventos sísmicos pueden desencadenar movimientos en masa al generar tensiones en el terreno que superan la resistencia de los materiales, especialmente en zonas con alta pendiente y presencia de materiales sueltos, como se muestra en la Figura 14.

Figura 14.

Zonas sísmicas y valor del factor de zona Z.



Nota: Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

2.3.3. Actividad antrópica:

Las actividades humanas ejercen un control primordial sobre la estabilidad de las laderas y son frecuentemente causantes de eventos de remoción en masa. Entre ellas se encuentran excavaciones, rellenos, construcción de estructuras, urbanización, cambios en el uso del suelo, extracción de áridos y acumulación de escombros. Estas intervenciones pueden desestabilizar las laderas al disminuir artificialmente la resistencia de los materiales, aportar material susceptible de ser movilizado en futuros eventos, y modificar los patrones de escorrentía superficial y la topografía. Adicionalmente, la deforestación asociada a la tala ilegal contribuye significativamente a esta problemática. Por lo tanto, un manejo inadecuado de las actividades antrópicas en zonas de ladera incrementa notablemente el riesgo de ocurrencia de remociones en masa (Lara & Sepúlveda, 2008).

2.4. Toma de muestra en campo.

Uno de los métodos para determinar el tamaño promedio de partículas dada por (Millanao, 2010), considera que cada partícula de árido presenta tres ejes ortogonales o

diámetros representativos. Estos ejes corresponden al eje mayor “a”, el eje medio “b” y el eje menor “c”. Estos ejes permiten describir el tamaño de la partícula si es un elipsoide. Otro parámetro importante de una partícula es el diámetro nominal D_n . El diámetro nominal es una medida equivalente del tamaño de la partícula, calculada considerando su volumen total como si fuera una esfera, utilizando los ejes. Matemáticamente, el diámetro nominal se expresa como:

$$D_n = (a \cdot b \cdot c)^{1/3} \quad (1)$$

2.5. Método Analytic Hierarchy Process (AHP)

Este método es propuesto por Thoma Saaty en 1980, la cual es un método cuantitativo que facilita la toma de decisiones complejas al generar escalas de prioridad basadas en la opinión de expertos u otros criterios (Nantes, 2019).

La escala de Saaty emplea el método de la comparación por pares para establecer una jerarquía de criterios. Se construye una matriz cuadrada donde cada fila y columna representa un criterio. A partir de esta matriz, se calcula el vector propio principal, que proporciona los pesos de cada criterio. Estos pesos representan la importancia relativa de cada criterio en la decisión final. La Tabla 6 suministra una escala tanto numérica como verbal para auxiliar en la elección de estos valores (Ramírez, 2004).

Tabla 6.

Escala de Saaty

Escala numérica	Escala verbal
1	Ambos criterios o elementos son de igual importancia
3	Débil o moderada importancia de uno sobre el otro
5	Importancia esencial o fuerte de un criterio sobre otro
7	Importancia demostrada de un criterio sobre otro
9	Importancia absoluta de un criterio sobre otro

2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores
2	Entre igual y moderadamente preferible
4	Entre moderada y fuertemente preferible
6	Entre fuerte y extremadamente preferible
8	Entre muy fuerte y extremadamente preferible

Nota: Tomado y adoptado por (Nantes, 2019)

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Revisión bibliográfica y contextualización

Se realizará una investigación sistemática de informes técnicos, estudios previos, libros y trabajos relacionados con movimientos de masa. Donde se analizarán los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa en la zona de estudio.

Para contextualizar el área de estudio se realizará una caracterización detallada de los aspectos geológicos, geomorfológicos y climáticos, lo que permitirá comprender las interacciones entre los diferentes componentes del sistema natural y sus implicaciones en la ocurrencia de estos eventos.

3.2. Recopilación de datos

La recopilación de datos se realizará mediante visitas de campo en donde se realizarán

- Recorrido en toda la zona para identificar las zonas afectadas por deslizamientos, tipos de movimientos, materiales involucrados y factores desencadenantes.
- Dimensionamiento de las áreas afectadas, mediante mediciones del ancho del deslizamiento y tamaños del material transportado.
- Registro fotográfico de las zonas afectadas, condiciones del terreno, materiales presentes y afectaciones a la población.

- Información climatológica, se recopilará información de precipitaciones con base al PDOT del GAD de Sayausi y estudios realizados en la zona.

Además, se utilizarán Sistemas de Información Geográfica (SIG) para superponer los diferentes datos y generar mapas temáticos a partir de información en formato de shapefile obtenidas del SIGTIERRAS y el Instituto Geográfico Militar (IGM), para el cual se hará uso del programa ArcGIS. Estos mapas brindaran información que ayuden a identificar los factores condicionantes en un movimiento en masa, para el cual se elaboraran los siguientes mapas: Mapa de ubicación, formaciones geológicas, litológico, pendientes, hidrológico y uso de suelo.

3.3. Análisis de datos

- Se realizará una evaluación detallada de las afectaciones producidas por los deslizamientos en el sector Marianza, a través del análisis de fotografías. Esto permitirá cuantificar la extensión de las zonas afectadas, el volumen de material movilizado y los daños a infraestructuras y viviendas.
- Determinación de los principales factores geológicos que condicionan la ocurrencia de los movimientos en masa en Marianza (Formaciones geológicas, depósitos geológicos, litología, pendientes, relieve, uso de suelo, hidrología y el clima), así como sus factores desencadenantes (precipitación, actividades antrópicas y actividad sísmica).

3.4. Elaboración del mapa de susceptibilidad

Con la información obtenida se realizará un mapa de para identificar las zonas de mayor susceptibilidad a movimientos en masa, donde se correlacionen los factores condicionantes y detonantes del sector. Para ello, se empleará la Técnica de Análisis Jerárquico (AHP) propuesta por Saaty. Esta técnica permitirá ponderar la importancia relativa de diversos criterios, tales como la pendiente, la geología, geomorfología, la litología, uso de

suelo, precipitación, entre otros. La ponderación de estos criterios se basará en juicios de expertos y en la información recopilada en campo.

- ***Identificación de criterios***

Se identificar los factores condicionantes y desencadenantes de deslizamientos más relevantes en el sector, para establecer una lista definitiva de criterios a considerar en el análisis. Para la evaluación de los criterios se tomará en cuenta los valores de susceptibilidad descritos por algunos expertos.

- ***Elaboración de matrices de comparación por pares***

Para cada nivel de la jerarquía, se construirán matrices de comparación por pares, en las cuales se comparará la importancia relativa de cada criterio o subcriterio respecto a los demás, utilizando una escala de valores de Saaty, descrita en la Tabla 6.

- ***Cálculo de los pesos***

A partir de las matrices de comparación por pares, se calcularán los pesos normalizados de cada criterio, los cuales representarán su importancia relativa dentro de la jerarquía.

- ***Elaboración del mapa de susceptibilidad***

Utilizando los pesos obtenidos a través del método AHP, se procederá a combinar las capas temáticas correspondientes a cada factor en el programa ArcGIS. Mediante operaciones matemáticas para combinar los factores condicionantes y detonantes, se generará el mapa, donde se identificarán el nivel de susceptibilidad (baja, media, alta, muy alta).

- ***Validación del mapa***

El mapa de susceptibilidad generado se validará comparándolo con la ubicación de deslizamientos suscitados en el sector.

CAPITULO IV: DESARROLLO E INVESTIGACIÓN

4.1. Identificación de zonas afectadas

Por medio de la búsqueda de información se conoció que el sector de Marianza ha sido afectada constantemente por deslizamientos en toda su zona entre los movimientos en masa que han generado una mayor afectación en la zona corresponden al 27 de marzo del 2022 y al 5 mayo del 2024.

Con el fin de evaluar la situación, se realizó un recorrido a lo largo de la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal. Durante esta inspección, se evidenciaron numerosos deslizamientos de tierra, siendo particularmente relevantes tres eventos de gran magnitud ubicados entre los kilómetros 10 y 14. Estos deslizamientos han generado graves consecuencias, afectando tanto la infraestructura vial como las viviendas de la zona y provocando pérdidas económicas considerables. Para facilitar su localización y seguimiento, se georreferenciaron los puntos centrales de cada deslizamiento, como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7.

Coordenadas de los deslizamientos en Marianza

Deslizamiento	Coordenada X	Coordenada Y
kilómetro 10	711220.16 m	9684191.16 m
kilómetro 13	708395.00 m	9685905.00 m
kilómetro 14	707756.00 m	9686665.00 m

Los deslizamientos identificados presentan una característica marcada ya que los 3 eventos se sitúan en los cauces de quebradas que descienden de las partes altas del sector.

4.2. Dimensionamiento de las áreas afectadas

En los deslizamientos localizados en el kilómetro 10 y 14, se realizó un recorrido de 500 metros a lo largo de las quebradas afectadas. Durante este recorrido se realizaron mediciones directas del ancho de las quebradas tanto en su sección superior como inferior,

con el objetivo de cuantificar la magnitud de expansión de las quebradas. Los datos obtenidos fueron tabulados y analizados mediante software Excel, el cual se indican las Tablas 8 y 9.

Tabla 8.

Datos del ancho afectado en el km 10.

Ancho Afectado (kilómetro 10)		
	Sección inferior	Sección Superior
Tramo 1	7.15	19.85
Tramo 2	9.57	19.2
Tramo 3	7.1	26.25
Tramo 4	3.8	21.5
Tramo 5	7.3	23.68
Tramo 6	7.25	22.1
Promedio	7.03	22.10

Nota: Elaboración propia

Tabla 9. *Datos del ancho afectado del km 14*

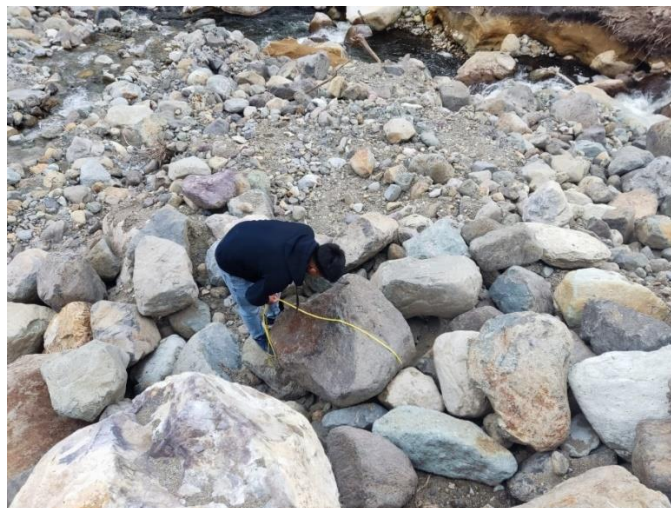
Ancho afectado (kilómetro 14)		
	Sección superior	Sección inferior
Tramo 1	28.5	24.5
Tramo 2	31.3	28.1
Tramo 3	36.25	33.7
Tramo 4	30.5	26.3
Tramo 5	22.4	16.1
Tramo 6	25.2	23.5
Tramo 7	23.5	17.36
Tramo 8	27.1	22.5
Promedio	28.09	24.01

Nota: Elaboración propia

Para caracterizar los materiales transportados por los deslizamientos en las quebradas ubicadas en los kilómetros 10 y 14, se aplicó la metodología propuesta por (Millanao, 2010). In situ se midieron los diámetros de los tres ejes principales de una serie de muestras granulare como se indica en la Figura 15. Los datos obtenidos se procesaron en una hoja de cálculo, con el fin de obtener el diámetro nominal promedio de los materiales en los deslizamientos descritos, mediante la ecuación 1 dada por Millanao. La tabla elaborada para determinar el diámetro nominal de los materiales se presenta en el Anexo 4.

Figura 15.

Toma de tamaños de rocas en campo



Nota: Elaboración propia

4.3. Elaboración de mapas

Para la elaboración de mapas se empleó el programa ArcGIS, Este programa permite generar una serie de mapas temáticos, donde se incluyen los mapas de pendiente, geología, litología y uso del suelo, a partir de información SIG, los cuales son fundamentales para comprender las características físicas y ambientales del área de estudio. Los mapas detallados se presentarán en el Anexo 6.

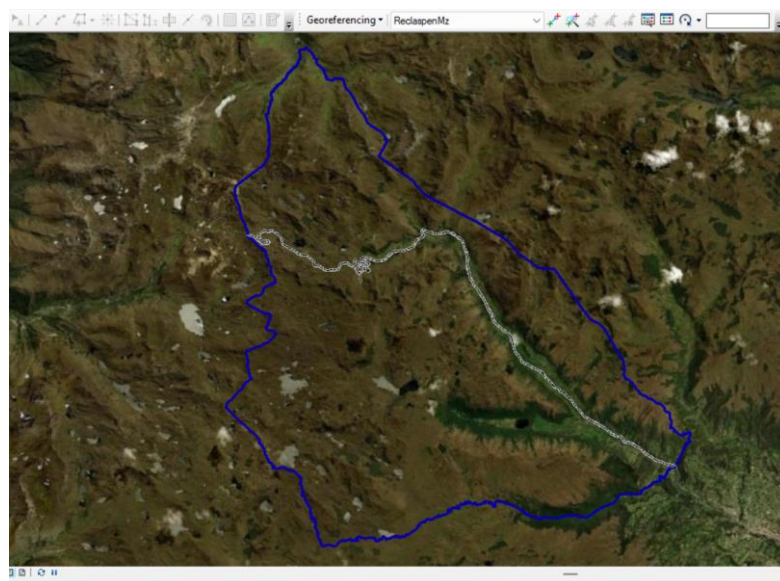
4.3.1. Mapa de ubicación

Con el fin de establecer un marco geográfico para el análisis, se elaboró un mapa base del área de estudio. Para ello, se empleó un mapa del catastro del cantón Cuenca en formato CAD, georreferenciado previamente en Civil 3D.

Mediante este software se extrajo el polígono de la parroquia Sayausi. Posterior a ello, se delimito y ajusto el polígono del sector Marianza con base a los mapas que se presentan en el PDOT de Sayausi. El polígono del sector Marianza fue exportado a formato shapefile para su integración en un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se hará uso del programa ArcGIS, como se aprecia en la Figura 16.

Figura 16.

Elaboración del polígono de Marianza



Nota: Elaboración propia

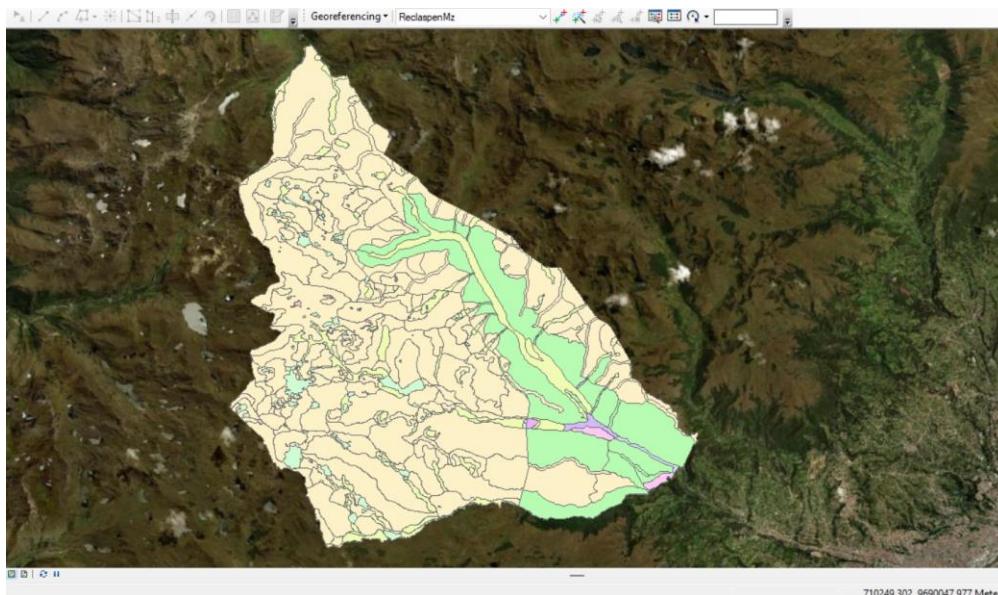
4.3.2. Mapa geológico, litológico y uso de suelo

Para generar los mapas geológicos, litológico y de uso del suelo, se utilizó el SIGTIERRAS. Se obtuvo un shapefile de geopedología del Ecuador a escala 1:25.000, el cual contiene información detallada sobre las características del suelo, la geología y el uso actual del suelo. Mediante la herramienta Clip del software ArcGIS, el shapefile fue delimitado con

el polígono del área de estudio para extraer los datos específicos de la zona de interés, expresada en la Figura 17.

Figura 17.

