



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

“ECAA”

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

“UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA ESTABLECER ZONAS DE AFECTACIÓN POR AMENAZAS DE DESLIZAMIENTO EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODesarrollo

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

LÍNEA 2. AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD

SUBLÍNEA: 2.2 IMPACTOS AMBIENTALES

AUTOR: SANTIAGO PAÚL VILCA HERNÁNDEZ

ASESOR: Mgs. DIEGO LEOPOLDO MEJÍA ROMO

IBARRA, ENERO – 2018



Ibarra, Enero de 2018
Mgs. Diego Leopoldo Mejía Romo.
ASESOR

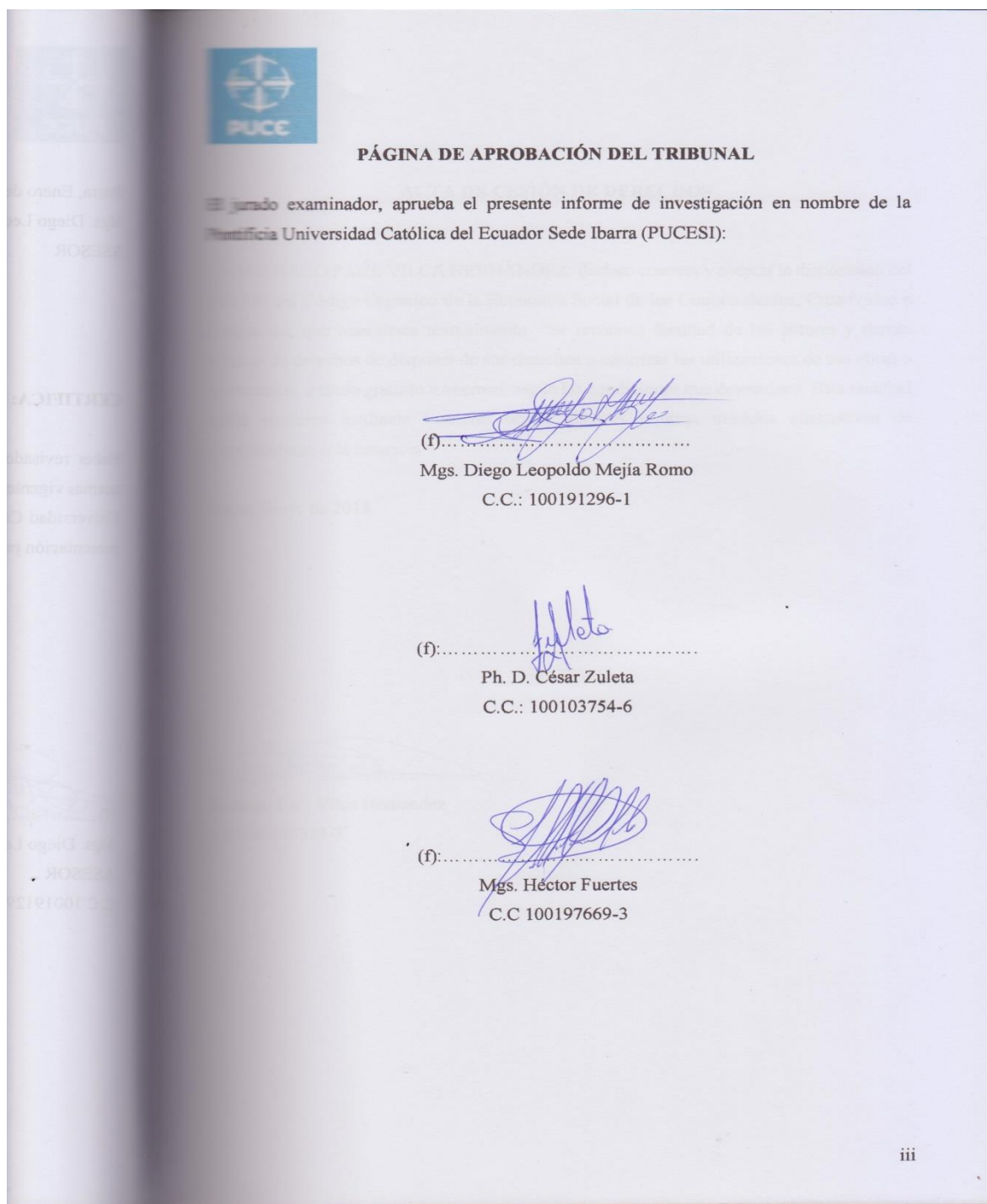
CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCE - SI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....
Mgs. Diego Leopoldo Mejía Romo
ASESOR
C.C 100191296-1



PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL





ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo SANTIAGO PAÚL VILCA HERNÁNDEZ, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: "Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia".

