



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no
Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe a escala 1:10 000

**Trabajo de Titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera en Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial.**

AUTOR:

Erica Guadalupe Villacís Jiménez

DIRECTOR:

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2022

Certificación

Ingeniero.

Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de titulación, realizado por la señorita egresada: **Erica Guadalupe Villacís Jiménez** con C.I.; 1900861533, en su proceso de investigación denominado: **Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro, cantón Chinchipec, provincia de Zamora Chinchipec a escala 1:10000**, previo a la obtención del título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, la misma que ha cumplido con el cien por ciento (100%) del trabajo de titulación, por lo que autorizó su presentación para la evaluación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 23 de marzo de 2022



Firmado electrónicamente por:
**FERMIN ALEXANDER
GONZALEZ SISALIMA**

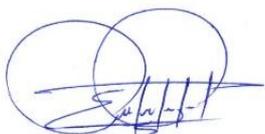
Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Erica Guadalupe Villacís Jiménez**, declaro ser autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula: 1900861533

Fecha: 05 de julio del 2022

Correo electrónico: erica.villacis@unl.edu.ec

Celular: 0979940199

Carta de autorización

Yo, **Erica Guadalupe Villacís Jiménez**, declaro ser autora del trabajo de titulación denominado: **Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro, cantón Chinchipec, provincia de Zamora Chinchipec a escala 1:10000**, como requisito para optar el título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial; autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar los contenidos de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza del plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los cinco días del mes de julio del dos mil veinte y dos.

Firma:



Autor: Erica Guadalupe Villacís Jiménez

Cédula: 1900861533

Dirección: Loja, barrio El Rosal.

Correo electrónico: erica.villacis@unl.edu.ec

Celular: 0979940199

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del trabajo de titulación: Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg.sc

Dedicatoria

A mi madre Martha Jiménez, a quien con mucho amor le dedico todo mi esfuerzo y dedicación puesto en la culminación de este trabajo de titulación.

Erica Guadalupe Villacís Jiménez.

Agradecimiento

El presente trabajo va dirigido con expresión de gratitud a Dios, por regalarme la vida y por haberme dado la sabiduría necesaria para entender y tomar las mejores decisiones durante el proceso de formación profesional. A mi querida familia, que con su afán y sacrificio supieron motivarme moral y materialmente para culminar mis estudios universitarios.

A la Universidad Nacional de Loja y a su administración, les dejo unas palabras de agradecimiento por la oportunidad de permitir que me forme en sus aulas, de las cuales me llevo los más gratos recuerdos. Asimismo, a toda la planta docente de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, que con nobleza, transparencia y sacrificio me compartieron sus vastos conocimientos y experiencias profesionales. Especialmente agradecer a mi tutor, Ing. Alexander González, quien supo orientarme y dedicarme parte de su tiempo para el desarrollo del presente proyecto., por su confianza, paciencia y profesionalismo, gracias.

A todos mis compañeros, quienes durante seis años de universidad nunca me negaron su ayuda. Finalmente, a mis amigos los: Nadia R, Daniela L, y Stalin G, gracias por los buenos momentos vividos, por la confianza y la alegría que compartieron conmigo.

Erica Guadalupe Villacís Jiménez.

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	6
4.1. Peligrosidad.....	6
4.1.1. Peligrosidad a deslizamientos	6
4.1.2. Métodos para la estimación de la peligrosidad	6
4.2. Deslizamientos	12
4.2.1. Definición	12
4.2.2. Tipos de deslizamientos.....	13
4.2.3. Partes de un deslizamiento.....	15
4.2.4. Dimensiones de los deslizamientos	17
4.2.5. Estado de actividad de los deslizamientos	18
4.2.6. Estilo de deslizamiento	19
4.2.7. Secuencia de repetición de deslizamientos	19
4.2.8. Velocidad de los deslizamientos.....	19
4.2.9. Inventario de deslizamientos.....	20
4.3. Factores de inestabilidad de los deslizamientos.....	21
4.3.1. Factores condicionantes.....	21
4.3.2. Factores desencadenantes	24

5.	Metodología.....	26
5.1.	Descripción general del área de estudio.....	26
5.1.1.	Ubicación y Acceso	26
5.1.2.	Clima e hidrografía	27
5.1.3.	Topografía.....	28
5.1.4.	Geología regional.....	28
5.1.5.	Geología estructural	32
5.2.	Materiales y equipos utilizados	34
5.3.	Procedimiento.....	35
5.4.	Procesamiento y análisis de datos	36
5.4.1.	Revisión de estudios previos.....	36
5.4.2.	Generación de la base topográfica a escala 1: 10 000	36
5.4.3.	Fotointerpretación	37
5.4.4.	Levantamiento en campo	38
5.4.5.	Procesamiento de información.....	40
5.4.5.1.	Inventario de deslizamientos a escala 1: 10 000.....	40
5.4.5.2.	Pendientes a escala 1: 10 000.....	41
5.4.5.3.	Geomorfología a escala 1: 10 000.	41
5.4.5.4.	Geología a escala 1: 10 000.	44
5.4.5.5.	Uso actual del suelo a escala 1: 10 000.....	45
5.4.5.6.	Intensidad de lluvias a escala 1: 10 000.....	46
5.4.5.7.	Peligrosidad a escala 1:10 000.....	54
6.	Resultados.....	58
6.1.	Inventario de deslizamientos existentes en la parroquia El Chorro	58
6.2.	Caracterización de los factores condicionantes y desencadenantes	65
6.2.1.	Factores condicionantes	65
6.2.1.1.	Pendientes	65
6.2.1.2.	Geomorfología	66
6.2.1.3.	Geología.....	72
6.2.1.4.	Uso actual del suelo	84
6.2.2.	Factor Desencadenante	86
6.2.2.1.	Intensidad de Lluvias	86
6.3.	Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty	87

6.3.1.	Ponderación del parámetro de evaluación	87
6.3.2.	Ponderación del parámetro de susceptibilidad.....	89
6.3.3.	Ponderación del parámetro desencadenante	90
6.3.4.	Ponderación de la geomorfología	91
6.3.5.	Ponderación del uso actual del suelo	93
6.3.6.	Ponderación de la geología	94
6.3.7.	Ponderación de la pendiente	96
6.3.8.	Determinación de los valores de susceptibilidad y peligrosidad	98
6.3.8.1.	Susceptibilidad a deslizamientos	98
6.3.8.2.	Peligrosidad a deslizamientos	99
6.3.8.3.	Niveles y rangos de peligrosidad	99
6.4.	Mapa de peligrosidad a deslizamientos escala 1:10 000.....	100
7.	Discusión	103
7.1.	Análisis de inventario de deslizamientos	103
7.2.	Análisis de la cartografía de los factores condicionantes y desencadenantes.....	104
7.2.1.	Geomorfología	104
7.2.2.	Uso actual del suelo	104
7.2.3.	Geología.....	105
7.2.4.	Pendientes	106
7.2.5.	Intensidad de lluvias	106
7.3.	Análisis de la representación cartográfica de peligrosidad	107
7.3.1.	Niveles de peligrosidad.....	107
7.3.2.	Distribución espacial de los niveles de peligrosidad	107
8.	Conclusiones.....	109
9.	Recomendaciones	111
10.	Referencias bibliográficas	113
11.	Anexos	120

Índice de tablas

Tabla 1. Escala de estimación del valor de importancia relativa de Saaty (1980)	9
Tabla 2. Índices Aleatorios para los diferentes “n”	12
Tabla 3. Escala de velocidades del movimiento según Cruden y Varnes (1996).....	20
Tabla 4. Vías de acceso al área de estudio.	27
Tabla 5. Unidades litológicas del dominio Pucará-Zamora	29
Tabla 6. Insumos de procesamiento	35
Tabla 7. Rangos de clasificación de las pendientes según Demek (1972).	41
Tabla 8. Categoría de Unidad Genética.....	42
Tabla 9. Categoría de Forma del drenaje.....	42
Tabla 10. Categoría de formas de cima, vertiente y valle	43
Tabla 11. Categoría de desnivel relativo	43
Tabla 12. Categoría de pendiente	44
Tabla 13. Categoría de longitud de vertiente.....	44
Tabla 14. Clasificación del uso del suelo	45
Tabla 15. Estaciones meteorológicas circundantes a la parroquia El Chorro	46
Tabla 16. Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) del periodo 1990-2020, La Argelia (M033).....	47
Tabla 17. Distribución de probabilidades del periodo 1990-2020, La Argelia (M033).....	48
Tabla 18. Precipitación diaria máxima probable para distintos periodos de retorno, La Argelia (M033).....	51
Tabla 19. Coeficientes para las relaciones de tiempo de duración de lluvias	51
Tabla 20. Precipitación media promedio para diferentes tiempos de duración. Estación La Argelia	52
Tabla 21. Intensidad de lluvia (mm/h) según periodo de retorno, La Argelia (M033)	52
Tabla 22. Intensidad de lluvia de 1 h para varios periodos de retorno en la parroquia El Chorro.....	53
Tabla 23. Nivel y descripción de peligrosidad a deslizamientos.....	56
Tabla 24. Inventario de deslizamientos existentes en la parroquia El Chorro	64
Tabla 25. Área y porcentaje de pendientes existentes en la parroquia El Chorro	65
Tabla 26. Caracterización de las geoformas presentes en la parroquia El Chorro	66
Tabla 27. Área y porcentaje de geoformas de la parroquia El Chorro	66

Tabla 28. Área y porcentaje de litologías presentes en la parroquia El Chorro	72
Tabla 29. Área y porcentaje del uso actual del suelo existente en la parroquia El Chorro .	84
Tabla 30. Área y porcentaje de intensidad de lluvia (mm/h) en la parroquia El Chorro.....	86
Tabla 31. Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación.....	87
Tabla 32. Matriz de normalización del parámetro de evaluación.....	87
Tabla 33. Matriz de vector prioridad de pares del parámetro de evaluación.....	88
Tabla 34. Matriz de Relación de Consistencia del parámetro de evaluación	88
Tabla 35. Matriz de comparación de pares del parámetro de susceptibilidad.....	89
Tabla 36. Matriz de normalización y vector prioridad del parámetro de susceptibilidad ...	89
Tabla 37. Matriz de Relación de Consistencia del parámetro de susceptibilidad	89
Tabla 38. Matriz de comparación de pares del parámetro desencadenante.....	90
Tabla 39. Matriz de Normalización y Vector Prioridad del parámetro desencadenante	90
Tabla 40. Matriz de Relación de Consistencia del parámetro desencadenante	90
Tabla 41. Matriz de comparación de pares de la geomorfología.....	92
Tabla 42. Matriz de normalización y vector prioridad de la geomorfología.....	92
Tabla 43. Matriz de Relación de Consistencia de la geomorfología	92
Tabla 44. Matriz de comparación de pares del uso actual del suelo	93
Tabla 45. Matriz de normalización y vector prioridad del uso actual del suelo.....	94
Tabla 46. Matriz de Relación de Consistencia del uso actual del suelo.....	94
Tabla 47. Matriz de comparación de pares de la geología	95
Tabla 48. Matriz de normalización y vector prioridad de la geología.....	96
Tabla 49. Matriz de Relación de Consistencia de la geología.....	96
Tabla 50. Matriz de comparación de pares de la pendiente.....	97
Tabla 51. Matriz de normalización y vector prioridad de la pendiente.....	97
Tabla 52. Matriz de Relación de Consistencia de la pendiente	97
Tabla 53. Resumen de los parámetros y los pesos calculados.....	98
Tabla 54. Valor de susceptibilidad a deslizamientos.....	99
Tabla 55. Valor de peligrosidad a deslizamientos.....	99
Tabla 56. Rango y nivel de peligrosidad de la parroquia El Chorro	99
Tabla 57. Área y porcentaje de los niveles de peligrosidad de la parroquia El Chorro	100

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de deslizamiento rotacional	14
Figura 2. Esquema de deslizamiento traslacional.....	14
Figura 3. Partes de un deslizamiento rotacional	15
Figura 4. Dimensiones de los deslizamientos.....	17
Figura 5. Localización de la parroquia El Chorro	26
Figura 6. Topografía de la parroquia El Chorro	28
Figura 7. Geología regional del área de estudio. El cuadro verde indica la ubicación de la parroquia El Chorro.....	33
Figura 8. Esquema del procedimiento empleado en la investigación.....	36
Figura 9. Medición de la morfometría de los deslizamientos.....	39
Figura 10. Gráfico de distribución de deslizamientos según las formaciones geológicas. .	58
Figura 11. Deslizamiento localizado en la vía que conduce al barrio La Toma.....	59
Figura 12. Deslizamiento ubicado al margen derecho de la quebrada Yuncachi.....	60
Figura 13. Deslizamiento ubicado al suroeste del área de estudio	61
Figura 14. Deslizamiento traslacional con caída de roca localizado en el sector Lashipa ..	62
Figura 15. Deslizamiento traslacional localizado en el sector Lashipa.....	63
Figura 16. Mapa de deslizamientos en la parroquia El Chorro a escala 1:10 000.....	63
Figura 17. Distribución espacial de pendientes de la parroquia El Chorro a escala 1:10 000	65
Figura 18. Distribución espacial de la geomorfología de la parroquia El Chorro.....	67
Figura 19. Terraza baja y cauce actual de la quebrada Yuncachi, parroquia El Chorro	68
Figura 20. Relieve colinado alto, parroquia El Chorro.....	69
Figura 21. Relieve colinado medio, parroquia El Chorro.....	69
Figura 22. Relieve colinado bajo, parroquia El Chorro.....	70
Figura 23. Relieve colinado muy bajo con presencia de agua estancada, parroquia El Chorro	71
Figura 24. Relieve montañoso, parroquia El Chorro.....	71
Figura 25. Deslizamiento, parroquia El Chorro	72
Figura 26. Conglomerado masivo con matriz arenosa. Sedimentos La Huaca	73
Figura 27. Conglomerado con intercalación y lente de arenisca. Sedimentos La Huaca....	74

Figura 28. Contacto concordante entre areniscas y conglomerados. Sedimentos La Huaca	75
Figura 29. Piroclastos de tobas aflorantes en el área de estudio.....	76
Figura 30. Toba arenosa con presencia de clastos metamórficos. Unidad Chito	77
Figura 31. Afloramiento de granodioritas fracturadas y meteorizadas. Complejo Intrusivo Zamora.....	78
Figura 32. Dique de roca intrusiva fracturada. La roca presenta patrones dendríticos de color oscuro.....	79
Figura 33. Material ígneo en proceso de meteorización. Complejo Intrusivo Zamora	80
Figura 34. Depósitos aluviales en las terrazas bajas del río Mayo	80
Figura 35. Afloramiento de terraza aluvial con estratificación de arenisca grisácea	81
Figura 36. Depósito coluvial de cantos subredondeados en una matriz areno limosa	82
Figura 37. Depósito coluvial al flanco derecho de la quebrada en la parroquia El Chorro.	82
Figura 38. Distribución espacial de la geología local de la parroquia El Chorro.....	83
Figura 39. Corte geológico A – A´	83
Figura 40. Distribución espacial del uso actual del suelo de la parroquia El Chorro.....	84
Figura 41. Tipo de uso actual del suelo en la parroquia El Chorro: A. Pastizal, B. Bosque nativo.	85
Figura 42. Tipo de uso actual del suelo en la parroquia El Chorro: C. Cultivos, D. Arbustiva	85
Figura 43. Tipo de uso actual del suelo en la parroquia El Chorro: E. Área poblada, F. Cuerpos de agua.....	86
Figura 44. Distribución espacial de la intensidad de lluvia de la parroquia El Chorro	87
Figura 45. Peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro. Escala 1:10 000.....	101

Índice de anexos

Anexo 1. Metodología para la fotointerpretación de deslizamientos	120
Anexo 2. Metodología para la fotointerpretación de geoformas	121
Anexo 3. Metodología para la fotointerpretación del uso actual del suelo	125
Anexo 4. Fichas de inventario de deslizamientos, versión 1.0.....	126
Anexo 5. Fichas de descripción de afloramientos	127
Anexo 6. Cálculos de intensidad de lluvia	128
Anexo 7. Mapas temáticos de la parroquia El Chorro.....	129
Anexo 8. Certificación de traducción al idioma inglés	130

1. Título

Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro, cantón
Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe a escala 1:10000.

2. Resumen

En el presente proyecto “Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe a escala 1:10 000”, se utilizó el método denominado Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty (AHP) para la toma de decisiones, el cual se integró a las bases de datos cartográficos en los Sistema de Información Geográfica (SIG). Asimismo, el método AHP fue útil para comparar todos los parámetros y variables de la evaluación, asignándoles pesos a partir de juicios de valor. Las variables analizadas se levantaron en el campo y luego se procesaron en la oficina, para ello, se caracterizaron los factores condicionantes que inciden en el terreno de la parroquia, como son: la pendiente, la geología, la geomorfología (relieve) y el uso actual del suelo. Además, se determinó el factor desencadenante de los deslizamientos, correspondiente a la intensidad de lluvias, complementado con el análisis de probabilidad de ocurrencia del 4 % en un periodo de retorno de 25 años. A partir de la intersección de los mapas temáticos en el software ArcGIS 10.4.1 de los factores antes mencionados, el resultado fue el mapa de peligrosidad por deslizamientos. Así, la zona de estudio se categorizó en cuatro clases o niveles de peligrosidad: bajo, medio, alto y muy alto. Las áreas donde se localiza el mayor número de deslizamientos, pertenecen a las zonas de muy alta y alta peligrosidad, dichas zonas en conjunto ocupan el 15.35 % del área de estudio, equivalente a 2.28 km², definiéndolas a esas zonas no aptas para las actividades de planificación territorial. Por otro lado, las áreas relativamente seguras con nivel de peligrosidad medio y bajo ocupan 12.57 km², equivalente al 84.65 % del total de área de estudio.

Palabras claves: AHP, factor condicionante, factor desencadenante, periodo de retorno.

2.1. Abstract

The present project denominated "Landslide hazard analysis in El Chorro parish, Chinchipe canton, Zamora Chinchipe province at scale 1:10 000", utilized the method called Saaty's Hierarchical Analysis Process (AHP) in order to make decisions, which was integrated to the cartographic databases in the Geographic Information System (GIS). In the same way, the AHP method was also useful for comparing all the parameters and variables of the evaluation, assigning them weights based on value judgement. The analyzed variables were collected in the field and then processed in the office. For that, the conditioning factors that affect the terrain of the parish were characterized, such as slope, geology, geomorphology (pending) and current land use. In addition, the triggering factor of landslides was determined. It corresponds to the intensity of rainfall, complemented with the analysis of the probability of occurrence of 4% in a return period of 25 years. From the intersection of the thematic maps in ArcGIS 10.4.1 software of the factors mentioned beforehand, the result was the landslide hazard map. Thus, the study area was categorized into four hazard classes or levels: low, medium, high, very high. The areas with the highest number of landslides belong to the very high and hazard zones. Such areas altogether take the 15.35% of the study area, equivalent to 2.28 Km², making them as unsuitable for land-use planning activities. Conversely, the relatively safe areas with the dangerousness level medium and low occupied 12.57 Km², equivalent to 84.65% of the total study area.

Keywords: AHP, conditioning factor, triggering factor, return period.

3. Introducción

Los mapas de peligrosidad son eventualmente los más frecuentes en el contexto general de los mapas de riesgos. Varnes (1984), indica que la peligrosidad es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente perjudicial en un periodo de tiempo determinado y en un área específica. En la mayoría de los países de América Latina, la peligrosidad consta de dos conceptos, probabilidad y severidad, un aspecto de este último es la intensidad o magnitud que, a través de una escala basada en algún parámetro del fenómeno, sitúa a este comparativamente con otros de forma absoluta (Ayala, 2002).

El trabajo de evaluación de los peligros de origen natural, se inició en el Ecuador aproximadamente en la década de los 90, en un proceso de mejoramiento del conocimiento de la exposición de la población a los fenómenos de origen natural, en gran medida, al hecho de que los desastres naturales causan daños y pérdidas cada vez más elevados. Luego, surgió de la necesidad de Cooperazione Internazionale (COOPI, de Italia) y del Comité de Oxford de Ayuda contra el Hambre (OXFAM, de Gran Bretaña), dos organizaciones no gubernamentales especializadas en temas humanitarios, de contar con instrumentos de información que permitan establecer prioridades geográficas para sus intervenciones en el Ecuador (Demoraes et al, 2001).

El Ecuador es un país andino con una serie de características biofísicas que condicionan la ocurrencia de eventos geológicos naturales, entre ellas: lluvias intensas; sucesión de estaciones secas; fuertes pendientes y de grandes extensiones; formaciones geológicas sensibles a la erosión; la zona de subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana, etc. Si bien la historia del Ecuador está marcada por numerosos eventos catastróficos, los registros históricos solo señalan eventos que tuvieron un impacto significativo en los asentamientos humanos, así, en el siglo XX, las pérdidas de vidas humanas debido a los eventos naturales superaron las 14 000, mientras que las económicas excedieron los 2 800 millones de dólares (Demoraes et al, 2001). En este sentido, Corominas (1992), menciona que los mapas de inventario, susceptibilidad y peligrosidad del terreno frente a las amenazas naturales representan una de las principales medidas para la prevención y mitigación de las pérdidas producidas por los fenómenos, convirtiéndose en una herramienta fundamental para la planificación territorial (Soto, 2018).

En el contexto anterior, los deslizamientos son los fenómenos naturales que más ocurren en las laderas y taludes de forma repentina o lenta. Varios factores son incidentes en el advenimiento de deslizamientos, entre los cuales se pueden citar, la pendiente, la extensión de las vertientes, las formaciones geológicas subyacentes, las precipitaciones (cantidad y repartición anual o diaria), la existencia de fallas geológicas, la ocurrencia de sismos y también el uso de los suelos (D'Ercole et al, 2003).

La parroquia rural El Chorro, perteneciente al cantón Chinchipe, se encuentra ubicada al sur de Ecuador, en la jurisdicción administrativa de la provincia de Zamora Chinchipe. El área de estudio tiene una superficie de 1 485,24 ha equivalente a 14,85 km², esta se caracteriza por estar asentada en un relieve semiplano ondulado, colinado y montañoso, donde sus litologías son de consistencia baja, es decir, son depósitos de suelos arcillosos, arenosos, de conglomerados, tobas y de granodioritas, todos estos alterados y meteorizados, quienes al sumarse a las intensas lluvias se desencadenan de forma negativa procesos geodinámicos externos (deslizamientos).

Ante los problemas que ocurren en la parroquia y por la falta de estudios locales de tipo geomorfológicos, geológicos y climáticos que permitan categorizar el nivel de peligrosidad, se consideró que la realización de un mapa de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro, no solo constituirá un aporte adicional al conocimiento de las condiciones actuales del sector, sino que también permitirá dar un valioso precedente para la realización y evaluación de estudios de riesgo, esto con el fin de que en un futuro se pueda tratar de contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta parroquia ayudando en la toma de decisiones acertadas para la planificación territorial.

Para ello, el objetivo general del presente trabajo fue analizar el peligro a deslizamientos en la parroquia El Chorro a escala 1: 10 000, y los objetivos específicos que guiaron el desarrollo de la investigación fueron los siguientes:

1. Realizar el inventario de deslizamientos existentes en la parroquia El Chorro.
2. Caracterizar los factores condicionantes y desencadenantes que provocan los deslizamientos en la parroquia El Chorro.
3. Elaborar el mapa de peligrosidad a deslizamientos de la zona de estudio, a escala 1:10 000.

4. Marco teórico

4.1. Peligrosidad

Varnes (1984), afirma que la peligrosidad es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente perjudicial en un periodo de tiempo determinado y en un área específica, el análisis de ésta permite zonificar el terreno de acuerdo con su grado real o potencial de amenaza, es decir, localizar las áreas inestables y las potencialmente inestables.

Para la evaluación de la peligrosidad resulta necesario conocer (González de Vallejo et al, 2002, p. 609):

- Dónde y cuando ocurrieron los procesos en el pasado.
- La intensidad y magnitud que tuvieron.
- Las zonas en que pueden ocurrir procesos futuros.
- La frecuencia de ocurrencia (en caso de los deslizamientos, se determina si se conocen los factores que los desencadenan, por ejemplo, el periodo de retorno de las precipitaciones).

4.1.1. Peligrosidad a deslizamientos

Se expresa como el grado de severidad (amenaza) de una determinada inestabilidad, o bien, como la probabilidad que suceda un deslizamiento en un tiempo determinado y un área específica.

Suárez (2009), menciona que una evaluación de peligrosidad a los deslizamientos, incluye un estudio previo de la susceptibilidad y de la posibilidad de que ocurra un evento detonante, asociado a una probabilidad de ocurrencia determinada. Para estimar la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de deslizamientos, se necesita calcular los periodos de retorno de estos eventos.

4.1.2. Métodos para la estimación de la peligrosidad

Para la evaluación y confección de mapas de peligrosidad del terreno existen los métodos, directos e indirectos. Los *métodos directos* acuden a la simple representación a modo de inventario de los movimientos ocurridos en el pasado basándose en criterios

principalmente geomorfológicos (Bonachea, 2006). Por otra parte, los *métodos indirectos* correlacionan los deslizamientos ocurridos en un área con los factores desencadenantes, este tipo de método, a su vez, se clasifica en cuantitativos, cualitativos y semicualitativos.

A) Métodos cuantitativos

Los métodos cuantitativos se basan en expresiones matemáticas que correlacionan los factores causales de deslizamientos.

1. Estadísticos

Según Suárez (2009), los métodos estadísticos se refieren al cálculo de la densidad en los deslizamientos (porcentaje del área que es ocupada por estos), para cada unidad geomorfológicamente homogénea o para determinados rangos de factores determinantes de la estabilidad. Los métodos estadísticos se clasifican en univariado y bivariado.

- Método estadístico univariado. –“se basa en la superposición de uno o más factores como pendientes, geología, cobertura vegetal, etc., con el mapa de distribución de deslizamientos” (Ramírez, 2006, p. 45). Por su parte, González (2015) utiliza como variable independiente el mapa de densidad de procesos morfodinámicos, el cual se aplica en zonas donde se tiene una muestra estadística representativa de deslizamientos actuales y pasados.
- Método estadístico bivariado. – según Santacana, “los métodos estadísticos bivariados estudian la interacción y dependencia de un conjunto de factores que actúan simultáneamente en la ocurrencia de deslizamientos, para establecer la implicación que tiene cada uno de ellos “ (2001, p. 399). En este método también se consideran los factores de análisis, pero se divide la zona de estudio en unidades morfométricas, en las que, en cada unidad se establece la presencia o ausencia de deslizamientos.

2. Determinísticos

Los métodos determinísticos se utilizan para el estudio de la estabilidad de una ladera o talud concreto, se fundamentan en métodos basados en el equilibrio límite o en modelos numéricos teniendo una base física, lo que es de gran ventaja respecto a otros métodos. Suárez, indica que se elaboran los modelos de análisis de estabilidad de taludes con base en la información obtenida y se calculan los factores de seguridad para el deslizamiento, “estos

modelos requieren información específica sobre la estratificación, estructura, propiedades de resistencia de los materiales y modelos de simulación de niveles freáticos, de acuerdo con los períodos de retorno” (2009, p. 555).

B) Métodos cualitativos

Los métodos cualitativos de análisis de deslizamientos consisten o se basan en las opiniones de expertos para la clasificación de la peligrosidad.

1. Método heurístico

El Servicio Geológico Colombiano (2013), señala que el método heurístico es un método indirecto que se fundamenta en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de movimientos en masa. Se apoyan en el juicio personal o criterio del experto para clasificar el mapa en clases de peligrosidad, por lo que la subjetividad inherente a su elaboración (como consecuencia de la asignación de pesos) es un aspecto importante a tener en cuenta (Bonachea, 2006).

Según Suárez, estos métodos “se basan en el estudio conceptual de los procesos de ocurrencia de los deslizamientos y requiere del análisis por parte de profesionales con conocimientos y experiencia de la región estudiada y de los procesos” (2009, p. 548).

La evaluación es fácil y directa; y, la información que no existe, se supone o se interpola en forma subjetiva. Las desventajas de la evaluación por expertos están en la subjetividad de los criterios. Puesto que se requiere de un conocimiento muy completo y específico de las causas y factores que producen la inestabilidad en las áreas estudiadas y del conocimiento previo de cómo han ocurrido los deslizamientos históricos en el área estudiada (Suárez, 2009).

C) Método semicualitativo.

Suárez (2009), afirma que este tipo de método se caracteriza por permitir zonificar la peligrosidad con el análisis cualitativo, es decir, tomar decisiones con ayuda del criterio o juicio de expertos, y a su vez, con el complemento del análisis cuantitativo, con el que se emplea datos asociados al problema, desarrollando así expresiones matemáticas.

El método semicualitativo más empleado es el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP- The Analytic Hierarchy Process), el cual se detalla a continuación:

1. Proceso de Análisis Jerárquico

Método desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty en 1980, el cual consiste en un procedimiento de comparación por pares de criterios, basado en el análisis cualitativo y cuantitativo para la toma de decisiones. Según Toskano, “el proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios, y que después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión para cada criterio” (2005, p. 1).

El Proceso de Análisis Jerárquico, por medio de la construcción de un modelo jerárquico, permite de manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes, y sintetizar (Toskano, 2005). La base matemática del AHP es la siguiente:

- **Determinación de prioridades con el AHP.** - quien toma las decisiones debe señalar una preferencia global o prioridad con respecto a cada alternativa de decisión.
- **Comparaciones pareadas.** - para las comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty, la cual va desde 1 hasta 9 (ver Tabla 1).

Tabla 1. Escala de estimación del valor de importancia relativa de Saaty (1980)

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
9	Absolutamente o muchísimo más importante que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
5	Mas importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a ...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1/9	Absolutamente o muchísimo	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo menos importante que el segundo.
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	

Nota. Tomado de “The Analytic Hierarchy Process” (p. 163), por Saaty, 1980. *Management Science*.

- **Matriz de comparaciones pareadas.** – consiste en una matriz cuadrada, en el cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar, estableciendo una matriz de comparación de importancia (tomándolos en pares) de cada uno de los criterios con los demás. Se dice que A es una matriz de comparaciones pareadas de n alternativas, si a_{ij} es la medida de la preferencia de la alternativa en el reglón i cuando se le compara con la alternativa de la columna j . Cuando $i = j$, el valor de a_{ij} será igual a 1, debido a que se compara la alternativa consigo misma (Toskano, 2005).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Se suma verticalmente los elementos de cada columna:

$$v_1, v_2, \dots, v_n = \sum_{i=1}^n a_i$$

- **Matriz normalizada** . - se obtiene de dividir cada elemento de matriz entre la suma obtenida, para conseguir:

$$A_{normalizada} = \begin{bmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \cdots & a_{1n}/v_n \\ a_{21}/v_1 & 1/v_2 & \cdots & a_{2n}/v_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1}/v_1 & a_{n2}/v_2 & \cdots & 1/v_n \end{bmatrix}$$

- **Matriz de prioridades** . - consiste en obtener el vector prioridad, el cual nos mostrará los pesos ponderados de cada criterio a partir de la matriz normalizada (CENEPRED, 2014). Para ello se calcula el vector columna y se obtiene el vector de prioridades de los criterios:

$$P = \begin{bmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ P_{c1n} \end{bmatrix}$$

La suma de los elementos del vector prioridad debe ser igual a 1.

$$\sum_{i=1}^n P_{c1i} = P_{c11} + P_{c12} + \dots + P_{c1n} = 1$$

- **Relación de Consistencia.**- se pasa a la verificación de la posible existencia de consistencia entre los juicios expresados. Para su cumplimiento, se debe multiplicar cada valor de la primera columna de la matriz de comparación pareada por la prioridad relativa del primer elemento que se considera y así sucesivamente (Toskano, 2005). Se deben sumar los valores sobre las filas para obtener un vector de valores, denominado Vector Suma Ponderada (VSP)

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ P_{c1n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{bmatrix}$$

Luego, se dividen los elementos del vector de suma ponderada entre el correspondiente valor de prioridad para cada uno de los criterios:

$$VSP_{11} / P_{c11} = \lambda_1$$

$$VSP_{12} / P_{c12} = \lambda_2$$

...

...

$$VSP_{1n} / P_{c1n} = \lambda_n$$

Posteriormente, se determina la lambda (eigvector) máxima λ_{max} .

$$\lambda_{max} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n) / n$$

Seguidamente, se calcula el **Índice de Consistencia**, esto permite hallar la relación de consistencia de la matriz para verificar si las decisiones fueron adecuadas.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Se determina la Relación de Consistencia (RC).

$$RC = IC/IA$$

Donde IA es el **Índice Aleatorio** de una matriz de comparaciones pareadas, generada, como su nombre sugiere, de forma aleatoria. En la tabla 2, se indica que el IA depende del número de elementos (n) que se comparan, y se asume los siguientes valores:

Tabla 2. *Índices Aleatorios para los diferentes “n”*

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513

Nota. Número de elementos (n); Índice Aleatorio (IA). Tomado de CENEPRED, 2014.

Toskano (2005), indica que la Razón de Consistencia está diseñada de manera que los valores que exceden de 0.10 son señal de juicios inconsistentes; por lo que el tomador de decisiones debe reconsiderar y modificar los valores originales de la matriz de comparaciones pareadas. Por otro lado, se considera que los valores de la razón de consistencia de menos o igual a 0,10 son señal de un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas.

$$RC \leq 0,10 \rightarrow \text{Consistencia Razonable}$$

$$RC > 0,10 \rightarrow \text{inconsistencia}$$

4.2.Deslizamientos

Los deslizamientos analizados desde el punto de vista geológico, forman parte de la clasificación de movimientos en masa que se caracterizan por poseer planos de rotura causantes de la inestabilidad de los mismos, y que, dependiendo del estado de actividad, velocidad, propiedades internas y de la influencia de las propiedades externas, suelen ser los fenómenos a nivel de la superficie de la tierra los más destructivos para el hombre.

4.2.1. Definición

Varios autores han definido el término “deslizamiento” de forma particular y levemente diferente acorde a distintos campos de estudio. En vista de ello, Cruden, define a los deslizamientos de manera sencilla, como el “movimiento de una masa de roca, escombros o tierra a lo largo de una ladera” (1991, p. 27).

Cruden y Varnes exponen un concepto de deslizamiento más completo y más relacionado a una perspectiva geotécnica, definiéndolo como un “movimiento de ladera abajo de una masa de suelo o roca, predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o de zonas relativamente delgadas sometidas a intensos esfuerzos de corte” (1996, p. 36). En contraste, Scheidegger (1998), interpreta a los deslizamientos dentro del ciclo geomorfológico continuo, como los cambios en el terreno, y que corresponden a la respuesta normal del sistema debido a complejos parámetros exogénicos y endogénicos.

Si bien, la dinámica de este tipo de movimiento en masa es hacia abajo, estos se encuentran influenciados por la gravedad y por las condiciones inestables de la ladera modificadas por los factores geomorfológicos, hidrológicos y geológicos.

4.2.2. Tipos de deslizamientos

Todos los deslizamientos no son iguales, por eso se necesita conocer su tipología según la forma de superficie de falla por la cual se desliza el material.

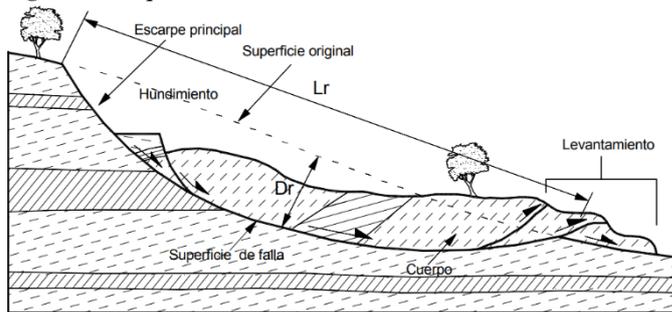
A) Deslizamiento rotacional

Es un tipo de deslizamiento de tierra o roca en el que “la superficie de rotura se curva hacia arriba en “forma de cuchara” y el movimiento del deslizamiento es más o menos de rotación alrededor de un eje que es paralelo al contorno de la ladera” (Highland & Bobrowsky, 2008, p. 11). Los deslizamientos estrictamente rotacionales ocurren usualmente en suelos homogéneos de características cohesivas, en la que la masa empieza a rotar luego de haberse efectuado la inestabilidad.

Son los tipos de deslizamientos más frecuentes que se presentan en la superficie, especialmente en materiales homogéneos. Se asocian con pendientes que varían entre 20° y 40°, la relación de profundidad y longitud de superficie de rotura (D_r/L_r) en general es de 0,3 y 0,1.

En la figura 1 se esquematiza la representación en perfil de un deslizamiento rotacional, en el que se muestra que el movimiento se da donde la ruptura es curva y la masa del cuerpo se inclina hacia atrás, es decir, hacia el escarpe, y por consiguiente en la base existe el levantamiento del material movido.