Delimitación de mapas



Nota: Elaboración propia

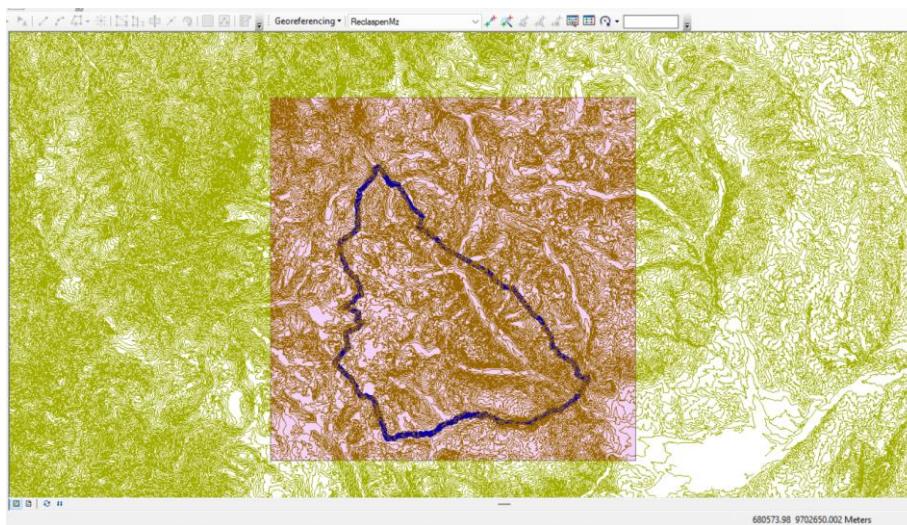
4.3.3. Mapa de pendiente

Para generar el mapa de pendientes se obtuvo un shapefile de las curvas de nivel del Ecuador dadas por el IGM.

- Se inicio por crear un polígono, el mismo debe cubrir una mayor área en relación con la zona de estudio para obtener una mejor triangulación y obtener mejores resultados principalmente en los límites de la zona. Se creo un Clip de las curvas de nivel con referencia al polígono creado como se aprecia en la Figura 18.

Figura 18.

Delimitación de cuervas de nivel

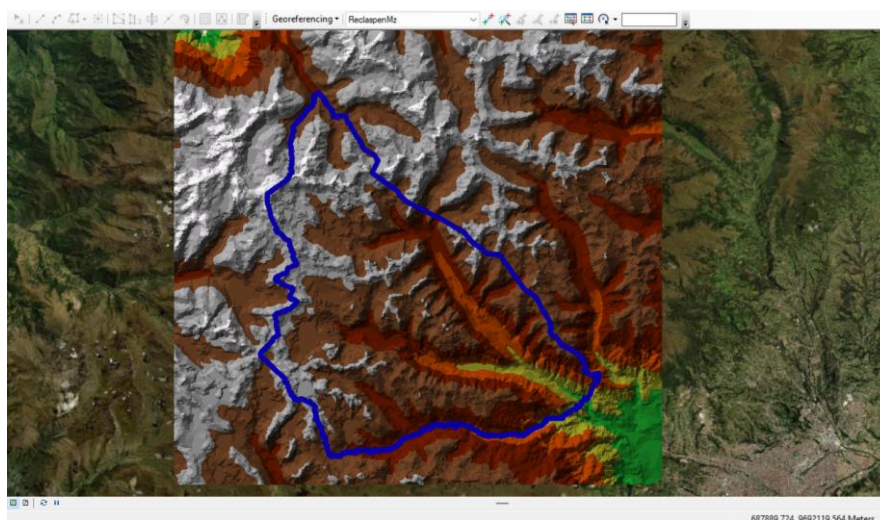


Nota: Elaboración propia

- Se generó una red irregular de triángulos (TIN) a partir de las curvas de nivel, utilizando la elevación de cada curva como valor z. La herramienta TIN de ArcGIS interpoló los puntos de las curvas para crear una superficie continua del terreno, tal como se muestra en la Figura 19.

Figura 19.

Creación de TIN

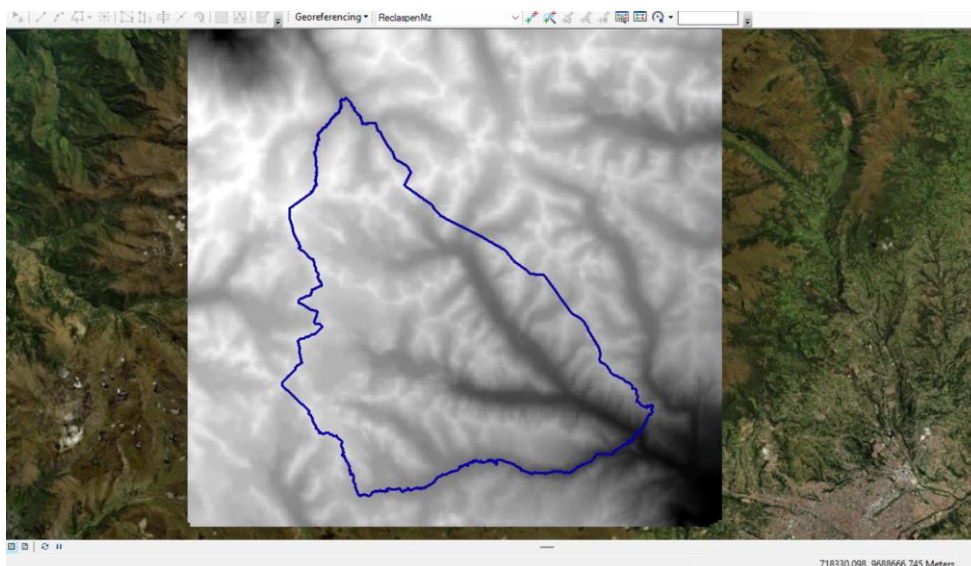


Nota: Elaboración propia

- A partir de la red de triángulos generada por el TIN, se crea un raster digital del terreno (DEM) mediante un proceso de interpolación. Este DEM proporciona una representación más detallada y homogénea de la superficie, como se indica en la Figura 20.

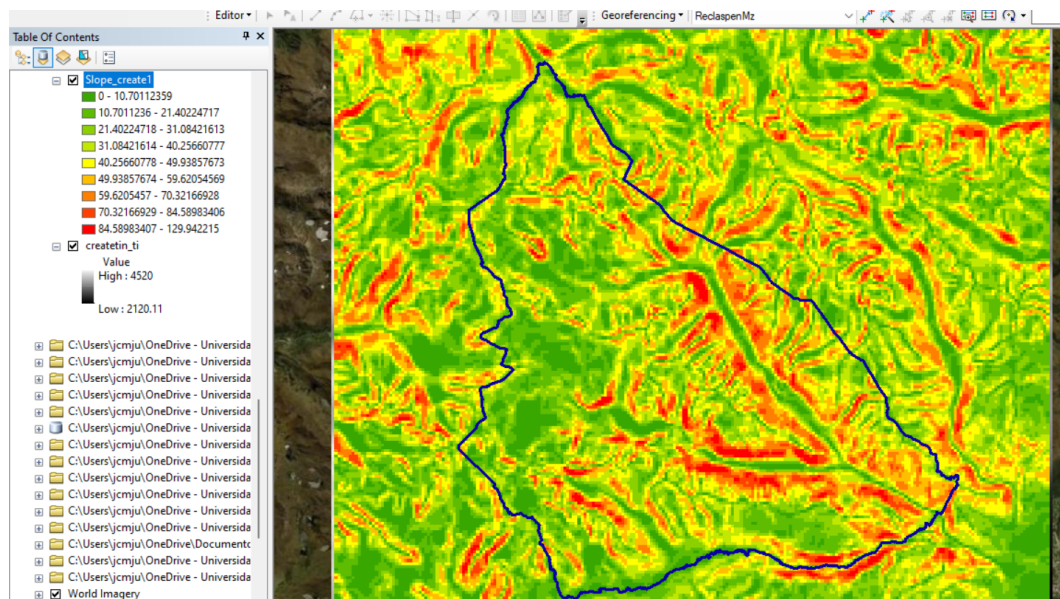
Figura 20.

Generación del Ráster



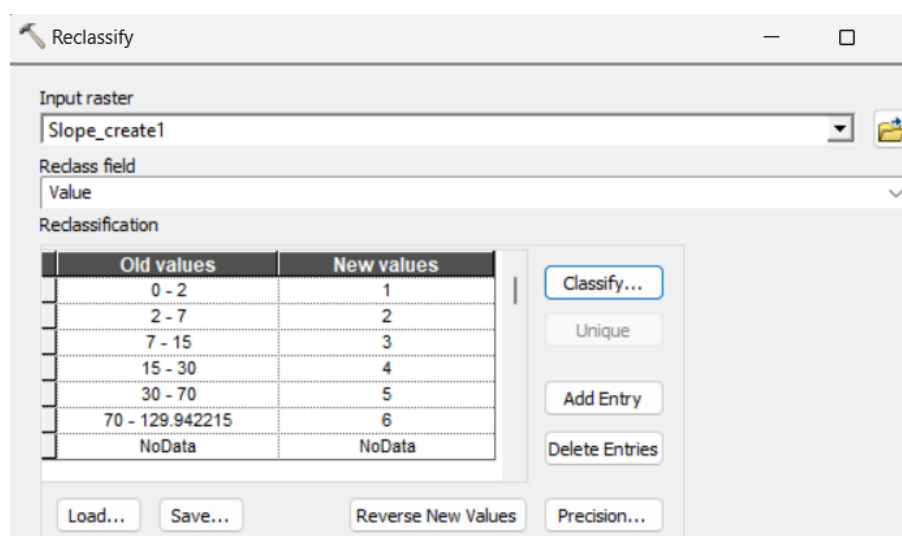
Nota: Elaboración propia

- Utilizando la herramienta Slope de ArcGIS, se calculó el mapa de pendientes a partir del raster digital del terreno (DEM) generado previamente. Los resultados se expresaron en porcentaje, como se muestra en la Figura 21.

Figura 21.*Mapa de pendientes inicial*

Nota: Elaboración propia

- Luego, con la herramienta Reclassify se realiza una clasificación en 6 clases con los rangos que establece el INIGEMM, para obtener un mejor análisis de susceptibilidad, como se indica en la Figura 22.

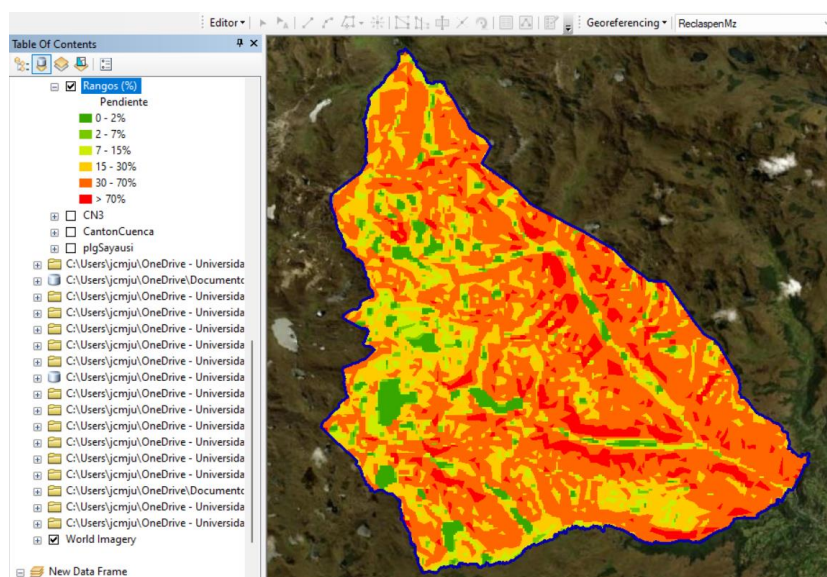
Figura 22.*Clasificación de pendientes.*

Nota: Elaboración propia

- El mapa de pendientes clasificado se vectorizó utilizando la herramienta Raster to Polygon, transformándolo en un shapefile. Posteriormente, se recortó el shapefile resultante a la extensión del polígono de Marianza mediante la herramienta Clip. Finalmente, se calcularon las áreas de cada clase de pendiente dentro del polígono delimitado, como se indica en la Figura 23.

Figura 23.

Mapa de pendientes de Marianza.



Nota: Elaboración propia

4.4. Elaboración del mapa de susceptibilidad

4.4.1. Identificación de factores

Con base a la información recopilada y criterio de expertos, se seleccionaron 5 factores condicionantes de los deslizamientos: La geología, geomorfología, pendiente, litología y uso de suelo. Mientras que, en el caso de los factores detonantes se evaluó únicamente a la precipitación debido a su interacción con los deslizamientos suscitados anteriormente.

4.4.2. *Elaboración de matrices y cálculo de pesos*

Para determinar la importancia relativa de los factores condicionantes de los deslizamientos, se utilizó la técnica de la matriz de comparación por pares de Saaty. Se construyó una matriz de 5x5, donde cada celda representa la comparación entre dos factores. Los valores asignados a cada celda, siguiendo la escala de Saaty, permitieron calcular los pesos normalizados de cada factor. Se verificó la consistencia de la matriz para garantizar la fiabilidad de los resultados. Cada factor condicionante fue evaluado con base a 5 parámetros pertenecientes a cada uno de ellos, como se muestran en las Tablas a continuación:

Tabla 10.

Valores asignados para los parámetros geológicos.

Matriz de Comparación de pares del parámetro de Geología					
GEOLOGIA	D. Glaciares	D. Coluvial	D. F Glaciares	Fm. Celica	Fm. Tarqui
Depósitos Glaciares	1.00	2.00	4.00	6.00	8.00
Depósitos coluviales	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Depósitos Fluvio Glaciares	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
Formación Célica	0.17	0.25	0.50	1.00	2.00
Formación Tarqui	0.13	0.17	0.25	0.50	1.00
SUMA	2.04	3.92	7.75	13.50	21.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 11.

Pesos de los parámetros de la geología

Matriz de Normalización de pares del parámetro Geología							
GEOLOGIA	D. Glaciares	D. Coluvial	D. F Glaciares	Fm. Celica	Fm. Tarqui	Vector priorización	%
Depósitos Glaciares	0.49	0.51	0.52	0.44	0.38	0.468	46.84

Depósitos coluviales	0.24	0.26	0.26	0.30	0.29	0.268	26.81
Depósitos Flu Glaciares	0.12	0.13	0.13	0.15	0.19	0.144	14.36
Formación Celica	0.08	0.06	0.06	0.07	0.10	0.076	7.59
Formación Tarqui	0.06	0.04	0.03	0.04	0.05	0.044	4.41

Nota: Elaboración propia

Tabla 12.

Valores asignados para los parámetros de geomorfología.

Matriz de Comparación de pares del parámetro de Geomorfología						
GEOMORFOLOGIA	P. Glaciares	Cimas frías. CP	P. Paramo	R. cimas frías	C. Agua	
Paisajes Glaciares	1.00	2.00	3.00	5.00	9.00	
Cimas frías C. Paleoglaciares	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00	
Paisajes de paramo	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	
Relieves de M. cimas frías	0.20	0.33	0.50	1.00	2.00	
Cuerpos de Agua	0.11	0.20	0.33	0.50	1.00	
SUMA	2.14	4.03	6.83	11.50	20.00	

Nota: Elaboración propia

Tabla 13.

Pesos de los parámetros de la geomorfología

Matriz de comparación de pares del paramero de geomorfología							
Geomorfología	P. Glaciares	Cimas frías CP	P. Paramo	R. cimas frías	C. Agua	Vector priorización	%
Paisajes Glaciares	0.47	0.50	0.44	0.43	0.45	0.457	45.72
Cimas frías C. Paleoglaciares	0.23	0.25	0.29	0.26	0.25	0.257	25.69

Paisajes de paramo	0.16	0.12	0.15	0.17	0.15	0.150	14.99
Relieves de M. cimas frías	0.09	0.08	0.07	0.09	0.10	0.087	8.72
Cuerpos de Agua	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.049	4.87

Nota: Elaboración propia

Tabla 14.

Valores asignados para los parámetros de pendiente.

Matriz de comparación de pares del parámetro de Pendiente					
PENDIENTE	Muy Alta (>70)	Alta (30-70)	Media (15-30)	Baja (7-15)	Muy Baja (0-7)
Muy Alta (>70)	1.00	2.00	4.00	6.00	9.00
Alta (30-70)	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Media (15-30)	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
Baja (7-15)	0.17	0.25	0.50	1.00	2.00
Muy Baja (0-7)	0.11	0.17	0.25	0.50	1.00
SUMA	2.03	3.92	7.75	13.50	22.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 15.

Pesos de los parámetros de la pendiente

Matriz de comparación de pares del parámetro de Pendiente							
PENDIENTE	Muy Alta (>70)	Alta (30-70)	Media (15-30)	Baja (7-15)	Muy Baja (0-7)	Vector priorización	%
Muy Alta (>70)	0.49	0.51	0.52	0.44	0.41	0.475	47.47
Alta (30-70)	0.25	0.26	0.26	0.30	0.27	0.266	26.58
Media (15-30)	0.12	0.13	0.13	0.15	0.18	0.142	14.20
Baja (7-15)	0.08	0.06	0.06	0.07	0.09	0.075	7.51

Muy Baja (0-7)	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.042	4.24
-------------------	------	------	------	------	------	--------------	------

Nota: Elaboración propia

Tabla 16.