Ibarra, Enero de 2018

f).....

Santiago Paúl Vilca Hernández

C.C:100383358-7



AUTORÍA



AUTORÍA

Yo, SANTIAGO PAÚL VILCA HERNÁNDEZ portador de la cédula de ciudadanía N°1003833587, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

f).....

Santiago Paúl Vilca Hernández

C.C.: 100383358-7



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN



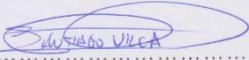
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: SANTIAGO PAÚL VILCA HERNÁNDEZ con CC: 100383358-7, autor del trabajo de grado intitolado: "Utilización de un sistema de información geográfica para establecer zonas de afectación por amenaza de deslizamiento en el cantón Antonio Ante", previo a la obtención del título profesional de Ingeniero en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, (19, ENERO, 2018)

(f.) 

Santiago Paúl Vilca Hernández
C.C. 100383358-7



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado a mi familia, en especial a mis padres por brindarme todo el apoyo durante esta etapa universitaria y no dejarme desfallecer en ningún momento.

A mis hermanos por brindarme su apoyo y ser la motivación de culminar esta larga etapa universitaria.

A mis tíos por apoyarme día a día en la culminación de esta meta darme el incentivo diario para poder cumplir mis metas.



AGRADECIMIENTO

El siguiente trabajo de tesis está dedicado especialmente a mis padres y tíos que gracias a sus esfuerzos he logrado terminar mis estudios universitarios, a todas las personas cercanas y compañeros de clases que han sido fundamentales para cumplir con esta meta

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DE ASESOR.....	II
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	III
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	IV
AUTORÍA.....	V
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN	VI
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
1 RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	1
2 ABSTRACT.....	2
3 INTRODUCCIÓN	3
3.1 OBJETIVOS	6
3.1.1 Objetivo general.....	6
3.1.2 Objetivos específicos	6
4. ESTADO DEL ARTE.....	7
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	7
4.2 CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS.....	7
4.2.1 Geología.....	7
4.2.2 Tipo de suelo.....	8
4.2.3 Zona de vida.....	9
4.2.4 Uso del suelo.....	10
4.2.5 Uso potencial del suelo	10
4.2.6 Cobertura vegetal	10
4.2.7 Clima.....	14
4.2.8 Microcuencas	15
4.3 CONCEPTO DE AMENAZA DESASTRE, RIESGO Y VULNERABILIDAD	15
4.3.1 Amenaza	15
4.3.2 Desastre.....	15

4.3.3 Riesgo	16
4.3.4 Vulnerabilidad	16
4.4 AMENAZAS NATURALES	17
4.4.1 Tipos de amenazas naturales:	17
4.4.2 Amenazas de características geológicas	18
4.4.2.1 Sismos o terremotos.....	18
4.4.2.2 Erupciones Volcánicas.....	19
4.5 DESLIZAMIENTOS	20
4.5.1 Tipos de deslizamiento	21
- Vuelcos:	22
- Deslizamiento rotacional:	22
- Deslizamiento traslacional:.....	23
- Expansiones laterales:.....	23
- Flujos:	24
4.5.2 Factores que producen deslizamientos	24
4.5.3 Factores condicionales	25
- Topografía:.....	25
- Geología:.....	25
4.5.4 Factores activadores.....	25
- Precipitación:	25
- Sismicidad:.....	26
4.5.5 Tasa de movimiento en los movimientos de masa	26
4.5.6 Peligro de deslizamiento.....	27
4.5.7 Impactos de los deslizamientos.....	28
4.5.8 Pérdidas Económicas debidas a los Deslizamientos:.....	28
4.6 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	29
4.6.1 Medidas estructurales	29
4.6.2 Medidas no estructurales	29
4.7 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	30
4.7.1 Componentes de un SIG	31
4.7.2 Estructuras de datos de los sistemas de información geográfica.....	31
4.7.2.1 Modelo integrado y modelo híbrido	32