Figura 1. Esquema de deslizamiento rotacional



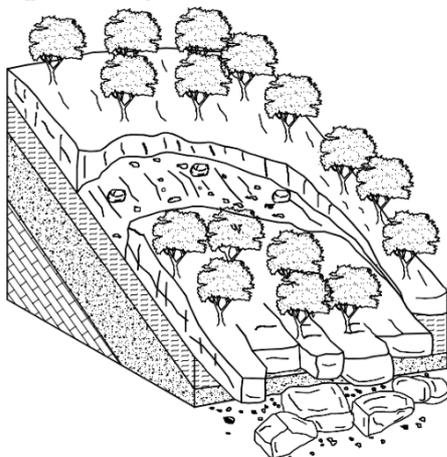
Nota. Tomado de *Deslizamientos, Análisis Geotécnico* (p. 15), por Suárez, 2009.

Según Varnes (1978), los deslizamientos rotacionales de roca se mueven a velocidades desde unos pocos centímetros al año a varios metros por mes, mientras que los que afectan a suelos pueden alcanzar velocidades de hasta 3m/s. En cuanto al tamaño, varían desde algunos metros a grandes áreas de varias hectáreas.

B) Deslizamiento traslacional

Cruden & Varnes, mencionan que estos movimientos “suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual que yace sobre ella” (1996, p. 57-59). Además, Suárez (2009), lo describe como el movimiento en el que la masa se desplaza hacia afuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada, y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (ver Figura 2). Por lo general, son menos profundos que los deslizamientos de rotación.

Figura 2. Esquema de deslizamiento traslacional



Nota. Tomado de *Deslizamientos, Análisis Geotécnico* (p. 19), por Suárez, 2009.

La superficie de falla tiene una relación de distancia de longitud inferior a 0,1, y pueden ir desde fallas pequeñas a deslizamientos de tierra regionales muy grandes que tienen kilómetros de ancho (Highland & Bobrowsky, 2008, p. 14).

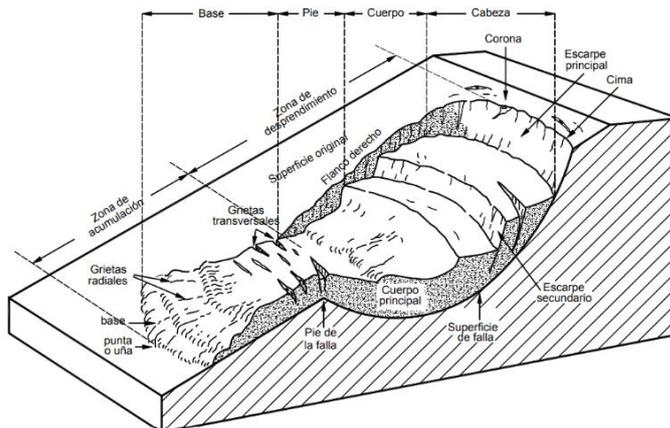
Según Highland & Bobrowsky (2008), la velocidad con la que ocurren los deslizamientos traslacionales puede ser lenta inicialmente (1,5 m/mes), pero muchos tienen una velocidad moderada (1,5 m/día) a extremadamente rápida. Al aumentar la velocidad, la masa aplastante de las fallas de traslación puede desintegrarse y convertirse en una corriente de escombros. Estos, suelen ser desencadenados con mayor frecuencia por factores de origen antrópico, por ejemplo, en cortes de taludes para infraestructuras lineales.

4.2.3. Partes de un deslizamiento

Los deslizamientos se comprenden de una parte alta o superior convexa (cabeza) con una corona, una cima y un escarpe principal, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia (cuerpo) donde se ubica la zona de desprendimiento; y una parte baja o inferior cóncava (pie y base) con una punta o uña y la base, en la cual ocurren principalmente procesos de depositación o acumulación.

En la figura 3 se señala la nomenclatura de las partes principales de un deslizamiento de tipo rotacional.

Figura 3. Partes de un deslizamiento rotacional



Nota. Tomado de *Deslizamientos, Análisis Geotécnico* (p. 5), por Suárez, 2009.

Las siguientes definiciones sobre las partes de un deslizamiento rotacional han sido recopiladas de Suárez (2009, p. 5).

- Cabeza: corresponde a la parte superior de la masa de material que se mueve.

- Cima: es el punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- Corona: es el material inalterado que se encuentra en el sitio, adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
- Escarpe principal: superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.
- Escarpe secundario: superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.
- Superficie de falla: es el área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza.
- Pie de la superficie de falla: es la línea de interceptación (en algunos casos se encuentra oculta), entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- Base: es el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- Punta o ña: corresponde al punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- Cuerpo principal del deslizamiento: es el material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. En un deslizamiento se pueden presentar varios cuerpos de material desplazado.
- Costado o flanco: es un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.
- Derecha e izquierda: se refiere al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie. Lo más recomendable es describir un deslizamiento utilizando la orientación geográfica (norte, sur, este, oeste).

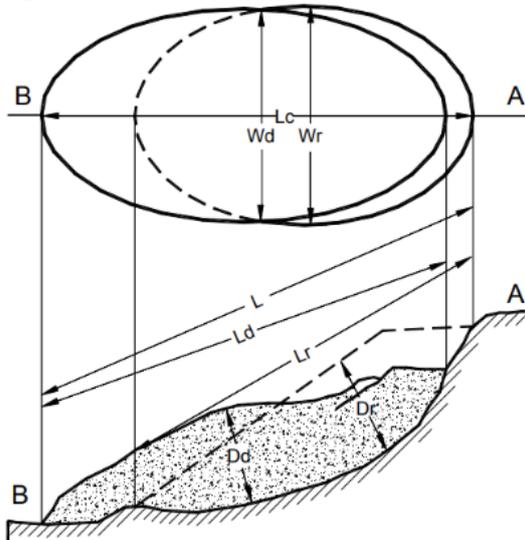
4.2.4. Dimensiones de los deslizamientos

Alcántara, ha afirmado lo siguiente:

El grado de complejidad de un movimiento está en función de los mecanismos y materiales involucrados, los cuales se ven reflejados en las dimensiones que los procesos puedan tener, de tal forma que el empleo de una nomenclatura adecuada es, en gran medida, base fundamental para su estudio (1999, p. 15).

En la figura 4 se esquematiza un modelo generalizado de los parámetros dimensionales de los deslizamientos adaptado de IAEG¹ Commission on Landslides (1990).

Figura 4. Dimensiones de los deslizamientos



Nota. Tomado de *Deslizamientos, Análisis Geotécnico* (p. 6), por Suárez, 2009.

Según Suárez (2009), la terminología utilizada para definir las dimensiones de los deslizamientos es la recomendada por la Comisión IAEG.

- Ancho de la masa desplazada, W_d : es el ancho máximo de la masa desplazada, misma que es perpendicular a su longitud, L_d .
- Ancho de la superficie de falla, W_r : ancho máximo entre los flancos del deslizamiento, es perpendicular a la longitud, L_r .
- Longitud de la masa deslizada, L_d : distancia mínima entre la punta y la cabeza.

¹ IAEG Commission on Landslides (1990). "Suggested nomenclature for landslides". Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 41, p.13-16.

- Longitud de la superficie de falla, Lr: distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- Profundidad de la masa desplazada, Dd: es la máxima profundidad de la masa desplazada, la cual es perpendicular al plano conformado por Wd y Ld.
- Profundidad de la superficie de falla, Dr: es la máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por Wr y Lr.
- Longitud total, L: distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- Longitud de la línea central, Lc: es la distancia que hay desde la punta hasta la corona del deslizamiento, a lo largo de los puntos ubicados sobre la superficie original y equidistantes de los bordes laterales o flancos.

4.2.5. Estado de actividad de los deslizamientos

El estado de actividad ayuda a describir lo que se conoce sobre el tiempo de los movimientos. Cruden & Varnes (1996), mencionan que, de acuerdo con el estado de actividad, los deslizamientos se clasifican de la siguiente manera:

- Activo: es el que se está moviendo en los actuales momentos, incluye los primeros movimientos.
- Reactivado: movimiento que nuevamente está activo, después de haber estado inactivo. Generalmente estos deslizamientos se mueven sobre superficies de cizallamiento preexistentes.
- Suspendido: deslizamiento que ha tenido movimiento en los últimos 12 meses, sin embargo, no se mueve en la actualidad.
- Inactivo: deslizamiento que lleva varios ciclos estacionales sin actividad.
- Abandonado: cuando un movimiento inactivo no es afectado por los factores que lo originaron.
- Estabilizado: movimiento que se encuentra suspendido por obras remediales artificiales.
- Relicto: deslizamientos que probablemente ocurrieron hace varios miles de años.

4.2.6. Estilo de deslizamiento

El estilo de actividad hace referencia a la forma en la que distintos movimientos contribuyen al deslizamiento. La clasificación se la define a partir de los términos establecidos originalmente por Varnes (1978):

- Únicos o sencillos: consisten en un único movimiento de material desplazado.
- Sucesivos: corresponden a movimientos idénticos a los múltiples, pero, a diferencia no comparten material desplazado ni una superficie de ruptura o de falla.
- Complejos: son aquellos que tienen al menos dos tipos de movimiento, por ejemplo, inclinación y deslizamiento.
- Múltiples: son múltiples cuando muestran movimientos repetidos del mismo tipo, a menudo tras la ampliación de la superficie de ruptura.

4.2.7. Secuencia de repetición de deslizamientos

La secuencia se refiere a los movimientos que se inician en un área local y progresan o se repiten en una dirección determinada. Varnes (1978) y Hutchinson (1988), recomiendan utilizar la siguiente terminología:

- Regresivo: la superficie de ruptura se extiende en dirección opuesta al movimiento del material desplazado.
- Progresivo: cuando la superficie de ruptura se extiende en la misma dirección del movimiento del material desplazado.
- Ensanchándose o ampliándose: si la superficie de ruptura se extiende en uno o ambos márgenes laterales.
- Confinado: se refiere a los movimientos que tienen un escarpe visible, pero no tienen superficie de ruptura visible en el pie de la masa desplazada.
- Disminuyendo: el volumen de material que se desplaza, disminuye con el tiempo.

4.2.8. Velocidad de los deslizamientos

La importancia de estudiar la velocidad de los deslizamientos radica en que tiene gran influencia sobre el poder destructivo del fenómeno (Suárez, 2009). Pues bien, es sabido

que un deslizamiento extremadamente rápido es equivalente a daños de gran violencia, por el contrario, un deslizamiento extremadamente lento es casi que imperceptible.

Cruden & Varnes (1996), describieron un rango de velocidades para cada tipo de movimiento en masa, parámetro muy importante, ya que se relaciona con la intensidad y la amenaza que pueden significar. La tabla 3 presenta la relación del intervalo de velocidades típicas.

Tabla 3. Escala de velocidades del movimiento según Cruden y Varnes (1996)

Clases de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/s)	Velocidad típica	Poder Destructor
7	Extremadamente rápido	5×10^3	5 m/s	Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape improbable.
6	Muy rápido	5×10^1	3 m/min	Alguna pérdida de vidas; velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar.
5	Rápido	5×10^{-1}	1,8 m/h	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderada	5×10^{-3}	13 m/mes	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.
3	Lenta	5×10^{-5}	1,6 m/año	Construcciones remediales se pueden realizar durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
2	Muy lenta	5×10^{-7}	16 mm/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.
1	Extremadamente lenta			Movimientos imperceptibles sin instrumentos; posible construcción, pero teniendo ciertas precauciones.

Nota. Tomado de *Deslizamientos, Análisis Geotécnico* (p. 31), por Suárez, 2009.

4.2.9. Inventario de deslizamientos

Es un registro ordenado de la localización, características y distribución espacial de los procesos actuales y pasados que se encuentran en el área de estudio. “En los inventarios se debe considerar características de los procesos como: tipo, magnitud, velocidad, intensidad, etc.” (González de Vallejo et al, 2002, p. 617).

El Instituto Geológico y Minero de España (2008), considera que el proceso para la elaboración de mapas de inventario se estructura en tres fases:

- Recopilación y revisión de la información existente,

- Reconocimiento de campo, y
- Elaboración del mapa de inventario: incluyendo el contenido del mapa y los métodos de representación.

Suárez (2009), menciona que la preparación del mapa de inventario de deslizamientos, se realiza recopilando mapeos previos y con el complemento de observaciones de campo, análisis de fotografías aéreas e interpretación geomorfológica, así como mapas topográficos actuales y antiguos.

4.3. Factores de inestabilidad de los deslizamientos

Los factores que controlan los deslizamientos “son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno” (González de Vallejo et al, 2002, p. 629), ya que pueden afectar la remoción de masas activando el proceso de movimiento en la superficie terrestre. En fin, la inestabilidad de los deslizamientos, es el resultado de la interacción de factores condicionantes, pasivos o internos y del impacto de factores desencadenantes, activos o externos.

4.3.1. Factores condicionantes

Los factores condicionantes, pasivos o internos, se refieren a las *características intrínsecas* relacionadas con las propiedades del material, a sus esfuerzos y resistencias, los cuales incluyen: la litología, textura, espesor de los materiales y parámetros estructurales como planos de estratificación y de debilidad (diaclasas, fallas y fracturas); y por otro lado, a las *características extrínsecas* que no están relacionadas con el material, pero si con la morfología (topografía y pendientes) de las laderas y de las condiciones ambientales de ésta (tipos y cambios en la vegetación) (Ferrer, 1987).

A) Pendiente

Keller et al, plantean que el papel de la pendiente y la topografía son dos factores relevantes, pues bien, “por pendiente se entiende el gradiente o inclinación de la superficie de la tierra, mientras más pronunciada es la pendiente, mayor es la fuerza impulsora” (2004, p. 155).

Por su parte, Villegas define a la topografía como “ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra; así como

determinar distancias, áreas y volúmenes, del mismo modo representa en uno o más mapas una porción de la superficie terrestre” (2014, p. 2). Esta ciencia permite lograr la representación geométrica, bien en forma gráfica o analítica, del espacio y elementos físicos de la Tierra. Dicho esto, la topografía de un sitio es uno de los factores muy importantes a estudiar en el análisis de los deslizamientos (Suárez, 2009), ya que estos ocurren con mayor frecuencia en terrenos que presentan altas pendientes.

Para la representación de un mapa de pendientes, existe una gran variedad de clasificaciones, tales como: Demek, 1972; Palacio-Prieto, 1983; Lugo-Hubp, 1988; Van Zuidam, 1986; Pedraza-Gilzans, 1996; Gutiérrez-Elorza, 2008, útiles en la realización de la zonificación del desnivel del terreno.

B) Geomorfología

Según Summerfield, “la geomorfología es la ciencia que se ocupa de las formas de la superficie del terreno y los procesos que la crean y modelan” (1991, p. 3). En ese sentido Aristizabal y Yokota (2006), mencionan que las condiciones geomorfológicas presentes son fundamentales en el análisis de la ocurrencia de deslizamientos, debido a que los procesos de vertiente son parte integral de los procesos dinámicos como variables que controlan la evolución del paisaje.

Gustavsson et al (2008), manifiestan que los mapas elaborados a partir de la geomorfología representan de manera gráfica y muy precisa todas las formas del relieve de un área, en la que se indican un amplio rango de influencias que han actuado sobre las mismas. Una de las metodologías más usadas en Ecuador para la elaboración de mapas geomorfológicos, es la propuesta por el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remoto (CLIRSEN, 2002) donde se señala que se levanta información desde la génesis, la morfología, las pendientes, y del desnivel relativo.

C) Cobertura vegetal y uso del suelo.

La vegetación tiene un efecto complejo en el desarrollo de los deslizamientos. Por una parte, tiene un papel protector, debido a que protege contra la erosión, además, tiene un efecto estabilizador por el refuerzo del suelo a través de sus raíces; pero, por otra parte, la vegetación también añade peso a una ladera que, en algunos casos este peso adicional aumenta la probabilidad de deslizamientos en el terreno, sobre todo con suelos poco potentes

en pendientes pronunciadas. “El peso de los árboles depende de sus especies, diámetro, altura y separación. La sobrecarga en una ladera incrementa el esfuerzo de cizalla y la presión de agua en los poros” (Gutiérrez, 2008, p. 259-260). Es decir, si el ángulo de la ladera es pequeño la sobrecarga aumenta la estabilidad.

Suárez, expone que:

El objetivo del mapa de uso del suelo, es definir las áreas cubiertas por bosques primarios o secundarios, pastos, cultivos, etc. Por lo que resulta importante definir no solamente el tipo de vegetación, sino su densidad y características específicas. Adicionalmente, deben incluirse las áreas expuestas o desprovistas de vegetación (2009, p. 546).

D) Geología

La geología es la ciencia que se encarga del estudio del planeta Tierra, en su comprensión se investiga su origen, su evolución histórica, la composición y estructura de los materiales que la forman, los procesos dinámicos, su morfología, entre otros.

De acuerdo con Suárez, “en un estudio de deslizamientos se requiere elaborar un mapa detallado de formaciones geológicas superficiales” (2009, p. 461), debido a que cada formación geológica tiende a tener una pauta de comportamiento en cuanto a la ocurrencia de deslizamientos. Es decir, para los deslizamientos, la forma de la superficie del mismo está considerablemente controlada por el tipo de material geológico.

La naturaleza del material geológico que constituye una ladera puede influir en gran medida en el tipo de deslizamiento, por tal motivo, Suárez (2009), expresa que se debe considerar las características litológicas, las estructuras y discontinuidades, y el estado de meteorización.

- *Características Litológicas.* - las características litológicas engloban propiedades como tipo de roca, la composición, la deformabilidad, la alteración, la permeabilidad, la fracturación, la densidad, la cohesión, el ángulo de rozamiento interno, entre otros (Suárez, 2009).
- *Estructura y discontinuidades.* - en los suelos residuales y rocas, la estratificación y las discontinuidades actúan como planos de debilidad o como conductores de corrientes de agua subterránea, por lo que las características de estas pueden facilitar los movimientos.

- *Meteorización.* - la descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos (Suárez, 2009).

4.3.2. Factores desencadenantes

Los factores desencadenantes activos o externos, son procesos que una vez que se cumplen una serie de factores condicionantes, modifican el estado de esfuerzos, la geometría del relieve o la resistencia de los materiales en el terreno provocando movimientos de ladera. Estos factores desencadenantes se clasifican en procesos naturales (intensidad de lluvia, actividad sísmica) y antrópicos (vibraciones, cargas estáticas, entre otros). Cabe recalcar que este estudio se centrará únicamente en el análisis de la intensidad de lluvia como factor desencadenante.

A) Intensidad de lluvias

La saturación de las pendientes por el agua es la principal causa de los deslizamientos, la saturación puede producirse en forma de lluvias intensas, deshielo, cambios en los niveles de agua subterránea, de agua superficial y cambios de nivel a lo largo de las costas, presas de tierra y en las orillas de los lagos, reservorios, canales y ríos (Highland & Bobrowsky, 2008).

Se define a la intensidad como la cantidad de agua de lluvia que cae en un punto, por unidad de tiempo y es inversamente proporcional a la duración de la tormenta, es decir, la intensidad es la cantidad de agua que precipitó medida en milímetros por unidad de tiempo (INAMHI, 2019), y esta se expresa como:

$$I = \frac{P}{t}$$

Donde:

I = Intensidad de la lluvia en mm/hora

P = Precipitación (mm)

t = Duración de la lluvia (h)

Periodo de retorno. – se llama periodo de retorno al número de años que en promedio se presenta un evento determinado de igual o mayor intensidad, y suele ser denotado mediante la ecuación:

$$T = \frac{1}{p}$$

Donde:

T = Periodo de Retorno

p = probabilidad que ocurra un evento

El modelo más empleado para la predicción de deslizamientos activados por lluvias es el empírico, el mismo que “es un modelo basado en datos históricos y estadísticos de lluvias y deslizamientos, algunos de estos modelos están basados en una gran cantidad de información estadística” (Suárez, 2009, p. 247). Si bien, el efecto de la lluvia depende de la intensidad, duración y distribución, en la literatura existen gran cantidad de funciones de distribución de probabilidad teóricas, sin embargo, la función más usada es la Distribución Gumbel.

Distribución Gumbel o de valores extremos. – la función de distribución acumulada de la distribución Gumbel es:

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}}$$

Donde:

F(x) = Probabilidad de que se presente un valor igual o menor que x

x = variable independiente

α = parámetro de escala

μ = parámetro de posición, también llamado moda.

e = base del logaritmo neperiano

Para tomar en cuenta el efecto de la lluvia en los análisis de evaluación del peligro de deslizamiento, se requiere en primer lugar, contar con información confiable sobre la intensidad y la duración de la lluvia que cae en una zona o región. El análisis de información histórica sobre los registros de lluvias y la ocurrencia de deslizamientos de laderas, así como su correlación con el tipo de materiales que las forman, permitiría identificar los umbrales de lluvia (intensidad y duración) para los cuales se producen deslizamientos en una zona determinada y sus periodos de retorno (Mendoza et al, 2002).

5. Metodología

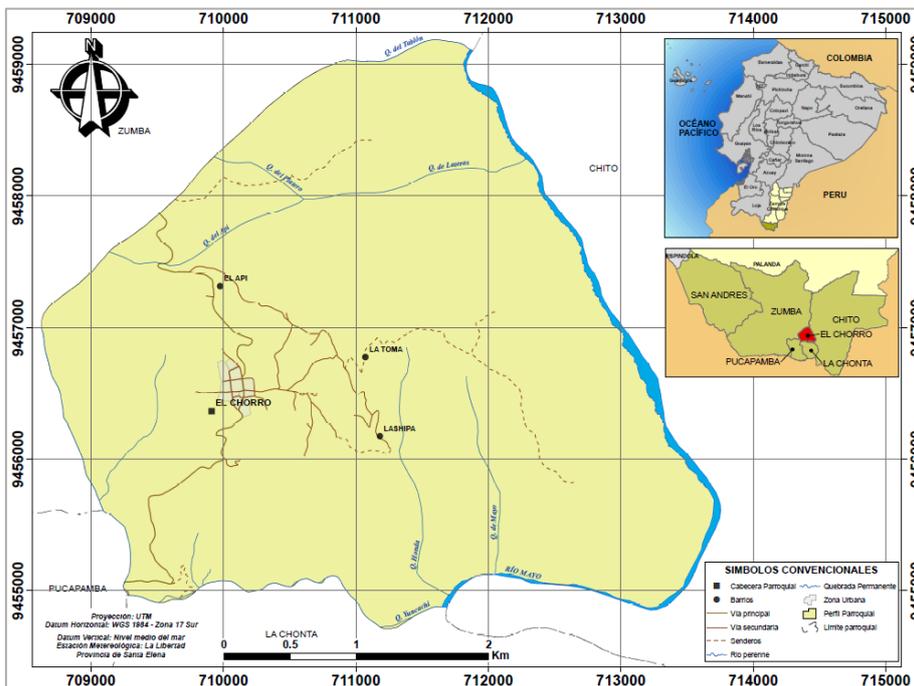
5.1. Descripción general del área de estudio

5.1.1. Ubicación y Acceso

El presente trabajo de investigación se realizó en la parroquia rural El Chorro, cantón Chinchipe, perteneciente a la jurisdicción administrativa de la provincia de Zamora Chinchipe; a 12 km al sur de la cabecera cantonal Zumba, a una altura de 1048 msnm.

La población El Chorro se localiza en las siguientes coordenadas según la Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) – Zona 17 Sur, Datum Horizontal WGS 1984: X 710149 E; Y: 9456488 N. El área de estudio tiene una superficie de 14,85 km² equivalente a 1 485 ha. Limita al norte y oeste con la parroquia Zumba, al sur con las parroquias La Chonta (quebrada de Yuncachi) y Pucapamba; y, al este con la parroquia Chito (río Mayo), como se observa en la figura 5 (ver Anexo 7A).

Figura 5. Localización de la parroquia El Chorro



El acceso al área de estudio se lo puede realizar por vía aérea y por vía terrestre. Por vía aérea desde la capital de la República del Ecuador (Quito) hasta el aeropuerto ciudad de Catamayo en un tiempo estimado de 45 minutos; luego en un ahora, por vía terrestre, desde Catamayo hasta Loja.

Por otro lado, el acceso por vía terrestre se lo realiza desde Quito hasta Loja por la carretera Panamericana/Troncal de la Sierra en un tiempo de 9 horas en vehículo particular y 12 horas en transporte público. También, desde Guayaquil hasta la ciudad de Loja el acceso se lo puede realizar por la Troncal de la Costa (370 km) en un tiempo estimado de 6 horas, o por la Carretera Panamericana/Troncal de la Sierra en un tiempo de 7 horas.

Por último, desde Loja por vía terrestre en un tiempo aproximado de 4 a 6 horas se llega a la ciudad de Zumba, de donde, hacía el sur por una vía de tercer orden se llega a la población El Chorro en un tiempo de 20 a 30 min (ver Tabla 4)

Tabla 4. *Vías de acceso al área de estudio.*

Ruta	Kilómetros	Tipo de vía	Tiempo
Quito - Loja	698	Carretera asfaltada	12 horas
Guayaquil - Loja	370	Carretera asfaltada	6-7 horas
Loja – Zumba	164	Asfaltada y lastrada	6 horas
Zumba – El Chorro	11.9	Lastrada	20-30 minutos

5.1.2. Clima e hidrografía

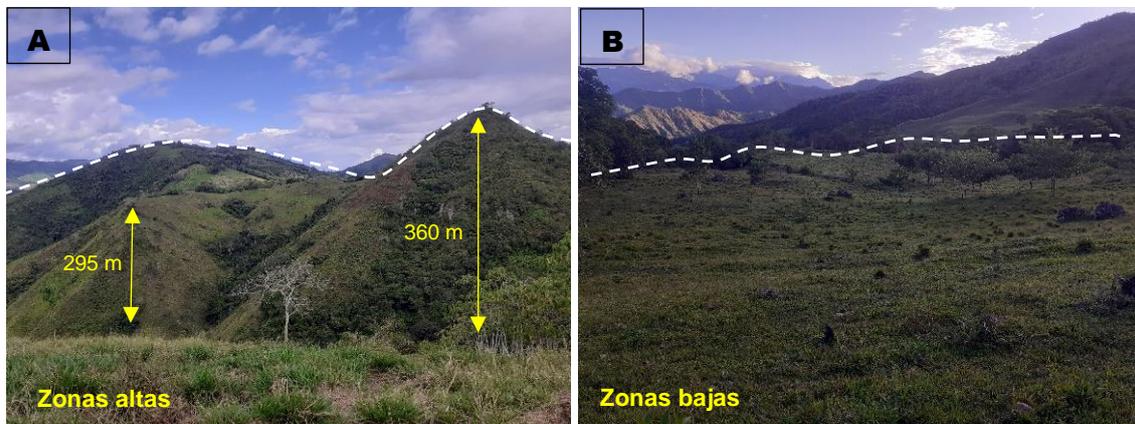
Según el estudio generado por el Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico (ECORAE), dentro del proyecto de Zonificación Ecológica Económica de Zamora Chinchipe (2001), El Chorro se caracteriza por ser una parroquia de clima Subhúmedo Subtropical, en rangos de temperatura media anual entre 18 a 23 °C, los cuales disminuyen en función de su fisiografía hacia las partes altas. La precipitación media anual es de aproximadamente 1 119,6 mm; los meses con mayor pluviosidad se distribuyen de enero a mayo, donde alcanzan valores superiores a los 1 000 mm, pero menores a los 1 800 mm; en los meses restantes tienden a presentarse precipitaciones menores. El valor mínimo promedio diario de humedad fluctúa entre un 58,8 % y la máxima de un 99,8 % (GAD parroquial El Chorro, 2014-2019).

La red hidrográfica principal de la parroquia El Chorro es el río Mayo, cuyo caudal toma una dirección norte-sur. A su paso por la parroquia, el río Mayo recibe las aguas de la quebrada del Tablón en la parte norte de la parroquia, así como también de la quebrada del Platero y del Api ubicadas al noroeste, las cuales se unen para formar la quebrada de Lateras, misma que vierte sus aguas en el río Mayo. Asimismo, las quebradas Mayo y Honda al sureste desembocan en el curso del río Mayo, y de igual manera la quebrada de Yuncachi al suroeste.

5.1.3. Topografía

El área de estudio presenta una topografía media, donde se presentan cotas de elevación que van desde los 1 320 hasta los 672 msnm. Las zonas más altas se encuentran al noreste y sureste del área de estudio, su origen se debe a los levantamientos tectónicos que formaron relieves montañosos y colinados, como se observa en la figura 6A. Por otra parte, las zonas más bajas se encuentran al occidente de la parroquia, dando forma a pequeñas colinas y planicies especialmente donde se localizan las poblaciones de El Chorro y El Api (ver Figura 6B).

Figura 6. Topografía de la parroquia El Chorro



Nota. **A.** Vista de elevaciones, altitud de 1135 msnm. **B.** Vista de zonas bajas, altitud de 1066 msnm

5.1.4. Geología regional

En el contexto geológico regional, la zona de estudio se encuentra en la Cordillera Real del Ecuador, al extremo sur de la misma. Según Pilatasig et al (2005), forma parte de los dominios litotectónicos del complejo Pucará-Zamora que comprende de una serie de rocas volcánicas y sedimentarias relacionadas con el rift Pucará expuesto extensamente en el Perú, y a las rocas intrusivas y volcánicas del arco magmático continental Zamora, expuesto en el Ecuador. “El basamento de las facies volcánicas constituye en parte las rocas metamórficas, mientras que las rocas de caja de las facies intrusivas del arco, constituyen el basamento metamórfico paleozoico” (Pilatasig et al, 2005, p. 20).

Según Baldock (1986); Litherland et al (1994), rocas sedimentarias relacionadas con la Cuenca Oriental ocurren como remanentes erosionables sobre las rocas relacionadas con el arco magmático de edad Jurásica (Pilatasig et al, 2005, p. 20).

Como se observa en la tabla 5, en el dominio Pucará-Zamora se incluye rocas sedimentarias depositadas en un ambiente continental y que afloran entre las poblaciones de Zumba.

Tabla 5. *Unidades litológicas del dominio Pucará-Zamora*

Grupo/Unidad/Formación	Litologías Típicas	Edad Paleontológica	Edad Relativa	Ambiente
Zumba	Conglomerados, areniscas, limolitas		Mioceno	Cuenca Continental
Misahualli	Tobas y brechas andesíticas		Jurásico Medio-Cretácico Inferior	Arco Volcánico Continental
Isimanchi	Filitas y esquistos grafiticos, mármol	Carbonífero-Pre-Jurásico (Litherland et al, 1994)	Paleozoico?	Plataforma Continental
Ultramáficos Zumba	Serpentinitas, esquistos talcosos y micáceos		Paleozoico?	Ofiolita?
Intrusivo Batolito de Zamora	Granodiorita, Monzonita		Jurásico	Arco Volcánico Continental

Nota. No comprobado (?). Tomado de *Proyecto Multinacional Andino* (p. 20), por Pilatasig, Gordón, Palacios, & Sánchez, 2005.

Con base en la Hoja Geológica de Zumba, a escala 1:100 000 elaborado por el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico IIGMM, del año 2017, la geología circundante que forma parte de la zona de estudio se encuentra identificada por las siguientes formaciones:

Mioceno

- **Volcanosedimentos Pucapamba (MPU).** - Esta secuencia se enmarca dentro de las rocas sedimentarias pertenecientes a la Cuenca de Zumba. Los principales afloramientos se localizan en los sectores de Guarimizal, El Sural y Los Entierros, además en las quebradas Sura. Están constituidos por secuencias volcanosedimentarias depositadas en ambientes de caída, caracterizados por brechas de color gris claro a marrón, con matriz soportada de composición dacítica y clastos subangulares a subredondeados de granodioritas, andesitas afaníticas, gneises y esquistos; además se intercalan tobas dacíticas y tobas de lapilli con granos de cuarzo, se encuentran intercaladas con conglomerados, areniscas grises, limolitas y lutitas de color gris consolidadas (IIGMM, 2017).

- **Sedimentos La Huaca (MLH).** - . Esta secuencia se enmarca dentro de las rocas sedimentarias pertenecientes a la Cuenca de Zumba, mismas que fueron introducidas por Alvarado (1967). Está conformado hacia la base por una secuencia monótona de conglomerados grano decrecientes, matriz clastosoportada, con bases erosivas y exhiben cantos redondeados de cuarcitas, gneis, cuarzo lechoso y andesitas basálticas. El IIGMM (2017) menciona que hacia la parte intermedia afloran conglomerados matrices soportados con guijarros y gránulos de cuarzo, filitas, cuarcitas, andesitas y granodioritas, con base y techo erosivo, los cuales se intercalan con areniscas de grano grueso a medio de color azulado, con gránulos de cuarzo, muscovita y biotita.

Paleoceno

- **Volcánicos Sanora (P_{Csa}).** – Los principales afloramientos se localizan en el sector de Sural y en la vía Zumba–La Diversión. Consiste de rocas volcánicas y volcano sedimentarias con clastos redondeados de intrusivos de composición intermedia a acida, líticos de rocas subvolcánicas en una matriz de cristales disgregados de plagioclasa y hornblenda. Limitada al oeste por la Unidad Pucarón y al este por los sedimentos terciarios pertenecientes a la cuenca de Zumba, en contactos de tipo tectónico (IIGMM, 2017)

Jurásico superior

- **Unidad Chito (J_{Ch}).** - Anteriormente definida como la Formación Misahuallí, comprende una sucesión de rocas volcánicas, que forman parte del potente arco magmático que corre desde el norte de Perú hasta el norte de Colombia (Romeufy et al,1995). Litológicamente, está conformado por lavas y brechas volcánicas de composición andesítica, geoquímicamente se observa que las muestras son típicas de ambientes de arco continental. Estratigráficamente correlacionada con la Formación Misahuallí, por lo cual, se le atribuye una edad Jurásica (IIGMM, 2017).
- **Unidad Cerro Colorado (J_{Cc}).** – El IIGMM (2017) expresa que esta unidad fue discriminada y caracterizada con base en su litología y génesis, como una secuencia monótona de brechas volcano sedimentarias, mismas que en trabajos anteriores se las agrupaba como parte de la Formación Misahuallí. Su litología

corresponde a una secuencia de brechas polimícticas de color gris oscuro a verdoso, presenta una textura brechosa y estructura masiva, presentan matriz tobácea clasto soportada con líticos de tamaño canto a guijarro, de forma angular a subangular, constituidos principalmente por basaltos afaníticos de color verde, andesitas basálticas porfíricas de color verde y ocre, localmente se observan guijarros de rocas metamórficas e intrusivas.

Jurásico inferior

- **Unidad Irunuma (J_{Ir}).** - Definida en este proyecto, con base en los afloramientos expuestos al noroeste de la ciudad de Zumba, hacia la parte alta de la Loma Irunuma y hasta el sector conocido como Las Cavernas. Litológicamente consiste de calizas de color gris oscuro a negro, textura micrítica (IIGMM, 2017).

Triásico

- **Ofiolitas Zumba (Tr_Z).** - Litherland et al (1994) mencionan que cerca de la localidad de Zumba, aflora un pequeño cuerpo a lo largo de una falla principal, constituida de rocas ultramáficas afectadas por procesos metasomáticos que han provocado serpentización. Además, afloran esquistos de talco con bajo grado de metamorfismo de color marrón, constituidos principalmente por minerales como arcillas y talco mismos que podrían ser producto de la alteración de las serpentinas (IIGMM, 2017).

Paleozoico

- **Unidad Plan del Oso (P[?]P₀).** - Consiste de una secuencia metamórfica que se encuentra dispuesta en forma de techos colgantes sobre el complejo intrusivo de Zamora, previamente fueron reportadas por Baldock (1982) y, Litherland et al (1994). Litológicamente comprenden gneises, esquistos pelíticos micáceos y esquistos sericíticos, de los cuales Chew et al (2007) mediante el método U/Pb estableció la edad de 368±14Ma., correspondiente al Devónico Superior (Fameniense) de una muestra de filita recolectada en las cercanías del pueblo de Isimanchi (IIGMM, 2017).

Depósitos cuaternarios

- **Depósito Coluvial (Q_C).** – El IIGMM (2017) expresa que generalmente incluyen material poco consolidado, con líticos metamórficos y volcánicos dentro de una matriz areno-limosa.
- **Depósito Aluvial (Q_A).** – se encuentran en las márgenes de los ríos Mayo, Numbala, Palanda, Vergel, Las Peñas, Punchis, Palanuma e Isimanchi, están constituidos principalmente por cantos y bloques subredondeados a redondeados de rocas metamórficas y volcánicas (IIGMM, 2017).

Intrusivas

- **Complejo Intrusivo Zamora (Jz).** - Es un cuerpo elongado de aproximadamente 200k m en sentido N-S y 50k m en sentido E-O. Está constituido por granodioritas con megacristales de hornblenda, cuarzomonzonitas con megacristales de pertita rosa, intrusivos subvolcánicos granulados, microdioritas y pórfidos de hornblenda variando a cuarzodiorita y cuarzomonzonita con biotita y muscovita, poca presencia de granitos (Litherland et al,1994).