Valores asignados para los parámetros de litología.

Matriz de comparación de pares del parámetro de Litología						
LITOLOGIA	Tillitas	Till, tillita	M. Finos y f. angulares rocosos	Tobas andesitas	Tobas y aglomerados	
Tillitas	1.00	2.00	3.00	6.00	7.00	
Till, tillita	0.50	1.00	2.00	3.00	6.00	
M. Finos y f. angulares rocosos	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00	
Tobas andesitas	0.17	0.33	0.50	1.00	2.00	
Tobas y aglomerados	0.14	0.17	0.33	0.50	1.00	
SUMA	2.14	4.00	6.83	12.50	19.00	

Nota: Elaboración propia

Tabla 17.

Pesos de los parámetros de la litología

Matriz de comparación de pares del parámetro de litología							
LITOLOGIA	Tillitas	Till, tillita	M. Finos y angulares rocosos	Tobas andesitas	Tobas y aglomera dos	Vector priorización	%
Tillitas	0.47	0.50	0.44	0.48	0.37	0.451	45.08
Till, tillita	0.23	0.25	0.29	0.24	0.32	0.266	26.64
M. Finos y f. angulares rocosos	0.16	0.13	0.15	0.16	0.16	0.149	14.90
Tobas andesitas	0.08	0.08	0.07	0.08	0.11	0.084	8.39
Tobas y aglomerados	0.07	0.04	0.05	0.04	0.05	0.050	4.99

Nota: Elaboración propia

Tabla 18.*Valores asignados para los parámetros de uso de suelo*

Matriz de comparación de pares del parámetro de Uso de suelo					
USO DE SUELO	P. Cultivado	B. Intervenido	Paramo	V. arbustiva	C. Agua
Pastos cultivados	1.00	2.00	5.00	8.00	9.00
Bosque Intervenido	0.50	1.00	2.00	5.00	8.00
Paramo	0.20	0.50	1.00	2.00	5.00
Vegetación arbustiva	0.13	0.20	0.50	1.00	2.00
C. Agua	0.11	0.13	0.20	0.50	1.00
SUMA	1.94	3.83	8.70	16.50	25.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 19.*Pesos de los parámetros del uso de suelo*

Matriz de comparación de pares del parámetro de Uso de suelo							
USO DE SUELO	P. Cultiva	B. Inter	Paramo	V. arbustiva	C. Agua	Vector priorización	%
Pastos Cultivado	0.52	0.52	0.57	0.48	0.36	0.492	49.18
B. Intervenido	0.26	0.26	0.23	0.30	0.32	0.275	27.45
Paramo	0.10	0.13	0.11	0.12	0.20	0.134	13.40
V. arbustiva	0.06	0.05	0.06	0.06	0.08	0.063	6.30
C. Agua	0.06	0.03	0.02	0.03	0.04	0.037	3.67

Nota: Elaboración propia

El factor precipitación se evaluó considerando los eventos pluviales que antecedieron a los deslizamientos en el sector. Expertos indican que estos movimientos en masa se asocian a precipitaciones superiores al 50% más de su normal. En este caso el peso de precipitación a utilizar corresponde al 60 – 80% superior a su normal.

Tabla 20.*Valores asignados de precipitación*

Matriz de comparación de pares del parámetro de Precipitación					
PRECIPITACION	60-80%	40-60%	30-40%	25-30%	20-25%
60-80% superior a su normal	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
40-60% superior a su normal	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00
30-40% superior a su normal	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
25-30% superior a su normal	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
20-25% superior a su normal	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00
SUMA	2.28	4.08	6.83	10.50	15.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 21.*Pesos de la precipitación*

Matriz de comparación de pares del parámetro de precipitación							
PRECIPITACION	60-80%	40-60%	30-40%	25-30%	20-25%	Vector priorización	%
60-80% superior a su normal	0.44	0.49	0.44	0.38	0.33	0.416	41.62
40-60% superior a su normal	0.22	0.24	0.29	0.29	0.27	0.262	26.18
30-40% superior a su normal	0.15	0.12	0.15	0.19	0.20	0.161	16.11
25-30% superior a su normal	0.11	0.08	0.07	0.10	0.13	0.099	9.86
20-25% superior a su normal	0.09	0.06	0.05	0.05	0.07	0.062	6.24

Nota: Elaboración propia

Una vez evaluados los parámetros de cada factor condicionante, de igual manera se procedió a asignarles pesos relativos para determinar su importancia en el modelo, como se indica en las Tablas 22 y 23.

Tabla 22.*Valoración de los factores condicionantes*

Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación					
Factores condicionantes	Pendiente	Geología	litología	geomorfología	Uso de suelo
Pendiente	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Geología	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00
litología	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
geomorfología	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
Uso de suelo	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00
SUMA	2.28	4.08	6.83	10.50	15.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 23.*Pesos de los factores condicionantes*

Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación							
Factores condicionantes	Pendiente	Geología	litología	geomorfología	Uso de suelo	Vector priorización	%
Pendiente	0.44	0.49	0.44	0.38	0.33	0.416	41.62
Geología	0.22	0.24	0.29	0.29	0.27	0.262	26.18
litología	0.15	0.12	0.15	0.19	0.20	0.161	16.11
geomorfología	0.11	0.08	0.07	0.10	0.13	0.099	9.86
Uso de suelo	0.09	0.06	0.05	0.05	0.07	0.062	6.24

Nota: Elaboración propia

Con los pesos obtenidos de cada factor, se realiza una evaluación similar al tiempo de retorno, los criterios para evaluar el periodo de retorno se sustentan en el tiempo de ocurrencia de estos fenómenos, especialmente los dos grandes deslizamientos registrados, lo que llevó a adoptar un periodo de retorno de 5 años, sin embargo, se requiere un peso por lo que se emplea el método de Saaty como se muestra en las Tablas 24 y 25.

Tabla 24.*Parámetros de evaluación (tiempo de retorno)*

Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación					
TIEMPO DE RETORNO	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
5 años	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
10 años	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
25 años	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
50 años	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
100 años	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 25.*Pesos de los parámetros de evaluación*

Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación							
TIEMPO DE RETORNO	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	Vector priorización	%
5 años	0.56	0.64	0.52	0.43	0.36	0.503	50.28
10 años	0.19	0.21	0.31	0.31	0.28	0.260	26.02
25 años	0.11	0.07	0.10	0.18	0.20	0.134	13.44
50 años	0.08	0.04	0.03	0.06	0.12	0.068	6.78
100 años	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.035	3.48

Nota: Elaboración propia

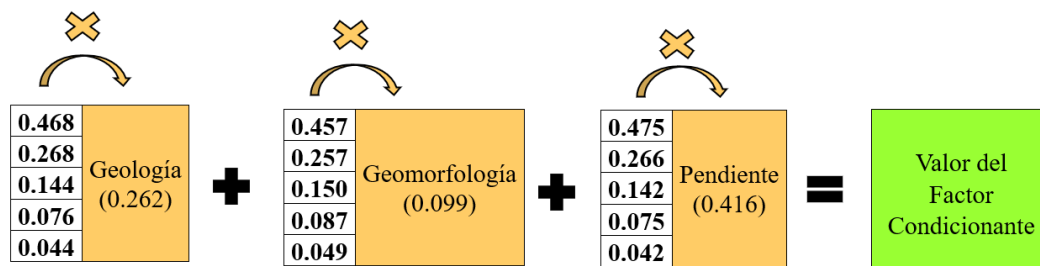
4.4.3. Elaboración del mapa de susceptibilidad

Mediante el programa ArcGIS, se colocaron los pesos de los parámetros evaluados de cada factor condicionante, luego, con la herramienta “Intersect” del programa se unieron todos los factores condicionantes a un solo shapefile.

Luego se calculó el valor de factor condicionante, el cual consiste en la suma de los pesos de los parámetros evaluados multiplicados por el peso del factor condicionante, como se puede observar en la Figura 24.

Figura 24.

Cálculo del valor de factor condicionante



Nota: Elaboración propia

Una vez obtenido el valor del factor condicionante, se calculó el valor de susceptibilidad mediante una ponderación lineal. Este valor se obtuvo multiplicando el valor del factor condicionante por su peso correspondiente (70%), sumado el producto del valor del factor detonante por su peso (30%), como se expresa en la siguiente fórmula.

$$V. Susceptibilidad = (Valor FC \times 0.7) + (Valor FD \times 0.3) \quad (2)$$

El factor detonante corresponde al peso de la precipitación presentada en la tabla 25, para el cual se tomó el valor del peso correspondiente al (60 – 80%) superior a su normal.

Posterior, se calculó el índice de susceptibilidad final el cual se determinó sumando el valor de susceptibilidad inicial por su peso (90%) con el valor de parámetros de evaluación correspondiente al tiempo de retorno multiplicado por su respectivo peso (10%). Esta expresión permite considerar tanto la susceptibilidad intrínseca como la influencia del tiempo de retorno. El valor de parámetros de evaluación se obtiene de la tabla 27, el cual corresponde al tiempo de retorno de 5 años. La fórmula aplicada se indica a continuación:

$$V. Susceptibilidad = (Suscp inicial \times 0.9) + (Valor PE \times 0.1) \quad (3)$$

A partir de los valores de susceptibilidad calculados, se establecieron rangos. Estos rangos se definieron considerando que la pendiente fue identificada como el factor condicionante más influyente en el área de estudio, mismos que se expresan en la Tabla 26.

Tabla 26.

Rangos de susceptibilidad

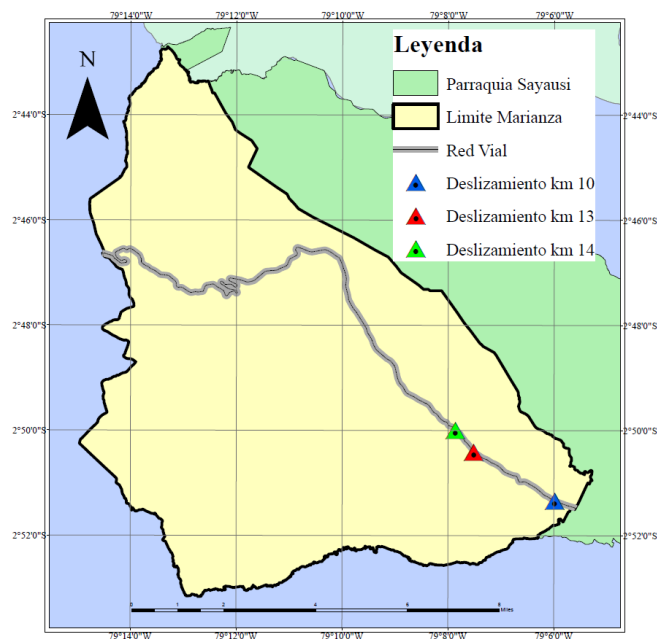
Nivel	Rango
Muy alto	$0.462 \leq P \leq 0.330$
Alto	$0.330 \leq P < 0.252$
Medio	$0.252 \leq P < 0.210$
Bajo	$0.210 \leq P < 0.189$

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO V: RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. Identificación de deslizamientos en el sector Marianza y su geología

Marianza ha experimentado múltiples eventos de deslizamiento en los últimos dos años, generando un significativo impacto socioeconómico en la comunidad. Durante una reciente inspección de campo, se identificaron deslizamientos de gran magnitud en el sector, dejando en evidencia su vulnerabilidad. En el mapa de ubicación, expresada en la Figura 25, se indica las zonas donde se produjeron los deslizamientos.

Figura 25.*Mapa de ubicación*

Nota: Elaboración propia

Los deslizamientos presentados en el kilómetro 13 y 14, corresponden al ocurrido el 5 de mayo del 2024. Este deslizamiento es de tipo flujo de detritos, mismos que fueron desencadenado por la presencia de las intensas lluvias, como se observa en la Figura 26.

Figura 26.*Flujo de detritos en el km 14*

Nota: Fuente (Federico Córdova, 2024)

En esta zona de flujo de detritos del km 14, se pudo identificar que el material arrastrado se compone de grandes fragmentos de roca, bloques, arenas y material arcilloso, materiales propios de depósitos coluviales, fluviales y depósitos glaciares. En la Figura 27, se aprecia una mezcla heterogénea de materiales de diversos tamaños y formas, mismas que dejan en evidencia la alta energía de arrastre del flujo.

Figura 27.

Litología en la zona de flujo de detritos



Nota: Fotografía tomada por autores

El área afectada por el deslizamiento revela la presencia de un antiguo depósito glaciar. La evidencia geológica, caracterizada por una amplia gama de materiales, desde arcillas hasta grandes bloques, corrobora esta interpretación. Según información recopilada, estos suelos son altamente susceptibles al incremento de la presión intersticial, durante los eventos de lluvia intensa, como se indica en la Figura 28.

Figura 28.

Depósito glaciar en la zona de flujo de detritos del km 14



Nota: Fotografía tomada por autores

El área afectada por el flujo del kilómetro 14, presenta depósitos coluviales no consolidados, los cuales, son altamente susceptibles a la erosión hídrica. La saturación de estos materiales a causa del agua reduce significativamente su cohesión, incrementando el riesgo de generación de flujos de detritos. En la Figura 29, se muestra la presencia de depósitos coluviales no consolidados, con presencia de bloques y gravas envueltas en una matriz arcillosa.

Figura 29.

Deposito coluvial no consolidado



Nota: Fotografía tomada por autores

La Figura 30, muestra el segundo deslizamiento analizado que corresponde al ocurrido el 27 de marzo de 2022 entre el kilómetro 10 de la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal, este se clasifica como un flujo de detritos, este evento es considerado uno de los más catastróficos para el sector Marianza.

Figura 30.

Deslizamiento de flujos de detritos en el km 10.



Nota: Fuente (Federico Córdova, 2022)

El área de este deslizamiento está influenciado por la presencia de depósitos coluviales gruesos, con características similares al primer deslizamiento, durante las intensas lluvias estos materiales pierden cohesión provocando el flujo de detritos. En la Figura 31, se observa la presencia del depósito coluvial grueso, con bloques angulares de gran tamaño, compuestas por una matriz de material fino, el cual no presenta una estratificación definida.

Figura 31.

Deposito coluviales gruesos.



Nota: Fotografía tomada por autores

Durante la inspección, se observaron afloramientos rocosos en la quebrada, los cuales presentan una intensa meteorización y erosión. La presencia de bloques de gran tamaño, con diámetros desde los 170 cm, indica una fragmentación de la roca y un alto potencial de desprendimientos, como se aprecia en la Figura 32.

Figura 32.

Afloramientos rocosos fracturados.



Nota: Fotografía tomada por autores

5.2. Dimensionamiento de las áreas afectadas

5.2.1. Afectaciones en la población

La Figura 33, evidencia las graves consecuencias del deslizamiento en el kilómetro 10: una vivienda totalmente destruida e inhabitable. El deslizamiento depositó cerca de 7000 metros cúbicos de material, destruyendo todo a su paso.

Figura 33.

Vivienda afectada en el km 10



Nota: Fotografía toma por autores

En la Figura 34, se observa otra estructura colapsada, por un deslizamiento producido por la actividad antrópica y un inadecuado drenaje de aguas.

Figura 34.

Deslizamiento por actividades antrópicas.



Nota: Fotografía toma por autores

Los deslizamientos ocasionados el 5 de mayo, también trajeron grandes repercusiones como la destrucción de una vivienda en el km 13 como se muestra en la figura 35 y la afectación de más 2.000 metros de vías con 10.000 metros cúbicos depositados.

Figura 35.

Afectación en el km 13.



Nota: Fotografía toma por autores

5.2.2. Expansión de quebradas

En el flujo que se presentó en el kilómetro 14, se pudo determinar que el ancho afectado va desde los 16.1 m hasta los 28.1 metros en la parte inferior, mientras que en la parte superior este valor incrementa desde los 22.4m m hasta los 36.25 metros, como se aprecia en la Figura 36.

Figura 36.

Medición del ancho de canal afectado del km14



Nota: Fotografía tomada por autores

En la Figura 37, se expone una imagen del antes y después de la ocurrencia del flujo en el kilómetro 14, donde es evidente la expansión del cauce a consecuencia del flujo de detritos.

Figura 37.

Afectación del flujo de detritos en el kilómetro 14.



Nota: Fotografía tomada por autores

En el flujo del kilómetro 10 los anchos medidos en la parte inferior de la quebrada van desde los 3.8 m hasta 9.57 metros, mientras que, en la parte superior los anchos afectados van desde los 19.2 m hasta los 26.25 metros, como se observa en la Figura 38.

Figura 38.

Medición del ancho de canal afectado del kilómetro 10



En la Figura 39, se expone el cambio que experimentó la quebrada después de los deslizamientos, donde se evidencia el cambio en la morfología del terreno y las dimensiones producidas por el evento.

Figura 39.