4.7.2.2	Forma de organización de las bases de datos espaciales.	32
4.8	APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LA EVALUACIÓN DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGO.....	32
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
5.1	EQUIPOS.....	35
5.1.1	Ubicación del laboratorio.....	35
5.2	MÉTODO.....	37
5.2.1	Levantamiento de información fase de pre-campo.....	37
5.2.2	Fase de campo.....	37
5.2.3	Fase de post-campo.....	38
5.3	INSTRUMENTOS.....	39
5.3.1	Mapas temáticos	39
5.3.2	Método heurístico	39
5.3.3	Método Mora Vahrson.....	40
5.4	PROCEDIMIENTO	42
5.4.1	Valoración a variables	43
5.4.1.1	Factor pendiente.....	43
5.4.1.2	Factor formaciones geológicas	47
5.4.1.3	Factor cobertura vegetal o cobertura del suelo	49
5.4.1.4	Factor disparo por lluvia (precipitación)	53
5.4.2	Diseño en sistema de información geográfica (modelo de geoprocesamiento)..	55
6.	RESULTADOS	57
6.1	CARTOGRAFÍA TEMÁTICA.....	57
6.1.1	Pendiente.....	57
6.1.2	Geología.....	59
6.1.3	Litología.....	61
6.1.4	Tipo de permeabilidad	65
6.1.5	Permeabilidad	67
6.1.6	Suelos.....	70
6.1.7	Isoyetas	73
6.1.8	Clima.....	75

6.1.9 Cobertura vegetal.....	77
6.2 DESLIZAMIENTOS	81
6.3 PROPUESTA PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA.....	91
6.3.1 PREVENCIÓN	92
6.3.2 MITIGACIÓN	93
6.3.2.1 Propuesta para el primer bloque	93
6.3.2.2 Propuesta del segundo bloque.....	103
7. DISCUSIÓN	106
8. CONCLUSIONES	107
9. RECOMENDACIONES	109
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	110
11. ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa tipo de cobertura vegetal.....	11
Figura 2. Mapa de cobertura del páramo.....	11
Figura 3. Mapa de zona urbana.....	12
Figura 4. Mapa de cultivos de ciclo corto.....	12
Figura 5. Mapa de cultivos de caña de azúcar.....	13
Figura 6. Mapa de pasto natural.....	13
Figura 7. Cultivos de maíz.....	14
Figura 8. Escala medición sismos.....	19
Figura 9. Mecanismos de desprendimiento o caída.....	21
Figura 10. Volcamiento.....	22
Figura 11. Tipo de deslizamiento rotacional.....	22
Figura 12. Deslizamiento translacional.....	23
Figura 13. Expansiones laterales, arriba: por afluencia y extrusión del material subyacente, abajo: por licuefacción.....	24
Figura 14. Proceso de flujo.....	24
Figura 15. Mapa de zona de estudio.....	36
Figura 16. Condiciones tomadas para establecer las zonas vulnerables a deslizamientos....	43
Figura 17. Diagrama de elaboración del mapa de susceptibilidad a deslizamientos.....	56
Figura 18. Mapa de pendiente.....	58
Figura 19. Mapa de formaciones geológicas.....	60
Figura 20. Mapa de litología de la zona de estudio.....	64
Figura 21. Tipo de permeabilidad de la zona de estudio.....	66
Figura 22. Mapa de permeabilidad de la zona de estudio.....	69
Figura 23. Mapa tipo de suelo de la zona de estudio.....	72
Figura 24. Mapa de isoyetas de la zona de estudio.....	74
Figura 25. Mapa de tipos climáticos de la zona de estudio.....	76
Figura 26. Mapa de cobertura vegetal de la zona de estudio.....	80
Figura 27. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos.....	83
Figura 28. Primer bloque deslizamientos.....	84
Figura 29. Vías de afectación primer bloque.....	86