Rocas subvolcánicas

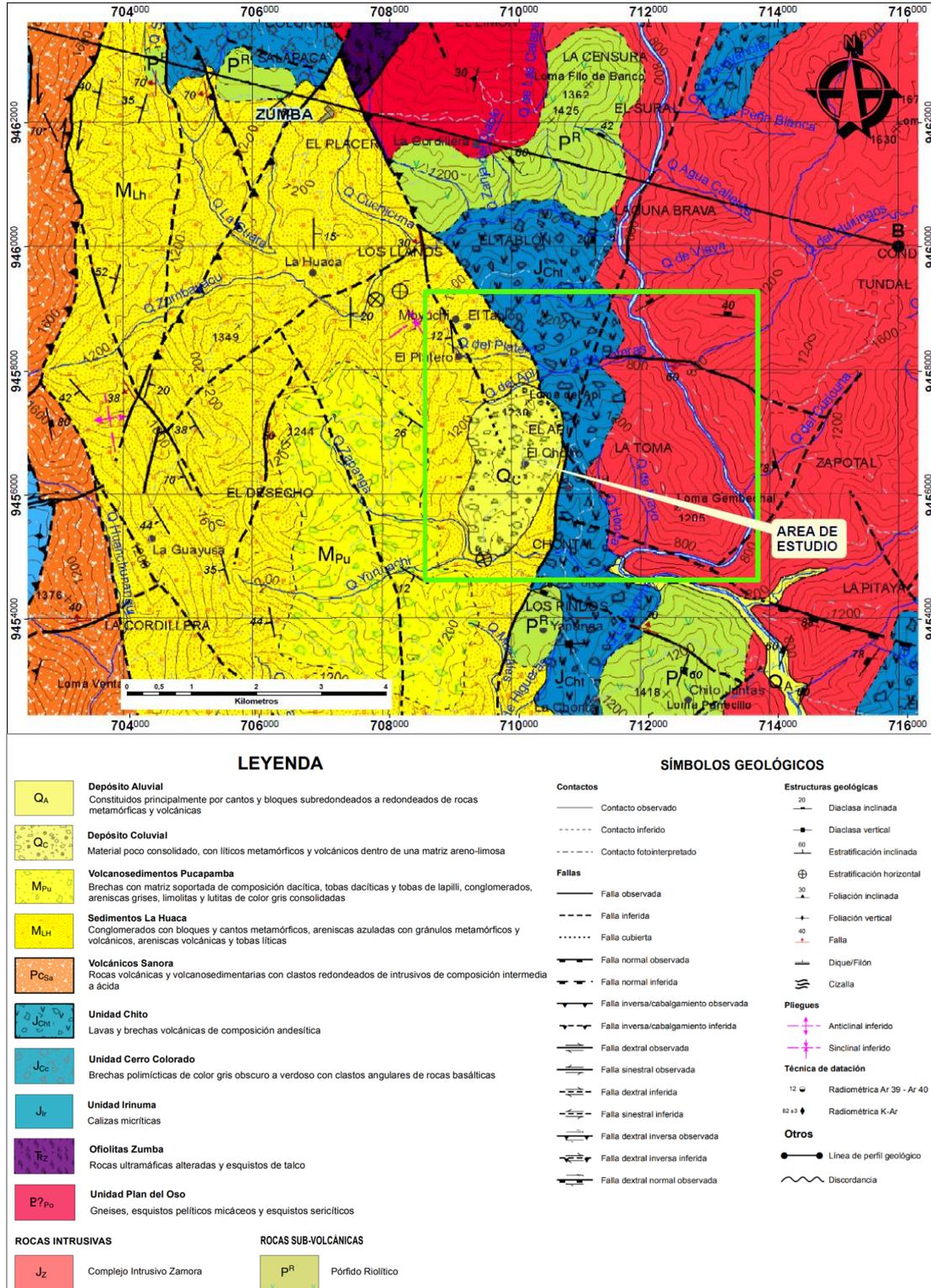
- **Pórfido Riolítico (P^R).** - Es un cuerpo elongado de aproximadamente 200k m en sentido N-S y 50k m en sentido E-O. Está constituido por granodioritas con megacristales de hornblenda, cuarzomonzonitas con megacristales de pertita rosa, intrusivos subvolcánicos granulados, microdioritas y pórfidos de hornblenda variando a cuarzodiorita y cuarzomonzonita con biotita y muscovita, poca presencia de granitos (Litherland et al,1994).

5.1.5. Geología estructural

Según el IIGMM (2017) eestructuras compresionales y extensionales relacionadas al Sistema de Fallas Palanda o Numbala son observadas en anticlinales y sinclinales en la cuenca de Zumba, y escasos fallamientos normales están en las quebradas Sural, Mayo, Higueras y el rio Sangola. En cuanto a fallas menores, al N en el río Mayo se encuentra una estructura, considerada como una falla subvertical con dirección N-S, que está afectando al

intrusivo de Zamora, y posiblemente permite el emplazamiento de nuevos pulsos magmáticos jóvenes (IIGMM, 2017).

Figura 7. Geología regional del área de estudio.



Nota. El cuadro verde indica la ubicación de la parroquia El Chorro. Tomado de *Hoja Geológica de Zumba a escala 1:100 000*, por IIGMM, 2017.

5.2. Materiales y equipos utilizados

Los equipos y materiales utilizados para el trabajo de campo y oficina son los siguientes:

A. Materiales para campo.

- GPS Garmin.
- Brújula Brunton.
- Martillo geológico.
- Rayador.
- Libreta de campo.
- Lupa.
- Esferos, marcadores, pinturas.
- Ácido clorhídrico al 10 %.
- Navaja.
- Cámara fotográfica.
- Cinta métrica.
- Fichas de campo:
 - Fichas de inventario de deslizamientos.
 - Fichas de descripción de afloramientos.

B. Materiales para oficina.

- Laptop
- Calculadora
- Software:
 - Microsoft Office 2016 (Word, Excel, Power Point).
 - Software ArcGIS 10.4.1.
 - Google Earth Pro.

Además, en la tabla 6 se detallan los insumos utilizados en el trabajo de procesamiento.

Tabla 6. *Insumos de procesamiento*

Insumo	Fuente	Año
Ortofoto de la parroquia El Chorro.	Secretaría Nacional de Planificación	2020
- Tamaño de pixel 0,5x0,5 m.		
Modelo Digital de Elevación (MDE).	Unidad Provincial de Tierras de Zamora Chinchipe	2019
- Tamaño de pixel 3x3 m.		
Shapefile del límite parroquial de El Chorro.	GAD parroquial de El Chorro	2020
- Escala 1: 10 000		
Hoja geológica Zumba.	Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico	2017
- Hoja 59 - NVIII-F.		
- Edición: 2		
- Escala 1:100 000.		
Hoja topográfica Zumba.	Instituto Geográfico Militar (IGM)	1980
- Hoja CT-NVII-F3-3779.		
- Escala 1:50 000.		
Datos mensuales de precipitaciones máximas en 24 horas.	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI); y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).	1990-2020
- Serie de 30 años desde 1990 a 2020.		

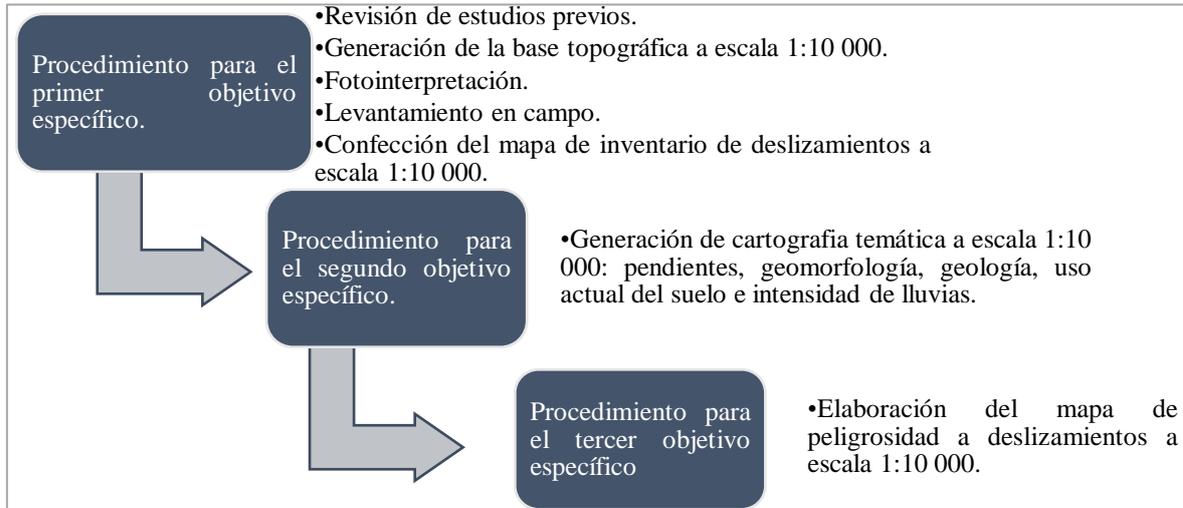
5.3. Procedimiento

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó el método semicualitativo denominado Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty, el cual es una herramienta dentro del estudio o evaluación multicriterio para el análisis de la peligrosidad por deslizamientos dentro de un SIG. Fue ideado por Thomas Saaty en 1980, y se basa en el par comparación entre todos los parámetros y variables a investigar para establecer ponderaciones según juicios de valor previamente analizados.

Se evaluaron los siguientes parámetros: la probabilidad del 4 % en un periodo de retorno de 25 años, cuatro factores condicionantes (pendiente, geología, geomorfología y el uso actual del suelo); y un factor desencadenante concerniente a la intensidad de lluvia. Todos estos parámetros fueron reclasificados y ponderados, cabe indicar que las ponderaciones se asignaron de acuerdo con su grado de influencia y establecidas bajo el criterio de personal afín a la profesión de geología.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente proyecto se siguió el procedimiento señalado en la figura 8.

Figura 8. Esquema del procedimiento empleado en la investigación.



5.4. Procesamiento y análisis de datos

5.4.1. Revisión de estudios previos

La fase preliminar consistió en la recopilación, ordenamiento y revisión de información disponible sobre el área de estudio, por ejemplo, se recopiló un informe elaborado por la Unidad Provincial de Gestión de Riesgo de Zamora Chinchipe en el año 2009 denominado “Investigación de procesos geodinámicos que afectan a la población El Chorro”. Además, se revisó una tesis de grado elaborada en el año 2016 titulada como “Estudio geológico-geotécnico de movimientos de masa en la cabecera parroquial El Chorro”, y así mismo una tesis de maestría elaborada en el año 2020 denominada como “Zonificación de amenaza por movimientos en masa en El Chorro, Ecuador”. La revisión de esta información sirvió como guía de referencia para la identificación de deslizamientos antiguos que hayan sido inventariados y como fuente para la posterior discusión de resultados.

5.4.2. Generación de la base topográfica a escala 1: 10 000

La base topográfica del lugar de estudio se la elaboró a partir del Modelo Digital de Elevación (tamaño de píxel: 3x3 m), y únicamente para tener referencia de la simbología y del nombre correcto de ciertos lugares del sector, se utilizó la Carta Topográfica de Zumba, Hoja CT-NVII-F3-3779 a escala 1:50 000 elaborada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) en el año 1980.

En el software ArcGIS 10.4.1 se procesó el DEM para la generación de las curvas de nivel usando las herramientas de *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Surface* → *Contour*. Las distancias de las curvas de nivel se las elaboró a partir de la escala de trabajo que fue de 1:10 000, por lo que a las curvas secundarias se las generó cada 8 m y a las curvas primarias cada 40 m.

Seguidamente, se procedió a digitalizar la red hídrica, la red vial y los asentamientos, para el efecto, se utilizó la ortofoto que cubre a la parroquia, del año 2020, obteniendo a partir de ello shapefiles en el Sistema de Coordenadas UTM, WGS 1984, Zona 17 Sur.

El mapa topográfico final se presenta a escala de impresión 1:20 000, en formato de hoja A3, con proyección UTM, Datum Horizontal WGS 1984, Zona 17 Sur (ver Anexo 7B).

5.4.3. Fotointerpretación

Para la fotointerpretación, se utilizó como insumo principal la ortofoto de la parroquia del año 2020, la cual tiene tamaño de píxel 0,5x0,5 m, obtenida de la Secretaría Nacional de Planificación, Los programas donde se realizaron los procesos de fotointerpretación fueron, el software ArcGIS 10.4.1 y el Google Earth Pro.

En una primera etapa de fotointerpretación, en el programa ArcGIS 10.4.1 se identificó y delimitó mediante polígonos posibles deslizamientos existentes en el área de estudio, la información sirvió como fuente para realizar la posterior validación en campo (ver Anexo 1).

En esta etapa también se realizó la fotointerpretación para la elaboración del mapa geomorfológico. El proceso consistió en la identificación de los distintos tipos de geoformas en relación con las características del relieve, su delimitación se realizó en base a la topografía, del hillshade (mapa de sombras) y de la ortofoto de la parroquia. Para la caracterización se asignó atributos como: el nombre de la geoforma, la génesis, material constitutivo (formación geológica), drenaje superficial (forma y densidad), la morfología (forma de la cima, vertiente y valle), y además se asignó atributos morfométricos (pendiente, desnivel relativo, longitud de vertiente) a cada geoforma digitalizada en el software ArcGIS 10.4.1 (ver Anexo 2). Las características de cada atributo y los rangos se especifican en el apartado 5.4.5.3, la validación final se realizó en la campaña de campo.

Mediante la técnica de fotointerpretación en el software ArcGIS 10.4.1, también se delimitó con polígonos el uso actual del suelo observado desde la ortofoto digital de la parroquia (ver Anexo 3). Los polígonos se nombraron mediante la clasificación propuesta por el MAE-MAGAP (2015), misma que se especifica en el apartado 5.4.5.5.

Después de haber realizado cada proceso de fotointerpretación, se plasmó la información en la base topográfica, con lo que se logró obtener mapas preliminares tanto de deslizamientos, de geomorfología y de uso actual del suelo a escala de impresión 1:20 000 proyectados en el Sistema de Coordenadas UTM, Datum Horizontal WGS 1984, Zona 17 Sur.

5.4.4. Levantamiento en campo

Mediante campaña de campo se llevó a cabo la validación y reconocimiento del inventario de deslizamientos preliminar; esto con la finalidad de corroborar la información y localizar nuevos deslizamientos, asimismo, en la fase de campo se hizo la descripción de afloramientos puntuales, naturales y artificiales, de donde se recopiló la mayor información geológica posible. En esta etapa también se incluyó el reconocimiento de la geomorfología y de la cobertura vegetal existente en el área de estudio.

Los preparativos para el levantamiento de información de campo incluyeron: la selección del personal de apoyo, la preparación y adquisición de equipos y materiales de campo (brújula, martillo geológico, fichas de campo, GPS, cinta métrica, cámara fotográfica, HCl, brújula, esferográficos, mapas preliminares), la preparación de la logística y la realización de acercamientos con autoridades y moradores de la parroquia.

Para el levantamiento de deslizamientos se recolectó en campo datos a partir de la ficha de inventario de movimientos en masa versión 1.0 elaborada por el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), la misma que se puede visualizar en el anexo 4.

La ficha de inventario de deslizamientos se llenó con los siguientes parámetros fundamentales para su registro:

- *Datos generales, localización geográfica y documental del evento:* código del evento, fecha, ubicación política, nombre del encuestador, referencias geográficas y coordenadas.

- *Actividad del movimiento:* fechas de ocurrencia, estado, estilo, distribución.
- *Litología y estratigrafía:* los campos se llenaron solo en caso de movimientos en macizos rocosos donde fue necesario tomar datos como: descripción, estructura, orientación y espaciamiento.
- *Clasificación del movimiento:* tipo de movimiento, material y velocidad.
- *Morfometría:* dimensiones, deformación del terreno, geoforma.
- *Causas del movimiento:* se marcó los casilleros en los que se identificó subjetivamente el factor condicionante y detonante.
- *Cobertura y uso del suelo.*
- *Esquema:* en perfil y en planta.
- *Anexo fotográfico.*

La medición de la morfometría de deslizamientos se realizó tomando en cuenta la nomenclatura y los parámetros dimensionales de los mismos. Tal como se indica en la figura 9A y B, se tomó todas las medidas posibles de los deslizamientos, y en las zonas de difícil acceso se delimitó los polígonos de los deslizamientos con la ayuda de la ortofoto y se registraron extrayendo las coordenadas en el software ArcGIS 10.4.1.

Figura 9. Medición de la morfometría de los deslizamientos



Nota. **A.** Ancho de la masa desplazada. **B.** Longitud de la masa desplazada.

Para el levantamiento geológico de campo se tomó en cuenta la localización de afloramientos con ayuda del GPS, estos fueron marcados en la base topográfica, a la cual

preliminarmente se le incorporó una malla de muestreo de 100 x 100 metros, la que sirvió para ir registrando los afloramientos existentes cada 100 m, esto con el fin de definir las litologías y estructuras existentes en cada punto de control. La observación y descripción litológica se registró en las fichas de campo (ver Anexo 5), misma que se llenó con los siguientes parámetros de registro:

- *Datos generales:* código, fecha, responsable del levantamiento
- *Ubicación geográfica:* coordenadas X, coordenadas Y, altitud, Datum
- *Geometría del afloramiento:* ancho, altura
- *Datos estructurales:* rumbo, buzamiento
- *Tipo de afloramiento:* natural, artificial
- *Grado de meteorización*
- *Litología de las capas del afloramiento:* número de capa, génesis, litología, potencia de las capas
- *Descripción litológica*
- *Fotografía.*

5.4.5. Procesamiento de información

5.4.5.1. Inventario de deslizamientos a escala 1: 10 000.

Con la información de la fotointerpretación, del levantamiento y validación en campo de deslizamientos, se procedió a realizar una base de datos mediante el uso del Software Microsoft Excel 2016. La base de datos contiene campos como el código, tipo de deslizamiento, coordenadas X e Y, estado de actividad, fecha de registro, factores condicionantes y desencadenantes (ver Tabla 24).

Luego, en el software ArcGIS 10.4.1 se importó la base de datos considerando las coordenadas de cada deslizamiento, cuya finalidad fue la de convertir a shapefile la tabla de Excel de los deslizamientos, para así poder validarlos y ubicarlos espacialmente.

Como producto final se obtuvo un mapa temático de inventario de deslizamientos a escala de impresión 1:20 000 con proyección UTM/Datum WGS 1984, Zona 17 Sur, en formato de hoja A3 (ver Anexo 7C).

5.4.5.2. Pendientes a escala 1: 10 000.

El mapa de pendientes se realizó utilizando como insumos principales, el Software ArcGIS 10.4.1, el Modelo Digital de Elevación (MDE) y el shapefile del polígono del área de estudio.

A partir del MDT se elaboró el mapa de pendientes mediante el uso de las siguientes herramientas tipo SIG: *ArcToolbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Surface* → *Slope*. Los rangos de pendientes que por defecto se generaron en el software, fueron reclasificados tomando en cuenta la clasificación propuesta por Demek (1972), el cual clasifica las pendientes en 5 categorías en grados (ver Tabla 7); para el efecto, se realizó el siguiente proceso de reclasificación: *Spatial Analyst Tools* → *Reclass* → *Reclassify*.

Tabla 7. Rangos de clasificación de las pendientes según Demek (1972).

Término de la pendiente	Categoría (°)
Ligeramente inclinado	0 -5
Fuertemente inclinado	> 5 -15
Muy inclinado	>15 – 35
Empinado	>35 – 55
Vertical	55 - 90

Nota. Grados (°). Tomado de “Manual of detailed geomorphological mapping”, por Demek, 1972, *Czechoslovak Academy of Sciences*.

El mapa de pendientes resultante se realizó a escala de trabajo 1:10 000 y se presenta con escala de impresión 1:20 000 en formato de hoja A3, proyectado en el sistema de coordenadas UTM, Datum Horizontal WGS 1984, Zona 17 Sur (ver Anexo 7F).

5.4.5.3. Geomorfología a escala 1: 10 000.

Para elaborar el mapa geomorfológico se utilizó como insumos el Modelo Digital de Elevación (MDE) y la ortofoto del área de estudio con tamaño de píxel 0,5 x 0,5 m. En el software ArcGIS 10.4.1 se generó un sombreado o hillshade a partir del ráster (MDE) el cual sirvió de referencia para la fotointerpretación de las geoformas de relieve de la parroquia. Los polígonos de las geoformas fotointerpretadas se generaron y caracterizaron considerando las categorías de unidad genética (morfogénesis), edad y formación geológica

(morfo cronología), morfología (incluido el drenaje), morfometría y la morfodinámica, las cuales fueron adaptadas de CLIRSEN (2012). El proceso detallado de fotointerpretación, se presenta en el anexo 2.

- Unidad genética

La génesis indica los procesos formadores de la unidad geomorfológica. En la tabla 8 se indican las categorías de la unidad genética postuladas por CLIRSEN (2012).

Tabla 8. *Categoría de Unidad Genética*

Unidad Genética	
- Depositional Acumulativo	o
- Estructural	- Denudativo
- Tectónico Erosivo	- Glaciar
	- Volcánico

Nota. Adaptado de *Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos*, por CLIRSEN, 2012.

- Material constitutivo

Según el MAGAP (2015), en esta categoría se hace referencia a las unidades litoestratigráficas constituidas por un conjunto de rocas claramente diferenciables por sus características litológicas.

- Drenaje superficial

El drenaje proporciona información sobre el tipo de modelado al que está o ha estado sometida la geoforma, el atributo que se consideró en esta categoría es la forma del drenaje (ver Tabla 9).

Tabla 9. *Categoría de Forma del drenaje*

Formas del drenaje
Dendrítico
Subdendrítico
Meándrico
Paralelo
Enrejado
Rectangular
Angular
Radial
Asimétrico
Subparalelo
Pinnado

Nota. Adaptado de *Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos*, por CLIRSEN, 2012.

- Morfología

La morfología hace referencia a aquellos atributos de carácter descriptivo, cuyas variables ayudan a describir la forma del relieve de la unidad geomorfológica (MAGAP, 2015). En la tabla 10 se señala las características de la forma de cima, vertiente y valle.

Tabla 10. *Categoría de formas de cima, vertiente y valle*

Forma de la cima	Forma de la vertiente	Forma del valle
Aguda	Cóncava	En U
Redondeada	Convexa	En V
Plana	Rectilínea	Plano
Otras	Mixta	Otras
No Aplica	Irregular	No Aplica

Nota. Adaptado de *Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos*, por CLIRSEN, 2012.

- Morfometría

Seco (2004), afirma que los atributos morfométricos expresan de manera numérica o cuantitativa determinados aspectos del relieve que proporciona la geoforma. En ese sentido, la morfometría tiene gran importancia en los análisis de peligrosidad, puesto que indica el tipo y grado de pendientes que se tiene en un área de estudio. Los atributos que se tomaron en cuenta en la morfometría son el desnivel relativo, la pendiente y longitud de vertiente (ver Tabla 11, 12 y 13).

Desnivel relativo: hace referencia a la altura que existe entre la parte más baja y la parte más alta de las unidades geomorfológicas (MAGAP, 2015).

Tabla 11. *Categoría de desnivel relativo*

Desnivel relativo (m)
0 - 5
5 - 15
15 - 25
25 - 50
50 - 100
100 - 200
200 - 300
>300

Nota. Adaptado de *Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos*, por CLIRSEN, 2012.

Pendiente: en el análisis de unidades geomorfológicas se define como el ángulo que existe entre la superficie del terreno y la horizontal, generalmente es expresada en porcentaje (MAGAP, 2015). La tabla 12 indica el rango de porcentaje utilizado para generar la clasificación de pendientes.

Tabla 12. *Categoría de pendiente*

Tipo	Pendiente (%)
Plana	0 - 2
Muy suave	>2 - 5
Suave	>5 - 12
Media	>12 - 25
Media a fuerte	>25 - 40
Fuerte	>40 - 70
Muy fuerte	>70 - 100
Escarpada	>100 - 150
Muy escarpada	>150 - 200
Abrupta	>200

Nota. Adaptado de *Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos*, por CLIRSEN, 2012.

Longitud de vertiente: es la distancia inclinada existente entre la parte más alta y la más baja de una unidad geomorfológica (CLIRSEN, 2012). La tabla 13 indica el rango de porcentaje utilizado para generar la clasificación de pendientes.

Tabla 13. *Categoría de longitud de vertiente*

Tipo	Longitud de vertiente
Muy corta	<15 m
Corta	>15 - 50 m
Moderadamente larga	>50 - 250 m
Larga	>250 - 500 m
Muy larga	>500 m

Nota. Adaptado de *Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos*, por CLIRSEN, 2012.

El mapa geomorfológico final se realizó a escala de trabajo 1:10 000 y se presentó a escala de impresión 1:20 000 en un formato de hoja A3, proyectado en el sistema de coordenadas UTM, Datum Horizontal WGS 1984, Zona 17 Sur (ver Anexo 7D).

5.4.5.4. Geología a escala 1: 10 000.

El mapa geológico local se elaboró teniendo como referencia la geología regional tomada de la carta geológica de Zumba, Hoja 59 - NVIII-F a escala 1:100 000 elaborada por el IIGMM en el año 2017. Se realizó una etapa inicial de recopilación de información, seguida de la corroboración en campo de las formaciones y estructuras.

Los insumos utilizados para la integración de la información en oficina incluyeron: la base topográfica, los puntos de control, el mapa geológico de campo y los apuntes de las fichas de campo. El proceso de confección del mapa geológico local consistió en la

delimitación de zonas con litologías similares, añadiendo a su vez, estructuras como contactos, fallas, etc., con sus respectivos datos estructurales.

Para la nomenclatura y representación de la litología presente en el área de estudio, se consideró como referencia la guía de “Estándares de Nomenclatura Estratigráfica, Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica” versión 2.0 elaborado por el Instituto de Investigación Geológico Energético del Ecuador en el año 2019.

El mapa geológico local resultante se realizó a escala de trabajo 1:10 000 y con escala de impresión 1:20 000 en formato de hoja A3, proyectado en el sistema de coordenadas UTM, Datum Horizontal WGS 1984, Zona 17 Sur (ver Anexo 7E).

5.4.5.5. Uso actual del suelo a escala 1: 10 000.

El mapa de uso actual del suelo se realizó a partir de la fotointerpretación (ver Anexo 1) y de su validación en campo. Para la respectiva clasificación se utilizó el sistema de clasificación propuesto por el Ministerio del Ambiente “MAE” y el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Apicultura y Pesca “MAGAP” (ver Tabla 14). El nivel I de esta clasificación corresponde de manera general a las clases de coberturas y uso definido por el IPCC² adaptado para el Ecuador, por consiguiente, el nivel II representa con más detalle las clases de coberturas y usos, las cuales mantienen coherencia con la clase superior (MAE-MAGAP, 2015).

Tabla 14. *Clasificación del uso del suelo*

Cód.	Nivel I	Nivel II
1	Bosque	Bosque nativo Plantación forestal Vegetación arbustiva
2	Vegetación arbustiva y herbácea	Vegetación herbácea Páramo
3	Tierra agropecuaria	Cultivos Pastizales
4	Agua	Cuerpos de agua Cursos de agua Vegetación lacustre
5	Zona antrópica	Área poblada Infraestructura
6	Otras coberturas	Área quemada Cubierta humo
7	Sin información	Nubes Sombra Sin información

² IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

Nota. Adaptado de *Protocolo Metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013-2014, escala 1:100.000*, por MAE-MAGAP, 2015.

Finalmente, a la cobertura vegetal delimitada se le colocó colores para así obtener el mapa temático a escala de impresión 1:20 000 en formato de hoja A3 con proyección UTM, Datum Horizontal WGS 1984, Zonas 17S (ver Anexo 7G).

5.4.5.6. Intensidad de lluvias a escala 1: 10 000.

Los datos meteorológicos se recopilaron del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador “INAMHI” y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú “SENAMHI”, cuya información correspondió a una serie de 30 años consecutivos comprendidos entre 1990-2020, de donde se consideraron los registros de precipitaciones máximos en 24 h.

Las estaciones del INAMHI más cercanas a la parroquia El Chorro que se seleccionaron fueron: La Argelia, Vilcabamba, Malacatos, Yangana, Quinara, Quilanga, Amaluza, El Ingenio, Carimanga y Sabanilla. Por otro lado, las estaciones pertenecientes al SENAMHI circundantes a la parroquia fueron las siguientes: Chirilos, Tabaconas, Namballe, Sondorillo y Hacienda Shumaya, las cuales se detallan en la tabla 15.

Tabla 15. Estaciones meteorológicas circundantes a la parroquia El Chorro

Id	Código	Estación	X	Y	Z	Periodo	Institución
1	M033	La Argelia	699905	9554269	2160	1990-2020	INAMHI
2	M144	Vilcabamba	695932	9529518	1560	1990-2020	INAMHI
3	M143	Malacatos	693160	9533974	1500	1990-2020	INAMHI
4	M147	Yangana	702775	9517656	1860	1990-2020	INAMHI
5	M145	Quinara	696317	9522733	1560	1990-2020	INAMHI
6	M241	Quilanga	677697	9525269	1940	1990-2020	INAMHI
7	M150	Amaluza	674721	9493261	1760	1990-2020	INAMHI
8	MA58	El Ingenio	673999	9511842	1189	1990-2020	INAMHI
9	M146	Carimanga	659971	9521675	1960	1990-2020	INAMHI
10	M207	Sabanilla	727610	9549646	970	1990-2020	INAMHI
11	105107	Namballe	711923	9447080	722	1990-2020	SENAMHI
12	105074	Chirilos	733000	9412839	1772	1990-2020	SENAMHI
13	105056	Tabaconas	690061	9412178	1892	1990-2020	SENAMHI
14	105022	Sondorillo	673818	9409553	1917	1990-2020	SENAMHI
15	105024	Hacienda Shumaya	681654	9404994	1991	1990-2020	SENAMHI

Nota. Longitud (X), Latitud (Y), Altura (Z).

Previo al modelado del mapa de intensidad de lluvias, se realizó el análisis del *parámetro de evaluación* concerniente a los periodos de retorno, para el efecto, se utilizó el

método de análisis de distribución de probabilidades formulada por Gumbel en 1941, ya que con este método se calcula valores extremos de variables meteorológicas, por tanto, el método de Gumbel resulta muy útil para predecir desastres naturales como deslizamientos, inundaciones, entre otros (Carihua et al, 2018).

A continuación, se explica el proceso para el análisis del parámetro de evaluación, tomando como ejemplo a la estación meteorológica La Argelia (para la visualización del cálculo de las otras estaciones, ver Anexo 4), cabe indicar que el procesamiento de los datos de cada estación se los realizó en el software Microsoft Excel 2016.

La tabla 16 presenta los registros pluviométricos mensuales de precipitaciones máximas en 24 horas (mm) durante el periodo 1990-2020 registrados en la estación meteorológica La Argelia. Se observa que la máxima precipitación de 10.68 mm/día ocurrió en el mes de febrero de 1999.

Tabla 16. *Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) del periodo 1990-2020, La Argelia (M033)*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1990	4,25	5,76	4,61	4,37	2,49	2,77	1,41	1,07	0,90	2,75	3,59	3,71	5,76 Febrero
1991	3,65	5,48	6,35	1,99	2,26	2,13	1,26	2,00	1,03	1,97	0,75	2,15	6,35 Marzo
1992	2,69	4,48	3,04	3,23	1,86	1,59	1,63	0,51	1,31	1,52	3,45	2,08	4,48 Febrero
1993	2,75	3,76	10,23	3,11	0,75	1,68	2,02	0,94	1,52	2,95	1,60	6,39	10,23 Marzo
1994	6,90	2,77	9,21	4,11	1,75	1,79	2,63	2,24	1,23	0,95	1,43	3,37	9,21 Marzo
1995	1,93	3,14	3,01	1,76	2,09	0,34	1,08	0,64	0,74	1,19	4,30	3,91	4,30 Noviembre
1996	3,17	4,53	4,94	3,26	0,99	1,55	1,25	1,11	1,24	1,87	0,43	0,87	4,94 Marzo
1997	2,20	3,90	3,26	2,33	1,49	0,69	1,62	1,14	1,40	1,93	2,45	4,00	4,00 Diciembre
1998	1,30	3,64	4,39	2,95	1,65	2,51	1,60	1,15	1,05	3,76	2,86	1,26	4,39 Marzo
1999	4,01	10,68	4,26	2,79	3,88	1,96	1,93	1,62	2,72	0,90	1,60	3,76	10,68 Febrero
2000	4,91	6,38	6,20	3,50	2,64	2,89	1,20	1,62	2,26	1,02	0,85	1,86	6,38 Marzo
2001	2,67	4,16	2,20	2,33	2,05	2,90	2,62	1,68	1,40	1,08	4,27	3,17	4,27 Noviembre
2002	3,29	3,54	1,73	4,22	2,20	1,31	2,03	0,19	0,61	2,18	2,38	2,28	4,22 Abril
2003	2,59	4,05	6,06	2,29	2,98	1,80	1,10	0,22	0,83	2,36	1,88	3,45	6,06 Marzo
2004	1,55	4,25	5,73	6,62	1,50	2,85	1,53	0,39	0,84	4,06	3,18	3,11	6,62 Abril
2005	1,50	4,80	5,60	5,25	1,06	2,63	0,49	0,43	0,60	2,78	2,08	3,17	5,60 Marzo
2006	4,45	3,17	6,07	2,76	1,08	2,62	1,09	0,43	0,75	1,20	3,10	2,92	6,07 Marzo
2007	1,62	2,37	3,02	3,30	2,60	4,00	0,36	4,92	1,83	1,80	5,08	2,50	5,08 Noviembre
2008	2,01	8,96	7,67	4,59	2,41	1,71	2,89	2,89	0,69	4,40	3,43	4,07	8,96 Febrero
2009	4,29	3,22	4,34	3,10	1,40	0,99	1,80	2,00	1,85	2,25	0,87	3,82	4,34 Marzo
2010	1,92	3,91	1,49	2,53	2,28	2,58	1,00	1,49	2,02	1,11	2,00	2,62	3,91 Febrero
2011	1,88	7,33	4,24	5,15	2,81	1,87	3,26	1,81	2,99	2,61	4,13	5,28	7,33 Febrero
2012	4,74	7,20	1,95	3,26	2,65	2,74	0,54	1,03	1,09	3,75	3,67	3,78	7,20 Febrero
2013	2,59	3,91	8,15	4,88	1,87	1,74	1,56	0,67	1,41	2,13	1,74	4,92	8,15 Marzo
2014	3,16	3,51	7,47	2,36	1,62	2,32	2,08	2,10	1,30	2,35	2,30	3,24	7,47 Marzo

*Análisis de Peligrosidad a Deslizamientos en la Parroquia El Chorro, Cantón
Chinchipe, Provincia de Zamora Chinchipe a Escala 1:10 000*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo	Año
2015	1,71	3,97	4,31	3,71	1,58	2,08	0,79	0,70	0,68	2,01	3,19	3,54	4,31	Marzo
2016	3,81	3,85	5,51	3,01	1,04	2,42	1,17	0,98	1,27	1,53	1,16	1,69	5,51	Marzo
2017	1,91	3,13	3,14	2,82	1,29	2,35	0,99	1,12	1,45	1,86	3,77	3,25	3,77	Noviembre
2018	1,66	6,30	5,83	3,77	2,03	2,11	1,01	1,60	1,02	4,08	3,15	2,54	6,30	Marzo
2019	4,15	6,95	3,23	2,98	2,64	1,48	1,47	1,66	2,52	1,20	1,24	3,79	6,95	Febrero
2020	3,41	3,49	1,83	3,01	2,17	2,74	1,10	0,32	2,24	0,61	1,42	2,24	3,49	Enero
Máx.	6,90	10,68	10,23	6,62	3,88	4,00	3,26	4,92	2,99	4,40	5,08	6,39	10,68	

Nota. Data recuperada de INAMHI, 2021. Formato de tabla modificada de Olivera, 2013.

La distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel se realizó calculando las variables probabilísticas (media aritmética, desviación estándar, parámetro de dispersión y el parámetro de posición) que a continuación se señalan.