Afectación del flujo de detritos en el km 10.



Nota: Fotografía tomada por autores

5.2.3. Tamaños del material arrastrado

Se determinó que el diámetro nominal promedio de las rocas arrastradas en el flujo del km 14 fue de 100.137 cm, mientras que en el flujo del kilómetro 10, alcanzó los 132.967 cm.

Cabe destacar, que se nota en varios puntos la presencia de bloques de hasta 500 cm o más, en ambos eventos, estos bloques no fueron considerados para la interpretación del

diámetro nominal promedio. La Figura 40, perteneciente al flujo del kilómetro 14, muestra la presencia de estos bloques de grandes dimensiones con tamaños superiores a 7 metros de diámetro. El tamaño de estas rocas representa un peligro potencial para las infraestructuras que se presentan aguas abajo.

Figura 40.

Determinación de tamaños de grandes bloques.



Nota: Fotografía tomada por autores

5.3. Descripción de mapas e identificación de los factores condicionantes en un movimiento en masa

5.3.1. Geología

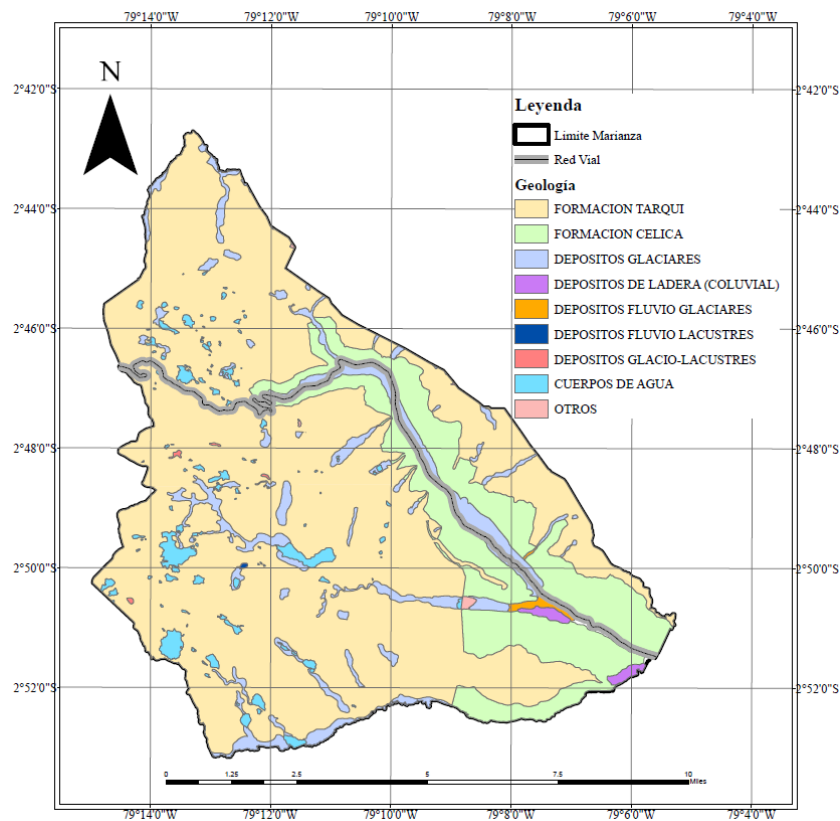
Según el mapa geológico elaborado se puede constatar que el sector Marianza presenta las siguientes formaciones y depósitos geológicos.

La formación Tarqui ocupa el 71.41% de su territorio, mientras que la formación Célica ocupa el 17.81% del territorio de Marianza, así mismo se identificó que el sector

presenta depósitos glaciares, coluviales, fluvioglaciares, fluvioacustres y glaciolacustres, de estos el sector presenta una mayor extensión en los depósitos glaciares ocupando el 7.53% del territorio, otro de los depósitos que destaca es el coluvial con una extensión de 73.61 ha, como se aprecia en la Figura 41. Los deslizamientos que se identificaron se ubican dentro de la formación Célica y los depósitos glaciares. Las dos formaciones geológicas presentan una susceptibilidad moderada a media, mientras que los depósitos glaciares y coluviales no consolidados mantienen una susceptibilidad alta.

Figura 41.

Mapa geológico del sector Marianza



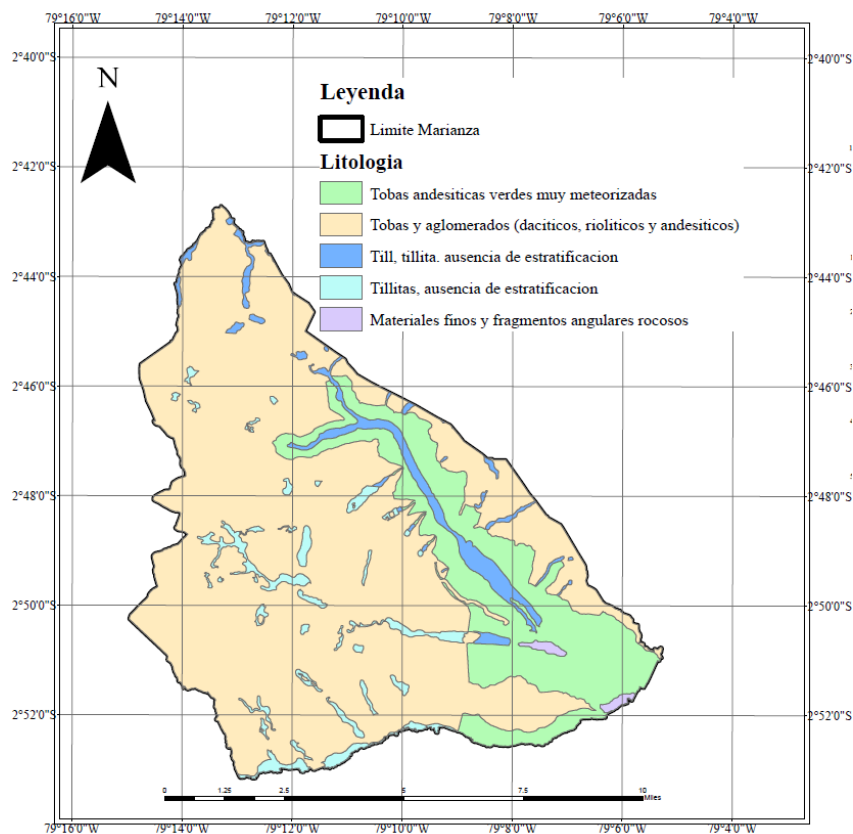
Nota: Elaborado por los autores

5.3.2. Litología

El mapa litológico, que se indica en la Figura 42, muestra que el sector está dominado por tobas y aglomerados (dacitas, riolíticos y andesíticos), el cual ocupa un 73.4% del territorio del sector, también se encuentran las tobas andesíticas verdes muy meteorizadas, el cual representa el 18% del territorio. Estas litologías son propias de las formaciones Tarqui y Célica con una susceptibilidad media. También se observa la presencia de Till y tillitas con ausencia de estratificación ocupando una extensión del 7.75% de Marianza.

Figura 42.

Mapa litológico del sector Marianza



Nota: Elaborado por los autores

5.3.3. Geomorfología

Mediante el registro fotográfico, se pudo identificar que Marianza posee paisajes compuestos por paramos y valles en forma de U, con pendientes muy pronunciadas. Esta

morfología es típica de regiones montañosas sometidos a procesos glaciares. Esto se pudo apreciar durante el registro fotográfico realizado en la zona, como se exhibe la Figura 43.

Figura 43.

Morfología del sector Marianza.



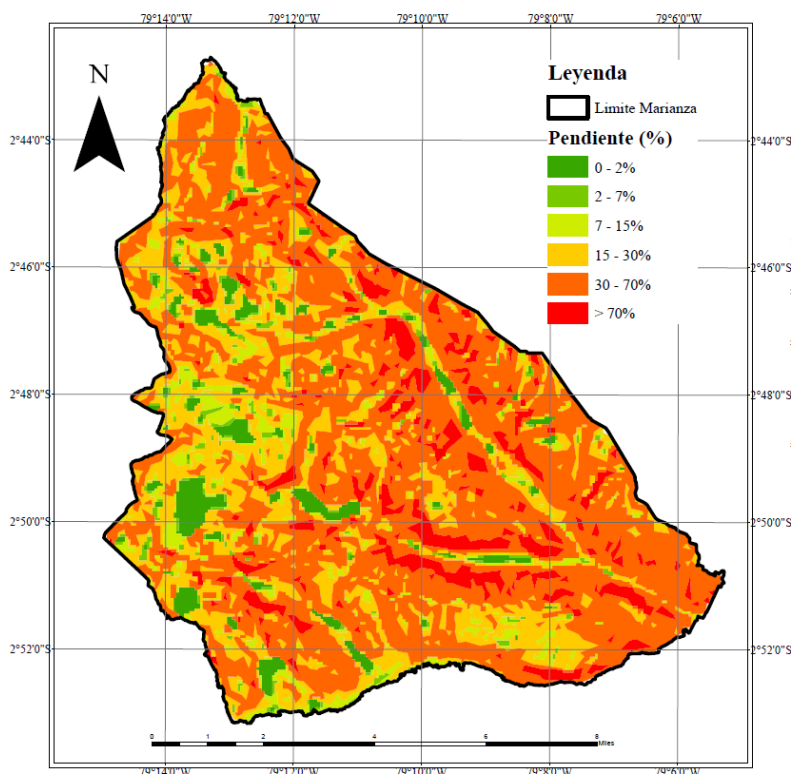
Nota: Fotografía tomada por Autores

5.3.4. Pendiente

El mapa de pendientes expuesto en la Figura 44, indica que Marianza presenta pendientes que van desde 2% a más del 70%, donde el 54% de todo el sector mantiene una inclinación del terreno entre el 30% al 70%, correspondiente a pendientes fuertes, debido a esto el sector presenta una alta susceptibilidad a deslizamientos.

Figura 44.

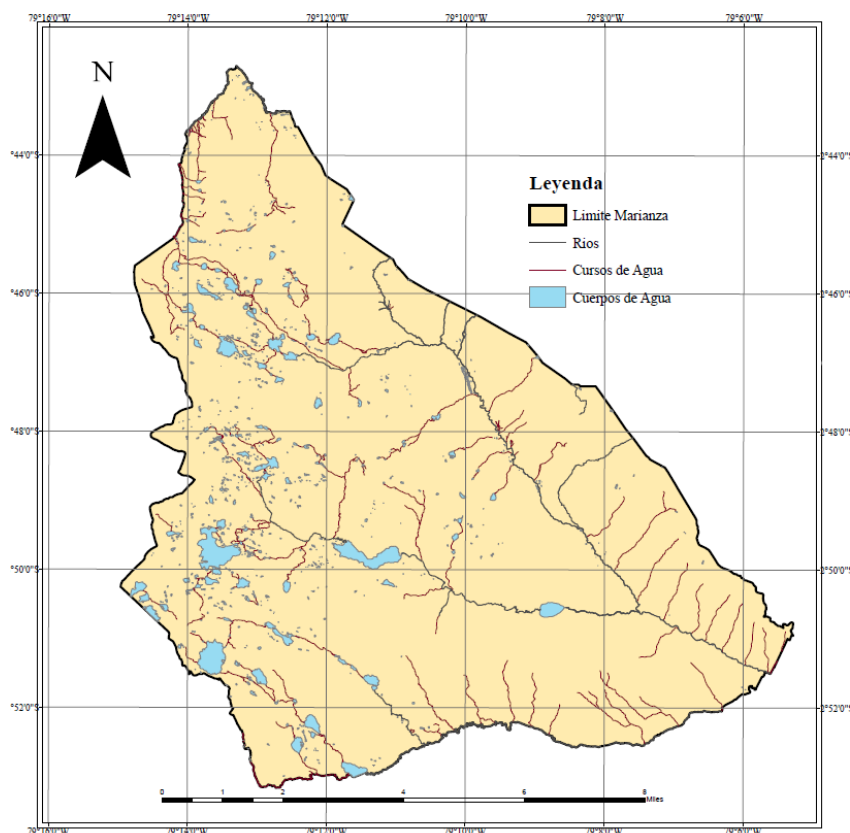
Mapa de pendientes del sector Marianza



Nota: Elaborado por los autores.

5.3.5. Hidrología

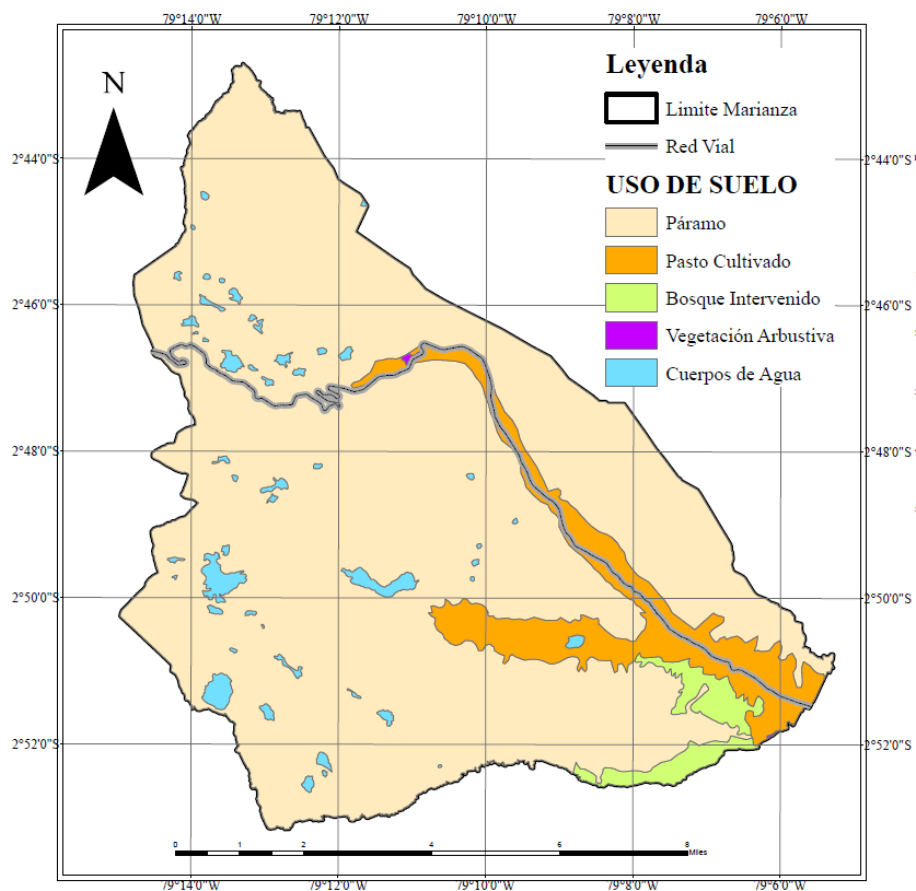
El mapa hidrológico que se presenta en la Figura 45, muestra que la parte alta de Marianza alberga importantes cuerpos de agua que constituyen la principal fuente hídrica de la zona. Desde estos, descienden numerosos cauces menores que alimentan al río Matadero el cual conforma al río Tomebamba. Esta abundante disponibilidad de agua superficial y subterránea genera una elevada humedad en todo el territorio, influyendo significativamente en el proceso de remoción de masas.

Figura 45.**Mapa hidrológico del sector Marianza**

Nota: Elaborado por los autores

5.3.6. *Uso de suelo*

Las partes altas del sector Marianza, se encuentran dominadas por la presencia de paramos, ocupando el 87.1% del territorio y cuerpos de agua los cuales mantienen una extensión del 2.06% del área de estudio. En los sectores aledaños a la vía Cuenca - Molleturo - Naranjal, donde se suscitaron los eventos descritos, se nota ausencia de bosques naturales pues han sido remplazados por los pastizales, ocupando un área de 8.54% de Marianza, mismos que son aplicados al pastoreo de animales, como se muestra en la Figura 46.

Figura 46.*Uso de suelo del sector Marianza**Nota:* Elaborado por los autores

5.3.7. *Clima*

La parroquia Sayausí presenta un clima caracterizado por veranos frescos y nublados, e inviernos cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. La temporada cálida se extiende por de enero a mayo, con una temperatura máxima promedio diario superior a 16°C. Por otro lado, la temporada fresca dura de junio a septiembre, con una temperatura máxima promedio diario inferior a 13°C (GAD Parroquial Sayausí, 2020).

5.4. Factores desencadenantes en un movimiento de masa

5.4.1. Precipitación

(Martínez, 2023), en su trabajo de maestría “*Curvas De Intensidad – Frecuencia para la ciudad de Cuenca*”, identifica la precipitación de cada estación de Cuenca, donde revuelve un patrón estacional en las precipitaciones. Los valores máximos se registran durante el trimestre de marzo, abril y mayo, oscilando entre 70 y 290 mm.