Figura 30. Vías de afectación primer bloque	87
Figura 31. Vías de afectación primer bloque	88
Figura 32. Segundo bloque deslizamientos.....	89
Figura 33. Vías de afectación segundo bloque.....	90
Figura 34. Tercer bloque deslizamientos.....	91
Figura 35. Conformación de la berma por corte de material externo del talud.....	94
Figura 36. Esquema de escalonamiento de talud.....	97
Figura 37. Esquema de una barrera viva.....	98
Figura 38. Esquema barrera viva.....	99
Figura 39. Contracuneta en base de un talud.....	101
Figura 40. Tramo a ser intervenido.....	102
Figura 41. Esquema de contracuneta.....	102
Figura 42. Cuneta triangular.....	103
Figura 43. Dimensiones de cuneta para la propuesta.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Amenazas por territorio.....	4
Tabla 2. Escala de velocidades para movimientos de masa.....	26
Tabla 3. Importancia destructiva probable.....	27
Tabla 4. Ubicación.....	35
Tabla 5. Categorización pendiente.....	44
Tabla 6. Ponderación a la pendiente.....	45
Tabla 7. Categorización de longitud de vertientes.....	45
Tabla 8. Ponderación factor longitud de vertiente.....	46
Tabla 9. Ponderación del factor morfométrico.....	46
Tabla 10. Categorización factor litología.....	48
Tabla 11. Ponderación del factor litología.....	49
Tabla 12. Ponderación al factor permeabilidad.....	49
Tabla 13. Calificación del factor cobertura vegetal o cobertura del suelo.....	51
Tabla 14. Ponderación del factor cobertura vegetal.....	52
Tabla 15. Categorización por el factor disparo de precipitaciones.....	53
Tabla 16. Jerarquización de factores condicionantes y detonantes a deslizamientos (análisis multicriterio).....	54
Tabla 17. Tabla niveles de susceptibilidad a deslizamientos de tierra.....	55
Tabla 18. Datos de las pendientes presentes en la zona de estudio.....	57
Tabla 19. Datos de litología del área de estudio.....	61
Tabla 20. Datos de tipo de permeabilidad de la zona de estudio.....	65
Tabla 21. Datos de permeabilidad del área de estudio.....	67
Tabla 22. Datos del tipo de suelo presente en la zona de estudio.....	71
Tabla 23. Datos de precipitación de la zona de estudio.....	73
Tabla 24. Datos de climas presentes en la zona de estudio.....	75
Tabla 25. Datos del uso de suelo en la zona de estudio.....	77
Tabla 26. Datos de la cobertura vegetal presente en la zona de estudio.....	79
Tabla 27. Tipos de peligros de deslizamientos en la zona de estudio.....	81
Tabla 28. Tramos para escalonamiento de talud.....	96
Tabla 29. Tramos para barrera.....	100

Tabla 30. Información de la vía.....	102
Tabla 31. Tramos para cuneta.....	104
Tabla 32. Dimensiones para cuneta.....	104

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de zona de estudio.....	119
Anexo 2. Mapa de inventario de deslizamientos	120
Anexo 3. Tabla de coordenadas de inventario a deslizamiento	121
Anexo 4. Model Builder	121
Anexo 5. Fotografías.....	122
Anexo 6. Datos para la elaboración de mapas	125
Anexo 7. Oficio de petición de información al GAD de Antonio Ante	126
Anexo 8. Socialización del proyecto	127
Anexo 9. Oficio enviado para la socialización	128
Anexo 10. Encuesta de socialización.....	129
Anexo 11. Listado de personas asistentes a la socialización	130
Anexo 12. Resultados de las encuestas de socialización.	131

1 RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El cantón Antonio Ante tiene una extensión de 70.4328 km² al estar ubicada en la región Sierra del Ecuador presenta irregulares pendientes y una morfología de igual manera lo que ha ocasionado en anterioridad movimientos de masas afectando a vías.

La información proporcionada por diferentes entidades ayudo a la generación del mapa de riesgo de susceptibilidad a deslizamientos para establecer las zonas que son propensas a estos fenómenos, para esto se aplicó la metodología de Mora Vahrson en donde se eligieron cinco factores, cuatro de estos condicionantes que fueron la pendiente, litología, permeabilidad, cobertura vegetal y un factor detonante que es la precipitación. Se elaboraron los diferentes mapas temáticos para tener las variables y poder dar una ponderación a los factores, en esta etapa se utilizó como herramienta el programa informático ArcGIS 10.3.1. En este proceso, la herramienta principalmente utilizada dentro el software fue el “Raster to Calculator”, una vez transformados todos los factores al formato raster; para poder ponderar a estos factores se basó en un análisis multicriterio con diferentes especialistas en temas de Sistemas de información geográfica, geología y movimientos de masa donde según su criterio y estudio de la zona, se estableció un peso o una ponderación a cada factor que fueron valorados del 1 al 5. Se obtuvo como resultado tres niveles diferentes de amenaza que son: muy bajo o nulo, bajo y el nivel moderado o medio que representa el 64.18%, 26.95% y el 8.87% respectivamente de la zona de estudio.