Tabla 17. Distribución de probabilidades del periodo 1990-2020, La Argelia (M033)

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			X_i	$(X_i - \bar{X})^2$
1	1990	Febrero	5,76	0,06
2	1991	Marzo	6,35	0,12
3	1992	Febrero	4,48	2,36
4	1993	Marzo	10,23	17,82
5	1994	Marzo	9,21	10,23
6	1995	Noviembre	4,30	2,93
7	1996	Marzo	4,94	1,14
8	1997	Diciembre	4,00	4,06
9	1998	Marzo	4,39	2,62
10	1999	Febrero	10,68	21,82
11	2000	Marzo	6,38	0,13
12	2001	Noviembre	4,27	3,04
13	2002	Abril	4,22	3,20
14	2003	Marzo	6,06	0,00
15	2004	Abril	6,62	0,37
16	2005	Marzo	5,60	0,17
17	2006	Marzo	6,07	0,00
18	2007	Noviembre	5,08	0,86
19	2008	Febrero	8,96	8,72
20	2009	Marzo	4,34	2,81
21	2010	Febrero	3,91	4,40
22	2011	Febrero	7,33	1,74
23	2012	Febrero	7,20	1,41
24	2013	Marzo	8,15	4,57
25	2014	Marzo	7,47	2,12
26	2015	Marzo	4,31	2,91
27	2016	Marzo	5,51	0,25
28	2017	Noviembre	3,77	5,02
29	2018	Marzo	6,30	0,08

30	2019	Febrero	6,95	0,88
31	2020	Enero	3,49	6,34
31		Suma	186,4	112,2

Nota. Formato de tabla modificada de Olivera, 2013.

a) Media Aritmética \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{186,4}{31} = 6,01 \text{ mm}$$

Como resultado se tuvo que el promedio aritmético de la serie de datos para la estación La Argelia es de 6,01 mm.

b) Desviación Estándar (S):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{112,2}{30}} = 1,93 \text{ mm}$$

La desviación estándar de la estación La Argelia es igual a 1,93 mm.

c) Parámetro de escala o dispersión (α):

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * 1,93 = 1,51 \text{ mm}$$

El parámetro de dispersión de la serie de datos es de 1,51 mm.

d) Cálculo del parámetro de posición (u):

$$u = \bar{x} - 0,5772 * \alpha$$

Donde:

0,5772 es la constante de Euler.

$$u = 6,01 - 0,5772 * 1,51 = 5,14 \text{ mm}$$

El parámetro de posición de la estación La Argelia es de 5,14 mm.

e) Cálculo de precipitaciones diarias máximas probables (mm/día) para distintos periodos de retorno:

Después de haber calculado las variables probabilísticas de la serie de datos de precipitación, se realizó el cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para frecuencias o periodos de retorno (T) de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, escogidos arbitrariamente, como se observa en la tabla 19.

En este sentido, primero se calculó la variable reducida (Y), la misma que se expresa en función del periodo de retorno, a partir de la siguiente ecuación:

$$Y = -\ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$$

Luego, se calculó las precipitaciones (mm) de varios periodos de retorno, empleando la siguiente ecuación:

$$XT' = u + Y * \alpha$$

Seguidamente, la probabilidad de ocurrencia se determinó aplicando la función de distribución acumulada de Gumbel:

$$F_{(XT)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Donde:

e, es la base del logaritmo neperiano.

Asimismo, se procedió a realizar la corrección por intervalo fijo de 1,13 con la finalidad de maximizar los valores de precipitación, puesto que, los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con precipitaciones máximas, al ser incrementados en un 13% conducen a magnitudes más aproximadas (Carihua & Vargas, 2018).

Tabla 18. *Precipitación diaria máxima probable para distintos periodos de retorno, La Argelia (M033)*

Periodo de Retorno <i>T (Años)</i>	Variable Reducida <i>YT</i>	Precipitación (mm) <i>XT'(mm)</i>	Probabilidad de que ocurra un evento menor que X <i>F(XT)</i>	Corrección de intervalo fijo <i>XT (mm/día)</i>
2	0,37	5,69	0,50 = 50 %	6,43
5	1,50	7,40	0,80 = 80 %	8,37
10	2,25	8,53	0,90 = 90 %	9,64
25	3,20	9,96	0,96 = 96 %	11,26
50	3,90	11,02	0,98 = 98 %	12,46
100	4,60	12,08	0,99 = 99 %	13,65

Nota. Formato de tabla modificada de Olivera, 2013.

De la tabla 18 se deduce que, por ejemplo, en un periodo de retorno de 2 años, lo que se esperaría es que en la parroquia El Chorro haya una precipitación acumulada máxima de 6,43 mm/día con una probabilidad de que ocurra un evento menor del 50 %. Igualmente, para el caso de un periodo de retorno de 25 años, se va a presenciar una lluvia diaria máxima de 11,26 mm/día con una probabilidad de ocurrencia de un evento menor del 96 %.

f) Precipitación media promedio (mm/24horas) para diferentes tiempos de duración de lluvias según periodos de retorno:

Se calculó las precipitaciones medias promedio para los diferentes tiempos de duración según periodos de retorno usando los coeficientes de la tabla 19, para de esa forma transformar las precipitaciones diarias máximas probables a precipitaciones de diferentes tiempos de duración (a fracciones del día).

Tabla 19. *Coefficientes para las relaciones de tiempo de duración de lluvias según Campos, 1978*

Duración en horas	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
Coefficiente	0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,00

Nota. Tomado de Olivera, 2013.

Lo dicho anteriormente se consiguió multiplicando las precipitaciones diarias máximas probables por el coeficiente de cada tiempo de duración. Teniendo como resultado que, por ejemplo, para una precipitación de 1 hora de duración en un periodo de retorno de 25 años, la precipitación media promedio será de 3,38 mm, tal como se indica en la tabla 20.

Tabla 20. Precipitación media promedio para diferentes tiempos de duración. estación La Argelia

Tiempo de Duración	Coeficiente	Precipitación media promedio (mm/24horas) para diferentes tiempos de duración según periodo de retorno.					
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
24 h	1,00	6,43	8,37	9,64	11,26	12,46	13,65
18 h	0,91	5,85	7,61	8,78	9,01	11,34	12,42
12 h	0,80	5,15	6,69	7,71	9,01	9,97	10,92
8 h	0,68	4,37	5,69	6,56	7,66	8,47	9,28
6 h	0,61	3,92	5,10	5,88	6,87	7,60	8,32
5 h	0,57	3,67	4,77	5,50	6,42	7,10	7,78
4 h	0,52	3,35	4,35	5,01	5,85	6,48	7,10
3 h	0,46	2,96	3,85	4,44	5,18	5,73	6,28
2 h	0,39	2,51	3,26	3,76	4,39	4,86	5,32
1 h	0,30	1,93	2,51	2,89	3,38	3,74	4,09

Nota. Formato de tabla modificada de Olivera, 2013.

g) Intensidad distribuida de lluvia para diferentes periodos de retorno:

Finalmente, se calculó la intensidad distribuida de lluvia en mm/h para diferentes periodos de retorno, dividiendo la precipitación media promedio (mm) entre el tiempo de duración (h), con la ecuación siguiente:

$$I = \frac{P \text{ (mm)}}{t_{\text{duración}} \text{ (h)}}$$

En la tabla 21 se indica que en la parroquia El Chorro, para un periodo de retorno de 25 años, se espera una intensidad de lluvia de 0,47 mm/h cuya duración sea 24 h, de igual manera, para el mismo periodo de retorno de 25 años, en una duración de 1 h se esperaría una intensidad de lluvia de 3,38 mm/h, lo cual es lógico, puesto que las lluvias son más intensas en tiempos cortos.

Tabla 21. Intensidad de lluvia (mm/h) según periodo de retorno, La Argelia (M033)

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm/h) según el Periodo de Retorno					
h	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
24	1440	0,27	0,35	0,40	0,47	0,52	0,57
18	1080	0,33	0,42	0,49	0,50	0,63	0,69
12	720	0,43	0,56	0,64	0,75	0,83	0,91
8	480	0,55	0,71	0,82	0,96	1,06	1,16
6	360	0,65	0,85	0,98	1,14	1,27	1,39
5	300	0,73	0,95	1,10	1,28	1,42	1,56
4	240	0,84	1,09	1,25	1,46	1,62	1,77
3	180	0,99	1,28	1,48	1,73	1,91	2,09

2	120	1,25	1,63	1,88	2,20	2,43	2,66
1	60	1,93	2,51	2,89	3,38	3,74	4,09

Nota. Formato de tabla modificada de Olivera, 2013.

h) Elaboración del mapa de intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 25 años.

Luego de haber estimado los valores de intensidad de lluvia para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de las 15 estaciones meteorológicas (ver Tabla 22), se elaboró el modelado del mapa de intensidad de lluvia de la parroquia El Chorro estimando para una probabilidad de ocurrencia del 4 % para un periodo de retorno de 25 años y con duración de 1 hora, a través de la interpolación por el método geoestadístico de kriging, si bien, en estadística la interpolación es usada para estimar valores desconocidos a partir de una serie de datos conocidos. Cada técnica de interpolación que existe, busca determinar una función que represente adecuadamente el fenómeno bajo estudio (Murillo et al, 2012), en vista de ello, para este análisis se utilizó el método de interpolación de kriging (superficie semivariograma esférica) debido a que arrojó una mejor representatividad de la información.

Tabla 22. *Intensidad de lluvia de 1 h para varios periodos de retorno en la parroquia El Chorro*

Id	Código	Estación	X	Y	Z	Periodos de Retorno (mm/h)					
						2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
1	M033	La Argelia	699905	9554269	2160	1,93	2,51	2,89	3,38	3,74	4,09
2	M144	Vilcabamba	695932	9529518	1560	1,95	2,50	2,86	3,31	3,65	3,99
3	M143	Malacatos	693160	9533974	1500	1,96	2,69	3,17	3,78	4,24	4,69
4	M147	Yangana	702775	9517656	1860	2,39	3,24	3,81	4,52	5,05	5,58
5	M145	Quinara	696317	9522733	1560	2,19	2,86	3,30	3,85	4,27	4,68
6	M241	Quilanga	677697	9525269	1940	2,63	3,36	3,84	4,45	4,90	5,35
7	M150	Amaluza	674721	9493261	1760	2,54	4,02	5,00	6,24	7,16	8,07
8	MA58	El Ingenio	673999	9511842	1189	2,40	3,89	4,87	6,11	7,03	7,95
9	M146	Cariamanga	659971	9521675	1960	4,17	5,28	6,02	6,95	7,64	8,33
10	M207	Zamora DJ Sabanilla	727610	9549646	970	2,16	3,29	4,04	4,99	5,69	6,39
11	105107	Namballe	711923	9447080	722	9,71	11,22	12,22	13,49	14,42	15,35
12	105074	Chirilos	733000	9412839	1772	18,79	24,70	28,61	33,55	37,21	40,85
13	105056	Tabaconas	690061	9412178	1892	13,34	16,49	18,57	21,20	23,15	25,08
14	105022	Sondorillo	673818	9409553	1917	8,96	11,80	13,68	16,06	17,82	19,57
15	105024	Hacienda Shumaya	681654	9404994	1991	14,08	18,59	21,57	25,34	28,14	30,92
Promedio						5,95	7,76	8,96	10,48	11,61	12,73

Nota. Formato de tabla modificada de Olivera, 2013

Los rangos de clasificación para la intensidad de lluvias (mm/h) se establecieron de acuerdo con las expuestas por el INAMHI en el año 2019. Y el mapa temático de intensidad

de lluvia final se presentó a escala de impresión 1:20 000, en formato de hoja A3, con proyección UTM, Datum WGS 1984, Zonas 17 Sur (ver Anexo 7H).

5.4.5.7. Peligrosidad a escala 1:10 000.

Previo a la elaboración del mapa de peligrosidad a deslizamientos, se aplicó el método de Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty. El procedimiento que se siguió para el cumplimiento del objetivo es el descrito en el “Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales Versión 02” elaborado por el CENEPRED en el año 2014.

A. Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty

El procedimiento que se describe a continuación fue aplicado a cada uno de los parámetros analizados en la presente investigación. Las matrices elaboradas se pueden visualizar en el apartado de resultados.

1. Matriz de comparación de pares

Se realizó la comparación de pares para la determinación de la importancia relativa usando la escala de Saaty (ver Tabla 1). Luego, se sumó cada columna de la matriz para obtener la inversa de las sumas totales.

2. Matriz normalizada

La matriz normalizada se consiguió de multiplicar, la inversa de las sumas totales de la matriz de comparación de pares por cada elemento de su columna correspondiente.

3. Vector prioridad

El vector prioridad indica la importancia (peso) de cada parámetro en la determinación del nivel de peligro, esta se determinó mediante la suma promedio de cada fila. Se debía considerar que la matriz cumpliera con la condición de que la suma de cada columna tenía que ser igual a la unidad.

4. Relación de Consistencia (RC)

La Relación de Consistencia debe ser menor o igual al 10% ($RC \leq 0,1$), lo que indicará que los criterios utilizados para la comparación de pares son correctos o los más adecuados, para su determinación se realizó los pasos siguientes:

- a. Se multiplicó cada valor de la primera columna de la matriz de comparación pareada por la prioridad relativa de la primera variable y así sucesivamente. Luego, se sumaron los valores sobre las filas para obtener el Vector Suma Ponderada (VSP).
- b. Se dividió los elementos del Vector de Suma Ponderada entre el correspondiente valor de prioridad para cada una de las variables.
- c. Se calculó el *Índice de Consistencia (IC)*. Esto permitió hallar la relación de consistencia de la matriz para verificar si las decisiones fueron adecuadas.

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

n: número de variables a evaluar

- d. Se determinó la *Relación de Consistencia (RC)*

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

IA: es el *Índice Aleatorio* de una matriz de comparaciones pareadas, generada, como su nombre sugiere, de forma aleatoria (CENEPRED, 2014). Los valores del Índice Aleatorio (IA) para los diferentes “n” se señalan en la tabla 2.

5. *Susceptibilidad a deslizamientos*

Para calcular el valor de susceptibilidad, se consideraron los valores y pesos de los factores condicionantes y del desencadenante.

$$\text{Valor} = \text{Factores condicionantes} * \text{Peso} + \text{Factor desencadenante} * \text{Peso}$$

6. *Peligrosidad a deslizamientos*

Para determinar el valor de peligrosidad, se tomó en cuenta el valor de susceptibilidad y el valor del parámetro de evaluación, para el cual se consideró el escenario concerniente a un periodo de retorno de 25 años.

$$\text{Valor} = \text{Susceptibilidad} * \text{Peso} + \text{Parámetro de evaluación} * \text{Peso}$$

B. Categorización del nivel de peligrosidad a deslizamientos

En la tabla 23 se estable los niveles de peligrosidad muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo con su descripción respectiva.

Tabla 23. Nivel y descripción de peligrosidad a deslizamientos

Nivel	Descripción
Muy alto	Se caracterizan por la presencia de rocas muy meteorizadas y muy fracturadas, se evidencia cambios en el uso del suelo (actividad antrópica), estas superficies presentan suelos poco cohesivos y poco compactos. La zona está marcada por procesos erosivos causados especialmente por acción pluviométrica y la influencia tectónica local y regional. Comprenden zonas con pendientes muy fuertes a escarpada, es decir supera el 100 %.
Alto	Corresponde a zonas donde las condiciones del terreno se caracterizan por la presencia de rocas meteorizadas y fracturadas, estas superficies presentan suelos poco cohesivos, poco compactos. Las zonas están marcadas por procesos erosivos causados especialmente por acción pluviométrica. Comprenden zonas con pendientes media fuerte a fuerte, es decir, no superan el 70 %.
Medio	Estas superficies se caracterizan porque presentan pendientes de terreno no mayores al 40 %, corresponden a materiales medianamente fracturados y meteorizados. Se evidencian procesos erosivos de baja intensidad; predominan procesos de reptación. El material se desestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas y/o extensas, por ejemplo, por la acción de la caída de lluvias intensas en la zona.
Bajo	Estas áreas se caracterizan porque presentan pendientes muy suaves a suave, es decir no mayores al 12 %, y superficies de terreno con condiciones geológicamente estables, aún ante la presencia de intensas lluvias.
Muy bajo	Las áreas se caracterizan por tener terrenos compuestos por roca fresca a muy poco meteorizadas, ubicados en zonas con pendientes planas a suaves no mayores al 5 %. Están cubiertos por vegetación y muy poco se observan indicios de deslizamientos antiguos, presentan superficies de terreno con condiciones geológicamente estables, aún ante la presencia de intensas lluvias.

Nota. Adaptado de la “Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos”, 2019.

C. Mapa de peligrosidad a deslizamientos

La elaboración del mapa de peligrosidad a deslizamientos se realizó en el programa ArcGIS versión 10.4.1, utilizando como insumos los shapefile de los mapas temáticos y los pesos de cada uno de los parámetros analizados previamente con el método de Saaty. En este sentido, se aplicó el procedimiento propuesto por el Centro de Especialización INNOVA PERÚ (2020), el cual consistió en realizar la superposición o integración de los mapas de cada factor estudiado, los pasos realizados son los siguientes:

1. Se ingresó los shapefile de los mapas temáticos correspondientes a los factores condicionantes y al desencadenante al entorno de trabajo de ArcMap, con el fin de añadir en cada tabla de atributos, campos que contengan los pesos de ponderación de cada variable de los parámetros calculados anteriormente en las matrices de prioridad.

1. Se interceptó los mapas temáticos de los factores condicionantes y del desencadenante mediante el uso de las herramientas *ArcToolbox*→*Analysis Tools*→*Overlay*→*Intersect* para obtener el shapefile de peligrosidad.
2. Seguidamente, a la tabla de atributos del shapefile de peligrosidad, se añadió un campo donde se agregó el peso de los factores condicionantes. Para eso, se ingresó la siguiente expresión en la calculadora de campo:
 $[Geomorfología]*peso_geomorfología+[Geología]*peso_geología+[Pendiente]*peso_pendiente+[Uso_suelo]*peso_uso\ suelo$
3. Se añadió otro campo para el valor del factor desencadenante, considerando a criterio el escenario de mayor peso de intensidad de lluvias.
4. Posteriormente, se agregó un campo más a la tabla de atributos para el valor de susceptibilidad, para el efecto, se ingresó la siguiente expresión a la calculadora de campo del software:
 $[Valor_Condicionante]*peso_condicionante+[Valor_Desencadenante]*peso_desencadenante$
5. Seguidamente, se añadió otro campo para el valor del parámetro de evaluación, para lo cual, se consideró el peso para un periodo de retorno de 25 años.
6. Se agregó otro campo a la tabla de atributos con el nombre de peligro, ingresando en la calculadora de campo la siguiente expresión:
 $[Valor_Susceptibilidad]*peso_susceptibilidad+[Valor_Parámetro_Evaluación]*peso_parámetro_evaluación$
7. Por último, los valores de peligro fueron reclasificados para obtener de esa manera los niveles de peligro del mapa de peligrosidad.

El mapa de peligrosidad de la parroquia El Chorro se elaboró a escala de trabajo 1:10 000 y se confeccionó en formato vectorial a escala de impresión 1:20 000 en un formato de hoja A3, proyectado en UTM, Datum Horizontal WGS 1984, Zona 17 Sur, el mismo que se encuentra en el anexo 7I.

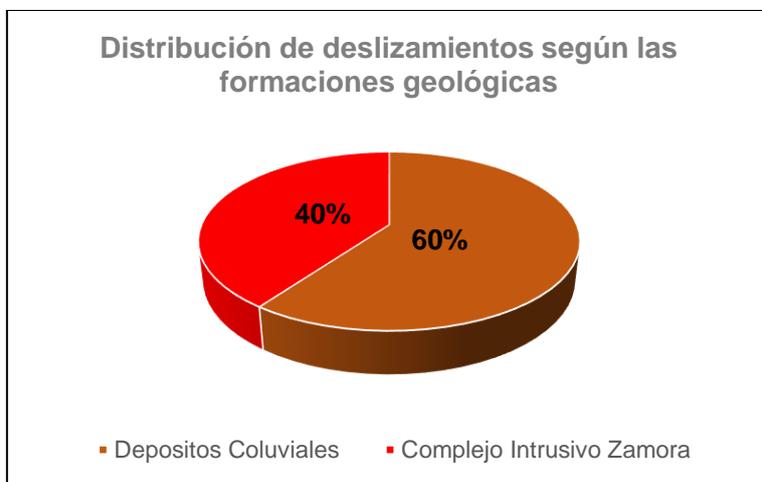
6. Resultados

6.1. Inventario de deslizamientos existentes en la parroquia El Chorro

En la parroquia El Chorro se inventariaron un total de 20 deslizamientos, de los cuales, 4 solo se cartografiaron en oficina y 16 fueron levantados en campo, de estos últimos, de acuerdo con la tipología, 3 se catalogaron como rotacionales y 13 como traslacionales (ver Tabla 23).

Relacionando los deslizamientos con la geología regional que enmarca a la parroquia El Chorro y del levantamiento realizado en campo, se ha podido identificar la distribución de los deslizamientos con base a las formaciones geológicas en las cuales han ocurrido este tipo de procesos gravitacionales. En el gráfico de la figura 10 se indica que la mayor concentración de deslizamientos se ha suscitado en de los depósitos coluviales del cuaternario (60 %), misma que se caracteriza por poseer material poco consolidado, con líticos metamórficos y volcánicos dentro de la matriz areno limosa; por otra parte, el 40 % se ha producido en la superficie del Complejo Intrusivo Zamora.

Figura 10. Gráfico de distribución de deslizamientos según las formaciones geológicas.



En las siguientes líneas se describe el análisis detallado de los deslizamientos inventariados más representativos.

- Deslizamiento DT-01

Deslizamiento de tipo traslacional, está ubicado al margen derecho de la vía que conduce al barrio La Toma, en la parroquia El Chorro en las coordenadas X:711051/Y:9456673. El deslizamiento contiene cierto grado de meteorización de las rocas intrusivas

aflorantes en el Complejo Intrusivo Zamora, las cuales, en los flancos del deslizamiento se encuentran buzando 40° SE. El estado del movimiento es activo, de estilo único y tiene una distribución retrogresiva.

Se ha estimado que los factores condicionantes que inciden en el desplazamiento son principalmente el material alterado y fracturado con presencia de arcilla; el factor detonante son las fuertes lluvias que se presentan en esta zona. Geométricamente, el deslizamiento tiene una longitud de masa desplazada de 9,10 m y el ancho de masa desplazada es de 8,70 m. En el deslizamiento se evidencia la presencia de un escarpe principal y un escarpe secundario de 0,6 m y 0,5 m de altura respectivamente (ver Figura 11).

Figura 11. Deslizamiento localizado en la vía que conduce al barrio La Toma



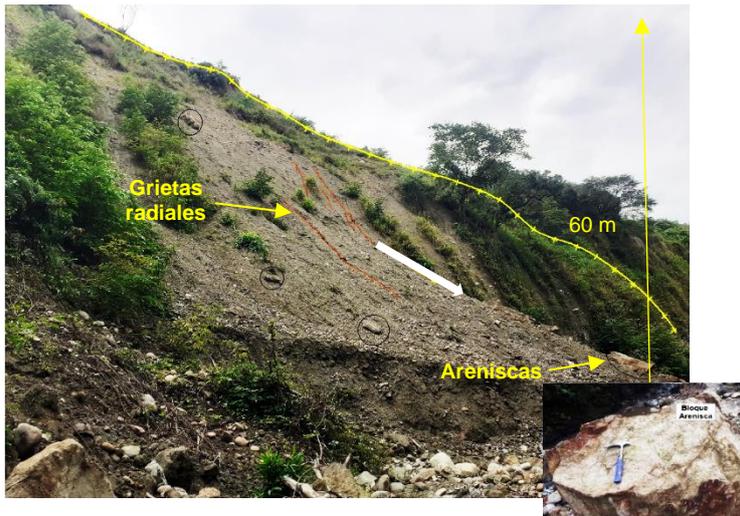
Nota. Coordenadas de ubicación X:711051 / Y:9456673.

- **Deslizamiento DT-02**

Se localiza al margen derecho de la quebrada Yuncachi al suroeste de la parroquia en las coordenadas X:709313/Y:9455294. El mecanismo del deslizamiento es traslacional y geométricamente tiene una longitud total de aproximadamente 60 m de largo y un ancho transversal de 20 m (ver Figura 12). El deslizamiento implicó la caída de bloques de rocas areniscas pardas amarillentas, cantos y arena fina con alta presencia de humedad, los cuales se debieron haber deslizado con una estimación de velocidad moderada. Se considera como un deslizamiento reactivado, ya que presenta grietas radiales en la superficie de la masa desplazada, lo que involucra la infiltración de agua y por ende mayor peso, lo que causa que se deslice el material. Es de estilo múltiple y con distribución de ensanchamiento de la superficie de falla hacia el flanco izquierdo.

El factor que condiciona el deslizamiento principalmente es la presencia de material sensible, colapsable y meteorizado, como factores detonantes se pueden señalar las fuertes precipitaciones que saturaron los materiales permeables involucrados, haciendo que estos se desplazaran pendiente abajo, y también, la socavación de pata de la ladera por la corriente de agua de la quebrada.

Figura 12. Deslizamiento ubicado al margen derecho de la quebrada Yuncachi



Nota. Coordenadas de ubicación X:709313 / Y: 9455294

- **Deslizamiento DT-06**

El siguiente deslizamiento se encuentra localizado al suroeste de la parroquia El Chorro en las coordenadas X:709292/Y:9455880. Corresponde a un deslizamiento de movimiento tipo traslacional, en el cual se evidencia el desprendimiento de conglomerado y tobas arenosas de coloración blanco con cierto grado de humedad (ver Figura 13). El estado del movimiento es latente y tiene una distribución retrogresiva con estilo único. Se atribuyen los factores condicionantes principalmente al tipo de material sensible y como causas detonantes a las filtraciones de agua acumuladas en periodos lluviosos que ayudaron a humedecer el material de la ladera, provocando sobresaturación y pérdida de cohesión, generando así la separación de la cobertura vegetal de tipo pastizal y arbustiva que se había incorporado en esa ladera. La longitud de la masa desplazada es de 13,2 m y el ancho de la masa desplazada tiene 9,8 m.

Figura 13. Deslizamiento ubicado al suroeste del área de estudio



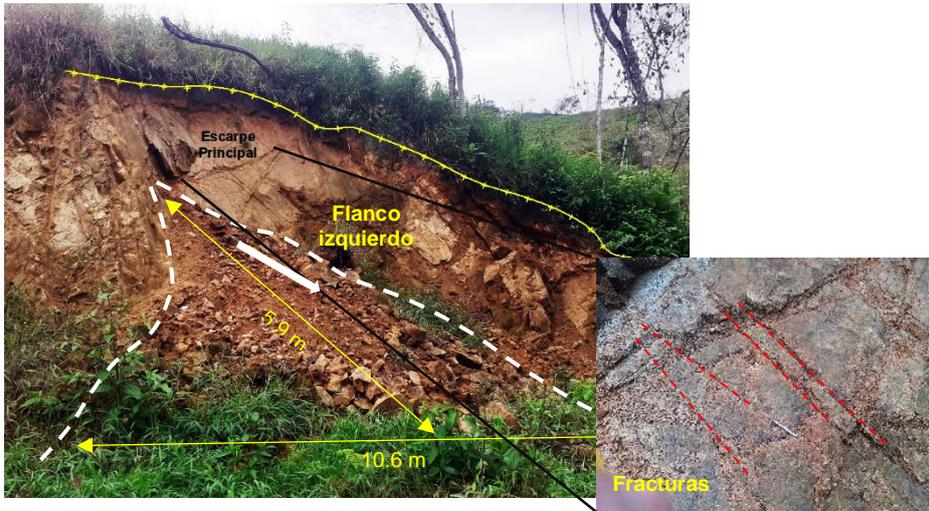
Nota. Coordenadas de ubicación X:709292 / Y:9455880.

- **Deslizamiento DT-08**

Deslizamiento de tipo traslacional con desprendimiento de rocas meteorizadas de tamaños que oscilan entre 15 a 30 cm, aflorantes en el ambiente geológico del complejo intrusivo Zamora al margen izquierdo de la vía lastrada que conduce al sector Lashipa localizado en las coordenadas X:711131/Y:9456346. El macizo rocoso se encuentra formado por rocas intrusivas muy fracturadas con planos desfavorables a la dirección del movimiento (57° SE), el espaciamiento de las fracturas es de entre aproximadamente 0,2 a 0,6 m. El estado de actividad del deslizamiento es activo, con estilo único y con distribución de ensanchamiento ya que la superficie de falla se está extendiendo hacia el flanco izquierdo.

El deslizamiento tiene 5.9 m de longitud de masa desplazada; 10,6 m de ancho de la masa desplazada y un escarpe principal que alcanza una altura de 1,67 m (ver Figura 14). Las causas del movimiento estarían relacionadas con los factores condicionantes como el material plástico débil debido a la presencia de arcilla, a las rocas alteradas y fracturadas. El principal factor detonante para la ocurrencia de este deslizamiento fueron las aguas de lluvias, además, al material fallado por corte producto de la apertura de la vía que conduce hacia el sector Lashipa.

Figura 14. Deslizamiento traslacional con caída de roca localizado en el sector Lashipa



Nota. Coordenadas de ubicación X:711131 / Y:9456346.

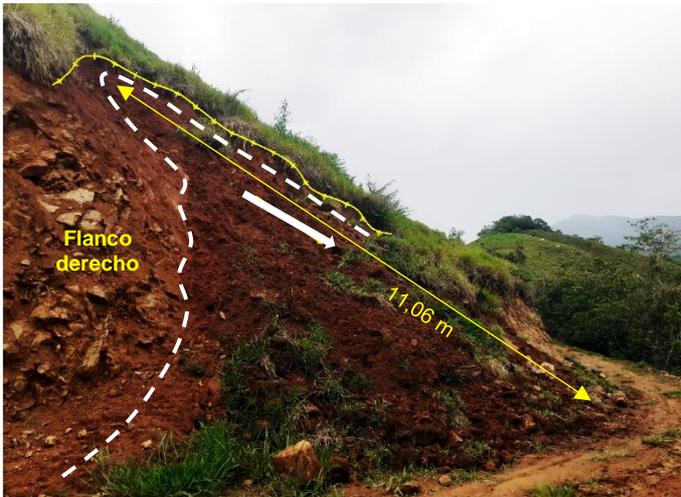
- **Deslizamiento DT-11**

Deslizamiento localizado al margen izquierdo de la vía que conduce al sector Lashipa al sureste de la parroquia El Chorro. El mecanismo de falla del deslizamiento es traslacional, seguido de un moderado flujo de tierra con contenido de arcilla de coloración rojiza muy húmeda y de plasticidad media. El estado de actividad del deslizamiento es activo, de estilo único y con distribución retrogresiva, debido a que la superficie de falla se extiende en dirección opuesta al material desplazado.

La morfometría del deslizamiento está definida por el ancho de la masa desplazada que es de 6,48 m y la longitud de masa desplazada de 11,06 m (ver Figura 15). La severidad del deslizamiento es media, puesto que ante otro eventual desplazamiento la vía se vería obstruida.

Se le atribuye al desplazamiento como factores condicionantes, el material plástico débil y el tipo de material que en cierto grado es colapsable. Por otra parte, el papel del factor detonante o desencadenante principal es la presencia de las lluvias que caen en la zona. La geoforma en la que se dio lugar al deslizamiento es de tipo colinado con cubierta vegetal herbácea, el cual está destinado para uso ganadero.

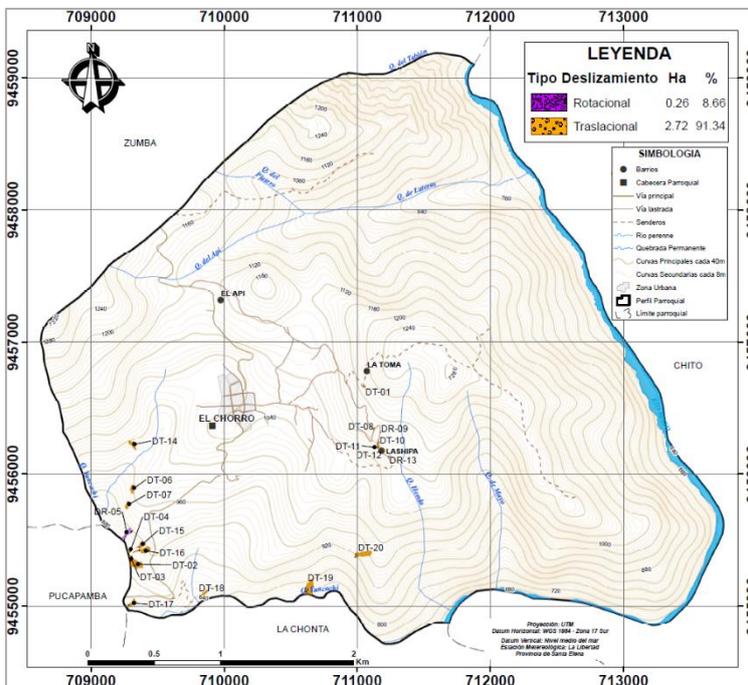
Figura 15. Deslizamiento traslacional localizado en el sector Lashipa



Nota. Coordenadas de ubicación X:711153 / Y:9456207.

En el mapa de la figura 16 se indica que la mayor distribución de deslizamientos ha ocurrido al suroeste de la parroquia, al margen derecho de la quebrada Yuncachi; siendo estos en su mayoría de tipo traslacional. Al sureste del área de estudio también se evidencia la existencia de escasos deslizamientos rotacionales y traslacionales a lo largo de la vía que conduce hacia el sector Lashipa.

Figura 16. Mapa de deslizamientos en la parroquia El Chorro a escala 1:10 000



A continuación, en la tabla 24 se presenta una base de datos en la cual se resume la distribución de los deslizamientos existentes en la parroquia El Chorro.

Tabla 24. Inventario de deslizamientos existentes en la parroquia El Chorro

Código	Tipo de deslizamiento	Coordenadas X	Coordenadas Y	Fecha de inventario	Estado	Estilo	Distribución	Condicionante	Detonante
DT-01	Traslacional	711051	9456673	2021-06-10	Activo	Único	Retrogresivo	Material meteorizado Material agrietado.	Lluvias Corte de la ladera
DT-02	Traslacional-Flujo	709313	9455294	2021-06-18	Reactivado	Múltiple	Ensanchándose	Material sensible	Lluvias Erosión de pata de talud por corriente de agua.
DT-03	Traslacional-Flujo	709266	9455357	2021-06-18	Reactivado	Único	Ensanchándose	Material colapsable	Lluvias Erosión de pata de talud por corriente de agua.
DT-04	Traslacional-Flujo	709252	9455428	2021-06-18	Reactivado	Único	Retrogresivo	Material colapsable	Lluvias Erosión de pata de talud por corriente de agua
DR-05	Rotacional-Flujo	709240	9455487	2021-06-18	Reactivado	Único	Retrogresivo	Material colapsable	Lluvias Erosión de pata de talud por corriente de agua
DT-06	Traslacional	709292	9455880	2021-06-18	Latente	Único	Retrogresivo	Material sensible	Lluvias
DT-07	Traslacional	709294	9455779	2021-06-18	Latente	Único	Ensanchándose	Material sensible	Lluvias
DT-08	Traslacional-caída de roca	711131	9456346	2021-06-19	Activo	Único	Ensanchándose	Material plástico débil Material meteorizado	Lluvias Corte de la ladera
DR-09	Rotacional	711177	9456319	2021-06-19	Activo	Único	Ensanchándose	Material plástico débil Material meteorizado	Lluvias
DT-10	Traslacional-caída de roca	711158	9456236	2021-06-19	Activo	Único	Ensanchándose	Material colapsable Material plástico débil Material meteorizado	Lluvias Corte de la ladera
DT-11	Traslacional	711153	9456207	2021-06-19	Activo	Único	Retrogresivo	Material plástico débil Material colapsable	Lluvia Corte de la ladera
DT-12	Traslacional	711167	9456177	2021-06-19	Activo	Único	Retrogresivo	Material plástico débil Material colapsable	Lluvias Corte de la ladera
DR-13	Rotacional	711237	9456129	2021-06-19	Reactivado	Único	Retrogresivo	Material plástico débil Material sensible	Lluvias
D-14	-	709327	9456228	2021-06-09	Latente	-	-		Zona Inaccesible
D-15	-	709386	9455467	2021-06-09	Latente	-	-		Zona Inaccesible
D-16	-	709421	9455431	2021-06-09	Latente	-	-		Zona Inaccesible
DT-17	Traslacional-Flujo	709323	9454969	2021-06-18	Latente	Único	Ensanchándose	Material colapsable	Lluvias Erosión de pata de talud por corriente de agua
DT-18	Traslacional - Flujo	709850	9455091	2021-06-18	Latente	Único	Retrogresivo	Material colapsable	Lluvias Erosión de pata de talud por corriente de agua
DT-19	Traslacional-Flujo	710646	9455157	2021-06-18	Latente	Único	Ensanchándose	Material colapsable	Lluvias Erosión de pata de talud por corriente de agua
D-20	-	711094	9455400	2021-06-09	Latente	-	-		Zona Inaccesible

6.2. Caracterización de los factores condicionantes y desencadenantes

6.2.1. Factores condicionantes

6.2.1.1. Pendientes

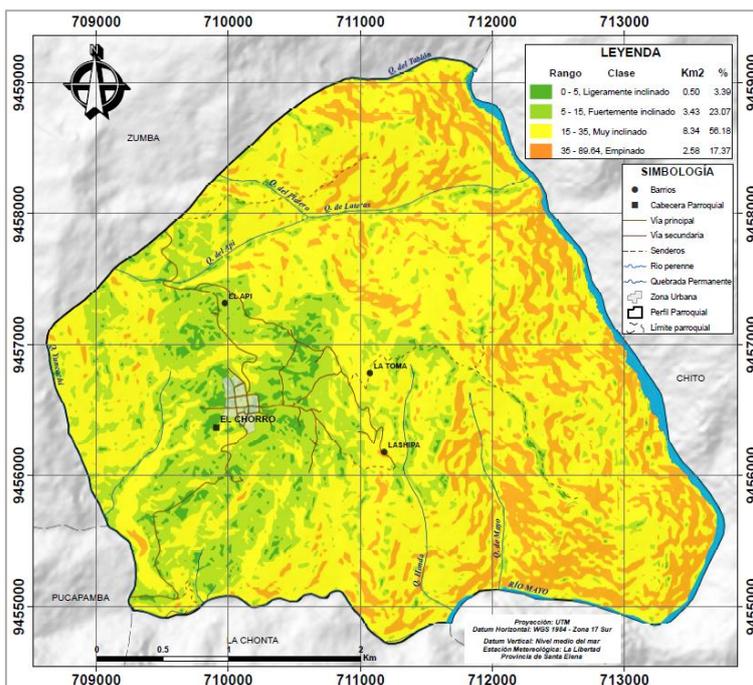
En la parroquia El Chorro, el 56,18 % del territorio corresponde a pendientes muy inclinadas entre 15° a 35°, mientras que el 17,37 % de la parroquia presenta pendientes empinadas con ángulos de entre 35° a 89,64°, siendo estas en su mayoría las laderas altas ubicadas en los márgenes del río Mayo y de las quebradas el Platero y Mayo. Las zonas con pendientes de ligera a fuertemente inclinadas ocupan tan solo el 3,39% y el 23,07% respectivamente, con ángulos de 5° a 15° (ver Tabla 25), toda esta zona está ubicada en las laderas de la quebrada del Api y donde se encuentra asentada la cabecera parroquial El Chorro y el barrio El Api.