Los estudios realizados indican que el deslizamiento en Marianza el 27 de marzo de 2022 fue desencadenado por un evento de precipitación extrema. Según Paul Muñoz, la precipitación acumulada en esa fecha alcanzó los 315 mm, superando en más del doble el promedio de 150 mm.

Así mismo, los múltiples deslizamientos ocurridos el 5 de mayo de 2024 fueron desencadenados por un evento de precipitación excepcional. Según el (COE Cantonal Cuenca, 2024), se registraron 70 milímetros de lluvia en un solo día, un valor que no se había alcanzado en los últimos 70 años. A modo de comparación, el promedio diario de precipitación en la zona es de aproximadamente 8 milímetros.

5.4.2. Actividades antrópicas

En la Figura 47, se identifica la construcción de viviendas en pendientes pronunciadas representa un riesgo significativo para la seguridad de sus habitantes. En estas zonas, existe la posibilidad de desprendimientos de tierra que podrían arrastrar las estructuras y a sus ocupantes. El sector Marianza ejemplifica esta problemática, ya que la totalidad de sus viviendas se encuentra ubicada en terrenos con pendientes pronunciadas, lo que aumenta la vulnerabilidad de la población ante posibles deslizamientos.

Figura 47.

Construcciones en pendiente.



Nota: Fotografía tomada por Autores

El manejo de aguas residuales es otra de las actividades que influyen en estabilidad, pues la ausencia de un sistema de alcantarillado en la zona ha obligado a los habitantes a utilizar fosas sépticas, que requieren un mantenimiento periódico y que sin lugar a duda afectan los taludes saturando los suelos. La filtración de las aguas residuales de estas fosas hacia el suelo aumenta la presión de poros, incrementando así el riesgo de movimientos en masa.

Marianza se encuentra ubicado a lo largo de la vía Cuenca – Molleturo – Naranjal, con base a los análisis y recorridos realizados debería considerarse un estudio Hidro – Geológico y de estabilidad de taludes que mejoren las condiciones y garanticen la seguridad tanto de la vía, como de las personas que habitan en la zona, como se aprecia en la Figura 48.

Figura 48.

Deslizamientos en la vía Cuenca – Molleturo – Naranjal.



Nota: Fotografía tomada por autores

La Figura 49 ilustra las consecuencias de la tala excesiva de árboles y la conversión del terreno en pastizales para la ganadería. El resultado es una superficie descubierta que, paradójicamente, aumenta la susceptibilidad a deslizamientos durante los períodos de lluvia intensa característicos de la zona. La ausencia de árboles priva al suelo de un mecanismo natural de absorción de grandes cantidades de agua y de estabilización del talud. Esta modificación del paisaje no solo altera el ecosistema local, sino que también incrementa significativamente el riesgo de movimientos de tierra, comprometiendo la seguridad y la estabilidad del área.

Figura 49.

Deforestación para cultivo de pastos.



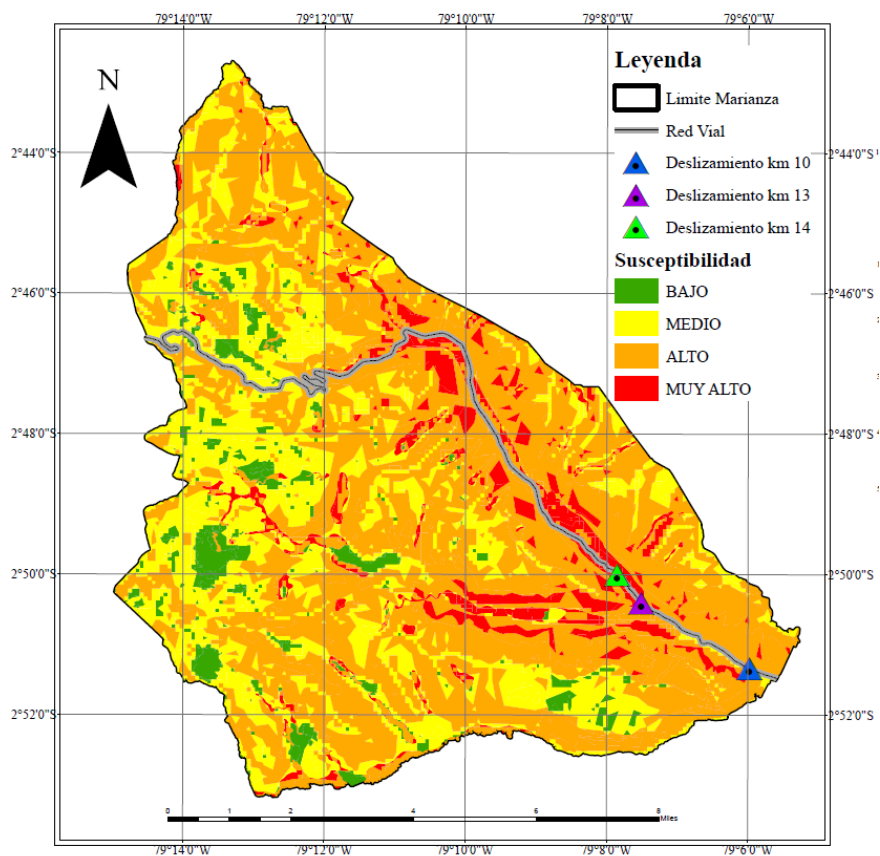
Nota: Fotografía tomada por los autores

5.4.3. Actividad sísmica

En el sector de Marianza si bien no existen antecedentes de deslizamientos por la acción sísmica, la sismicidad de la región representa un factor de riesgo latente que no puede ser ignorado. La ocurrencia de un sismo de magnitud considerable podría comprometer la estabilidad de los taludes y desencadenar deslizamientos.

5.5. Análisis del mapa de susceptibilidad

La Figura 50, muestra el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Marianza. Es evidente que los deslizamientos identificados anteriormente se concentran en las áreas clasificadas como de alta y muy alta susceptibilidad, lo que confirma la validez del modelo utilizado.

Figura 50.*Mapa de susceptibilidad*

Nota: Elaboración propia

Las zonas de muy alta susceptibilidad se ubican principalmente a lo largo de la vía Cuenca – Molleturo – Naranjal, abarcando un área de 8.13% del todo el sector. Así mismo, se reveló que el 57.44% de Marianza se encuentra clasificado como zona de alta susceptibilidad a deslizamientos. Dada la significativa extensión de esta área, es imperativo implementar un monitoreo continuo para prevenir y mitigar los riesgos asociados.

El 5.01% del territorio de Marianza corresponde a zonas clasificadas de baja susceptibilidad a deslizamientos. Estas áreas, ubicadas predominantemente en zonas bajas y cuerpos de agua, presentan un menor riesgo de ocurrencia de eventos geológicos. Por otra parte, el 29.4% del sector presenta una susceptibilidad media a deslizamientos, siendo las áreas de paramo donde se concentran mayoritariamente esta categoría.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El sector de Marianza registra tres grandes movimientos en masa (km 14, km13, km 10), clasificados como flujo de detritos. La litología que se presenta en los eventos de flujo corresponde a depósitos coluviales y glaciares no consolidados o con una estratigrafía no definida. Estos depósitos son susceptibles al entrar en contacto con el agua, principalmente en eventos de alta precipitación. Se pudo evidenciar bloques con un diámetro nominal de 100.137 cm, en el flujo del kilómetro 14, mientras que en el flujo del kilómetro 10, se obtuvo un diámetro nominal de 132.967 cm.

La geología de Marianza está compuesta por la formación Tarqui que abarca una extensión del 71.41% del sector y la formación Célica que ocupa un 17.81% del área de estudio, estas formaciones mantienen una susceptibilidad moderada a media. Así mismo se encuentran depósitos glaciares que abarcan una extensión del 7.53% de la zona de estudio y los depósitos coluviales representando un 0.4 % de área de la zona, estos depósitos muestran una ausencia de estratificación, por ello, mantiene una alta susceptibilidad.

Marianza se ubica en una región montañosa, con paisajes propia de procesos glaciares, por lo que presenta un dominio de pendientes fuertes entre el 30% y 70% de inclinación, según el mapa de pendientes generado, el 54% del sector se encuentra dentro de la categoría de alta susceptibilidad a deslizamientos.

El análisis del mapa de uso del suelo muestra que las partes altas están cubiertas por páramos, lo que representa un 87.1% del sector, mientras que las zonas aledañas a la vía estatal se destinan al cultivo de pastos que cubren un área de 8.54% de Marianza. Aunque los páramos son generalmente estables, el riego continuo de los pastos eleva notablemente el riesgo de deslizamientos, debido a la saturación del suelo.

Las intensas precipitaciones registradas en los últimos años han sido el principal desencadenante de los deslizamientos analizados en el sector. Los datos indican que los eventos de deslizamiento se producen de manera recurrente cuando la precipitación acumulada mensual supera los 150 mm que corresponde a su promedio mensual o cuando las precipitaciones diarias exceden en más del 50% su normal (8 mm).

La construcción de viviendas en pendientes pronunciadas, la deforestación indiscriminada y la gestión inadecuada de aguas residuales aumentan significativamente la susceptibilidad a deslizamientos. Estas actividades favorecen la infiltración de agua en el suelo, incrementando la presión intersticial y debilitando la cohesión de los materiales.

El mapa de susceptibilidad, que considera factores condicionantes como la geología, litología, geomorfología, pendiente y uso del suelo, así como factores detonantes como la precipitación, revela que Marianza presenta una alta vulnerabilidad a deslizamientos. El 57.44% del área presenta susceptibilidad alta, mientras que un 8.13% se clasifica como de muy alta susceptibilidad. Estos resultados indican que una gran parte del territorio de Marianza se encuentra en riesgo de experimentar eventos de deslizamiento, especialmente durante períodos de lluvias intensas.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda llevar a cabo un estudio Hidro – geológico en las áreas de influencia tanto del kilómetro 14, como en el kilómetro 10, donde se suscitaron eventos de flujo de detritos, identificando la influencia de las precipitaciones y las zonas de recarga y descarga de agua infiltrada. Estos estudios permitirán comprender mejor la dinámica de los deslizamientos y desarrollar estrategias de mitigación más efectivas.

Se recomienda realizar estudios y análisis de la influencia de la ubicación de viviendas y fosas sépticas en los taludes que podrían estar afectando los suelos del sector, con énfasis a la contribución de aguas causada por las lluvias y aguas residuales.

Implementar sistemas de monitoreo continuo, utilizando instrumentos como inclinómetros, piezómetros y estaciones meteorológicas, los cuales permitan evaluar la evolución de los movimientos en masa y los cambios en las condiciones ambientales.

Debido a la dificultad de acceso a los predios del sector es recomendable implementar métodos de toma de datos mediante fotogrametría, mismo que no presenten molestias en la zona de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Almaguer, Y., & Guardado, R. (2006). Tipología de movimiento de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería & Geología*, 22(1), 16.
- Aristizábal, E., Martínez, H., & Vélez, J. I. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias*, 34(53), 209–227.
- Aristizabal, E., & Yokota, S. (2006). Deslizamientos En El Valle De Aburra. *Dyna*, 73, 13. <https://doi.org/0012-7353>
- Basabe, P., Almeida, E., Ramón, P., Zeas, R., & Álvarez, L. (1996). Avance en la prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, rarojas. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines*, 25(3), 443–458. <https://doi.org/10.3406/bifea.1996.1242>
- Basu, T., & Pal, S. (2019). RS-GIS based morphometrical and geological multi-criteria approach to the landslide susceptibility mapping in Gish River Basin, West Bengal, India. *Advances in Space Research*, 63(3), 1253–1269. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.10.033>
- Bomberos Quito. (2022). Derrumbes por lluvias en Quito afectan una casa y un auto. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/derrumbes-lluvias-quito-casa-auto-clima.html>
- Borja, C. (2022). *El desastre de la comuna y la gasca*. 1–8.
- Centro Administrativo Municipal de Medellín. (n.d.). Movimientos en masa (A. Manrique, A. Montoya, D. López, & S. Colombo (eds.)). Tecnológico de Antioquia I.U. www.medellin.gov.co
- Chaca, J., & Rea, J. (2023). Análisis comparativo de los factores determinantes en la susceptibilidad geodinámica de dos microcuencas en el sector Marianza [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/42595/4/Trabajo-de-Titulación.pdf>
- Chacón, J. R. (2012). Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal Landslides: classification, description and temporal and spatial evolution. N° 28, 73–89.
- Chaves, R., Salazar, D., Orejuela, D., Cuichán, M., Suárez, M., & Villafuerte, W. (2012). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2012 Dirección responsable de la información estadística y contenidos: Dirección De Estadísticas Económicas. In Inec (p. 23). http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2012/InformeEjecutivo.pdf
- Chiriboga, B., & Mendez, M. (2022). Movimientos De Masa Activos Mediante La Fusión De

Fotogrametría Digital Y Procesos Geotécnicos: Caso De Estudio La Parroquia Turi.

- COE Cantonal Cuenca. (2024). COE Cantonal define continuar con acciones para solventar la emergencia en Cuenca. Municipalidad Cuenca. <https://www.cuenca.gob.ec/content/coe-cantonal-define-continuar-con-acciones-para-solventar-la-emergencia-en-cuenca>
- Diario Digital RD. (2022). *Once muertos y 15 heridos en un deslizamiento de tierra en Ecuador.*
- ECUADOR NEWS. (2021). *Impactante deslizamiento de tierra en la vía Cuenca – Molleturo ; Ministerio de declara en emergencia el kilómetro 49.*
- EL UNIVERSO. (2023). *Vía Cuenca-Molleturo-El Empalme está inhabilitada temporalmente por derrumbe de gran magnitud.*
- Erazo, M. T. (1965). *Estudio de los Deslizamientos del suelo del Austro (Los Veinti).* Universidad de Cuenca ANALES Tomo XXI.
- EXTRA. (2024). *Lluvias causan hundimientos de carreteras y deslizamientos en Esmeraldas.*
- GAD Parroquial Sayausí. (2020). Plan De Desarrollo Y Territorial De La Parroquia Angamarca. file:///D:/USER/Descargas/PDOT_GADP_Tanicuchi.pdf
- GEMMA. (2007). Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas. (Vol. 4, Issues 0717–3733). Publicación Geológica Multinacional.
- Golubev, G. (2014). Avalanchas y corrientes de barro en Chile. In *Investigaciones Geográficas* (Issue 17, p. 31). <https://doi.org/10.5354/0719-5370.1967.32926>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica.* In *Pearson Education.*
- Hauser, A. (1993). Remociones en masa en Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería*, 77.
- Hincapié, E. (2011). Estudio y modelación del movimiento del agua en suelos volcánicos de ladera. <http://bdigital.unal.edu.co/6142/1/9005502.2011.pdf>
- INIGEMM. (2013). Zonificación de Susceptibilidad y Peligros/Amenazas por Procesos de Movimientos en Masa, Escala 1:50.000, del Territorio Ecuatoriano, Fase I. *Memoria Técnica, I*, 1–117.
- Lara, M., & Sepúlveda, S. (2008). Remociones en masa.
- López, A. (2015). Programa para obtener tablas de valores de pendiente del terreno usando mapas topográficos.
- Martínez, P. (2023). *Curvas De Intensidad - Duración - Frecuencia Para La Ciudad De*

Cuenca. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12941>

- Mergili, M., Marchant, C., & Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 113–131. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n2.50211>
- Millanao, C. (2010). Determinación de granulometría de lecho de cauce de montaña a través del uso de fotografías digitales.
- Mora, R. (2004). Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, provincia de San José, Costa Rica. In *Escuela Centroamericana de Geología*. <https://transparencia.ucr.ac.cr/informacion-institucional/recursos-humanos/planillas.html>
- Mora, S., & Vahrson, W.-G. (1994). Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination. *Environmental & Engineering Geoscience*, xxxi(1), 49–58. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.xxxi.1.49>
- Morales, J. A., & Oleas, P. A. (2023). Propuesta de lineamientos de intervención territorial en asentamientos con riesgos a deslizamientos de tierra. Caso de estudio: Marianza [Universidad de Cuenca]. In *Universidad de Cuenca web publication*. <https://www2.ucuenca.edu.ec/nosotros/vision-mision#:~:text=Formar investigadores y profesionales comprometidos,a ser agentes de transformaci3n.>
- Muñoz, P. (2022). Las lluvias de marzo en Sayausí duplicaron los valores históricos. El Mercurio. https://elmercurio.com.ec/2022/04/27/lluvias-de-marzo-y-abril-estan-dentro-de-los-rangos-historicos/#google_vignette
- Nantes, E. (2019). The Analytic Hierarchy Process Method For Decision Making. Review of the Methodology and Applications. 54–73.
- NEC-SE-DS. (2015). NEC-SE-DS Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente. In *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. <http://www.indeci.gob.pe/proyecto58530/objetos/archivos/20110606102841.pdf%0Ahttps://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-1.pdf> (in spanish)
- Núñez, E. (2003). Geología del Ecuador. In Facultad de Ingeniería en ciencias de la tierra de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral. <https://toaz.info/doc-view>
- Ordoñez, J. (2019). Movimiento en masa por lluvias intensas en el Perú.
- Pachay, L., García, L., & Zavallos, M. (2021). Determinación de zonas susceptibles ante movimientos en masa utilizando metodología INSAR, Análisis Morfométrico y el Índice de Estabilidad (Mohr-Coulomb). Caso: Campus de la Universidad Técnica de Manabí (Portoviejo, Manabí, Ecuador) - Dialnet. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico-*