Tabla 25. Área y porcentaje de pendientes existentes en la parroquia El Chorro

Clase	Rango (°)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Ligeramente inclinado	0 a 5	0,50	3,39
Fuertemente inclinado	5 a 15	3,43	23,07
Muy inclinado	15 a 35	8,34	56,18
Empinado	35 a 89,64	2,58	17,37

La figura 17 indica la distribución espacial de las clases de pendientes que predominan en la parroquia El Chorro.

Figura 17. Distribución espacial de pendientes de la parroquia El Chorro a escala 1:10 000



6.2.1.2. Geomorfología

La parroquia el Chorro se enmarca dentro de dos dominios fisiográficos, el primero corresponde al Dominio Fisiográfico Zona Subandina, el cual se encuentra representado por relieves colinados y montañosos, la estructura de este dominio conforma las crestas periféricas metamórficas y depósitos sedimentarios internos de la Depresión de Zumba. El segundo dominio corresponde al Dominio Fisiográfico Vertientes Externas de la Cordillera Real de los Andes, el cual constituye la mayor predominancia en la parroquia (GAD parroquial El Chorro, 2014-2019).

En la tabla 26 se indican las geoformas presentes en la parroquia El Chorro, identificadas en cada contexto morfogenético, morfocronológico, morfológico, morfométrico y morfodinámico.

Tabla 26. Caracterización de las geoformas presentes en la parroquia El Chorro

Geoformas	Terraza baja	R.C Medio	R. C Bajo	R. C Muy Bajo	R. C Alto	Relieve Montañoso	Deslizamientos	
Morfo-génesis	Génesis	Fluvial	Tectónico erosivo					Ladera
Morfo-cronología	Formación	-	Depósitos Coluviales, Sedimentos La Huaca, Unidad Chito			Complejo Intrusivo Zamora	D. coluviales y C. intrusivo Zamora	
	Edad / Período	Actualidad/ Holoceno	66 – 2,58 Ma / Paleógeno - Neógeno			150 ± 4 -193 ± 9 Ma /Jurásico	Actualidad	
Morfo-logía	Cima	No aplica	Redondeada	Redondeada	Redondeada	Redondeada, aguada,	Aguda, redondeada	
	Vertiente	No aplica	Rectilínea	Rectilínea	Rectilínea	Rectilínea, irregular	Rectilínea	
	Valle	Plano	En V	En V	En V	En V	En V	
	Drenaje	Subparalelo	-	-	-	Subparalelo	Subparalelo	
	Pendiente	0 a 2 %	12 a 40 %	5 a 12 %	2 a 5 %	40 a 70 %	70 a 100 %	
Morfo-metría	Desnivel Relativo	No aplica	25 a 100 m	15 a 25 m	5 a 15 m	100 a 200 m	>300 m	
	L de vertiente	No aplica	50 -250 m	15 -50 m	<15 m	250 -500 m	>500 m	
Morfo-dinámica	M.M	Flujos	Deslizamientos, reptaciones	Reptaciones	Reptaciones	Deslizamientos, caídas, flujos	Deslizamientos, caídas	Rotacionales, traslacionales
	Erosión	Alta	Alta a moderada	Moderada a baja	Moderada a baja	Alta a moderada	Alta a moderada	Alta a moderada

Nota. Relieve Colinado (R.C). Longitud (L). Deposito (D), Complejo (C)

Bajo el contexto anterior, en la zona de estudio predominan geoformas del relieve montañoso con un 49,13 %, seguido del relieve colinado medio y alto en una proporción del 21,94 % y de 21,06 % respectivamente, el relieve colinado bajo ocupa el 4,58 % del total del territorio; el 1,35 % corresponde al tipo de relieve colinado muy bajo; las terrazas bajas de origen fluvial se ocupan el 1,75 % y, finalmente los deslizamientos con el 0,20 %, tal como se indica en la tabla 27.

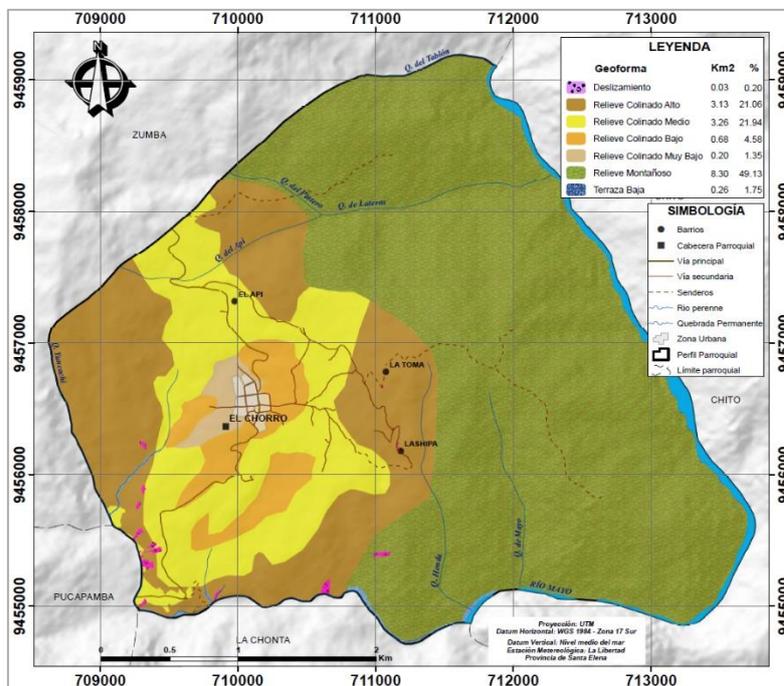
Tabla 27. Área y porcentaje de geoformas de la parroquia El Chorro

Geoformas	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Terraza baja	0,26	1,75
Relieve colinado alto	3,13	21,06
Relieve colinado medio	3,26	21,94

Geoformas	Área (km²)	Porcentaje (%)
Relieve colinado bajo	0,68	4,58
Relieve colinado muy bajo	0,20	1,35
Relieve montañoso	8,30	49,13
Deslizamiento	0,03	0,20

En la figura 18 se presenta la distribución espacial de la geomorfología de la parroquia El Chorro, se observa que la geoforma predominante es el relieve montañoso al oriente de la parroquia. El relieve colinado medio y alto cubren el sector centro y occidental del área de estudio; el relieve bajo y muy bajo se localiza en los alrededores del sector urbano de la parroquia.

Figura 18. Distribución espacial de la geomorfología de la parroquia El Chorro



Las unidades geomorfológicas identificadas en la parroquia El Chorro se describen con más detalle a continuación:

- **Terraza baja**

En la parroquia se presentan como zonas llanas, estas cubren el 1,75 % del total del territorio. Se localizan a ambos lados del plano inundable de las quebradas existentes en la parroquia y del río Mayo, las cuales se han originado por repetidos descensos del nivel de base de erosión, es decir por procesos fluviales. La morfometría de estas terrazas se encuentra caracterizadas por poseer pendientes planas entre 0 a 2 % de inclinación, además de presentarse con drenaje superficial de tipo subparalelo. Se encuentran formadas por

depósitos aluviales de arenas características del Cuaternario (2.5 Ma) combinadas con detritos grandes de clastos metamórficos e ígneos (ver Figura 19).

Figura 19. Terraza baja y cauce actual de la quebrada Yuncachi, parroquia El Chorro



Fuente: La Autora, 2022

- ***Relieve colinado alto***

Son elevaciones naturales que se encuentran repartidos en un porcentaje del 21,06 % en la zona norte, al suroeste y centro-sur de la parroquia El Chorro. Genéticamente han sido originadas por procesos tectónicos erosivos cuya edad se atribuye al Mioceno (23,03 – 5,33 Ma) y al Jurásico (150 ± 4 - 193 ± 9 Ma). Este tipo de relieve tiene entre 100 a 200 m de altura desde su parte más baja a la más alta, con laderas de pendiente media a fuerte de 25 a 70 % de inclinación y con longitud de vertiente larga a moderadamente larga entre 250 a 500 m. Morfológicamente las formas de la cima en su mayoría son redondeadas y un poco agudas, de vertientes rectilíneas e irregulares y con valle en V, como se observa en las fotografías de la figura 20. Litológicamente este tipo de relieve se encuentra conformado por conglomerados y areniscas con una textura areno limosa y arcillosa. En el contexto morfodinámico este tipo de relieve ha estado sujeto a alta y moderada erosión, donde se evidencia algunos cambios del relieve debido a la presencia de movimientos en masa.

Figura 20. Relieve colinado alto, parroquia El Chorro



- ***Relieve colinado medio***

Este tipo de geoforma corresponde al 21,94 % de la totalidad de la parroquia El Chorro, situándose con mayor predominancia al noroeste y suroeste. A igual que el relieve colinado alto, su origen se atribuye al tectónico erosivo del periodo Mioceno (23,03 – 5,33 Ma) y al holoceno (0,01 Ma - Actualidad). Además, en el contexto morfométrico, el desnivel desde la línea de base hasta la cumbre comprende un rango de 25 a 100 m, cuyas laderas presentan una inclinación media de 12 a 40 % con longitud de vertiente moderadamente larga de entre 50 a 250 m; la forma de la cima es redondeada a sub redondeada de vertiente rectilínea y con valle en V (ver Figura 21). Este tipo de colinas se encuentran conformadas principalmente por materiales poco consolidados del cuaternario.

Figura 21. Relieve colinado medio, parroquia El Chorro



- ***Relieve colinado bajo***

Genéticamente son originados por procesos tectónicos erosivos situados en la superficie de los depósitos coluviales; con edades que varían de 0,01 Ma -Actualidad,

durante el Holoceno. En el contexto morfométrico este tipo de relieve presenta una topografía moderadamente ondulada con diferencia de altura relativa de 15 a 25 m, de pendiente suave (5 a 12 %) y con longitudes de vertiente moderadamente larga a corta de 15 a 50 m (ver Figura 22). Morfológicamente presentan cimas redondeadas, con vertientes rectilíneas y valle en V; texturalmente se encuentran conformados por suelos limosos y cuyo relieve ha estado expuesto a erosión moderada a baja.

Figura 22. Relieve colinado bajo, parroquia El Chorro



- ***Relieve colinado muy bajo***

Este tipo de ondulaciones se presenta en los alrededores de la zona urbana con el 1,35 % del total de la parroquia El Chorro. Su origen genético se atribuye al tectónico erosivo cuya edad varía de 0,01 Ma -Actualidad, durante el Holoceno. Constituyen elevaciones cuyas pendientes son muy suaves entre 2 a 5 % de inclinación, la longitud de sus vertientes es muy corta, es decir, menor a 15 m, y tienen niveles relativos de 5 a 15 m. En cuanto al contexto morfológico, se caracterizan por presentar cimas redondeadas y vertientes rectilíneas sin disección, litológicamente se han desarrollado sobre depósitos sedimentarios de areniscas, conglomerados y suelos residuales de textura media a fina. El relieve está moderadamente erosionado donde los movimientos en masa como reptaciones están dando lugar a moderados cambios en el relieve. Además, en la figura 23 se observa que en algunos sectores dentro de este tipo de relieve existe la presencia de agua estancada, debido a que por la textura de los suelos estos tienden a no drenar bien, se compactan con facilidad por lo que presentan buena capacidad de retención de agua.

Figura 23. Relieve colinado muy bajo con presencia de agua estancada, parroquia El Chorro



- **Relieve montañoso**

Estos relieves se localizan principalmente en la zona oriental de la parroquia, los cuales cubren el 49.13% de la totalidad del área, son originados por procesos naturales tectónico erosivos, cuya cronología varía a $150 \pm 4 - 193 \pm 9$ Ma del periodo Jurásico. El relieve presenta un desnivel superior a 300 m, caracterizado por presentar una pendiente fuerte a muy fuerte (de >30 a 100 %) con longitud de vertiente muy larga (>500 m). Exhiben valles en forma de V, cimas agudas y vertientes rectilíneas e irregulares moderadamente disectadas (ver Figura 24). Litológicamente se encuentran desarrolladas sobre granodioritas del Complejo Intrusivo Zamora. Actualmente está expuesta a erosión moderada donde se evidencia cambios en el relieve debido a la presencia de algunos deslizamientos y caídas de rocas.

Figura 24. Relieve montañoso, parroquia El Chorro



- **Deslizamiento**

Este tipo de geoforma ocupa relativamente el 0,20 % del territorio total de la parroquia El Chorro, están originados en las laderas, generalmente sobre una mezcla

heterogénea de materiales finos como arenas limosas, de clastos y fragmentos de rocas de diversos tamaños con alto grado de alteración (ver figura 25), en la parroquia se presentan con alta erosión la cual ha dado lugar en algunos casos a la formación de surcos sobre la masa del material desplazado.

Figura 25. Deslizamiento, parroquia El Chorro



6.2.1.3. Geología

El área de estudio se ubica al extremo sur de la Cordillera Real, donde afloran al occidente de la parroquia rocas sedimentarias de edad del Mioceno pertenecientes a los Sedimentos La Huaca, también afloran materiales de edad del Holoceno como los Coluviales. Por su ubicación, a este tipo de rocas se las considera como el lado más proximal de la cuenca sedimentaria continental de Zumba. Por otro lado, la zona central y oriental de la parroquia, se caracteriza porque presenta rocas de edad Jurásica pertenecientes a la Unidad Chito y a los intrusivos pertenecientes al Complejo Intrusivo Zamora, siendo estas litologías la de mayor predominancia en la parroquia.

En la tabla 28 se señala la extensión que cubren las litologías existentes en la parroquia El Chorro.

Tabla 28. Área y porcentaje de litologías presentes en la parroquia El Chorro

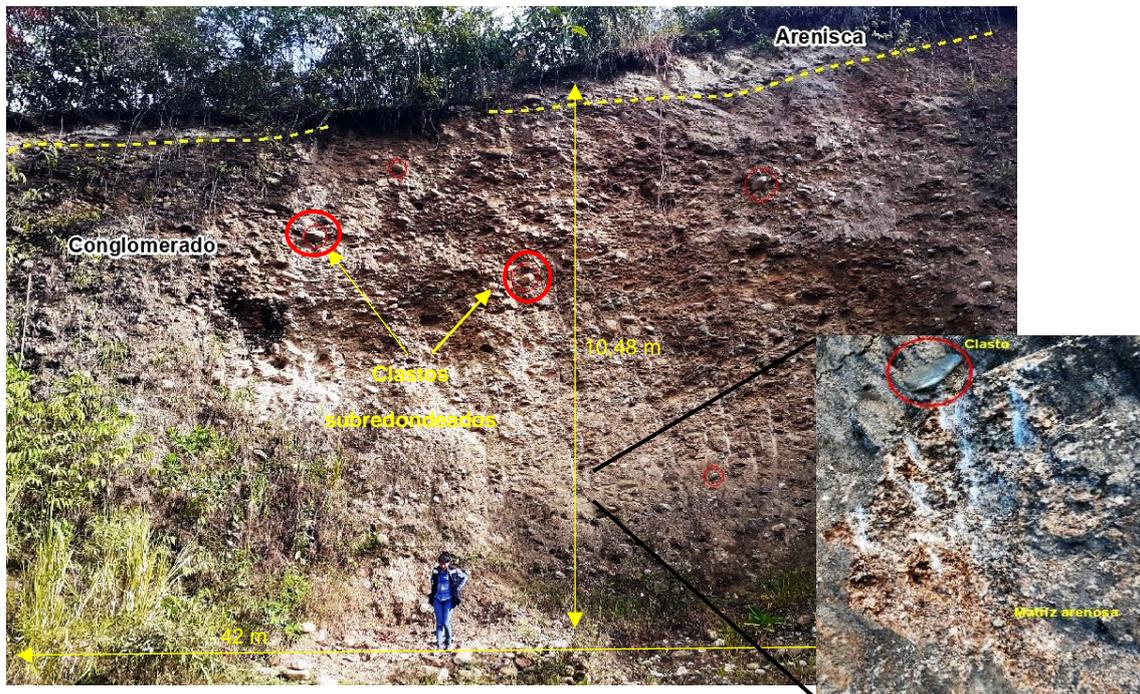
Litologías	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Conglomerado, SD ^{Cgl}	1,39	9,36
Arenisca, SD ^{Ar}	1,25	8,41
Tobas arenosas, T ^{Ar}	2,25	15,14
Granodiorita, G ^{Gd}	8,66	58,30
Aluvial, A	0,98	6,57
Coluvial, C	0,33	2,23

1. Sedimentos La Huaca

• Conglomerado

Son sedimentos continentales de edad del Mioceno que afloran en la parte oeste del área de estudio, se encuentran fácilmente visibles a lo largo de la vía que conecta Zumba-El Chorro. Los conglomerados son muy gruesos con aportes de clastos redondeados y subredondeados de rocas metamórficas (cuarcitas, esquistos, gneises, entre otros) y volcánicas con grado de meteorización de media a alta, los diámetros de los clastos van hasta 20 cm como promedio, puesto que ocasionalmente se tiene clastos de mayor diámetro de hasta 50 cm. Tal es el caso de los afloramientos 2 y 3 (ver Anexo 3) en el que los tamaños de los clastos oscilan entre 5 a 40 cm de diámetro; su estructura es masiva con potencias variables de hasta aprox. 12 m de altura, donde, los clastos de este tipo de litología son pobremente clasificados, debido a que no se presentan uniformes, lo que da a entender que antes de su deposición no estuvieron sujetos a los mismos procesos de transporte.

Figura 26. Conglomerado masivo con matriz arenosa. Sedimentos La Huaca



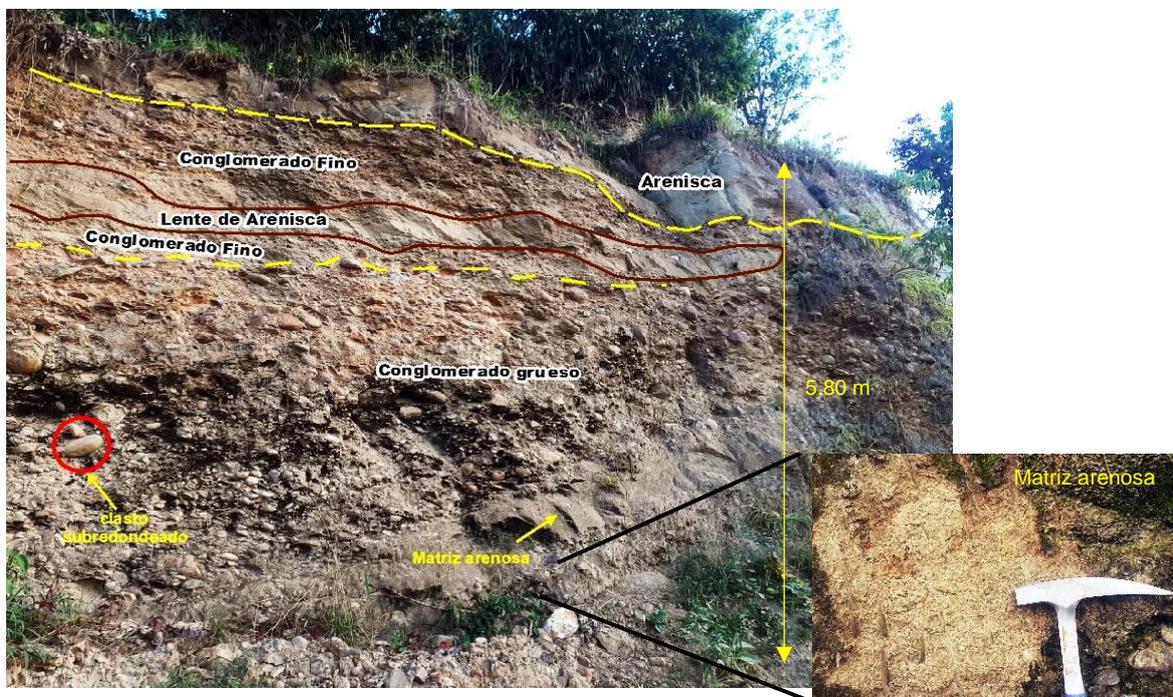
Nota. Coordenadas de ubicación X:709601 / Y:9457427 / Z:1122.

La matriz que contiene a los clastos es arenosa de grano grueso (0,5 mm) medianamente soportante a causa de los procesos de meteorización. En la matriz arenosa se reconoce a simple vista minerales como cuarzo, micas, feldespatos y anfíboles (ver Figura 26).

En algunos afloramientos de este tipo de depósitos conglomeráticos se evidencia fuerte erosión que ha dado lugar a la formación de cárcavas, cuyos socavones son de tamaños de hasta 30 cm, las mismas que se han producido debido a que la matriz arenosa de los conglomerados es poco consolidada, y también por causa de las avenidas de agua de lluvia.

Por otra parte, intercalado con los conglomerados hay areniscas de color pardo amarillentas de grano fino y de dureza media a baja. Así, en el afloramiento de la Figura 27 ubicado a lo largo de la vía Zumba-El Chorro se puede observar que existe un paquete subhorizontal de arenisca pardo amarillenta de grano medio (0,25 mm) cuyo espesor es variable de aproximadamente 10 a 20 cm, dispuesto en niveles de morfología lenticular en medio de dos paquetes de conglomerados redondeados a subredondeados y de gradación normal, esto último debido a que el patrón en el tamaño de grano de los conglomerados de la base al techo es decreciente (disminuye), lo que se podría deducir con este tipo de textura es que, en el proceso de sedimentación hubo una disminución de la energía en el transporte de los sedimentos dentro del flujo, lo cual causó que después de que las partículas más finas se mantuvieran en suspensión por los remolinos de la corriente, las partículas de mayor tamaño caigan al fondo.

Figura 27. Conglomerado con intercalación y lente de arenisca. Sedimentos La Huaca



Nota. Coordenadas de ubicación X:709601 / Y:9457427 / Z:1122.

Además, los clastos de la parte inferior del afloramiento se encuentran mal clasificados en una matriz arenosa de grano fino (0,125 mm) color amarillento medianamente soportante, tal como se puede apreciar en la Figura 27.

- **Arenisca**

Las areniscas se extienden al suroeste de la parroquia El Chorro, presentan colores claros pardo amarillentas a blanquecinas ligeramente meteorizadas, con granulometría media a gruesa (0,25 a 0,5 mm).

En el afloramiento que se aprecia en la figura 28, las areniscas se encuentran en contacto inclinado concordante (19° SE) con conglomerados redondeados cuyos clastos se presentan mal clasificados dentro de una matriz arenosa. Las areniscas por su parte, muestran variaciones a arenisca tobácea, tienen dureza media a alta puesto que se rompen al ser golpeadas varias veces por el martillo, su textura está bien sorteada o madura ya que contienen pequeños fragmentos de minerales resistentes a la meteorización como cuarzo, feldespatos y biotita.

Figura 28. Contacto concordante entre areniscas y conglomerados. Sedimentos La Huaca



Nota. Coordenadas de ubicación X:710068 / Y:9456252 / Z:1028.

2. Unidad Chito

- **Toba arenosa**

Son rocas volcánicas piroclásticas que afloran principalmente en la zona central de la parroquia El Chorro, extendiéndose al noroeste y suroeste, estas se disponen como depósitos masivos y también como piroclastos en los terrenos de la zona de estudio (ver Figura 29).

Figura 29. Piroclastos de tobas aflorantes en el área de estudio

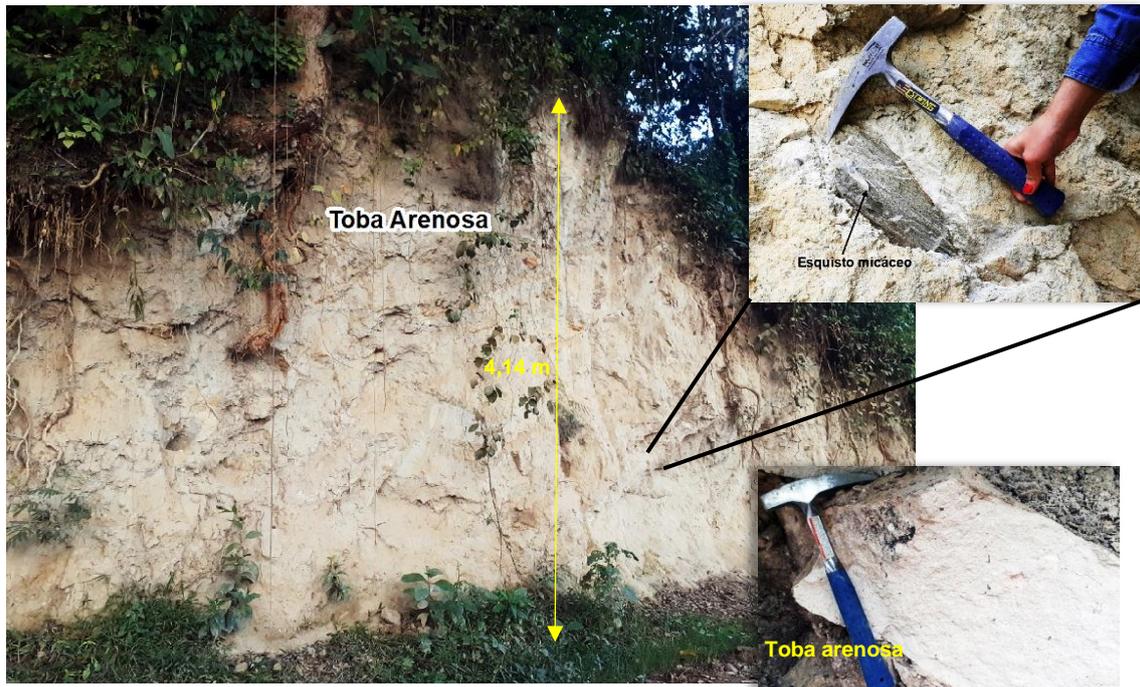


Nota. Coordenadas de ubicación X: 709909 / Y: 9457267 / Z:1104.

En la figura 30 se aprecia un afloramiento masivo de tobas arenosas, constituidas por minerales de cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasas sódicas, mica biotita y escasas micas moscovitas, la roca se presenta de color gris blanquecino medianamente meteorizado, con granulometría de muy fina a media (0,12 a 0,25 mm) y de aspecto talcoso; además, tienen una dureza suave a muy blanda ya que se raya con facilidad usando la uña y se desmorona aplicando fuerza con las manos.

Dentro de la matriz tobácea existen algunos clastos de tipo metamórfico medianamente meteorizados, tal como se visualiza en la fotografía superior de la figura 30, inmerso en el macizo se presentan esquistos debido a que el basamento de esta formación es de tipo metamórfico.

Figura 30. Toba arenosa con presencia de clastos metamórficos. Unidad Chito



Nota. Coordenadas de ubicación X:710166 / Y:9456658 / Z:1047.

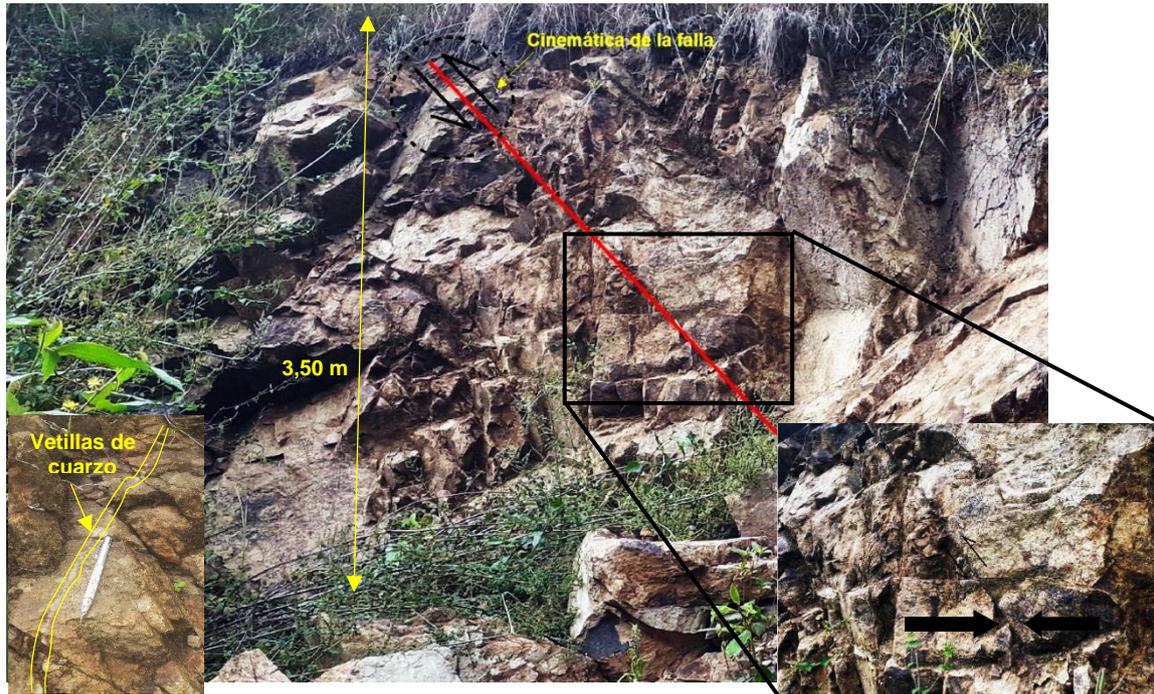
3. Complejo Intrusivo Zamora

- **Granodiorita**

Son rocas de edad jurásica (150 ± 4 - 193 ± 9 Ma), que se extienden en la zona oriental del área de estudio, estas se encuentran de alta a completamente alteradas, lo que ha dado lugar a que en la mayoría de los casos se produzca la desintegración completa de la masa de roca, desarrollando así suelos residuales. Las rocas se muestran de color gris oscuro, rojizo y amarillento, debido al alto contenido de óxido de hierro. Presentan una textura fanerítica puesto que su tamaño de grano es de aproximadamente 1 mm, con distribución y orden masivo de los cristales dentro del cuerpo rocoso. Los minerales esenciales que fueron ligeramente identificados macroscópicamente son el cuarzo, plagioclasas sódicas, feldespatos alcalinos, \pm biotita y hornblenda.

En cuanto a la dureza de la roca, esta se presenta moderadamente dura, dado que es necesario dar un golpe fuerte con el martillo para recuperar la muestra. Es importante destacar que las rocas intrusivas mapeadas se encuentran fuertemente fracturadas, lo que ha dado lugar a las discontinuidades, pues en la mayoría de los casos existen movimientos gravitacionales de roca y suelo.

Figura 31. Afloramiento de granodioritas fracturadas y meteorizadas. Complejo Intrusivo Zamora



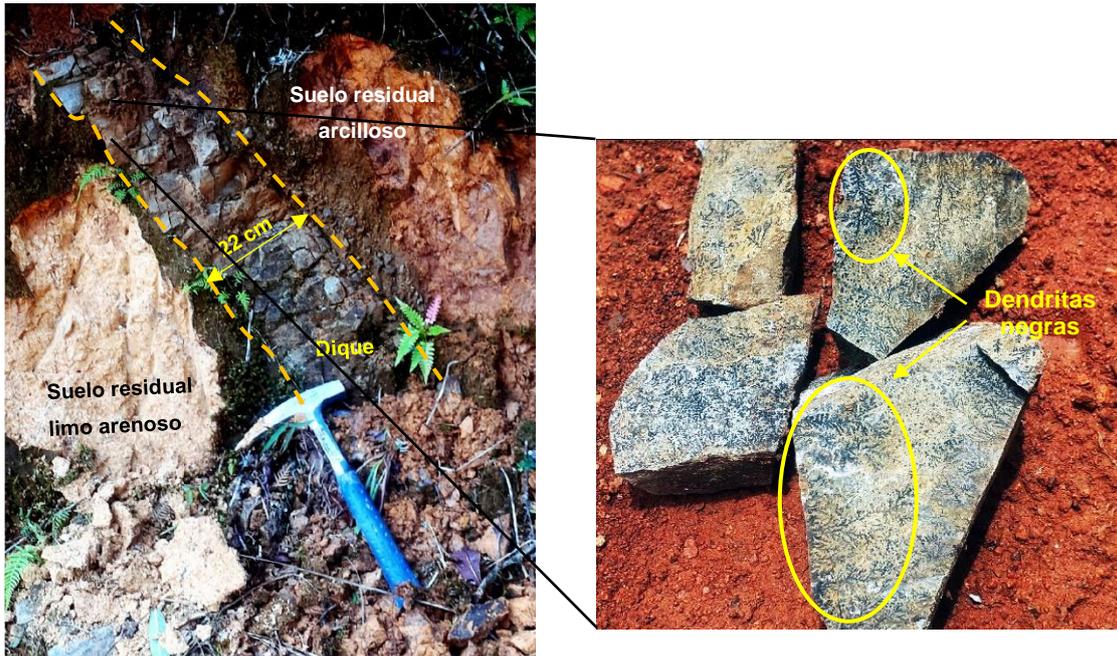
Nota. Coordenadas de ubicación X:711019 / Y:9456511 / Z:1157.

En el afloramiento de la figura 31, se evidencia una posible falla inversa inclinada donde han intervenido esfuerzos compresionales, en la cual, la dirección de la línea de falla es N 50° W y el buzamiento del plano de falla es de 40° SW, en el afloramiento, además se presentan fracturas de segundo orden que se asocian a la zona de falla, evidenciando también algunas vetillas de cuarzo de aprox. 1 cm de ancho.

En las coordenadas X: 711769/Y: 9456843 y a una altura de 1124 msnm, se encontró un dique de roca intrusiva fracturada; la roca presenta textura aplítica, es decir que tiene tamaño de grano muy fino (hasta 1 mm) cuyos minerales principales que se reconocieron con la lupa son el cuarzo, feldespatos alcalinos y moscovita blanca. Esta roca es dura puesto que no se raya con facilidad y es necesario dar un golpe fuerte con el martillo para romperla.

Algo particular que se encontró en esta roca es la presencia de dendritas oscuras de óxido de manganeso; las dendritas se caracterizan por ser hábitos cristalinos de aspecto ramificado, resultado de un crecimiento rápido de los minerales. El dique tiene un ancho de 22 cm, su rumbo es N 10° E y su dirección de buzamiento es 55° NW, se encuentra atravesando 2 tipos de suelo residual, a la derecha se evidencia material arcilloso de color rojizo y por el lado izquierdo el material es limo arenoso de color amarillento (ver Figura 32).

Figura 32. Dique de roca intrusiva fracturada. La roca presenta patrones dendríticos de color oscuro



Nota. Coordenadas de ubicación X:711769 / Y:9456843 / Z:1298.

Continuando con el mapeo, en las coordenadas X: 712112/Y: 9456626 y a una altura de 1124 msnm, afloran granodioritas del Complejo Intrusivo Zamora. En la figura 33 se puede observar el rasgo predominante del proceso de meteorización, la roca se exhibe moderadamente alterada en la parte inferior, la misma que presenta textura fanerítica fina; mineralógicamente se observa con la lupa feldespato potásico, moscovita, escaso cuarzo, además de contenido ocasional de clorita, puesto que la roca se torna de color gris verdosa. En la parte superior del afloramiento, la roca se está desintegramiento formando una especie de diaclasamiento, el material en ese punto es de color crema y amarillento. Además, cubriendo al diaclasamiento se encuentra suelo arcillo limoso, se deduce que hasta ese punto la roca ya se ha meteorizado totalmente.

Figura 33. Material ígneo en proceso de meteorización. Complejo Intrusivo Zamora



Nota. Coordenadas de ubicación X:712112 / Y:9456626 / Z:1124.

4. Depósitos Superficiales

- **Aluviales**

Una pequeña parte de la zona de estudio ocupada por los cursos de agua de las quebradas existentes y el río Mayo se encuentra constituida por material detrítico depositados en las terrazas bajas (ver Figura 34). Principalmente los detritos están conformados por material pétreo como: cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, los tamaños de los cantos son variables pudiendo llegar hasta 25 cm de diámetro.

Figura 34. Depósitos aluviales en las terrazas bajas del río Mayo

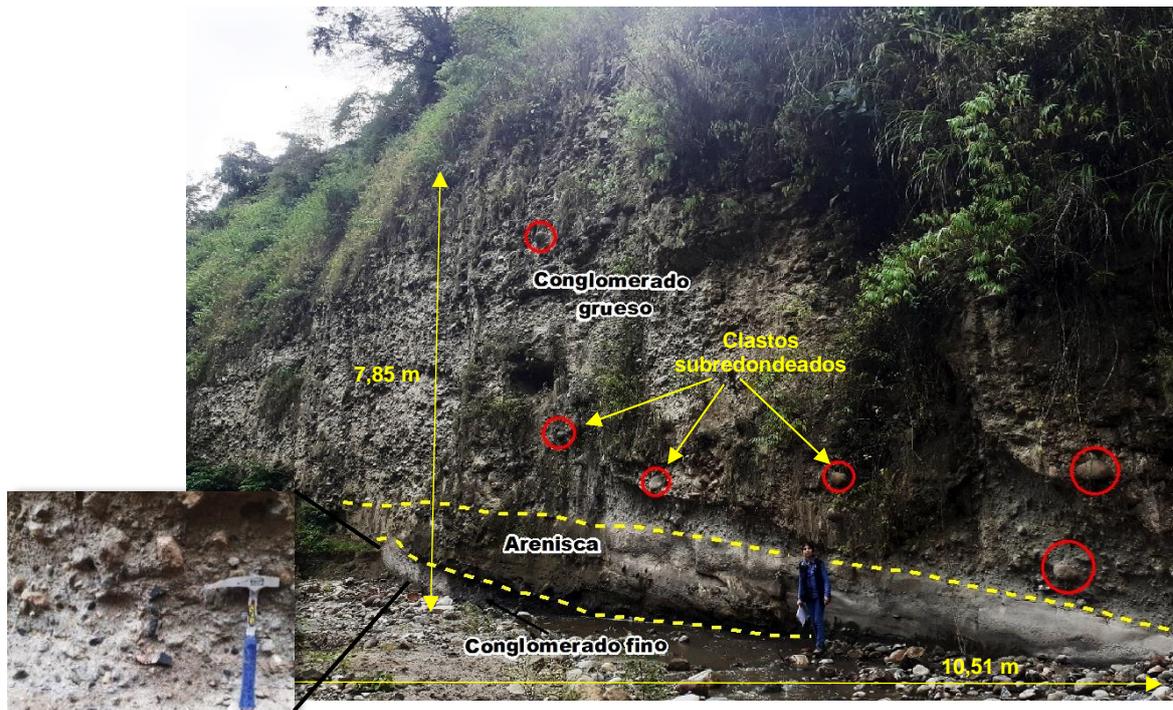


Nota. Coordenadas de ubicación X:712020 / Y:9458761 / Z:710.

En el flanco derecho de la quebrada Yuncachi, ubicada al occidente de la parroquia, existen depósitos aluviales con nivel de estratificación inclinada de arenisca compacta, de color grisáceo, de grano grueso (0,5 mm) y de dureza media a alta.

En el afloramiento de la figura 35, se observa que el estrato de arenisca se encuentra buzando 10° al SW y tiene un espesor de 1,60 a 0,75 m. El afloramiento consiste en conglomerado con clastos grano crecientes, debido a que el tamaño de grano de la base al techo tiene patrón de crecimiento (aumenta), lo que indica que el proceso de sedimentación en la cuenca fue relativamente rápido y turbulento; y, de transporte largo y prolongado, puesto que los clastos tienen alto grado de redondez. Además, los clastos se encuentran mal clasificados cuya granulometría varía desde gravas hasta arenas, contenidos en una matriz areno limosa soportante de color gris y de dureza media a baja.

Figura 35. Afloramiento de terraza aluvial con estratificación de arenisca grisácea



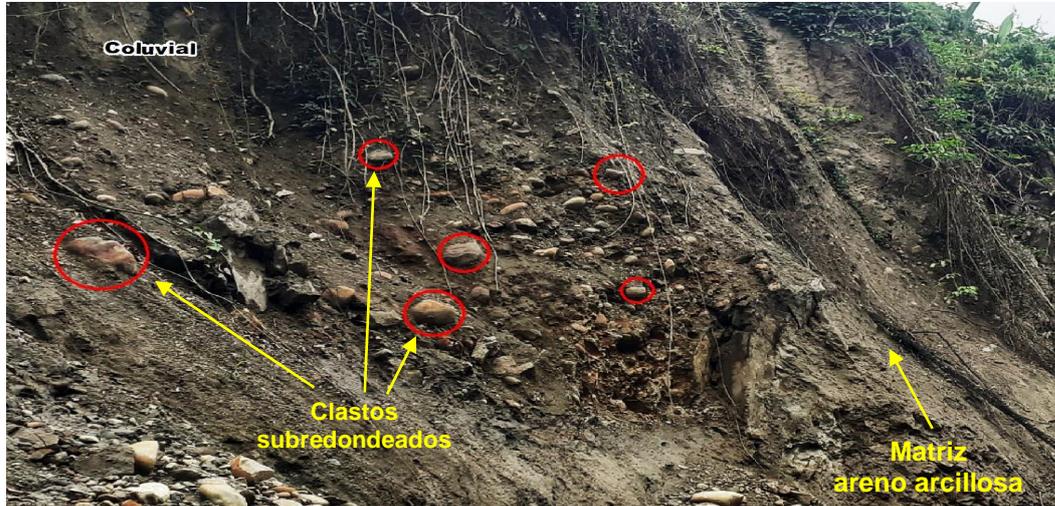
Nota. Coordenadas de ubicación X:709307 / Y:9455214 / Z:861.

- **Coluviales**

Los coluviales en el área de estudio están representados por fragmentos de rocas desordenadas, desprendidas in situ de los macizos rocosos por acción de la gravedad y por el agua lluvia. Estos son fácilmente reconocidos en movimientos en masa existentes en la zona. En la figura 36 se muestran los coluvios subredondeados pobremente seleccionados

de tamaños hasta 10 cm, empacados en una matriz areno arcillosa de plasticidad alta y de color grisáceo.

Figura 36. Depósito coluvial de cantos subredondeados en una matriz areno limosa



Nota. Coordenadas de ubicación X:709300 / Y:9455102 / Z:855.

Por otra parte, como se visualiza en la figura 37, los coluviales se presentan removidos en la parte alta de las laderas y con potencias variables. Se evidencia clastos subredondeados de tamaños de 20 cm de diámetro en una matriz limosa de color café.

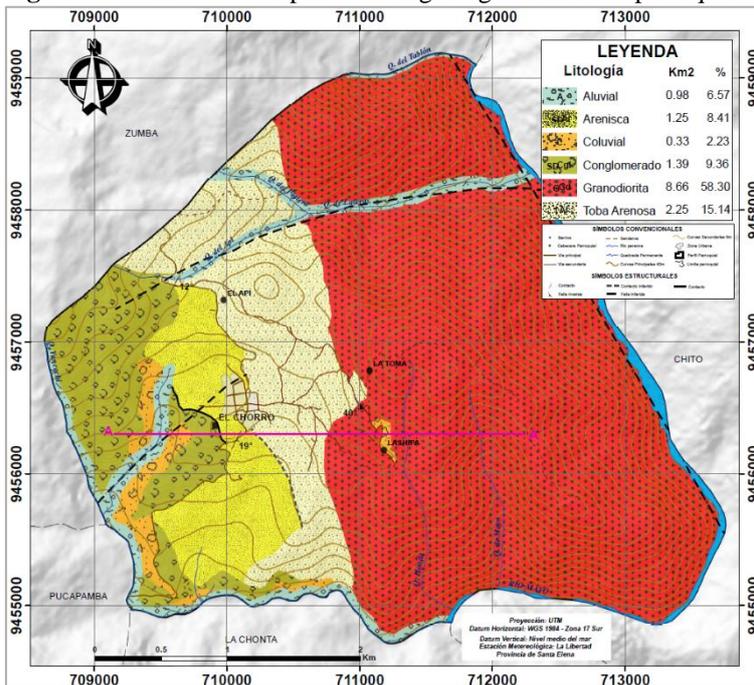
Figura 37. Depósito coluvial al flanco derecho de la quebrada en la parroquia El Chorro



Nota. Coordenadas de ubicación X:709145 / Y:9455765 / Z:909.

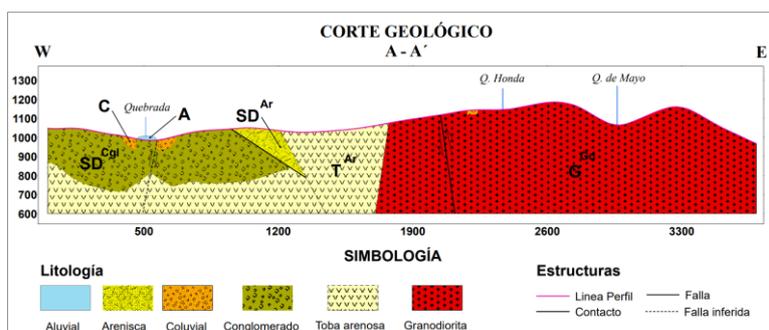
En la figura 38 se indica la distribución espacial de las estructuras y litologías que afloran en la superficie del territorio de la parroquia, además se indica la línea por donde se realizó el perfil o corte geológico. La orientación W-E fue elegida de manera tal de incluir a la mayor cantidad de litologías posibles.

Figura 38. Distribución espacial de la geología local de la parroquia El Chorro



En la figura 39 se representa el esquema del corte geológico A-A', el cual da idea de la profundidad de las litologías de superficie representadas en el mapa geológico local. De esta forma se puede analizar que la granodiorita originada por la subducción andina se encuentra asociada a la facie extrusiva del jurásico, donde se han generado rocas volcánicas las cuales están conformadas por piroclastos (tobas), lavas y secuencias sedimentarias asociados a la Unidad Chito. Así mismo, la existencia de litologías sedimentarias (areniscas y conglomerados) pertenecientes a la cuenca continental de Zumba ocurren como remanentes erosionales sobre las rocas relacionadas al arco volcánico de edad jurásica. Finalmente, cabe indicar que las rocas sedimentarias están asociadas a procesos de erosión, transporte y acumulación de material rocoso y de sedimentos que se reflejan en la morfología de aluviales y coluviales.

Figura 39. Corte geológico A – A´



6.2.1.4. Uso actual del suelo

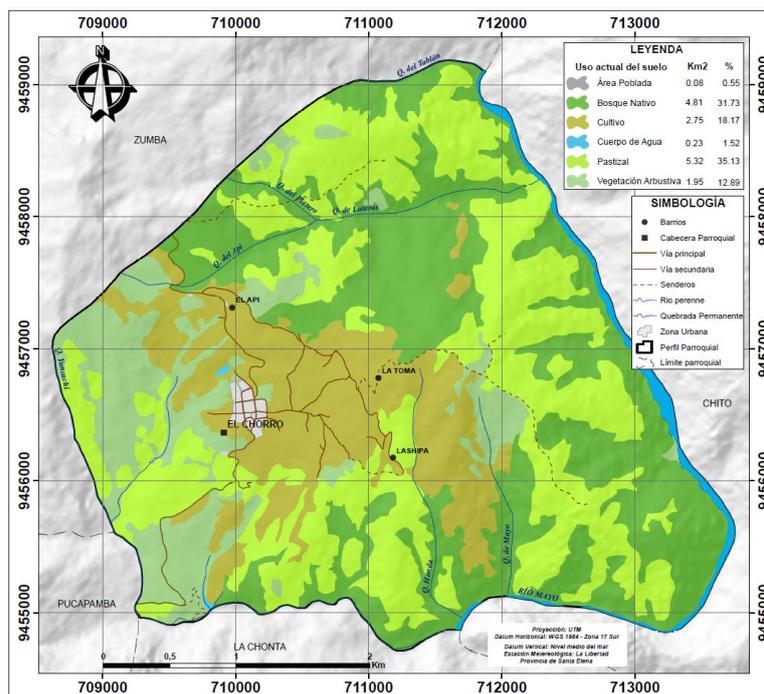
La parroquia El Chorro está conformada por 6 categorías de uso actual del suelo: pastizal cultivado, bosque nativo, cultivos agrícolas, vegetación arbustiva, área poblada y cuerpos de agua, tal como se indica en la tabla 29.

Tabla 29. Área y porcentaje del uso actual del suelo existente en la parroquia El Chorro

Uso actual del suelo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Área poblada	0,08	0,55
Bosque Nativo	4,81	31,73
Cultivo	2,75	18,17
Cuerpo de Agua	0,23	1,52
Pastizal	5,32	35,13
Vegetación Arbustiva	1,95	12,89

En la figura 40 se indica la distribución espacial del uso actual del suelo presente en la parroquia El Chorro.

Figura 40. Distribución espacial del uso actual del suelo de la parroquia El Chorro



El uso actual del suelo predominante en la superficie de la parroquia corresponde a amplias zonas de pastos, quienes comprenden el 35,13 % de ocupación espacial, los pastizales representan los pastos naturales y cultivados que forman parte del uso agropecuario, es decir, para la producción animal, tal como se aprecia en la figura 41A. El bosque nativo tiene una ocupación del 31,73 % del total de cobertura en la parroquia, a esta

clase de vegetación se la visualiza en mayor cantidad en estado natural al este y suroriente de la parroquia en casi todos los márgenes de las redes hídricas.

Figura 41. Tipo de uso actual del suelo en la parroquia El Chorro: A. Pastizal, B. Bosque nativo.



Los cultivos ocupan el 18,17 % de territorio, comprenden diferentes clases de cultivos tanto de ciclo corto, es decir, de hasta 12 meses y de ciclo largo, mayor a 1 año, como se observa en la figura 42C. La vegetación arbustiva por su parte corresponde al 12,89 % de ocupación territorial, a este tipo de vegetación se la encuentra en mayor proporción al occidente en las partes bajas de la parroquia (ver Figura 42D).

Figura 42. Tipo de uso actual del suelo en la parroquia El Chorro: C. Cultivos, D. Arbustiva



Las zonas de menor ocupación espacial corresponden a cuerpos de agua y área pobladas (ver Figuras 43E y F) con el 1,52 % y 0,55 % respectivamente. En cuanto a las zonas donde está asentada la población, actualmente se encuentran severamente afectadas debido a que en la mayoría de las viviendas e infraestructura gubernamental no existe una correcta evacuación de agua lluvia ni tampoco alcantarillado para las aguas residuales, produciéndose así estancamientos y la posterior infiltración que incide en el comportamiento de los materiales sobre los que se asienta la infraestructura.

Figura 43. Tipo de uso actual del suelo en la parroquia El Chorro: E. Área poblada, F. Cuerpos de agua.



6.2.2. Factor Desencadenante

6.2.2.1. Intensidad de Lluvias

De acuerdo con la hipótesis que, a mayor intensidad de lluvia, mayor es la probabilidad que se detone un deslizamiento, se generó una capa de intensidad de lluvia a partir de la distribución de Gumbel para un periodo de retorno de 25 años.

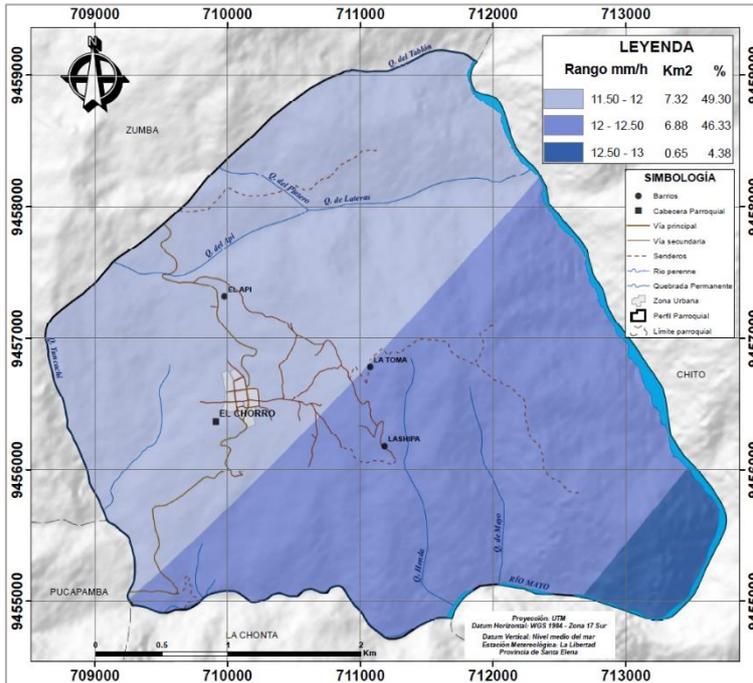
Sobre la base de la data proporcionada por el INAMHI y el SENAMHI desde 1990 a 2020, se determina que la parroquia El Chorro presenta valores de intensidades de lluvia de 11,50 - 12 mm/h; 12 -12,50 mm/h y 12,50 - 13 mm/h (ver Figura 44).

El rango de intensidad máxima de lluvia de 11,50 a 12 mm/h ocurre en un área de 7,32 km² correspondiente al 49,29 % de la totalidad de territorio de la parroquia. El rango de 12 a 12,50 mm/h se da en un área de 6,88 km² (46,33 %), y finalmente las intensidades de lluvia de 12,50 a 13 mm/h se presentan en 0,65 km² correspondiente a un porcentaje de 4,38 %, como se indica en la tabla 30.

Tabla 30. Área y porcentaje de intensidad de lluvia (mm/h) en la parroquia El Chorro

Intensidad de lluvia (mm/h)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
11,50 - 12	7,32	49,29
12 - 12,50	6,88	46,33
12,50 - 13	0,65	4,38

Figura 44. Distribución espacial de la intensidad de lluvia de la parroquia El Chorro



6.3. Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty

6.3.1. Ponderación del parámetro de evaluación

En la tabla 31 se indica la ponderación de comparación de pares del parámetro de evaluación (periodo de retorno). Las variables se ordenaron según el nivel de importancia, donde se consideró más importantes a los periodos de retorno más bajos.

Tabla 31. Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación

Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
2 años	1	2	3	4	5	9
5 años	1/2	1	2	3	4	7
10 años	1/3	1/2	1	2	3	5
25 años	1/4	1/3	1/2	1	2	4
50 años	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
100 años	1/9	1/7	1/5	1/4	1/2	1
Suma	2,39	4,22	7,03	10,75	15,50	28,00
1/suma	0,42	0,24	0,14	0,09	0,06	0,04

En la tabla 32 se presentan los resultados de normalización del parámetro de evaluación.

Tabla 32. Matriz de normalización del parámetro de evaluación

Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
2 años	0,42	0,47	0,43	0,37	0,32	0,32
5 años	0,21	0,24	0,28	0,28	0,26	0,25
10 años	0,14	0,12	0,14	0,19	0,20	0,18
25 años	0,10	0,08	0,07	0,09	0,13	0,14

Análisis de Peligrosidad a Deslizamientos en la Parroquia El Chorro, Cantón Chinchipe, Provincia de Zamora Chinchipe a Escala 1:10 000

50 años	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07
100 años	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04

En la tabla 33 se indican los cálculos del vector prioridad y los porcentajes del parámetro de evaluación, como se aprecia, la suma de las columnas de cada variable es igual a la unidad.

Tabla 33. Matriz de vector prioridad de pares del parámetro de evaluación

Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	Vector priorización	(%)
2 años	0,42	0,47	0,43	0,37	0,32	0,32	0,39	39
5 años	0,21	0,24	0,28	0,28	0,26	0,25	0,25	25
10 años	0,14	0,12	0,14	0,19	0,19	0,18	0,16	16
25 años	0,10	0,08	0,07	0,09	0,13	0,14	0,10	10
50 años	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06	6
100 años	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	3
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	100

En la tabla 34 se aprecian los resultados de la operación de matrices, obteniendo la lambda máxima λ_{max} , útil para determinar la Relación de Consistencia (RC) del parámetro de evaluación.

Tabla 34. Matriz de Relación de Consistencia del parámetro de evaluación

Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	Vector suma ponderada	λ_{max}
2 años	0,39	0,51	0,48	1,56	0,31	0,30	3,55	9,11
5 años	0,19	0,25	0,32	0,31	0,25	0,24	1,56	6,16
10 años	0,13	0,13	0,16	0,21	0,19	0,17	0,97	6,11
25 años	0,10	0,08	0,08	0,10	0,12	0,13	0,62	6,03
50 años	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,37	6,03
100 años	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,20	6,05
							Suma	39,48
							Promedio	6,58

a. Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} = \frac{6,58 - 6}{6 - 1} = 0,12$$

b. Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513

Nota. Tomado de CENEPRED, 2014.

$$RC = \frac{0,12}{1,252} = 0,09 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

Como la Relación de Consistencia fue igual a 0,09, quiere decir que los criterios utilizados para la comparación de pares fueron los correctos.

6.3.2. Ponderación del parámetro de susceptibilidad

En la tabla 35 se muestra la matriz de comparación de pares del parámetro de susceptibilidad (condicionantes), donde se ha considerado a la geomorfología ligeramente más importante que el uso actual del suelo, pero adyacente en término medio que la geología y la pendiente.

Tabla 35. Matriz de comparación de pares del parámetro de susceptibilidad

Susceptibilidad	Geomorfología	Uso actual del suelo	Geología	Pendiente
Geomorfología	1	3	4	4
Uso actual del suelo	1/3	1	3	5
Geología	1/4	1/3	1	3
Pendiente	1/4	1/5	1/3	1
Suma	2,33	4,53	6,33	11,00
1/suma	0,43	0,22	0,16	0,09

En la tabla 36 se presentan los cálculos de la normalización y el vector prioridad del parámetro de susceptibilidad.

Tabla 36. Matriz de normalización y vector prioridad del parámetro de susceptibilidad

Susceptibilidad	Geomorfología	Uso actual del suelo	Geología	Pendiente	Vector prioridad	%
Geomorfología	0,43	0,66	0,32	0,18	0,40	40
Uso actual del suelo	0,14	0,22	0,47	0,45	0,32	32
Geología	0,21	0,07	0,16	0,27	0,18	18
Pendiente	0,21	0,04	0,05	0,09	0,10	10
					1	100

En la tabla 37 se señalan los cálculos de la lambda máxima, necesarios para determinar la Relación de Consistencia (RC) del parámetro de susceptibilidad

Tabla 37. Matriz de Relación de Consistencia del parámetro de susceptibilidad

Susceptibilidad	Geomorfología	Uso actual del suelo	Geología	Pendiente	Vector suma ponderada	λ_{max}
Geomorfología	0,40	0,97	0,36	0,79	2,52	6,35
Uso actual del suelo	0,13	0,32	0,54	0,50	1,50	4,63
Geología	0,20	0,11	0,18	0,30	0,79	4,38
Pendiente	0,20	0,06	0,06	0,10	0,42	4,21
					Suma	19,58
					Promedio	4,24

a. Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} = \frac{4,24 - 4}{4 - 1} = 0,08$$

b. Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513

Nota. Tomado de CENEPRED, 2014.

$$RC = \frac{0,08}{0,882} = 0,09 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.3. Ponderación del parámetro desencadenante

En la tabla 38 se muestra la ponderación de comparación de pares del parámetro desencadenante relacionado con la intensidad de lluvia, se consideró con nivel de importancia superior a los valores de intensidad más abundantes.

Tabla 38. Matriz de comparación de pares del parámetro desencadenante

Intensidad de lluvia	12,50 - 13 mm/h	12 - 12,5 mm/h	11,50 - 12 mm/h
12,50 - 13 mm/h	1	3	5
12 - 12,5 mm/h	1/3	1	3
11,50 - 12 mm/h	1/5	1/3	1
Suma	1,53	4,33	9,00
1/suma	0,65	0,23	0,11

La tabla 39 indica los cálculos de la normalización y vector prioridad del parámetro desencadenante.

Tabla 39. Matriz de Normalización y Vector Prioridad del parámetro desencadenante

Intensidad de lluvia	12,50 - 13 mm/h	12 - 12,5 mm/h	11,50 - 12 mm/h	Vector priorización	(%)
12,50 - 13 mm/h	0,65	0,69	0,56	0,63	63
12 - 12,5 mm/h	0,22	0,23	0,33	0,26	26
11,50 - 12 mm/h	0,13	0,08	0,11	0,11	11
				1	100

En la tabla 40 se presentan los cálculos para determinar la Relación de Consistencia (RC) del parámetro desencadenante.

Tabla 40. Matriz de Relación de Consistencia del parámetro desencadenante

Intensidad de lluvia	12,50 - 13 mm/h	12 - 12,5 mm/h	11,50 - 12 mm/h	Vector suma ponderada	λ_{max}
12,50 - 13 mm/h	0,63	0,78	0,53	1,95	3,07
12 - 12,5 mm/h	0,21	0,26	0,32	0,79	3,03
11,50 - 12 mm/h	0,13	0,09	0,11	0,32	3,01
				Suma	9,12
				Promedio	3,04

a. Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} = \frac{3,04 - 3}{3 - 1} = 0,02$$

b. Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513

Nota. Tomado de CENEPRED, 2014.

$$RC = \frac{0,02}{0,525} = 0,04 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.4. Ponderación de la geomorfología

Geomorfológicamente, en el área de estudio existen distintas formas de la superficie del terreno, tales como: deslizamientos, relieve montañoso, colinas altas, medias, bajas y muy bajas, además de terrazas bajas, que al comprender los niveles geomorfológicos como la morfogénesis, morfocronología, morfología, morfometría cada una de ellas y los procesos erosivos que en la actualidad las modifican (morfodinámica) se ha podido establecer el nivel de importancia de las geoformas en la susceptibilidad del terreno; por ello, en la tabla 41 se aprecian los pesos asignados a las variables de geomorfología luego de la comparación de pares, donde el nivel de importancia se estableció de acuerdo con los criterios del equipo evaluador.

Se observa que en orden de prioridad jerárquica se ha dado mayor importancia a las laderas erosionadas que ya presentan deslizamientos los cuales son genéticamente actuales activos y latentes; estos a su vez son ligeramente más importantes que el relieve colinado muy bajo y bajo, debido a que son relieves cuya morfología ha dado lugar a que en ellas existe estancamientos y encharcamientos de agua. En un nivel de juicio adyacente de importancia se ubicó al relieve colinado medio por su alto grado erosivo, por consiguiente el primero se consideró más importante que el relieve colinado alto y mucho más importante que el relieve montañoso, si bien, generalmente es en estos dos últimos donde deberían ser más frecuentes estos fenómenos, por ende deberían establecerse como preferidos, sin embargo, vistos desde la realidad, en la zona de estudio estos relieves no son susceptibles naturalmente, a menos de que sean modificados por procesos antrópicos. Por último, pero

no menos importante se determinó a los deslizamientos absolutamente más importantes que las terrazas bajas.

Tabla 41. Matriz de comparación de pares de la geomorfología

Geomorfología	D	RCMB	RCB	RCM	RCA	RM	TB
Deslizamiento (D)	1	3	3	4	5	7	9
Relieve Colinado Muy Bajo (RCMB)	1/3	1	2	3	4	5	7
Relieve Colinado Bajo (RCB)	1/3	1/2	1	2	3	4	5
Relieve Colinado Medio (RCM)	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
Relieve Colinado Alto (RCA)	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
Relieve Montañoso (RM)	1/7	1/5	1/4	1/3	1/2	1	3
Terraza Baja (TB)	1/9	1/7	1/5	1/4	1/3	1/3	1
SUMA	2,54	4,43	7,28	11,08	15,83	22,50	31,00
1/SUMA	0,39	0,23	0,14	0,09	0,06	0,04	0,03

La tabla 42 presenta los resultados de normalización y vector prioridad correspondiente a la geomorfología.

Tabla 42. Matriz de normalización y vector prioridad de la geomorfología

Geomorfología	D	RCMB	RCB	RCM	RCA	RM	TB	Vector prioridad	(%)
Deslizamiento (D)	0,39	0,45	0,41	0,36	0,32	0,31	0,29	0,36	36
Relieve Colinado Muy Bajo (RCMB)	0,20	0,23	0,27	0,27	0,25	0,22	0,23	0,24	24
Relieve Colinado Bajo (RCB)	0,13	0,11	0,14	0,18	0,19	0,18	0,16	0,16	16
Relieve Colinado Medio (RCM)	0,10	0,08	0,07	0,09	0,13	0,13	0,13	0,10	10
Relieve Colinado Alto (RCA)	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,09	0,10	0,07	7
Relieve Montañoso (RM)	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,04	4
Terraza Baja (TB)	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	3
								1	100

En la tabla 43 se muestran los resultados de las operaciones entre matrices, necesarios para el cálculo de la Relación de Consistencia (RC) de la geomorfología.

Tabla 43. Matriz de Relación de Consistencia de la geomorfología

Geomorfología	D	RCMB	RCB	RCM	RCA	RM	TB	Vector suma ponderada	λ_{max}
Deslizamiento (D)	0,36	0,48	0,47	0,41	0,34	0,31	0,26	2,62	7,24
Relieve Colinado Muy Bajo (RCMB)	0,18	0,24	0,31	0,31	0,27	0,22	0,20	1,73	7,27
Relieve Colinado Bajo (RCB)	0,12	0,12	0,16	0,21	0,20	0,18	0,14	1,13	7,22
Relieve Colinado Medio (RCM)	0,09	0,08	0,08	0,10	0,14	0,13	0,12	0,73	7,12
Relieve Colinado Alto (RCA)	0,07	0,06	0,05	0,05	0,07	0,09	0,09	0,48	7,03
Relieve Montañoso (RM)	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,31	7,04
Terraza Baja (TB)	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,21	7,10
								Suma	50,01
								Promedio	7,14

a. Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} = \frac{7,14 - 7}{7 - 1} = 0,02$$

b. Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513

Nota. Tomado de CENEPRED, 2014.

$$RC = \frac{0,02}{1,341} = 0,02 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.5. Ponderación del uso actual del suelo

La cobertura vegetal del uso actual del suelo, es una variable de discusión en este tipo de estudios, autores como Geymen et al (2008), explican que por las condiciones favorables que proporciona la presencia de cubierta vegetal, algunos tipos de movimientos en masa se asocian por lo general, a áreas donde hay intervención en la misma. Coincidiendo con el argumento anterior, en la tabla 44 se indica la ponderación para esta variable, tras la comparación de pares; se consideró al área poblada como el nivel de importancia de más prioridad debido a las condiciones de origen antropogénico que de forma consciente o inconsciente por parte de la población, el terreno se encuentra afectado actualmente. Luego se consideró a los cuerpos de agua los cuales incluyen a los cursos de agua, los cuales influyen en la erosión de la pata y márgenes de las laderas ribereñas, seguido de los pastizales debe a que sobre ellos se realizan actividades agropecuarias, por lo que los animales tienden a modificar las condiciones topográficas del terreno incrementando la susceptibilidad de los mismos. Posteriormente bajo el criterio de que, si para la siembra de cultivos se realiza la remoción de la cobertura vegetal nativa y posterior quema del suelo, las raíces de las plantas pierden la capacidad de arraigarse al suelo disminuyendo con esto la estabilidad de laderas, sumada la mala utilización del agua, lo que se hace que esta se acumule en los terrenos favoreciendo su humedad se consideró a los pastizales. Finalmente, con menos importancia de susceptibilidad se ubicó a la vegetación arbustiva y bosque nativo.

Tabla 44. Matriz de comparación de pares del uso actual del suelo

Uso actual del suelo	Área poblada	Cuerpo de agua	Pastizal	Cultivos	Vegetación arbustiva	Bosque nativo
Área poblada	1	3	3	4	5	7
Cuerpo de agua	1/3	1	2	3	4	5
Pastizal	1/3	1/2	1	2	3	4
Cultivos	1/4	1/3	1/2	1	2	3
Vegetación arbustiva	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
Bosque nativo	1/7	1/5	1/4	1/3	1/2	1
Suma	2,45	4,28	7,08	10,83	15,50	21,00
1/suma	0,41	0,23	0,14	0,09	0,06	0,05

La tabla 45 presenta los valores de normalización y de vector prioridad concerniente al uso actual del suelo.

Tabla 45. Matriz de normalización y vector prioridad del uso actual del suelo

Uso actual del suelo	Área poblada	Cuerpo de agua	Pastizal	Cultivos	Vegetación arbustiva	Bosque nativo	Vector priorización	(%)
Área poblada	0,41	0,47	0,42	0,37	0,32	0,29	0,38	38
Cuerpo de agua	0,20	0,23	0,28	0,28	0,26	0,24	0,25	25
Pastizal	0,14	0,12	0,14	0,18	0,19	0,19	0,16	16
Cultivos	0,10	0,08	0,07	0,09	0,13	0,14	0,10	10
Vegetación arbustiva	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,10	0,07	7
Bosque nativo	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	4
							1	100

La tabla 46 presenta los resultados de la operación entre matrices, cuyos resultados son útiles para el cálculo posterior de la Relación de Consistencia (RC) del uso actual del suelo.

Tabla 46. Matriz de Relación de Consistencia del uso actual del suelo

Uso actual del suelo	Área poblada	Cuerpo de agua	Pastizal	Cultivos	Vegetación arbustiva	Bosque nativo	Vector suma ponderada	λ_{max}
Área poblada	0,38	0,50	0,48	1,52	0,33	0,26	3,464	9,13
Cuerpo de agua	0,19	0,25	0,32	0,31	0,26	0,22	1,546	6,21
Pastizal	0,13	0,12	0,16	0,20	0,20	0,17	0,986	6,15
Cultivos	0,09	0,08	0,08	0,10	0,13	0,13	0,622	6,07
Vegetación arbustiva	0,08	0,06	0,05	0,05	0,07	0,09	0,395	6,03
Bosque nativo	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,263	6,06
							Suma	39,66
							Promedio	6,61

a. Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} = \frac{6,61 - 6}{6 - 1} = 0,12$$

b. Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513

Nota. Tomado de CENEPRED, 2014.

$$RC = \frac{0,12}{1,252} = 0,097 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.6. Ponderación de la geología

Si bien, se ha identificado que el área de estudio está enmarcada por los sedimentos La Huaca, la Unidad Chito, el Complejo Intrusivo Zamora, y por depósitos del cuaternario

como aluviales y coluviales. Se comprueba que la apreciación de las características geológicas juega un papel relevante en la evaluación de la susceptibilidad frente a deslizamientos, por lo que en este estudio se ha considerado dar importancia para el análisis AHP, en primer lugar a los depósitos coluviales, debido a que por su constitución son materiales que ya han sufrido desplazamiento, presentan baja coherencia y consistencia, y son altamente permeables lo que los hace muy favorables para que se sigan generando procesos erosivos; en segundo lugar, se consideró a los conglomerados, pues estos han formado taludes con pendientes fuertes cuya matriz y clastos se presentan mediana y altamente meteorizados, de modo que en algunos sectores se ha generado el desprendimiento de los mismos; luego, se priorizó a las tobas arenosas de la Unidad Chito, seguido de las areniscas que igual forman parte de los depósitos sedimentarios La Huaca, por su grado de meteorización se encuentran poco cementadas por lo que se convierten en materiales favorables para la formación de deslizamientos. Posteriormente, se ubicó a la litología del Complejo Intrusivo Zamora, misma que está definida por granodiorita que si bien esta se encuentra altamente meteorizada y desintegrada por procesos de oxidación, de ahí que se han formado arcillas con capacidades de absorción de agua, las cuales tienden a contribuir e influir en el plano de deslizamiento, sumado a la presencia de fracturas en el macizo rocoso del intrusivo también condiciona al terreno significativamente, sin embargo, los taludes constituidos por estos materiales no representan una alta severidad si no son modificados por factores antrópicos. Por último, se decidió colocar a los depósitos aluviales con nivel de importancia más bajo que los anteriores, tal como se indica en la matriz de la tabla 47.