- Profesional*, 6(3), 1776–1798. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2471>
- PRECUPA. (1998). *Prevención de desastres naturales en la cuenca del Paute*.
- Prefectura del Azuay. (2012). Atlas de la Provincia del Azuay. *Instituto de Estudios de Régimen Seccional Del Ecuador-IERSE*, 68. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38918>
- PRENSA MERCOSUR. (2022). *El aluvión de la Gasca no es un desastre natural*.
- Quezada, B. (2015). Análisis Estabilidad De Ladera Localizada En La Abcisa 5+200 Via Monay - Baguanchi - Paccha, Sector San Miguel De Baguanchi Del Cantón Cuenca, Provincia Del Azuay. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/1789>
- Ramírez, J. (2017). Análisis de Estabilidad de Talud en el Lugar de Emplazamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Zona Este, Sector Coyoctor, Cantón el Tambo, Provincia del Cañar.
- Ramírez, M. (2004). El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.*, 4, 1–7.
- Resolución Administrativa de la República del Perú. (2020). Mejoramiento del servicio de agua para riego del comité de riego CCelluyacu del distrito de Rocchacc-Provincia de Chincheros-Departamento de Apurímac. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104554>
- Reyes, Z. (2023). Índices espectrales para identificar posibles movimientos en masa mediante el uso de imágenes satelitales.
- Rojas, D., & Paredes, J. (2016). *Compendio de Geología General*.
- Segarra, F., & Montalván, D. (2022). Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos por medio de sistemas de información geográfico, en la parroquia Bulán, cantón Paute.
- SIGTIERRAS. (2015). Levantamiento de cartografía temática escala 1:25.000, LOTE 2.
- SISGEO. (2023). *Deslizamientos rotacionales*. 8–10. <https://sisgeo.com/es/>
- SNGRE. (2022). *Informe Nro . 053 Época lluviosa a nivel Nacional del 01 de enero al 31 de marzo de 2022*. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/Informe-053-Epoca-Lluviosa_01enero-31032022-1.pdf
- SNGRE. (2023). *Deslizamiento Alausi - Chimborazo*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-deslizamiento-alausi-chimborazo/>
- Suarez, J. (2009). Mecanismos de falla, Cap 2. In *Deslizamientos: Análisis Geotécnico, Vol 1*.
- Vargas, G. (2000). Boletín de geología (C. Garcia, J. Colegial, & R. Mier (eds.); Escuela de,

Vol. 22). <https://www.researchgate.net/publication/281444519>

Vásquez, J. V., & Constante, E. F. (2023). *Propuesta de un plan de gestión de riesgos ante deslizamientos e inundaciones en la comunidad de Marianza perteneciente a la parroquia Sayausí*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24626/1/UPS-CT010431.pdf>

GLOSARIO

Término	Definición
<i>AHP</i>	Proceso Analítico Jerárquico. Método para asignar pesos a factores en modelos de decisión.
<i>PDOT</i>	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Instrumento de planificación que orienta el desarrollo sostenible de un territorio, definiendo el uso del suelo y regulando las actividades económicas.
<i>Shapefile</i>	Formato de archivo vectorial para almacenar datos geográficos en SIG.
<i>SIG</i>	Sistema de Información Geográfica. Conjunto de herramientas para capturar, almacenar y analizar datos geográficos.
<i>ArcGIS</i>	Software de SIG ampliamente utilizado para análisis geoespacial.
<i>DEM</i>	Modelo Digital del Elevación. Representación digital de la superficie terrestre.
<i>TIN</i>	Triangulación de Delaunay. Modelo digital del terreno basado en triángulos.

ANEXOS

Anexo 1. Medición del ancho de la quebrada afectada del km 14.



Anexo 2. Toma de muestra de los diámetros de rocas en el kilómetro 14.



Anexo 3. Tabla de toma de datos y cálculo de diámetro nominal

Toma de muestras granulares		
Muestra 1	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a1	68	59.024
b1	72	
c1	42	
Muestra 2	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a2	48	49.298
b2	52	
c2	48	
Muestra 3	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a3	58	46.379
b3	43	
c3	40	
Muestra 4	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a4	69	71.780
b4	80	
c4	67	
Muestra 5	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a5	38	24.605
b5	28	
c5	14	

Muestra 6	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a6	38	37.157
b6	30	
c6	45	
Muestra 7	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a7	92	80.243
b7	78	
c7	72	
Muestra 8	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a8	98	55.240
b8	40	
c8	43	
Muestra 9	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a9	140	73.046
b9	96	
c9	29	
Muestra 10	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a10	63	42.154
b10	41	
c10	29	
Muestra 11	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a11	110	72.330
b11	86	
c11	40	
Muestra 12	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a12	64	82.645
b12	98	
c12	90	
Muestra 13	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a13	62	36.818
b13	35	
c13	23	
Muestra 14	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a14	50	30.366

b14	40	
c14	14	
Muestra 15	Diámetro (cm)	Dn (cm)
c15	80	55.100
b15	51	
c15	41	
Muestra 16	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a16	110	78.574
b16	90	
c16	49	
Muestra 17		Dn (cm)
a17	105	121.064
b17	129	
c17	131	
Muestra 18	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a18	151	99.654
b18	113	
c18	58	
Muestra 19	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a19	161	112.315
b19	100	
c19	88	
Muestra 20	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a20	187	154.712
b20	161	
c20	123	
Muestra 21	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a21	254	167.495
b21	148	
c21	125	
Muestra 22	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a22	110	91.783
b22	99	
c22	71	

Muestra 23	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a23	90	78.403
b23	85	
c23	63	
Muestra 24	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a24	64	56.646
b24	71	
c24	40	
Muestra 25	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a25	60	51.345
b25	47	
c25	48	
Muestra 26	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a26	93	55.316
b26	70	
c26	26	
Muestra 27	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a27	210	170.735
b27	158	
c27	150	
Muestra 28	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a28	44	27.013
b28	28	
c28	16	
Muestra 29	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a29	53	32.030
b29	31	
c29	20	
Muestra 30	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a30	91	54.573
b30	47	
c30	38	
Muestra 31	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a31	210	157.521

b31	141	
c31	132	
Muestra 32	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a32	212	229.744
b32	220	
c32	260	
Muestra 33	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a33	267	229.123
b33	265	
c33	170	
Muestra 34	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a34	280	237.410
b34	295	
c34	162	
Muestra 35	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a35	330	277.564
b35	270	
c35	240	
Muestra 36	Diámetro (cm)	Dn (cm)
a36	380	305.727
b36	320	
c36	235	

Anexo 4. Matrices de consistencia de la escala de Saaty

Matriz de relacion de consistencia de Geología							
GEOLOGIA	D. Glaciares	D. Coluvial	D. F Glaciares	Fm. Celica	Fm. Tarqui	Vector suma ponderada	L max
Depositos Glaciares	0.47	0.54	0.57	0.46	0.35	2.39	5.10
Depositos coluvial	0.23	0.27	0.29	0.30	0.26	1.36	5.06
Depositos Fluvio Glaciares	0.12	0.13	0.14	0.15	0.18	0.72	5.04
Formacion Celica	0.08	0.07	0.07	0.08	0.09	0.38	5.02
Formación Tarqui	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.22	5.01
						SUMA	25.23
IC	0.012					PROMEDIO	5.05
CA	1.12						
RI	1.03%	Matriz Consistente					

Matriz de relacion de consistencia de Geomorfología							
GEOMORFOLOGIA	P. Glaciares	Clls. Cimas F	P.Paramo	R. cimas frias	C. Agua	Vector suma ponderada	L max
P. Glaciares	0.46	0.51	0.45	0.44	0.44	2.30	5.02
Clls. Cimas F	0.23	0.26	0.30	0.26	0.24	1.29	5.02
P.Paramo	0.15	0.13	0.15	0.17	0.15	0.75	5.01
R. cimas frias	0.09	0.09	0.07	0.09	0.10	0.44	5.01
C. Agua	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.24	5.02
						SUMA	25.08
IC	0.004					PROMEDIO	5.02
CA	1.12						
RI	0.36%	Matriz Consistente					

Matriz de relacion de consistencia de pendiente							
PENDIENTE	Muy Alta (>70)	Alta (30-70)	Media (15-30)	Baja (7-15)	Muy Baja (0-7)	Vector suma ponderada	L max
Muy Alta (>70)	0.47	0.53	0.57	0.45	0.38	2.41	5.07
Alta (30-70)	0.24	0.27	0.28	0.30	0.25	1.34	5.05
Media (15-30)	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.71	5.02
Baja (7-15)	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.38	5.01
Muy Baja (0-7)	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.21	5.01
						SUMA	25.17
IC	0.008					PROMEDIO	5.03
CA	1.12						
RI	0.74%	Matriz Consistente					

Matriz de relacion de consistencia de litologia							
LITOLOGIA	Tillitas	Till, tillita	M. Finos y f. ang	Tobas andesitas	Tobas y aglomerados	Vector suma ponderada	L max
Tillitas	0.45	0.53	0.45	0.50	0.35	2.28	5.07
Till, tillita	0.23	0.27	0.30	0.25	0.30	1.34	5.03
M. Finos y f. ang rocosos	0.15	0.13	0.15	0.17	0.15	0.75	5.04
Tobas andesitas	0.08	0.09	0.07	0.08	0.10	0.42	5.03
Tobas y aglomerados	0.06	0.04	0.05	0.04	0.05	0.25	5.01
						SUMA	25.18
IC	0.009					PROMEDIO	5.04
CA	1.12						
RI	0.80%	Matriz Consistente					

Matriz de relacion de consistencia de uso de suelo							
USO DE SUELO	P. Cultivado	B. Intervenido	Paramo	V. arbustiva	C. Agua	Vector suma ponderada	L max
P. Cultivado	0.49	0.55	0.67	0.50	0.33	2.54	5.17
B. Intervenido	0.25	0.27	0.27	0.31	0.29	1.40	5.09
Paramo	0.10	0.14	0.13	0.13	0.18	0.68	5.07
V. arbustiva	0.06	0.05	0.07	0.06	0.07	0.32	5.08
C. Agua	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04	0.18	5.02
						SUMA	25.42
IC	0.021					PROMEDIO	5.08
CA	1.12						
RI	1.88%	Matriz Consistente					

Matriz de relacion de consistencia de precipitacion							
PRECIPITACION	60-80%	40-60%	30-40%	25-30%	20-25%	Vector suma ponderada	L max
60-80% superior a su normal	0.42	0.52	0.48	0.39	0.31	2.13	5.12
40-60% superior a su normal	0.21	0.26	0.32	0.30	0.25	1.34	5.11
30-40% superior a su normal	0.14	0.13	0.16	0.20	0.19	0.81	5.06
25-30% superior a su normal	0.10	0.09	0.08	0.10	0.12	0.50	5.02
20-25% superior a su normal	0.08	0.07	0.05	0.05	0.06	0.31	5.03
						SUMA	25.34
IC	0.017					PROMEDIO	5.07
CA	1.12						
RI	1.53%	Matriz Consistente					

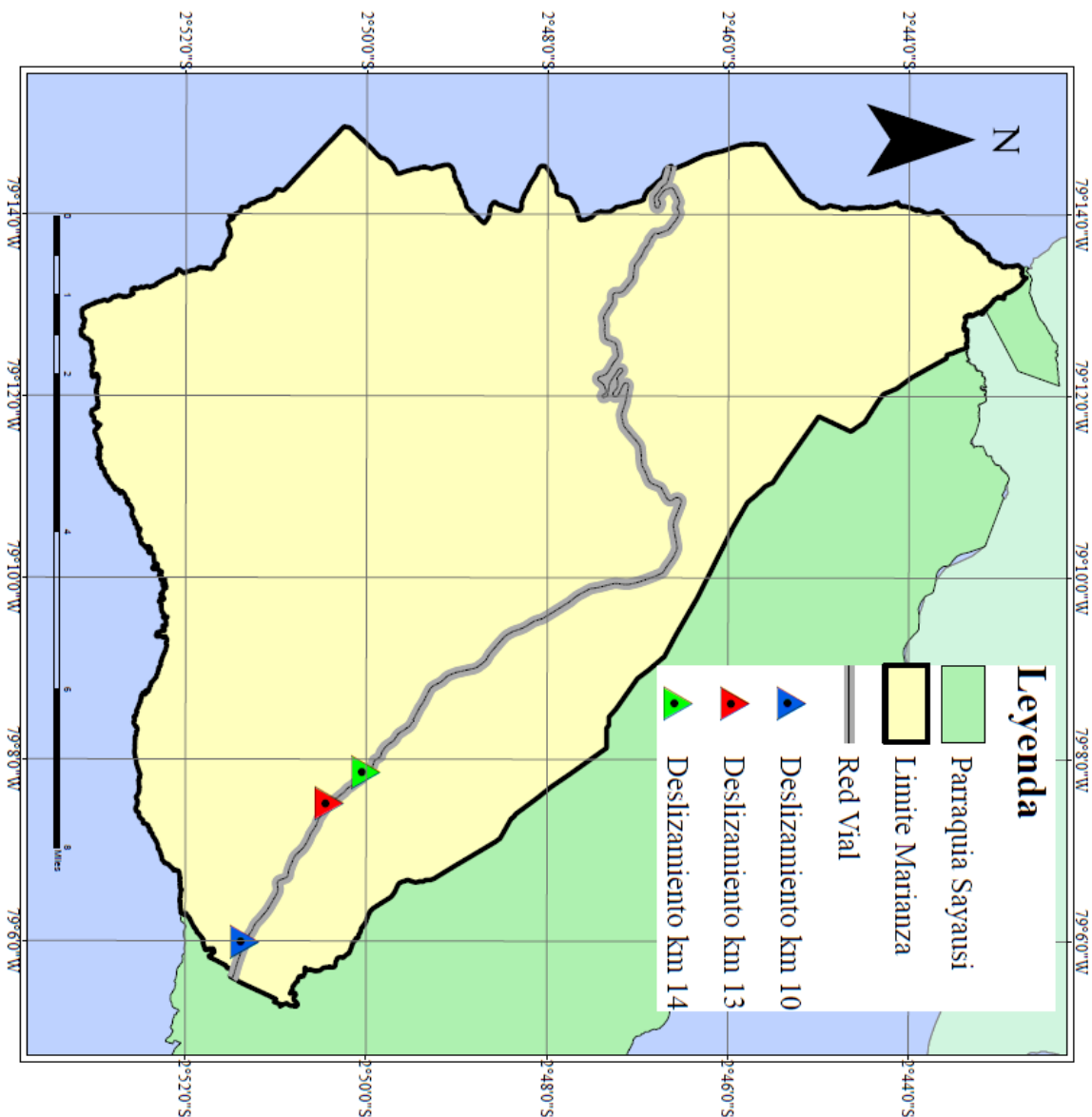
Matriz de relacion de consistencia de factores condicionantes							
FACTORES CONDICIONANTES	Pendiente	Geologia	Litologia	Geomorfologia	Uso de suelo	Vector suma ponderada	L max
Pendiente	0.42	0.52	0.48	0.39	0.31	2.13	5.12
Geologia	0.21	0.26	0.32	0.30	0.25	1.34	5.11
Litologia	0.14	0.13	0.16	0.20	0.19	0.81	5.06
Geomorfologia	0.10	0.09	0.08	0.10	0.12	0.50	5.02
Uso de suelo	0.08	0.07	0.05	0.05	0.06	0.31	5.03
						SUMA	25.34
IC	0.017					PROMEDIO	5.07
CA	1.12						
RI	1.53%	Matriz Consistente					

Matriz de relacion de consistencia de paramatro de evaluacion							
TIEMPO DE RETORNO	5 Años	10 Años	25 Años	50 Años	100 Años	Vector suma ponderada	L max
5 Años	0.50	0.78	0.67	0.47	0.31	2.74	5.46
10 Años	0.17	0.26	0.40	0.34	0.24	1.41	5.43
25 Años	0.10	0.09	0.13	0.20	0.17	0.70	5.20
50 Años	0.07	0.05	0.04	0.07	0.10	0.34	5.03
100 Años	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.18	5.09
						SUMA	26.21
IC	0.061					PROMEDIO	5.24
CA	1.12						
RI	5.42%	Matriz Consistente					