Tabla 47. *Matriz de comparación de pares de la geología*

Geología	C	SD^{Cgl}	T^{Ar}	SD^{Ar}	G^{Gd}	A
Coluvial (C)	1	2	3	4	5	6
Conglomerado (SD ^{Cgl})	1/2	1	2	2	3	4
Tobas arenosas (T ^{Ar})	1/3	1/2	1	2	3	3
Arenisca (SD ^{Ar})	1/4	1/2	1/2	1	2	3
Granodiorita (G ^{Gd})	1/5	1/3	1/3	1/2	1	3
Aluvial (A)	1/6	1/4	1/3	1/3	1/3	1.00
Suma	2,45	4,58	7,17	9,83	14,33	20,00
1/suma	0,41	0,22	0,14	0,10	0,07	0,05

La tabla 48 muestra los cálculos de la matriz normalizada y vector prioridad correspondiente a la geología.

Tabla 48. Matriz de normalización y vector prioridad de la geología

Geología	C	SD ^{Cgl}	T ^{Ar}	SD ^{Ar}	G ^{Gd}	A	Vector prioridad	(%)
Coluvial (C)	0,41	0,44	0,42	0,41	0,35	0,30	0,39	39
Conglomerado (SD ^{Cgl})	0,20	0,22	0,28	0,20	0,21	0,20	0,22	22
Tobas arenosas (T ^{Ar})	0,14	0,11	0,14	0,20	0,21	0,15	0,16	16
Arenisca (SD ^{Ar})	0,10	0,11	0,07	0,10	0,14	0,15	0,11	11
Granodiorita (G ^{Gd})	0,08	0,07	0,05	0,05	0,07	0,15	0,08	8
Aluvial (A)	0,07	0,05	0,05	0,03	0,02	0,05	0,05	5
							1	100

En la tabla 49 se presentan los resultados para el cálculo de la Relación de Consistencia (RC) de la geología.

Tabla 49. Matriz de Relación de Consistencia de la geología

Geología	C	SD ^{Cgl}	T ^{Ar}	SD ^{Ar}	G ^{Gd}	A	Vector suma ponderada	λ_{max}
Coluvial (C)	0,39	0,44	0,47	1,55	0,39	0,28	3,51	9,09
Conglomerado (SD ^{Cgl})	0,19	0,22	0,32	0,22	0,24	0,18	1,37	6,26
Tobas arenosas (T ^{Ar})	0,13	0,11	0,16	0,22	0,24	0,14	0,99	6,30
Arenisca (SD ^{Ar})	0,10	0,11	0,08	0,11	0,16	0,14	0,69	6,18
Granodiorita (G ^{Gd})	0,08	0,07	0,05	0,06	0,08	0,14	0,48	6,05
Aluvial (A)	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,05	0,28	6,11
							Suma	39,57
							Promedio	6,60

a. Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} = \frac{6,60 - 6}{6 - 1} = 0,12$$

b. Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513

Nota. Tomado de CENEPRED, 2014.

$$RC = \frac{0,12}{1,252} = 0,095 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.7. Ponderación de la pendiente

La importancia del factor pendiente reside en que, generalmente cuanto mayor es la pendiente, mayor es la susceptibilidad a la generación de deslizamientos. En la tabla 50 se aprecia la ponderación de las variables de pendiente luego de la comparación de pares, se consideró a las pendientes empinadas con nivel de importancia superior frente a deslizamientos, en relación con las demás clases de pendientes.

Tabla 50. Matriz de comparación de pares de la pendiente

Pendiente	35 a 89,64°	15 a 35°	5 a 15°	0 a 5°
Empinado (35 a 89,64°)	1	3	5	6
Muy inclinado (15 a 35°)	1/3	1	3	5
Fuertemente inclinado (5 a 15°)	1/5	1/3	1	3
Ligeramente inclinado (0 a 5°)	1/6	1/5	1/3	1
Suma	1,70	4,53	9,33	15,00
1/suma	0,59	0,22	0,11	0,07

En la tabla 51 se muestran los cálculos de normalización y de vector prioridad concerniente al factor pendiente.

Tabla 51. Matriz de normalización y vector prioridad de la pendiente

Pendiente	35 a 89,64°	15 a 35°	5 a 15°	0 a 5°	Vector priorización	(%)
Empinado (35 a 89,64°)	0,59	0,66	0,54	0,40	0,55	55
Muy inclinado (15 a 35°)	0,20	0,22	0,32	0,33	0,27	27
Fuertemente inclinado (5 a 15°)	0,12	0,07	0,11	0,20	0,13	12
Ligeramente inclinado (0 a 5°)	0,10	0,04	0,04	0,07	0,06	6
					1	100

La tabla 52 indica los cálculos necesarios para determinar la Relación de Consistencia (RC) de la pendiente.

Tabla 52. Matriz de Relación de Consistencia de la pendiente

Pendiente	35 a 89,64°	15 a 35°	5 a 15°	0 a 5°	Vector suma ponderada	λ_{max}
Empinado (35 a 89,64°)	0,55	0,80	0,62	0,37	2,340	4,28
Muy inclinado (15 a 35°)	0,18	0,27	0,37	0,31	1,129	4,22
Fuertemente inclinado (5 a 15°)	0,11	0,09	0,12	0,18	0,507	4,07
Ligeramente inclinado (0 a 5°)	0,09	0,05	0,04	0,06	0,247	4,05
					Suma	16,61
					Promedio	4,15

a. Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} = \frac{4,15 - 4}{4 - 1} = 0,05$$

b. Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513

Nota. Tomado de CENEPRED, 2014.

$$RC = \frac{0,05}{0,882} = 0,06 \leq 0,1 \rightarrow \text{Aceptable}$$

6.3.8. Determinación de los valores de susceptibilidad y peligrosidad

En la tabla 53 se resumen los parámetros y variables ponderadas con sus respectivos pesos, los mismos que se utilizaron para determinar los valores de susceptibilidad y de peligrosidad a deslizamientos.

Tabla 53. Resumen de los parámetros y los pesos calculados

Nombre	Peso	Factor		Parámetro		Variable		Ppar x Pvari
		Nombre	Peso	Nombre	Peso	Clasificación	Peso	
Susceptibilidad a Deslizamientos	80%	Condicionante	40%	Geomorfología	0,40	Deslizamiento	0,36	0,14
						Relieve Colinado Muy Bajo	0,24	0,09
						Relieve Colinado Bajo	0,16	0,06
						Relieve Colinado Medio	0,10	0,04
						Relieve Colinado Ato	0,07	0,03
						Relieve Montañoso	0,04	0,02
				Terraza Baja	0,03	0,01		
				Uso del suelo	0,32	Área poblada	0,38	0,12
						Cuerpo de Agua	0,25	0,08
						Pastizal	0,16	0,05
						Cultivo	0,10	0,03
				Vegetación Arbustiva	0,18	Vegetación Arbustiva	0,07	0,02
						Bosque nativo	0,04	0,01
						Coluvial	0,39	0,07
						Conglomerado	0,22	0,04
				Geología	0,18	Tobas arenosas	0,16	0,03
						Areniscas	0,11	0,02
						Granodioritas	0,08	0,01
		Pendiente	0,10	Aluvial	0,05	0,01		
				Empinado	0,55	0,05		
Muy inclinado	0,27			0,03				
Fuertemente inclinado	0,12			0,01				
Desencadenante	60%	Intensidad de Lluvia	1,00	Ligeramente inclinado	0,06	0,01		
				12.50 - 13 mm/h	0,63	0,63		
				12 - 12.5 mm/h	0,26	0,26		
				11.50 - 12 mm/h	0,11	0,11		
Parámetro de Evaluación	20%	Tiempo de Retorno	1,00	2 años	0,39	0,39		
				5 años	0,25	0,25		
				10 años	0,16	0,16		
				25 años	0,10	0,10		
				50 años	0,06	0,06		
				100 años	0,033	0,03		

6.3.8.1. Susceptibilidad a deslizamientos

Soto (2018), menciona que la susceptibilidad frente a deslizamientos expresa en forma espacial, la mayor o menor tendencia del terreno a la generación de deslizamientos, en otras palabras, indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones del terreno para que puedan ocurrir deslizamientos. Además, expresa que, la susceptibilidad consiste en realizar un análisis de factores condicionantes o desencadenantes, sin considerar el factor tiempo. En la tabla 54 se muestran los resultados de las operaciones realizadas para determinar el valor de susceptibilidad del terreno frente a deslizamientos.

$$\text{Valor Suscep} = \text{Fac condicionante} * \text{Peso} + \text{Fac desencadenante} * \text{Peso}$$

Tabla 54. Valor de susceptibilidad a deslizamientos

Condicionante			Desencadenante			Susceptibilidad
∑ Pparámetro x Pvariable	Peso Cond.	Valor Condicionante	∑ Pparámetro x Pvariable	Peso Dese.	Valor Dese.	Valor Susceptibilidad
0,39		0,16	0,63		0,38	0,54
0,24		0,10	0,63		0,38	0,48
0,15		0,06	0,63		0,38	0,44
0,10	0,40	0,04	0,63	0,60	0,38	0,42
0,06		0,02	0,63		0,38	0,40
0,04		0,02	0,63		0,38	0,40
0,01		0,00	0,63		0,38	0,38

Nota. Suma (∑).

6.3.8.2. Peligrosidad a deslizamientos

De los valores de susceptibilidad de la tabla anterior, más el valor del parámetro de evaluación, en la tabla a continuación se muestran los resultados de la operación realizada para determinar el valor de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro.

$$\text{Valor Peligrosidad} = \text{Susceptibilidad} * \text{Peso} + \text{Parámetro de evaluación} * \text{Peso}$$

Tabla 55. Valor de peligrosidad a deslizamientos

Susceptibilidad		Parámetro de evaluación		Peligrosidad
Valor Susceptibilidad	Peso Susceptibilidad	Valor Parámetro Evaluación	Peso Parámetro Evaluación	Valor Peligrosidad
0,54		0,10		0,45
0,48		0,10		0,40
0,44		0,10		0,37
0,42	0,80	0,10	0,20	0,36
0,40		0,10		0,34
0,40		0,10		0,34
0,38		0,10		0,33

6.3.8.3. Niveles y rangos de peligrosidad

A continuación, en la tabla 56 se presentan los rangos y los niveles de peligrosidad determinados para la parroquia El Chorro.

Tabla 56. Rango y nivel de peligrosidad de la parroquia El Chorro

Nivel de peligrosidad	Rango
Peligrosidad Muy Alta	0,40 ≤P≤ 0,45
Peligrosidad Alta	0,37 ≤P < 0,40
Peligrosidad Media	0,36 ≤P < 0,37
Peligrosidad Baja	0,34 ≤P < 0,36
Peligrosidad Muy Baja	0,34 ≤P < 0,34
Peligrosidad Nula	0,33 ≤P < 0,34

6.4. Mapa de peligrosidad a deslizamientos escala 1:10 000

El mapa de peligrosidad a deslizamientos de la parroquia El Chorro, se realizó a partir de la integración de los mapas temáticos de cada factor condicionante (geomorfológico, geológico, de pendientes y de uso actual del suelo) con el del factor desencadenante analizado (intensidad de lluvias) para una probabilidad de ocurrencia del 4 % para un periodo de retorno de 25 años, donde se ordenó a los mapas de acuerdo con el mayor grado de importancia al momento de procesar el mapa de peligrosidad. Este mapa arrojó resultados cuyos niveles de peligrosidad comprenden el muy alto, alto, medio y bajo.

En la tabla 57 se señala el área y el porcentaje que ocupan las clases de peligrosidad en la parroquia.

Tabla 57. Área y porcentaje de los niveles de peligrosidad de la parroquia El Chorro

Niveles de Peligrosidad	Rango	Área (km²)	Porcentaje (%)
Baja	0,34 – 0,36	3,93	26,47
Media	0,36 – 0,37	8,64	58,18
Alta	0,37 – 0,40	2,25	15,15
Muy Alta	0,40 – 0,45	0,03	0,20

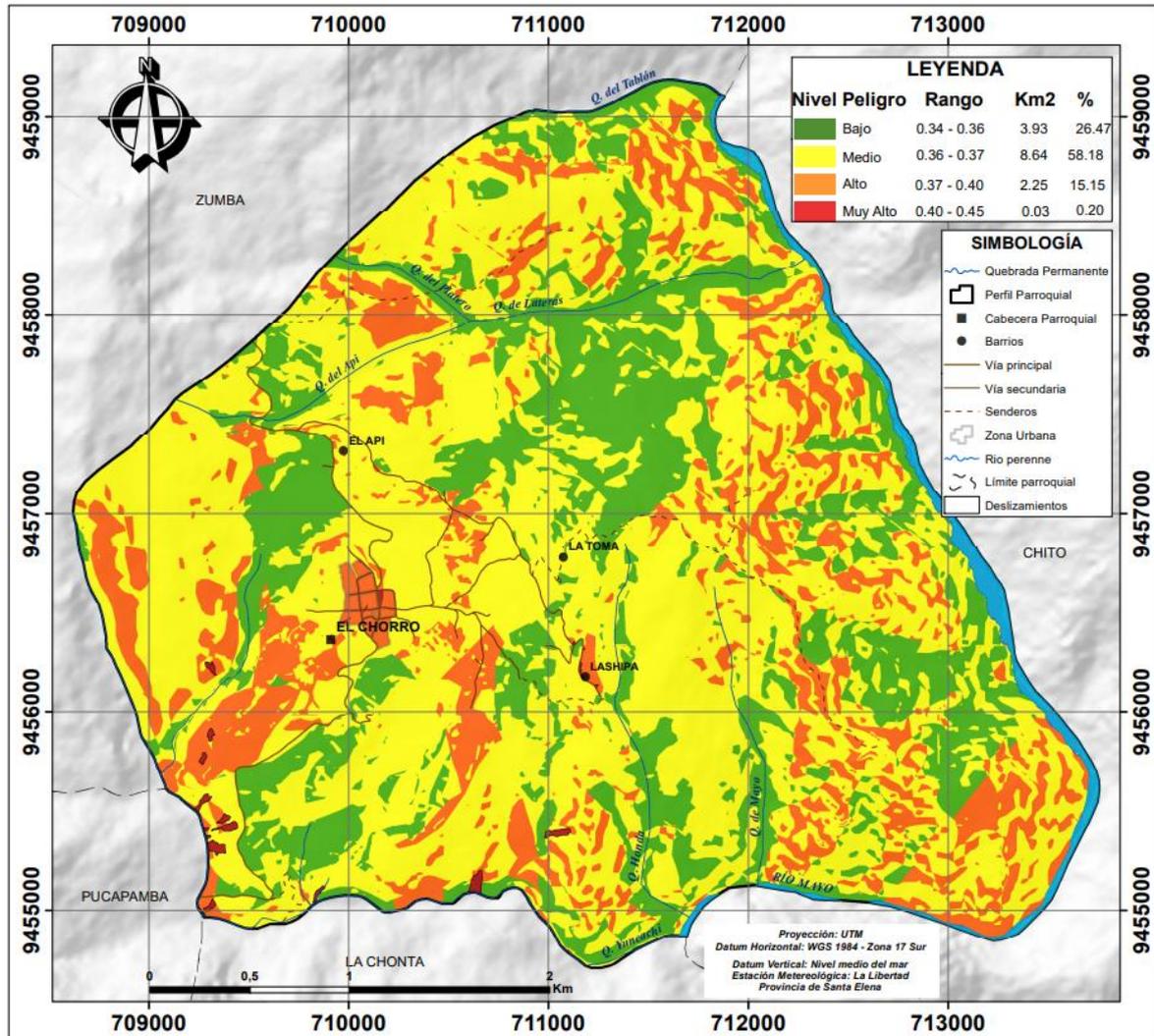
Por consiguiente, en la figura 45 se muestra la distribución espacial de las zonas de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro, descrito cada nivel en las líneas siguientes.

El nivel de peligrosidad muy alto alcanza tan solo un 0.20 % del área total estudiada predominando en el sector suroccidental de la misma, siendo estas las zonas afectadas por los deslizamientos antiguos y recientes. Estas zonas comprenden el relieve colinado alto, con pendientes muy inclinadas marcadas por procesos morfodinámicos relacionados a la erosión causada principalmente por la acción pluvial y también hídrica debido a que el incremento de la escorrentía ha provocado el lavado y arrastre de material suelto incidiendo en la estabilidad de los taludes de las quebradas, causando así su colapso, lo que ha afectado a la red vial, tal es el caso de la vía principal al sur de la parroquia.

Las áreas con nivel de peligrosidad alto se localizan al este de la parroquia, en el sector sur oeste y especialmente en la zona poblada de la parroquia, estos terrenos se caracterizan por la presencia de depósitos superficiales y suelos residuales arenosos y arcillosos producto de la alteración de las litologías aflorantes. Este nivel de peligrosidad ocupa un área de 2.25 km², lo que corresponde al 15,15 % del área total de estudio. Si bien,

son zonas donde no se evidencia deslizamientos, sin embargo, el peligro no deja de existir, debido a que los terrenos presentan estancamiento de agua lluvia y empozamiento de agua residual mal evacuada lo que a la final llega a debilitar los suelos.

Figura 45. Peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro. Escala 1:10 000



Las superficies de peligrosidad media alcanzan el 58.18 % del total del área de estudio, cubriendo casi toda la totalidad de la parroquia, estas zonas se caracterizan porque presentan pendientes fuertemente a muy inclinadas, es decir de 5 a 35°, conformados por depósitos superficiales, suelos residuales y rocas medianamente meteorizadas y soportadas.

Finalmente, las zonas de peligrosidad baja corresponden a áreas estables y con poca probabilidad para que ocurran deslizamientos, son terrenos caracterizados porque presentan pendientes ligeramente inclinadas. Corresponden a terrenos cubiertos por bosques nativos de condiciones geológicas relativamente estables, a menos que se intervenga

desfavorablemente en la modificación de los relieves, lo que podría ocasionar algún tipo de deslizamiento. Sin embargo, cabe acotar que, en realidad, no se han observado indicios de deslizamientos antiguos ni activos. Este nivel de amenaza ocupa el 26.47 % de la zona de estudio, cubriendo 0,66 km² del área total de la parroquia.

7. Discusión

7.1. Análisis de inventario de deslizamientos

La elaboración del inventario de deslizamientos ha proporcionado información valiosa sobre la zonación, es decir, sobre la localización de las zonas con presencia y ausencia de deslizamientos en la parroquia, lo cual es importante para este tipo de estudios de peligrosidad ya que permiten reconocer geográficamente las zonas de inestabilidad. Por ello, en este primer inventario de deslizamientos elaborado a partir de observaciones en campo se registraron principalmente las características morfológicas y las causas que los provocaron y detonaron, deduciendo que los mismos se han originado por las condiciones morfodinámicas del relieve, por las condiciones en las que se encontraba la litología de la zona de estudio, por la topografía del sector y por las malas condiciones que presenta el uso actual del suelo, desencadenados por las fuertes lluvias acentuadas en la época invernal (enero a mayo) las que han sobresaturado los suelos provocando la inestabilidad de los mismos. Además, de la representación cartográfica del inventario, se refleja que la cantidad total aproximada que ocupan los deslizamientos en el área de estudio corresponde a 0,03 km² equivalente a 3 ha.

La existencia de deslizamientos en la parroquia es corroborada por Oleas (2009), quien en su informe “Investigación de procesos geodinámicos que afectan la población El Chorro”, menciona que al este de la población existen algunos deslizamientos de tipo traslacionales poco profundos y lentos que afectan los cultivos y caminos vecinales. En cuanto a las causas condicionantes y desencadenantes de su desplazamiento, las citadas en el este informe concuerdan con las mencionadas por Sucunuta (2016), quien establece que en la cabecera parroquial El Chorro existen factores geológicos, topográficos, geomorfológicos, de factores estructurales, geotécnicos e hidrológicos que la definen como una zona propensa a deslizamientos. Por su parte Ortega establece que “las amenazas por movimientos en masa en el Chorro están inducidas por la variable saturación del suelo, la misma que está ligada a la litología del lugar” (2020, p. 98), asimismo estableció una igual importancia de influencia a los procesos de origen antropogénico representada por la variable de uso actual del suelo, tal variable concuerda con la analizada en este trabajo. Cabe acotar que los autores mencionados anteriormente han realizado sus estudios limitándose solamente a una cierta extensión de la cabecera parroquial, logrando con ello que sus

estudios sean a mayor detalle, lo que les proporcionó tener una mayor profundización y caracterización de variables y fenómenos. Sin embargo, los resultados presentados en este trabajo no se alejan de la realidad.

7.2. Análisis de la cartografía de los factores condicionantes y desencadenantes

7.2.1. Geomorfología

Cartográficamente, las geoformas del relieve se levantaron en dos etapas, la primera aplicando la técnica de fotointerpretación donde se realizó un mapa preliminar, y la segunda etapa que consistió en la verificación en campo del dicho mapa para la posterior delimitación y confección del mapa final. De lo anterior, se logró determinar 7 tipos de geoformas tales como deslizamientos, terrazas bajas, relieve colinado alto, medio, bajo, muy bajo y montañoso.

El mapa geomorfológico de la zona de estudio elaborado en este trabajo de investigación fue comparado con el realizado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca MAGAP (2015) hoja Zumba NVII-F4 a escala de trabajo 1:25000, donde se puede determinar que existe un moderado contraste en la delimitación de las geoformas. El modelo del MAGAP delimita 6 tipos de geoformas como: vertientes rectilíneas, vertientes heterogéneas, coluviones antiguos, valles en V, barrancos y relieves montañosos, lo que permite deducir un porcentaje de validez en la comparación de los mapas del un 30%.

Por otra parte, de la cartografía que se encuentra en la Unidad Provincial de Tierras de Zamora Chinchipe (2020) a escala 1:25000, se indica que la parroquia El Chorro está representada por 3 geoformas: relieve montañoso, relieve colinado alto y relieve colinado medio. De esta comparación se analiza que el mapa de la Unidad Provincial de Tierras de Z.Ch en cuanto a su diseño y tipología de geoformas son más coincidentes al presentado en este informe en un 85%.

7.2.2. Uso actual del suelo

Similar al parámetro anterior, la elaboración del mapa del uso actual del suelo se lo realizó con la técnica de fotointerpretación y luego su validación se determinó en la campaña en campo. Donde se logró identificar 6 usos de suelo concernientes a: área poblada, cuerpos de agua, pastizal, cultivo, vegetación arbustiva y bosque nativo.

Esta clasificación es corroborada con el mapa de uso actual del suelo nacional elaborado por el MAE-MAGAP del año 2018, a escala 1:50000, donde se evidencia que en la parroquia El chorro el uso actual del suelo está representado por 5 categorías como son: área poblada, bosque nativo, infraestructura, natural y tierra agropecuaria, coincidiendo en la categorización con este modelo en aproximadamente un 80%. Por otra parte, en corroboración con el mapa temático proporcionado por la Unidad Provincial de Tierras de Zamora Chinchipe (2020) a escala 1:25000 el uso actual del suelo de la zona de estudio se clasifica en 8 categorías que son: agua, área urbana, bosque chaparro, bosque denso, bosque secundario, cultivos, páramo y pastos, en base a ello, el porcentaje de corroboración estimado entre estos dos mapas difiere en un 60%.

7.2.3. Geología

Como se mencionó en los apartados anteriores, el procedimiento para realizar el modelado del mapa implicó el levantamiento de la mayor cantidad de información geológica posible de afloramientos en el campo, para luego en oficina poder correlacionar litologías similares en base a los puntos de control. Para ello se determinó como resultado que en el área de estudio existen 5 tipos de litologías: conglomerados, areniscas, tobas arenosas, granodioritas y depósitos superficiales (coluviales y aluviales).

Inicialmente, ante la dificultad de conseguir insumos geológicos actualizados, se había utilizado como mapa de referencia a escala regional la carta geológica de Zumba a escala 1:100000 elaborada por la Ex Dirección General de Geología y Minas del año 1979, la cual enmarcaba a la parroquia en 2 formaciones geológicas como son la Formación Quillollaco y el Batolito Rio Mayo, la primera de origen volcanosedimentario cuyo basamento es metamórfico, y el segundo de origen ígneo, si bien, con estas formaciones los conglomerados, areniscas, tobas y granodioritas coincidían, pero los depósitos superficiales no se describían en dicha carta, por lo que no se tenía claro su origen y deposición, lo que la convirtió en un insumo no confiable para continuar con el análisis.

Posteriormente se gestionó la emisión de la hoja geológica de Zumba del año 2017 elaborada por el IIGMM a escala 1:100000, con ella se pudo correlacionar que la litología levantada en campo se ajustó mucho mejor con las formaciones mencionadas en la carta actualizada, la cual indica que la parroquia está enmarcada en 4 formaciones geológicas como son: Sedimentos La Huaca, Depósitos Coluviales y Aluviales, la Unidad Chito y el

Complejo Intrusivo Zamora, con ellas se determinó que los conglomerados y areniscas pertenecen a los sedimentos La Huaca, las tobas a la Unidad Chito, las granodioritas al Complejo Intrusivo Zamora, y los materiales poco consolidados y desordenados pertenecen a los depósitos coluviales y aluviales del holoceno. Esto demuestra que el mapa geológico realizado si presenta alta confiabilidad.

7.2.4. Pendientes

El factor pendiente se realizó mediante el geoprocesamiento en el software ArcGIS del MDE cuyo tamaño de pixel es de 3x3 m. En base a los resultados de la reclasificación de pendientes propuesta por Demek en 1972 la zona de estudio se categorizó espacialmente en 4 clases concernientes a: pendientes empinadas (35° a 55°), muy inclinadas (15° a 35°), fuertemente inclinadas (5° a 15°) y ligeramente inclinadas (0° a 5°).

Estos resultados fueron comparados con los señalados por Ortega (2020), quien indica que según la clasificación de Van Zuidan en 1986, en la cabecera parroquial se presentan 4 clases que son: la pendiente baja de 4° a 8° , la pendiente moderada de 8° a 16° , las pendientes fuertes que están entre 16° a 35° y las muy fuertes que son de 35° a 55° . Por consiguiente, se determina que solamente en dos reclasificaciones el valor de rangos de pendientes coincide, específicamente con las pendientes muy inclinadas y las muy empinadas, no obstante, difieren en su nomenclatura, esto debido a que son reclasificaciones basadas en diferentes autores donde cada quien tiene su propio criterio de nomenclatura.

7.2.5. Intensidad de lluvias

En cuanto a la caracterización del factor desencadenante relacionado con la intensidad de lluvia que cae en la parroquia, este factor genera cambios en la estabilidad de las laderas en lapsos de tiempo muy cortos. Los resultados obtenidos del mapa muestran que en la parroquia los valores de intensidad de lluvia son de 11.50 mm/h hasta 13 mm/h, esto quiere decir que el factor intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 25 años ejercerá cierta influencia al incidir directamente sobre las laderas y taludes, puesto que al infiltrarse el agua a través de las grietas aumentará la presión de poros, originando un aumento de la masa del macizo lo que provocará su desprendimiento a través de las zonas de debilidad. Actualmente no existen modelos de mapas de intensidad lluvias en mm/hr aplicados en la parroquia que sean útiles para una comparación de resultados.

7.3. Análisis de la representación cartográfica de peligrosidad

7.3.1. Niveles de peligrosidad

La evaluación fue realizada en base al método de Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty, utilizado principalmente para comparar mediante juicios de valor el par comparación de dos variables en base a criterios del equipo evaluador, para el efecto, como se ha ido mencionando en el desarrollo del proyecto, en este estudio se consideraron 4 factores condicionantes y 1 factor desencadenante incluyendo el parámetro de evaluación relacionado al tiempo de retorno.

Dicho lo anterior, el mapa de peligrosidad a deslizamientos presentado en este estudio, indicó que la parroquia El Chorro se zonifica en cuatro niveles de peligrosidad: baja, media, alta y muy alta. A su vez, Ortega (2020) en su modelo combinado Mora Vahrson Modificado-Secretaría de Gestión de Riesgos MVM-SGR, señala que la cabecera parroquial está definida por tres niveles de amenaza: baja, media y alta. Por otra parte, en el mapa de amenazas preliminar del cantón Chinchipe elaborado por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos SNGR (2011) presentado a escala 1:120.000, se indica que la zona de estudio está definida por cinco niveles de amenaza: sin amenaza, baja, media, alta y muy alta.

Con base a lo mencionado en las líneas anteriores, se comprueba que los mapas difieren en la categorización del número de niveles, debido a que en los 3 casos, los factores y el número de factores utilizados para la evaluación no son los mismos, en el modelo de Ortega (2020) se considera los factores: saturación del suelo, pendientes, precipitaciones, uso actual del suelo y litología. En cambio el mapa de la SNGR (2011) se considera a la permeabilidad, la densidad de flujo, el uso de suelo, la geología y la saturación. Adicional a lo ya mencionado, las escalas de trabajo para los 3 modelos son distintas, las cuales varían de mayor detalle a menor detalle.

7.3.2. Distribución espacial de los niveles de peligrosidad

Del mapa presentando en el informe, se establece que las zonas con mayor peligrosidad, representan al nivel de peligro medio, las cuales cubren el 26.47% del total del territorio, extendiéndose en casi todos los sectores de la parroquia. Por otro lado, el nivel de amenaza alta y muy alta agruparon el 15.15 % y el 0.20% respectivamente. La peligrosidad alta está distribuida principalmente al este y suroeste del área de estudio y donde está emplazada la población de El Chorro y el nivel de peligrosidad muy alto en cambio está

concentrado en el sector suroeste. Y finalmente, el nivel de amenaza bajo cubre el 26.47 % del total de territorio, localizándose en el sector centro norte, al este y en menor cantidad al oeste de la parroquia.

Relacionando los resultados con el modelo MVM-SGR de Ortega (2020), se señala que el nivel de amenaza predominante es el medio con el 80% concentrándose en toda el área. Adicional, el nivel de amenaza alto en este modelo cubre un porcentaje del 12% concentrados al oeste especialmente donde se localiza la población.

En contraste, en el mapa de la SNGR (2011) no se tiene un dato exacto del porcentaje que cubre cada nivel de amenaza, por lo que nos limitamos solamente a visualizar su distribución, con lo que se deduce que hacia el oeste la mayor predominancia es el nivel de amenaza bajo, hacia el noreste se concentra el nivel alto y muy alto, y hacia el sector sureste se localiza el nivel medio principalmente.

Analizando lo antes mencionado, se corrobora que el nivel de peligrosidad medio tanto para el mapa presentado en este informe como con el del modelo MVR-SGR son coincidentes. Además de que en ambos casos el nivel se distribuye por casi toda el área de estudio. Lo contrario sucede comparando con el mapa elaborado por la SNGR, donde los niveles de peligrosidad ni en proporción, ni en distribución son coincidentes.

Finalmente, por todo lo realizado en este estudio, el mapa de peligrosidad a deslizamientos para un periodo de retorno de 25 años, resulta ser confiable para que sea tomado en cuenta en futuras decisiones en cuanto a proyecciones de desarrollo constructivo y para la planeación del ordenamiento territorial. Así mismo, el trabajo propuesto dará una pauta para futuras investigaciones enfocadas a la prevención y control de los deslizamientos existentes en la parroquia.

8. Conclusiones

- Se demostró la presencia de deslizamientos en la parroquia, donde, de acuerdo con el mapa e inventario, se determinó un total de 20 deslizamientos (4 identificados en oficina y 16 levantados en campo), de los cuales, los deslizamientos rotacionales cubren una extensión de 0,3 ha y los traslacionales cubren 2,7 ha del total de territorio de la parroquia, existiendo un total de aproximadamente 3 ha de terreno desplazado.
- Se relacionó los deslizamientos inventariados con la geología regional del área de estudio, donde se concluyó que la mayor concentración, equivalente al 60 % ha ocurrido en la superficie de los depósitos coluviales, en la zona más occidental del territorio, la misma que está caracterizada principalmente por conglomerados muy gruesos intercalados con areniscas intemperizadas. Por otra parte, el 40 % de los deslizamientos se han producido en la superficie del Complejo Intrusivo Zamora, donde la roca ígnea se encuentra completamente fracturada y alterada, cuyas laderas han resultado susceptibles al ser intervenidas por actividades antrópicas.
- En la parroquia se ha presentado el relieve depresionado con pendientes entre 0 a 2 % representados por las terrazas aluviales de ríos y de las principales quebradas existentes; mientras que el relieve colinado se caracterizó porque presenta pendientes entre 2 a 25 % con alturas variables, pero que no pasan los 200 m. Finalmente, las montañas fueron el tipo de relieve de mayor predominancia en el área de estudio, se caracterizaron porque sus vertientes presentan pendientes fuertes a escarpadas de 30 % a más de 100 %, constituyéndose como elevaciones que sobrepasan los 300 m sobre su nivel de base local.
- Del levantamiento geológico local de la parroquia El Chorro, se definió que el 32,91 % está representada por conglomerados, areniscas y volcanopiroclastos como tobas arenosas; mientras que el 58,30 % está compuesta por granodioritas completamente alteradas y fracturas, lo que ha dado lugar a la formación de

suelos residuales lateríticos. Los depósitos cuaternarios relacionados con coluviales y aluviales representaron el 8,80 % del total del área de estudio.

- El uso actual del suelo en la parroquia está mal gestionado por la población y sus autoridades, puesto que en la cabecera parroquia se evidencia afectaciones a la infraestructura debido a que no existe sistema de alcantarillado que permita la correcta evacuación de las aguas residuales y pluviales, lo que ha desencadenado que la población se vea afectada por fenómenos naturales externos.

- La estimación de distribución de probabilidad de Gumbel para las 15 estaciones, permitió la proyección de los valores para diferentes periodos de retorno, de donde se estimó que los valores promedio de intensidad de lluvia de duración de 1 h pueden alcanzar los 5,95 mm/h en 2 años, mientras que a partir de los 25 años sobrepasarían los 10,48 mm/h, y a los 100 años alcanzarían intensidades de 12,73 mm/h (ver tabla 19). Además, se indicó que conforme se incrementan las duraciones horarias, disminuyen las intensidades, por tanto, las intensidades de lluvia más fuertes se darían en la primera hora del evento.

- A partir de los resultados del mapa de peligrosidad a deslizamientos realizado mediante el análisis multicriterio de jerarquización de variables y con la ayuda del SIG, se categorizó a la zona de estudio en cuatro clases o niveles de peligrosidad: baja, media, alta y muy alta, siendo las zonas con pendiente pronunciada y donde se localizan el mayor número de deslizamientos las áreas de mayor peligrosidad (alta y muy alta) las cuales ocupan el 15.35 % del área de estudio (2.28 km²), en estas zonas es donde se deberán evitar las actividades de desarrollo y planificación territorial; mientras que las zonas relativamente seguras (peligrosidad media y baja) ocupan 12.57 km², equivalente al 84.65 % del total de área de estudio.

9. Recomendaciones

- Complementar el inventario de deslizamientos con el levantamiento de manera general de Movimientos en Masa, agregando en tiempo real las fechas exactas de la ocurrencia de los deslizamientos, la magnitud y la severidad de estos. Y para correlacionar deslizamientos de zonas donde es difícil el acceso y por tanto se dificulta realizar el registro de los mismos, se recomienda emplear técnicas más avanzadas como la fotogrametría o el LIDAR para su levantamiento.
- A partir del inventario de deslizamientos, se propone realizar la caracterización geotécnica, mineralógica y dinámica de los deslizamientos más relevantes que existen, cuya finalidad es la de poder tener información más confiable sobre los materiales implicados en los planos de deslizamiento, sus profundidades y las velocidades exactas de desplazamiento.
- Se recomienda que conforme se vaya actualizando este estudio, también se actualice las variables de los factores condicionantes y desencadenantes, especialmente el del uso del suelo, puesto que esta es modificada constantemente por las actividades antrópicas.
- Profundizar el análisis de umbrales de intensidad y duración de lluvias para la predicción de deslizamientos superficiales, complementando los análisis en data meteorológica más antigua, es decir, con series de años más extensos.
- Para aportar en el grado de confiabilidad de este proyecto, se recomienda realizar estudios aplicando métodos cuantitativos, por ejemplo, los estadísticos y los determinísticos.
- Continuar elaborando en la parroquia estudios de análisis de vulnerabilidad de los elementos del territorio, para así complementar esta investigación hasta llegar al análisis del riesgo frente a deslizamientos, el cual permitirá estimar el valor de pérdidas por causa de estos fenómenos.
- Se recomienda a las autoridades del GAD parroquial, realizar monitoreos a las laderas que se encuentran en las zonas de nivel de peligro medio, alto y muy alto, especialmente las localizadas al occidente de la parroquia donde existe la mayor concentración de deslizamientos, puesto que se evidencia que los terrenos se

encuentran inestables, agrietados y con estancamiento de agua; el monitoreo se deberá realizar con fines de evaluación y alertamiento.

- Gestionar al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) o a las autoridades gubernamentales, la implementación de al menos una estación meteorológica en el cantón Chinchipe, para que sirva como fuente fiable para la recopilación de información climática del sur de Ecuador; lo cual permitirá tanto a personas que se dedican a realizar este tipo de estudios y a los profesionales de gestión de riesgos generar análisis de precipitaciones más acertadas.
- A las autoridades parroquiales se recomienda realizar obras de protección y estabilización de laderas y taludes, principalmente los de la quebrada Yuncachi, para evitar que se siga produciendo la erosión fluvial, por ejemplo, entre medidas económicas se puede emplear muros de gaviones, bolsacretos, entre otros, para proteger los márgenes de la quebrada.

10. Referencias bibliográficas

- Alcántara Ayala, I. (1999). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas*(41), 7-25. Obtenido de <https://n9.cl/gkagz>
- Alvarado, R. (1967). *Estudios geológicos de una cuenca sedimentaria de los carbones del Austro*. Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral.
- Aristizábal, E., & Yokota, S. (2006). Geomorphology applied to landslide occurrence in the Aburra Valley. *Dyna*, 73(149), 5-16.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2002). Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, su naturaleza, funciones, problemática y límites. En F.J. Ayala-Carcedo y J. Corominas, (eds.). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España.*, 7-20. Obtenido de En F.J. Ayala-Carcedo y J. Corominas, (eds.). Mapas.
- Baldock, J. (1982). *Geology of Ecuador: explanatory bulletin of the National Geological Map of the Republic of Ecuador 1:1000 000 scale*. Dirección General de Geología y Minas.
- Bonachea, J. (2006). *Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Cantabria], Santander. Obtenido de <https://acortar.link/nwBADm>
- Campos A, D. F. (1978). Relación de Estimación de Precipitaciones de Lluvia Horaria-Diaria en dos zonas Geográficas de México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(2), 141-152. Obtenido de <https://acortar.link/nDgzb8>
- Carihua, J., & Vargas, J. (2018). *Estimación de las Intensidades Máximas de Precipitación para Diferentes Tiempos de Duración y Periodos de Retorno, y su Conceptualización en mapas para la Región de Huanuco*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Hermilo Valdizan], Repositorio Institucional-UNHEVAL.

- CENEPRED. (2014). *Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres*. Obtenido de Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales-2da Versión: <https://acortar.link/M00PVn>
- Chew, D., Kosler, J., Whitehouse, M., Gutjahr, M., Spikings, R., & Miskovic, A. (2007). *U-Pb geochronologic evidence for the evolution of the Gondwana margin of the north-central Andes*. Geological Society of America Bulletin.
- CLIRSEN. (2012). *Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos, Ec. Proyecto de generación de información georreferenciada para el desarrollo sustentable Del sector agropecuario*. Quito, Ecuador.
- Corominas, J. (1992). Landslide Risk Assessment and Zoning. *Planning the Use of the Earth's Surface*, 141-173.
- Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*(43), 27-29. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02590167>
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. En N. A. Sciences, *Landslides: Investigation and Mitigation* (págs. 36-75). Washington, DC. Obtenido de <https://acortar.link/bivN5Y>
- D'Ercole, R., & Trujillo, M. (2003). *Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgos en el Ecuador. Los desastres, un reto para el desarrollo*. Obtenido de <https://acortar.link/iFQTCl>
- Demek, J. (1972). Manual of detailed geomorphological mapping. *Czechoslovak Academy of Sciences*, 344, 24.
- Demoraes, F., & D'Ercole, R. (2001). *Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en el Ecuador*. COOPI, Oxfam, SIISE.
- Ferrer Gijón, M. (1987). *Deslizamientos, desprendimientos, flujos y avalanchas. Riesgos Geológicos*. I.G.M.E.
- GAD parroquial El Chorro. (2014-2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial El Chorro*.

- Geymen, A., & Baz, I. (2008). The potential of remote sensing for monitoring land cover changes and effects on physical geography in the area of Kayisdagi Mountain and its surroundings (Istanbul). *Environ. Monit. Assessment*, 140(1), 33-42. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9844-6>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. (Pearson, Ed.)
- González, M. (2015). *Comparación entre Métodos Heurísticos, Estadístico Univariado y Estadístico Bivariado, para la Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa a escala 1:25.000 en el Municipio de Santa Bárbara, Departamento de Antioquía*. [Tesis de Grado, Universidad EAFIT], Repositorio Institucional-Universidad EAFIT. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10784/8245>
- Gustavsson, M., Seijmonsbergen, A., & Kolstrup, E. (2008). Structure and contents of a new geomorphological GIS database linked to a geomorphological map – With an example from Liden, central Sweden. *Geomorphology*, 95(3-4), 335-349. doi:10.1016/j.geomorph.2007.06.014
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación, S.A.
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008). *Manual de derrumbes. Una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Circular 1325, Servicio Geológico de los EE.UU, Departamento del Interior de los EE.UU. Obtenido de <https://acortar.link/vA35pk>
- Hutchinson, J. (1988). General Report: Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology. *In Proc., Fifth International Symposium on Landslides (C. Bonnard, ed.)*, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherland, 1, 3-35.
- IAEG Commission on Landslides. (1990). Suggested nomenclature for landslides. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*(41), 13-16. doi:10.1007/BF02590202
- IIGMM. (2017). Hoja Geológica de Zumba a escala 1:100 000.

- INAMHI. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. Estudio de Lluvias Intensas, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Obtenido de <https://acortar.link/o0bTXU>
- INAMHI. (2020). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de Trámites y Servicios Institucionales: <http://www.inamhi.gob.ec/>
- INNOVA PERÚ Centro de Especialización. (2020). Diplomado. Sistemas de Información Geográfica aplicados en la Gestión de Riesgo de Desastres.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2019). *Estándares de Nomenclatura Estratigráfica, Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica. Versión 2.0*. IIGE, Departamento de Geología. Obtenido de <https://acortar.link/kCZIGV>
- Instituto Geológico y Minero de España. (Diciembre de 2008). *Guía para la elaboración de mapas inventario y de susceptibilidad de movimientos de ladera a escala 1/50.000*. Obtenido de <https://acortar.link/3MfHTo>
- Keller, E., & Blodgett, R. (2004). *Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Pearson Education, S.A.
- Kennerley, J. (1973). *Geology of Loja Province, Southern Ecuador: Institute of Geological Sciences, Overseas Division, Report 23*.
- Litherland, M., Aspend, J., & Jemielita, R. (1994). *The Metamorphic Belts of Ecuador* (Vol. 11). British Geological Survey.
- MAE-MAGAP. (2015). *Protocolo Metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013-2014, escala 1:100.000*.
- MAGAP. (2015). *Memoria técnica. Levantamiento de cartografía temática escala 1:25000, lote 2: Geomorfología*. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP.
- Mendoza, M., & Dominguez, L. (2002). *Riesgos Naturales: Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Pearson Education.

- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A., & Rendón, J. (2012). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. *Ingenierías USBMed*, 3(1), 62-68. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es>
- Oleas, M. (2009). *"Investigación de procesos geodinámico que afectan la población El Chorro" cantón Chinchipe-provincia de Zamora Chinchipe*. Servicio Geológico Nacional.
- Olivera, J. (Dirección). (2013). *Obtener Precipitación Máxima Probable Pd a partir de datos pluviométricos* [Película]. HidrojING. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Iozzl0ndVOo>
- Ortega Vallejo, D. (2020). *Zonificación de amenaza por movimientos en masa en El Chorro, Ecuador. Métodos Heurísticos desarrollados con Sistemas de Información Geográfica*. [Tesis de maestría, Universidad de Salzburg]. Obtenido de <https://acortar.link/HrTQUh>
- Pilatasig, L., Gordón, D., Palacios, O., & Sánchez, J. (2005). *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Geología de Ecuador y Perú entre 3°S y 6°S*. Ecuador-Perú: DINAGE-INGEMMET.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional.
- Ramírez, M. (2006). *La Evaluación del Peligro por Fenómenos de Remoción de Masa y su Aplicación a la Planificación Territorial*. [Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional], Repositorio Institucional-EPN.
- Saaty, T. (1980). What is the Analytic Hierarchy Process? *Management Science*. Obtenido de <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.7.641>
- Santacana, N. (2001). *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat*. [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña], Portal de la Producción Científica-UPC.

- Scheidegger, A. E. (1998). Tectonic predesign of mass movements, with examples from the Chinese Himalaya. *Geomorphology*, 26(1-3), 37- 46. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00050-6](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00050-6)
- Seco Hernández, R. (2004). *Geomorfología* (1 ed.). Empresa Editorial Poligráfica Félix Varela.
- SENAMHI. (2020). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de Solicitud de datos: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=solicitud-servicio>
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2012). *Documento Metodológico para la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. Versión Nro. 2.
- SNGR. (2011). Mapa preliminar de zonas propensas a movimientos en masas, provincia de Zamora Chinchipe, cantón Chinchipe.
- Soto, J. E. (2018). *Análisis de la peligrosidad frente a los movimientos de ladera en la cuenca de Loja (Ecuador)*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Granada]. doi:978-84-9163-848-3
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Análisis Geotécnico* (Tomo I ed.). Universidad Industrial de Santander UIS.
- Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos. (2019). *Análisis de Amenaza ante Movimiento en Masa. Propuesta metodológica para el análisis de amenaza ante movimientos en masa en Ecuador Continental*. Informe Técnico, Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.
- Sucunuta Ordoñez, L. (2016). *Estudio geológico-geotécnico para la caracterización del movimiento de masa existente en la cabecera parroquial El Chorro, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe*. [Tesis de grado, Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional- FEIRNNR UNL.
- Summerfield, M. A. (1991). *Global Geomorphology* (1 ed.). Pearson Education.

Toskano, G. (2005). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos], Sistema de Bibliotecas -UNMSM.

Unidad Provincial de Tierras de Zamora Chinchipe. (2020). Cartografía temática a escala 1:25000 de la provincia de Zamora Chinchipe.

Varnes, D. (1978). Slope Movement Types and Processes. *Special report, 176*, 11-33.

Varnes, D. (1984). *Landslide hazard Zonation. A Review of Principles and practice*. UNESCO Press.

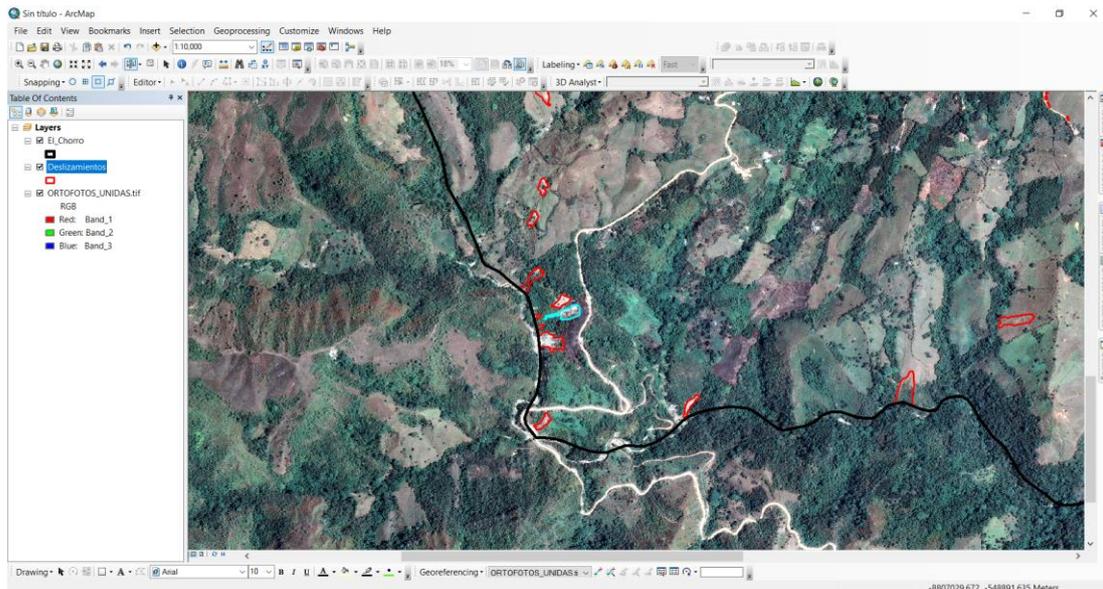
Villegas Sotelo, A. (2014). *Topografía*. Informe Académico, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Civil.

11. Anexos

Anexo 1. Metodología para la fotointerpretación de deslizamientos

FOTOINTERPRETACIÓN DE DESLIZAMIENTOS EN LA PARROQUIA EL CHORRO

1. En el software ArcGIS 10.4.1, mediante la ortofoto a una escala 1:10000 se digitalizó los posibles deslizamientos existentes en la parroquia.



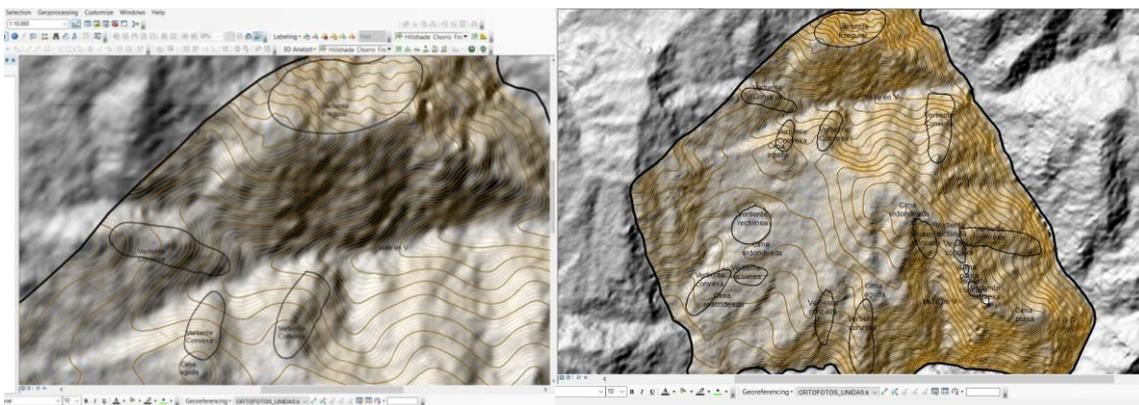
2. Se realizó la validación y el levantamiento de los deslizamientos en la campaña de campo.
3. Se integraron los polígonos de los deslizamientos a la base topográfica, y se realizó la presentación final del mapa temático de inventario de deslizamientos.

Anexo 2. Metodología para la fotointerpretación de geformas

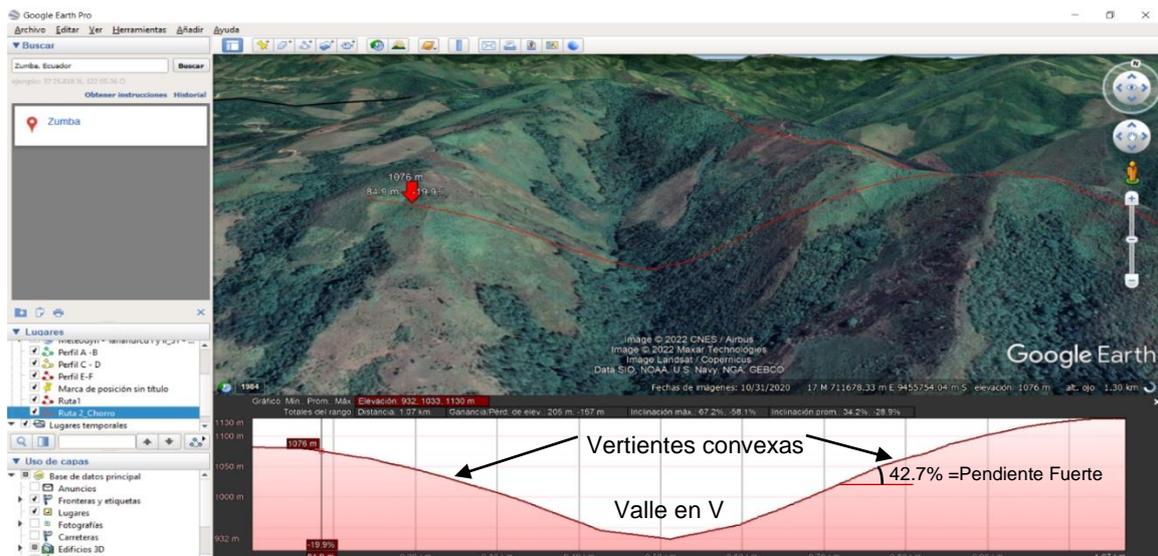
FOTOINTERPRETACIÓN DE GEOFORMAS DE LA PARROQUIA EL CHORRO

1. Previamente al trazado final de las geformas, por fotointerpretación se realizó la identificación de la morfología a partir del hillshade y de la base topográfica en el software ArcGIS 10.4.1; asimismo, en el software Google Earth Pro se realizó la identificación de la morfometría del relieve de la parroquia. Todo esto, con la finalidad de tener un conocimiento preliminar que luego fue verificado en campo.

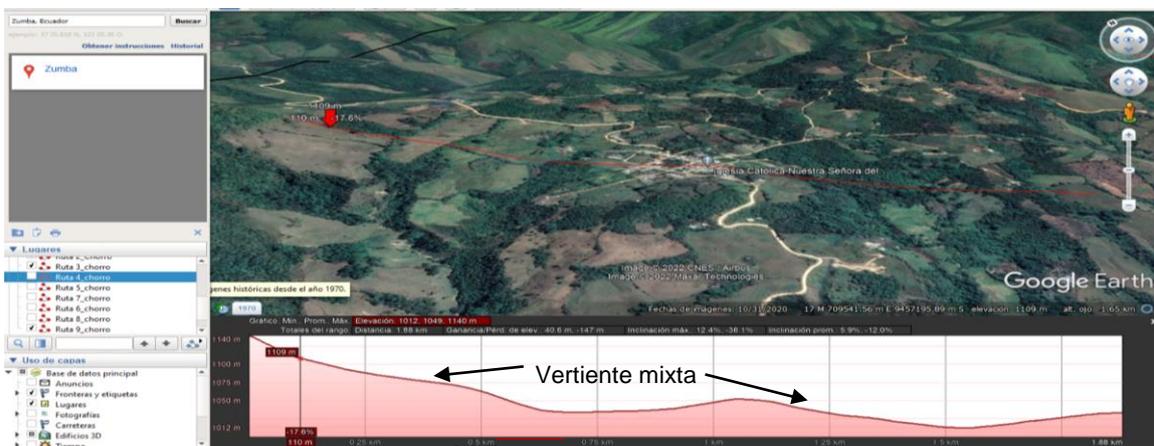
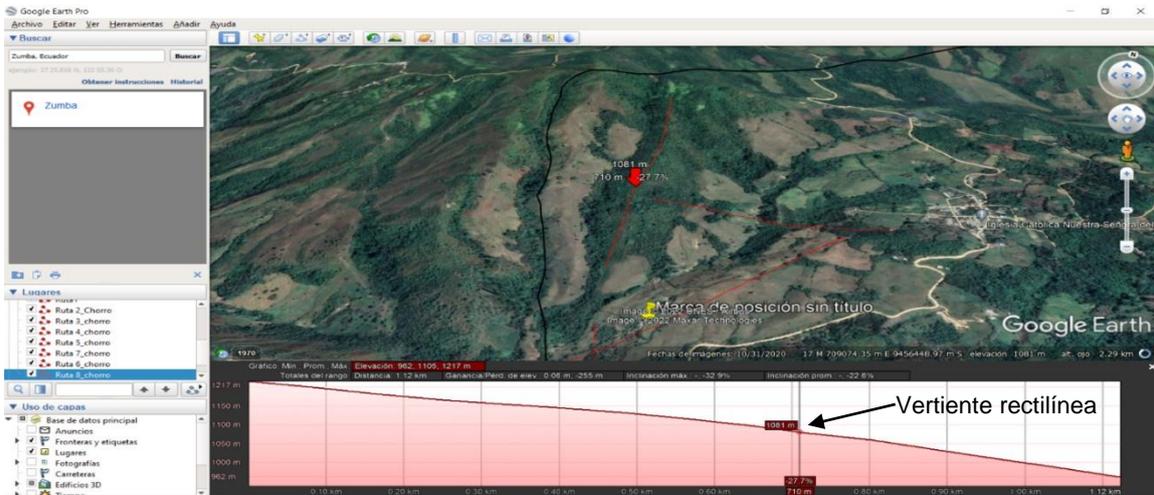
1.1. Identificación de la morfología en base al hillshade y curvas de nivel



1.2. Identificación de la morfología y morfometría con ayuda de perfiles de Google Earth Pro.

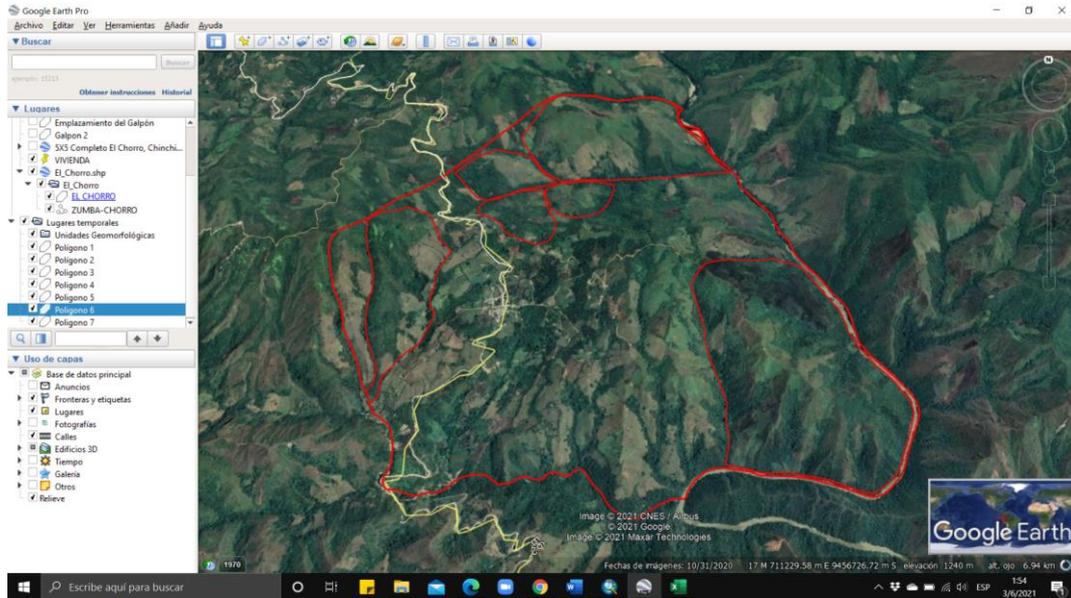


Análisis de Peligrosidad a Deslizamientos en la Parroquia El Chorro, Cantón Chinchipe, Provincia de Zamora Chinchipe a Escala 1:10 000



1.3. Trazado de polígonos preliminares en Google Earth Pro 

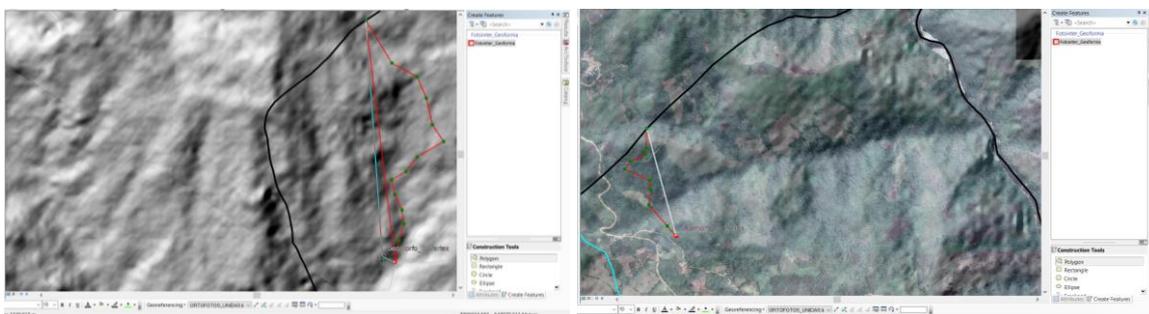
Análisis de Peligrosidad a Deslizamientos en la Parroquia El Chorro, Cantón Chinchipe, Provincia de Zamora Chinchipe a Escala 1:10 000



1.4. Base de datos en Excel de la caracterización morfo-genética, morfocronológica, morfológica, morfométrica y morfodinámica preliminar.

	Nom_Geoforma	U. Genética	F_Cimas	F_Vertiente	F_Valle	Pend_Rango	Pend_Categ	Desnivel Rel	Litología	Formación
1	ATRIBUTOS QUE QUIERO RECONOCER									
2										
4	Poligono 1	Terraza baja	Fluvial							Bato_Rio Mayo
5	Poligono 2	Relieve Montañoso	Tectónico Erosivo	Aguda	Miata	En U	>30%	Media Fuerte >300 m	igneo	Bato_Rio Mayo
6	Poligono 3	Collina	Tectónico Erosivo	Redondeada	Rectilínea	En U	>16%	Media 200-300 m		Bato_Rio Mayo
7	Poligono 4	Collina	Tectónico Erosivo	Redondeada	Rectilínea	En U	>16%	Media 100-200 m		Bato_Rio Mayo
8	Poligono 5	Collina	Tectónico Erosivo	Redondeada	Miata	En U	>16%	Media 100-200 m		Bato_Rio Mayo
9										
10										
11										

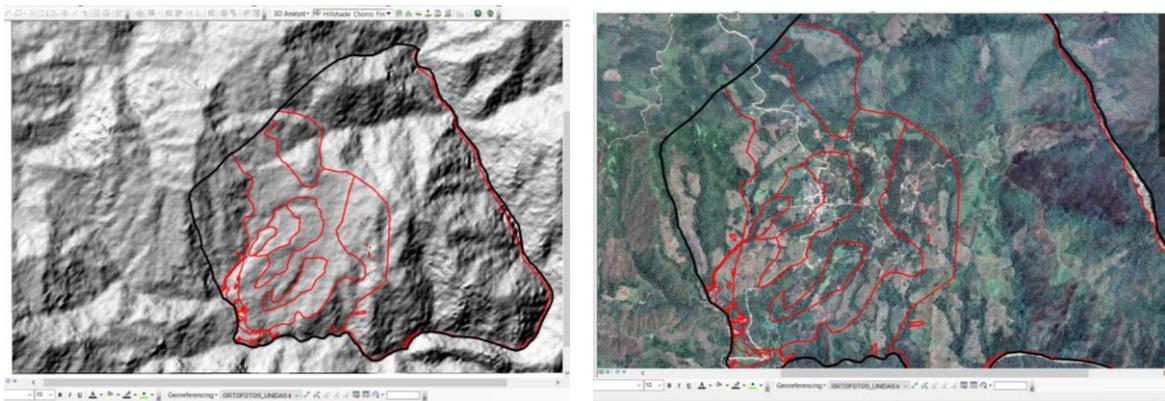
2. En la campaña de campo se validó y se realizó el reconocimiento de la caracterización geomorfológica preliminar.
3. En trabajo de oficina, se realizó el trazado (digitalización) final de las geoformas con su respectiva tabla de atributos.



Análisis de Peligrosidad a Deslizamientos en la Parroquia El Chorro, Cantón Chinchipe, Provincia de Zamora Chinchipe a Escala 1:10 000

FID	Shape *	Nombre Usi	U Genetica	Nom Geof	F Vertient	F Valle	F Clima	Desar. Reli	Pend. prom	Pend. Cata
0	Polygon	RELIEVES SUBANDINOS DEPRESION DE ZUMBA	Tectónico-erosivo	Relieve Colinado Alto	Rectilinea	En V	Redondeada	100 a 200 m	>40 a 70%	Fuente
1	Polygon	RELIEVES SUBANDINOS DEPRESION DE ZUMBA	Tectónico-erosivo	Relieve Colinado Alto	Irregular	En V	Redondeada	100 a 200 m	>40 a 40%	Medio a Fuerte
10	Polygon	RELIEVES SUBANDINOS DEPRESION DE ZUMBA	Tectónico-erosivo	Relieve Colinado Bajo	No aplica	No aplica	No aplica	15 a 25 m	>5 a 15%	Suave
11	Polygon	RELIEVES SUBANDINOS DEPRESION DE ZUMBA	Tectónico-erosivo	Relieve Colinado Medio	No aplica	No aplica	No aplica	25 a 100 m	>12 a 25%	Medio
18	Polygon	RELIEVES SUBANDINOS DEPRESION DE ZUMBA	Tectónico-erosivo	Relieve Colinado Medio	Rectilinea	En V	Redondeada	25 a 100 m	>20 a 40%	Medio a Fuerte
21	Polygon	RELIEVES SUBANDINOS DEPRESION DE ZUMBA	Tectónico-erosivo	Relieve Colinado Medio	No aplica	En V	No aplica	25 a 100 m	>20 a 40%	Medio a Fuerte
22	Polygon	RELIEVES SUBANDINOS DEPRESION DE ZUMBA	Tectónico-erosivo	Relieve Colinado Muy Bajo	No aplica	No aplica	No aplica	5 a 15 m	>2 a 5%	Muy suave
3	Polygon	VERTIENTES ANDINAS DE LA CORDILLERA REAL DE LOS ANDES	Tectónico-erosivo	Relieve Montañoso	Irregular	En V	Apurada	> a 300 m	>30%	Medio a Fuerte
5	Polygon	VERTIENTES ANDINAS DE LA CORDILLERA REAL DE LOS ANDES	Tectónico-erosivo	Relieve Montañoso	Monta	En V	Apurada	> a 300 m	>30%	Medio a Fuerte
6	Polygon	VERTIENTES ANDINAS DE LA CORDILLERA REAL DE LOS ANDES	Tectónico-erosivo	Relieve Montañoso	Monta	En V	Apurada	> a 300 m	>30%	Medio a Fuerte
17	Polygon	VERTIENTES ANDINAS DE LA CORDILLERA REAL DE LOS ANDES	Tectónico-erosivo	Relieve Montañoso	Rectilinea	En V	No aplica	> a 300 m	70 a 100%	Muy Fuerte
20	Polygon	VERTIENTES ANDINAS DE LA CORDILLERA REAL DE LOS ANDES	Tectónico-erosivo	Relieve Montañoso	No aplica	En V	No aplica	> a 300 m	>40 a 70%	Fuente
4	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana
7	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana
8	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana
9	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana
10	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana
11	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana
12	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana
13	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana
14	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana
16	Polygon	No aplica	Plana	Terraza Baja	No aplica	Plano	No aplica	No aplica	0 a 2%	Plana

4. Homogenización (dissolve) de las geformas en relación al nombre de cada una de ellas, cálculo del área y porcentaje.



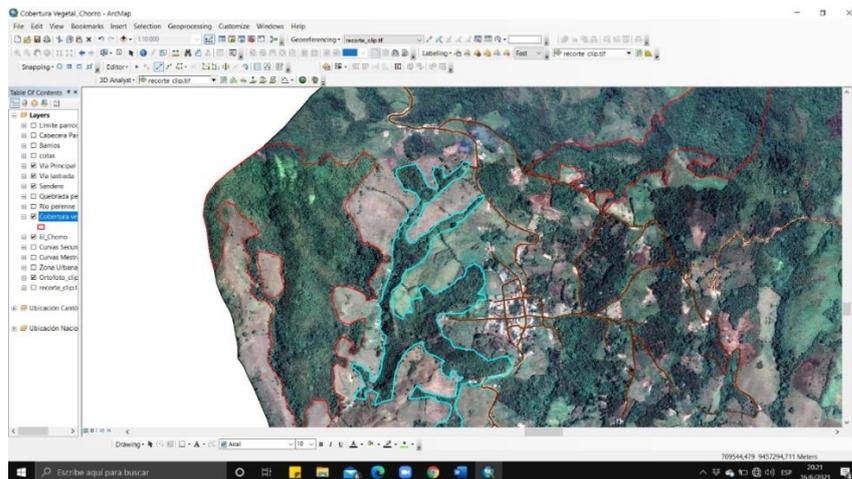
FID	Shape *	ID	Nom Geof	Area	Porcentaje
0	Polygon	2	Relieve Colinado Alto	3.129851	19.71088
1	Polygon	3	Relieve Colinado Medio	3.265838	20.567282
2	Polygon	6	Relieve Montañoso	8.304362	52.298425
3	Polygon	7	Terraza Baja	0.26842	1.690432
4	Polygon	1	Deslizamiento	0.029289	0.184452
5	Polygon	5	Relieve Colinado Muy Bajo	0.201179	1.266968
6	Polygon	4	Relieve Colinado Bajo	0.679861	4.281565

5. Asignación de colores y tramados para la presentación del mapa temático final.

Anexo 3. Metodología para la fotointerpretación del uso actual del suelo

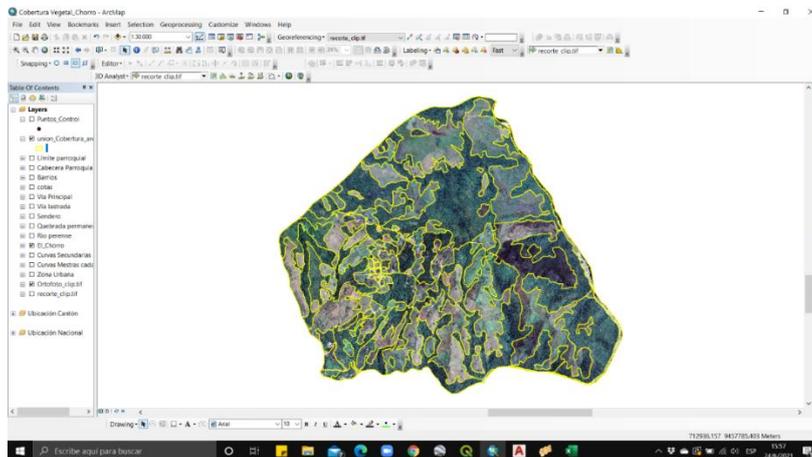
FOTOINTERPRETACIÓN DEL USO ACTUAL DEL SUELO DE LA PARROQUIA EL CHORRO

1. Digitalización manual del uso actual del suelo a partir de la ortofoto, y asignación de atributos a cada polígono generado.



2. Validación en campo del uso del suelo foto interpretado.
3. Generación del mapa temático final.

- 3.1. Unificación de áreas homogéneas de usos del suelo.



- 3.2. Asignación de nomenclatura y cálculo de áreas y porcentajes. Asignación de colores a cada uso del suelo y presentación del mapa temático final.

FID	Shape *	Nivel II	Area Km	Porcentaje
0	Polygon	Area Poblada	0.083477	0.550867
1	Polygon	Bosque Nativo	4.807612	31.725493
2	Polygon	Cultivo	2.754076	18.174182
3	Polygon	Curso de Agua	0.230704	1.522419
4	Polygon	Pastizal	5.324046	35.133444
5	Polygon	Vegetación Arbustiva	1.953868	12.893598

Anexo 4. Fichas de inventario de deslizamientos, versión 1.0

Anexo 5. Fichas de descripción de afloramientos

Anexo 6. Cálculos de intensidad de lluvia

Anexo 7. Mapas temáticos de la parroquia El Chorro

- A. Mapa de Ubicación
- B. Mapa Topográfico
- C. Mapa de Inventario de Deslizamientos
- D. Mapa Geomorfológico
- E. Mapa Geológico
- F. Mapa de Pendientes
- G. Mapa de Uso actual del suelo
- H. Mapa de Intensidad de lluvia
- I. Mapa de Peligrosidad a deslizamientos

Anexo 8. Certificación de traducción al idioma inglés

María Eduarda Ludeña Piedra

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN IDIOMA INGLES

Certifico. -

Que la traducción del documento adjunto por la señorita **Erica Guadalupe Villacís Jiménez** con número de cédula de ciudadanía **1900861533**, cuyo tema de investigación se titula **“Análisis de peligrosidad a deslizamientos en la parroquia El Chorro, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe a escala 1:10000”**, ha sido realizado por mi persona en calidad de licenciada en pedagogía del idioma inglés.

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.



María Eduarda Ludeña Piedra

Licenciada De Inglés

C.I: 1105333825

Número de registro: 1031-2020-2199488

Test Report Form

ACADEMIC

NOTE Admission to undergraduate and post graduate courses should be based on the ACADEMIC Reading and Writing Modules.
GENERAL TRAINING Reading and Writing Modules are **not** designed to test the full range of language skills required for academic purposes.
It is recommended that the candidate's language ability as indicated in this Test Report Form be re-assessed **after two years** from the date of the test.

Centre Number

EC007

Date

16/APR/2021

Candidate Number

000036

Candidate Details

Family Name

LUDENA PIEDRA

First Name

MARIA EDUARDA

Candidate ID

A6778108

UKVI Number

IEL/16042021/EC007/000036



Date of Birth

29/08/1996

Sex (M/F)

F

Scheme Code

Private Candidate

Country or Region of Origin

Country of Nationality

ECUADOR

First Language

SPANISH

Test Results

Listening

7.5

Reading

7.0

Writing

7.0

Speaking

7.0

Overall Band Score

7.0

CEFR Level

C1

Administrator Comments

Empty box for Administrator Comments

Centre stamp



International House
Quito

Validation stamp



Administrator's Signature

Date

22/04/2021

Test Report Form Number

21EC000036LUDM007A