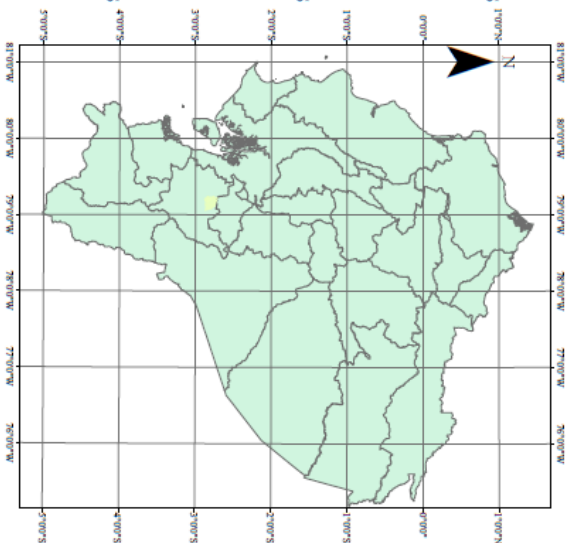
Anexo 5. Tabla de generalización de los factores para elaboración del mapa de susceptibilidad


NOMBRE	PESO	FACTOR		PARAMETRO		DESCRIPCION	
		NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	CLSIFICACIÓN	PESO
SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA	90%	CONDICIONANTE	70%	GEOLOGIA	0.262	Depositos Glaciares	0.468
						Depositos coluvial	0.268
						Depositos Fluvio Glaciares	0.144
						Formacion Celica	0.076
						Formación Tarqui	0.044
				GEOMORFOLOGIA	0.099	P. Glaciares	0.457
						Cls. Cimas F	0.257
						P.Paramo	0.150
						R. cimas frias	0.087
						C. Agua	0.049
		PENDIENTE	0.416	Muy Alta (>70)	0.475		
				Alta (30-70)	0.266		
				Media (15-30)	0.142		
				Baja (7-15)	0.075		
				Muy Baja (0-7)	0.042		
		LITOLOGIA	0.161	Tillitas	0.451		
				Till, tillita	0.266		
				M. Finos y f. ang rocosos	0.149		
				Tobas andesitas	0.084		
				Tobas y aglomerados	0.050		
USO DE SUELO	0.062	P. Cultivado	0.492				
		B. Intervenido	0.275				
		Paramo	0.134				
		V. arbustiva	0.063				
		C. Agua	0.037				
DESENCADENANTE	30%	PRECIPITACION	1.000	60-80% superior a su normal	0.416		
				40-60% superior a su normal	0.262		
				30-40% superior a su normal	0.161		
				25-30% superior a su normal	0.099		
				20-25% superior a su normal	0.062		
PARAMETROS DE EVALUACION	10%	TIEMPO DE RETORNO	1.000	5 Años	0.503		
				10 Años	0.260		
				25 Años	0.134		
				50 Años	0.068		
				100 Años	0.035		

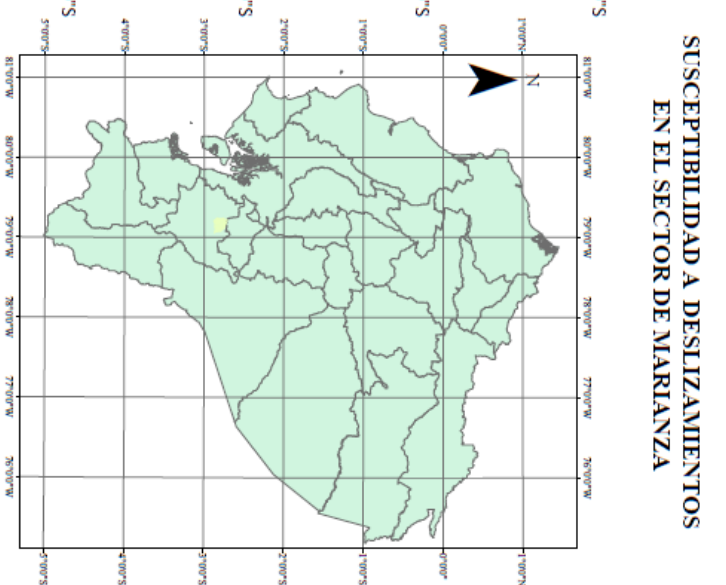
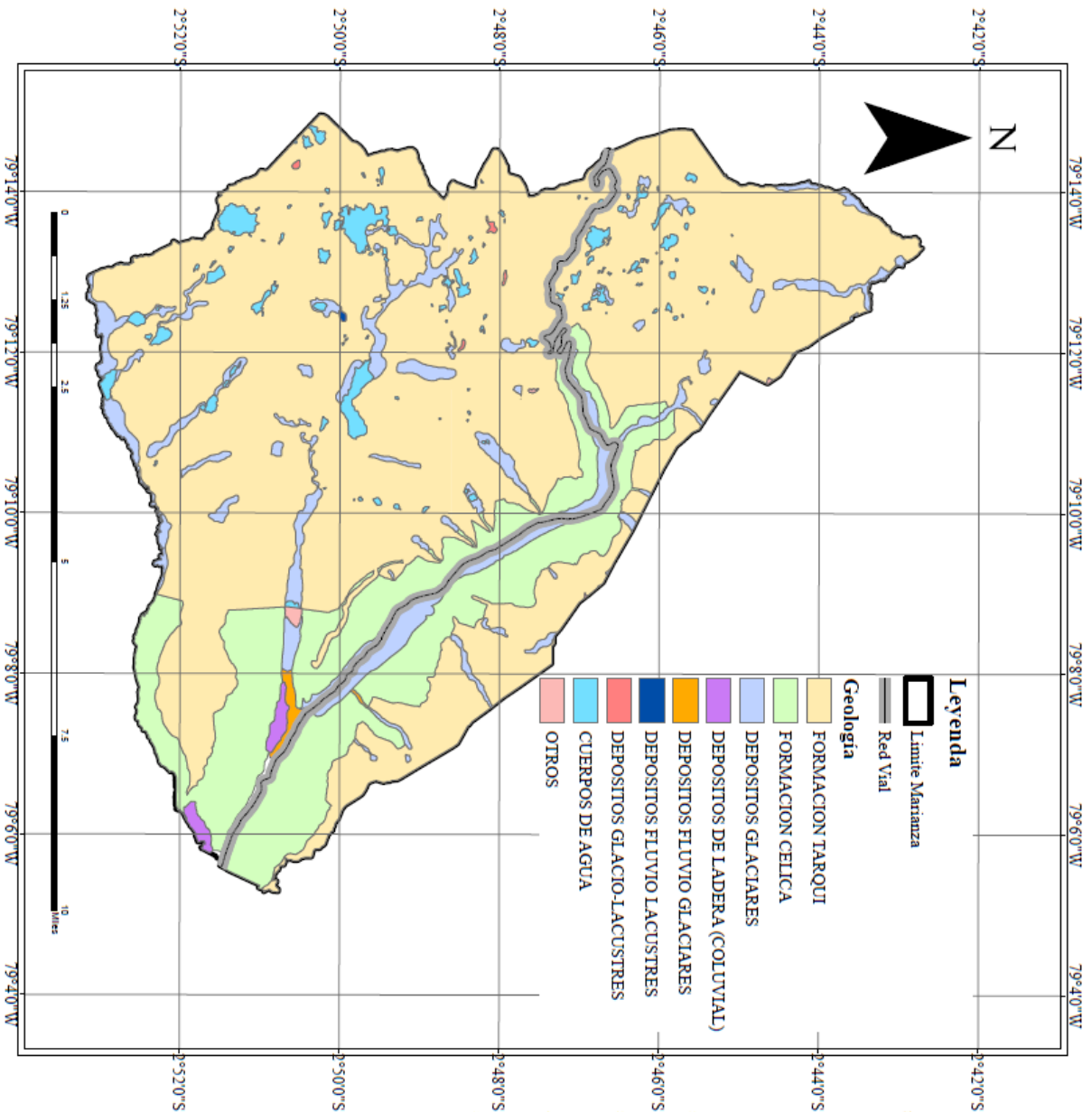
Anexo 6. Mapas elaborados



SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL SECTOR DE MARIANZA



<p>TRABAJO DE TITULACION: Análisis de la geología en el sector Marianza - Sayausi y su relación con zonas vulnerables a deslizamientos</p>	
<p>MAPA DE UBICACION SECTOR MARIANZA</p>	
<p>Autores: Juan Mataño - Gabriel Rosales</p>	
<p>Carrera: Ingeniería Civil</p>	
<p>Zona UTM: 17S Datum: WGS84</p>	
<p>No. Mapa: 1</p>	
	



TRABAJO DE TITULACION:
Análisis de la geología en el sector Mariznaga - Sayausí
y su relación con zonas vulnerables a deslizamientos


MAPA GEOLOGICO DEL SECTOR MARIANZA

Autores: Juan Matalló - Gabriel Rosales

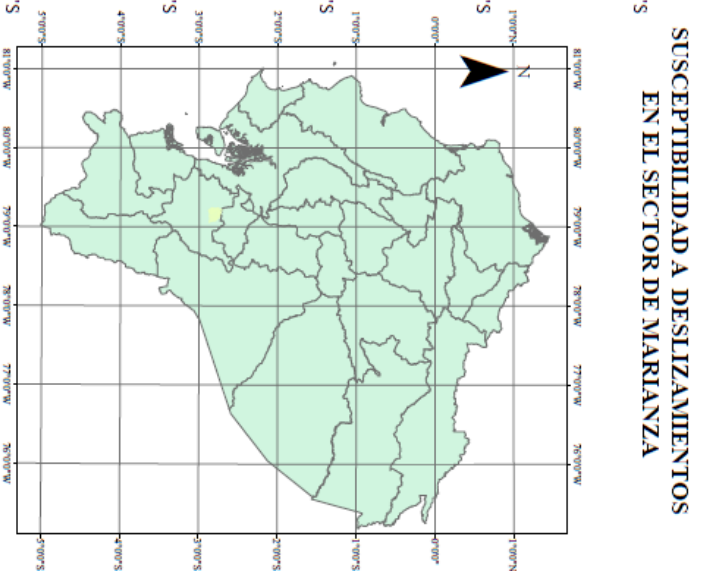
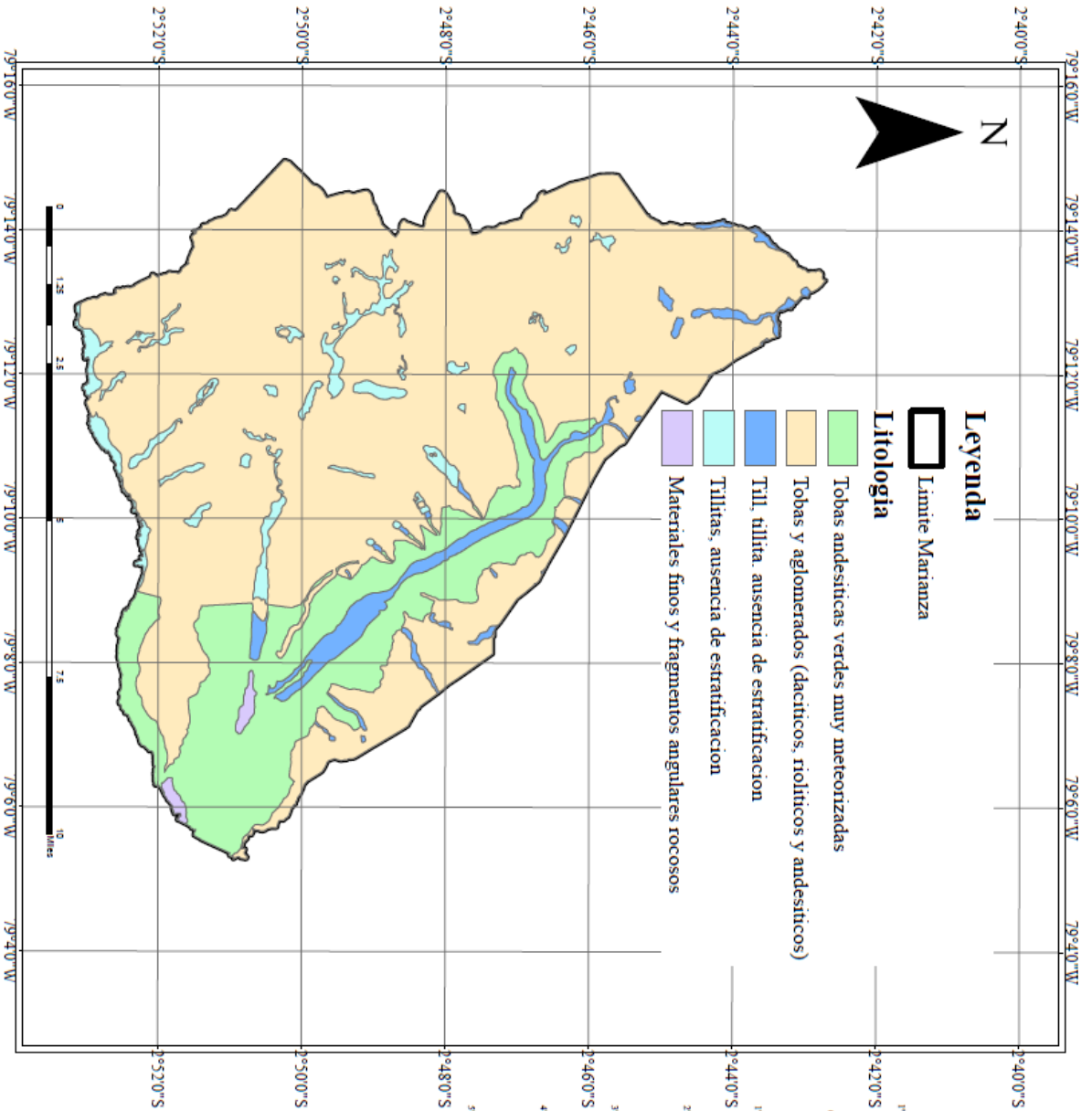
Carrera: Ingeniería Civil

Zona UTM: 17S **Datum:** WGS84

No. Mapa: 2



Universidad
Católica de Cuenca



**SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS
EN EL SECTOR DE MARIANZA**

TRABAJO DE TITULACIÓN:
Análisis de la geología en el sector Marianza - Sayausí
y su relación con zonas vulnerables a deslizamientos

MAPA LITOLÓGICO DEL SECTOR MARIANZA

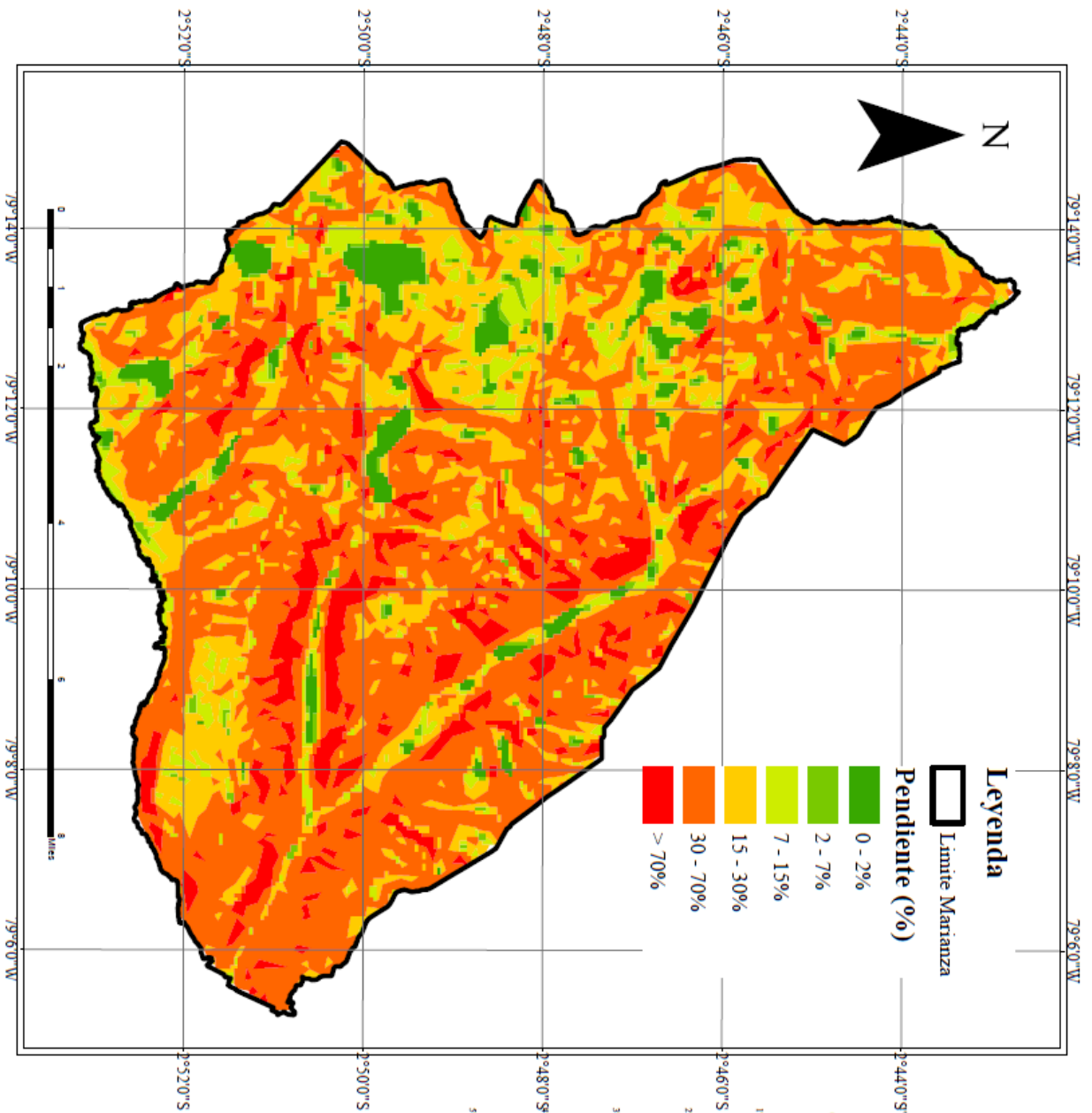
Autores: Juan Mataño - Gabriel Rosales

Carrera: Ingeniería Civil


Zona UTM: 17S Datum: WGS84

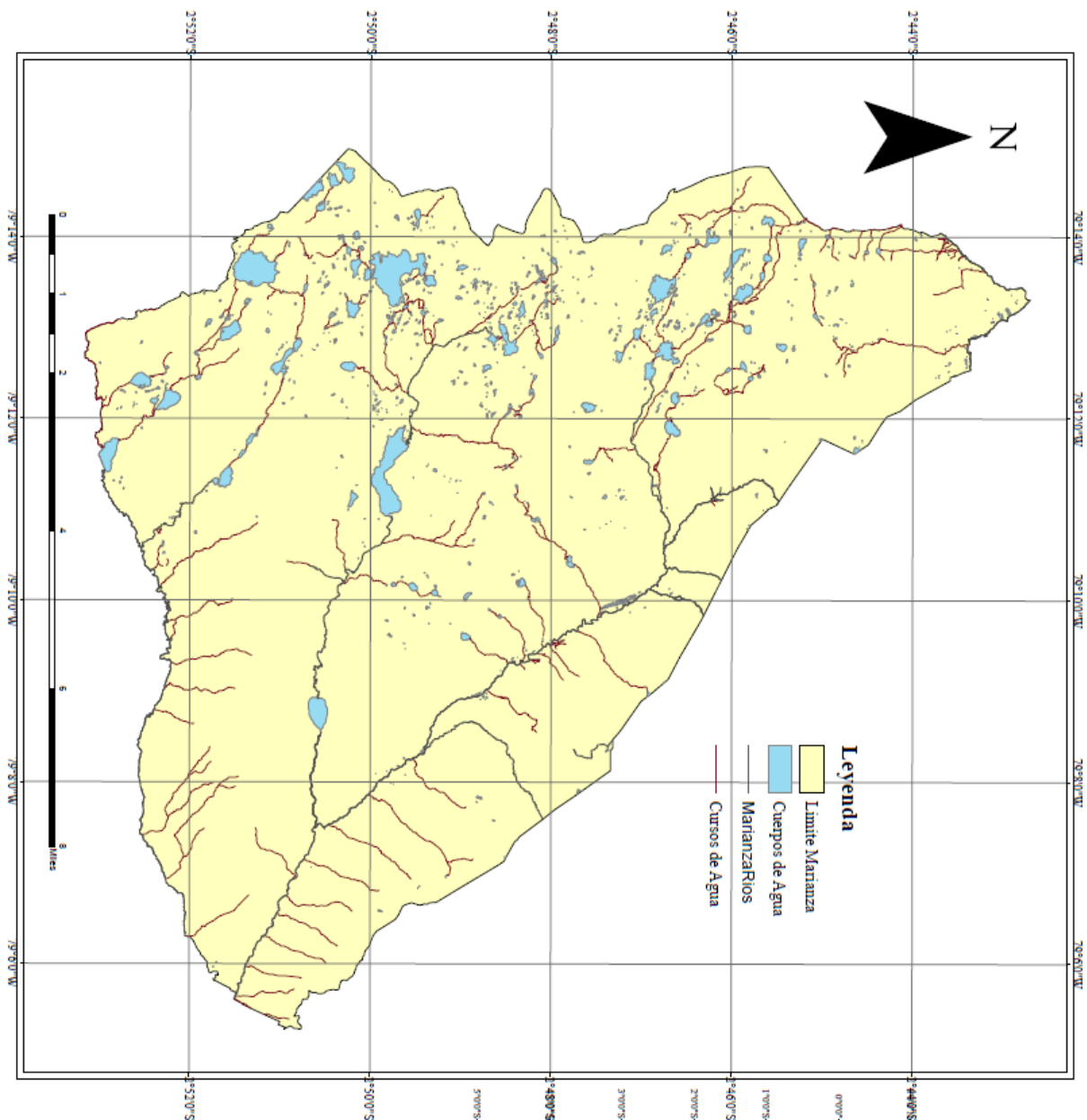
No. Mapa: 3





**SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS
EN EL SECTOR DE MARIANZA**

TRABAJO DE TITULACIÓN:	
Análisis de la geología en el sector Marianza - Sayausi y su relación con zonas vulnerables a deslizamientos	
MAPA DE PENDIENTES DE MARIANZA	
Autores: Juan Marañón - Gabriel Rosales	
Carrera: Ingeniería Civil	
Zona UTM: 17S Datum: WGS84	
No. Mapa: 4	



SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA COMUNIDAD DE MARIANZA



TRABAJO DE TITULACIÓN:
 Análisis de la geología en el sector Marianza - Sayausí
 y su relación con zonas vulnerables a deslizamientos

HIDROLOGIA DEL SECTOR MARIANZA

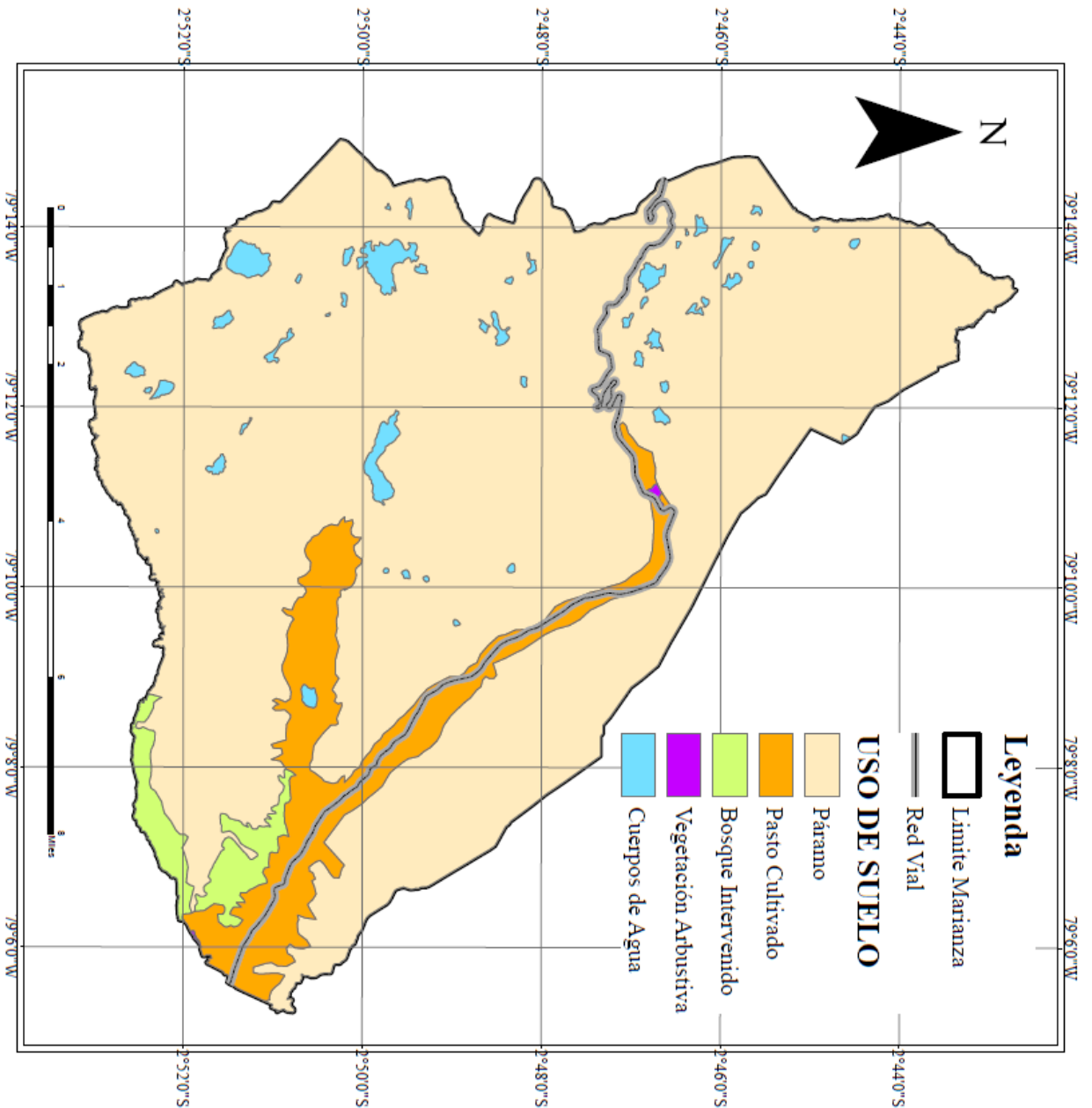
Autores: Juan Matatio - Gabriel Rosales

Carrera: Ingeniería Civil

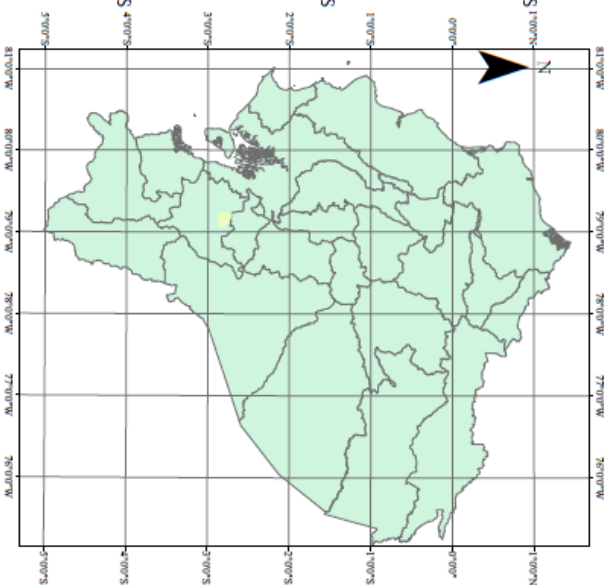
Zona UTM: 17S Datum: WGS84


No. Mapa: 5

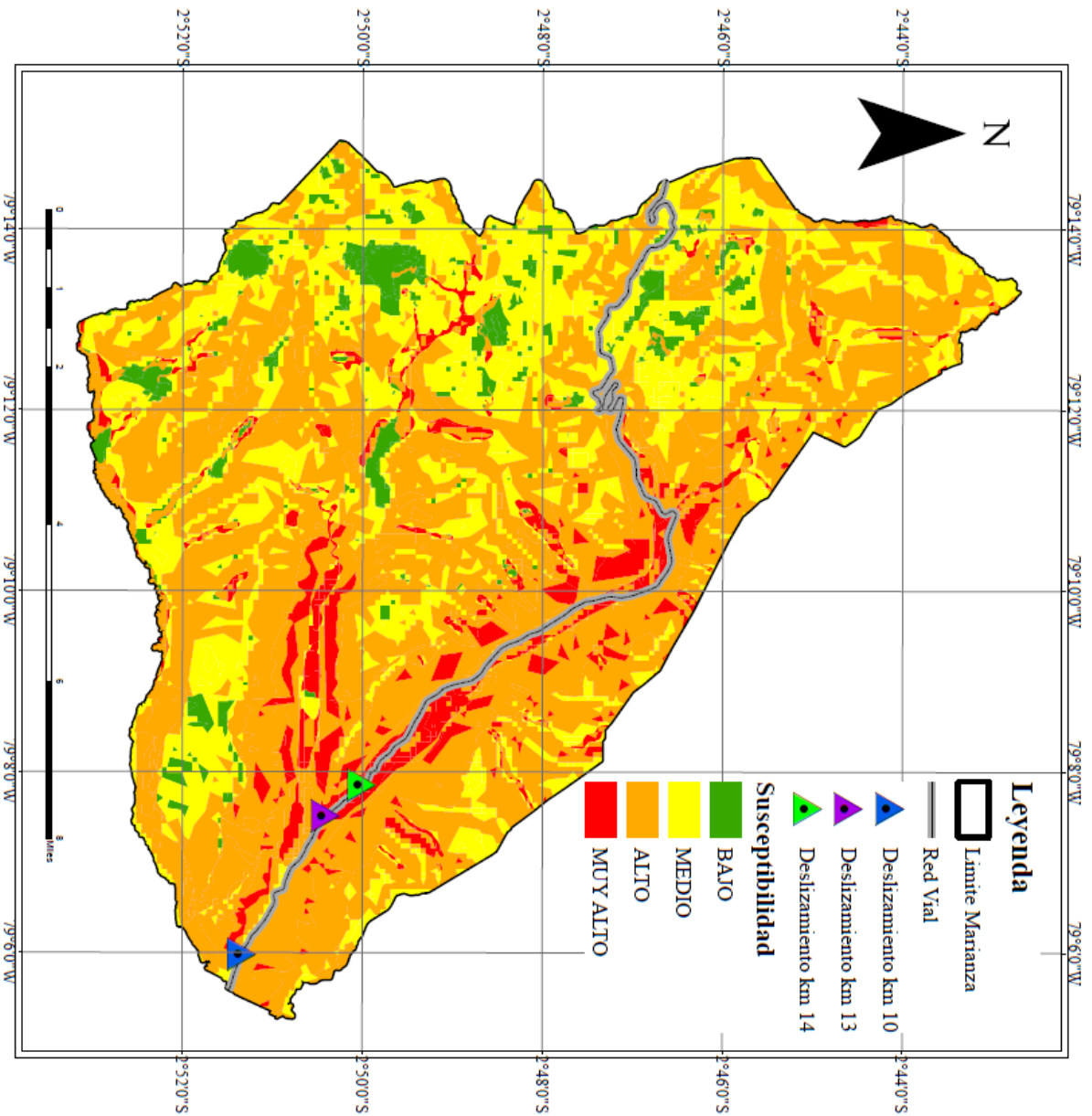




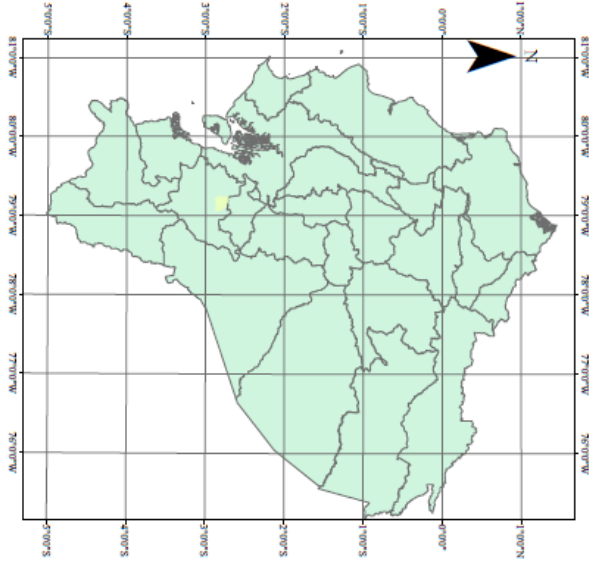
**SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS
EN EL SECTOR DE MARIANZA**




TRABAJO DE TITULACION:	
Análisis de la geología en el sector Marianza - Sayausí y su relación con zonas vulnerables a deslizamientos	
USO DE SUELO DE MARIANZA	
Autores: Juan Marañón - Gabriel Rosales	
Carrera: Ingeniería Civil	
Zona UTM: 17S Datum: WGS84	
No. Mapa: 6	



SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL SECTOR DE MARIANZA



TRABAJO DE TITULACION:	
Análisis de la geología en el sector Maranza - Sayausí y su relación con zonas vulnerables a deslizamientos	
USO DE SUELO DE MARIANZA	
Autores: Juan Maratlo - Gabriel Rosales	
Carrera: Ingeniería Civil	
Zona UTM: 17S Datum: WGS84	
No. Mapa: 6	
	

**AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

Nosotros, **Juan Carlos Matailo Fernández** y **Gabriel Alexander Rosales Tinoco** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0106476062 y 0750199754. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "**Análisis de la geología en el sector Marianza – Sayausí y su relación con zonas vulnerables a deslizamiento**" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 8 de octubre de 2024

F: 
Juan Carlos Matailo Fernández
0106476062

F: 
Gabriel Alexander Rosales Tinoco
0750199754