Con estos resultados se procedió a establecer una propuesta para la prevención y mitigación de los movimientos de tierra dentro de la zona de estudio enfocados a disminuir los daños que pueden generar a las vías y la infraestructura con sistemas de drenaje y modificación de taludes, ya que los asentamientos humanos no se encuentran en riesgo de sufrir algún tipo de desastre ocasionado por deslizamientos.

Palabras claves: Susceptibilidad, ArcGIS, Mapa Temático, Mitigación.

2 ABSTRACT

The Antonio Ante canton has an extension of 70.4328 km², since it is located in the highland region of Ecuador it presents irregular slopes and equal morphology which has led to a mass movement affecting the roads.

The information provided by different entities helped to generate the risk map of susceptibility to landslides and to establish the areas that are prone to these phenomena. For this the Mora Vahrson methodology was applied where five factors were chosen; four of these conditioning factors were the slope, lithology, permeability, vegetation coverage and a trigger factor that is precipitation.

In addition, the different thematic maps were developed to have the variables and to be able to give a weighting to the factors, at this stage the ArcGIS 10.3.1 computer program was used as a tool. In this process, the tool mainly used within the software was the "Raster to Calculator". Once all the factors were transformed to the raster format; in order to weigh them, it was based on a multiple-criteria analysis with different specialists in Geographic Information Systems, geology and mass movements. Where, according to their criteria and area of study, a weight was established for each factor that were valued from 1 to 5.

As a result, three different levels of threats were obtained which are: very low or non-existent, low and moderate or medium level that represents 64.18%, 26.95% and 8.87% respectively to the study area.

Therefore, with the results, a proposal to the prevention and mitigation of the landslides inside the study area was established, which is focused to reduce the roads and infrastructure damage, using drainage system and slope modification, since human settlements are not at risk of suffering no kind of disaster caused by the landslides.

Key words: Susceptibility, ArcGIS, Thematic Map, Mitigation.

3 INTRODUCCIÓN

El Ecuador está considerado entre uno de los países de mayor biodiversidad, fertilidad de suelos y dotación de recursos naturales, sin embargo contrasta con este enorme potencial de desarrollo, el hecho de ser uno de los países de la región con mayor probabilidad de ocurrencia de desastres naturales, tanto por el incremento de las condiciones de vulnerabilidad (inadecuado uso del suelo, densidad poblacional, incremento de la frontera agrícola) como por la cada vez más frecuente, manifestación de fenómenos intensos de origen geológico-geomorfológico (sismos, erupciones volcánicas, y deslaves o deslizamientos) e hidrometeorológicos locales y regionales como lluvias intensas y prolongadas que llegan a originar con frecuencia inundaciones y fenómenos extremos como “El Niño” (SENPLADES, Plan nacional para el buen vivir., 2009)

Las amenazas naturales, forman parte de nuestros sistemas naturales, pero pueden ser considerados como recursos adversos. Los eventos naturales llegan a formar parte de los “problemas del medio ambiente” que son los que atraen la atención pública, alteran en gran proporción los ecosistemas e intensifican el grado su degradación, reflejan el daño causado por el ser humano a su medio ambiente y pueden afectar a grandes grupos humanos (Ante, GAD Antonio Ante información., 2008).

Nuestro país debido a sus condiciones geomorfológicas y a la actividad humana es propenso a la ocurrencia de varios fenómenos de remoción en masa como avalanchas de lodo, deslizamientos, y erosión cuando se producen lluvias intensas. La distribución sin muchos estudios de la tierra hace que la población opte por concentrar sus edificaciones en zonas marginales de muy alto riesgo lo que aumenta el grado de vulnerabilidad, En época de lluvias se produce una erosión intensa y progresiva del suelo desprotegido, acarreo de material sólido, desprendimientos y deslizamientos locales con el aumento de la escorrentía superficial que no logra ser evacuada por los colectores que reemplazan las quebradas aguas abajo, que trabajan a presión hidráulica. A esto se agregan la deforestación, todos los desperdicios, escombros debido a las construcciones por la ocupación ilegal del área de protección ecológica que impiden la infiltración del agua lo que hace que el riesgo de flujos de lodo, inundaciones, colapso de colectores hundimientos sea inminente (Salazar, 2016).

A nivel nacional, el 35% de la población se asienta en zonas amenazadas por inundaciones, deslizamientos, flujos de lodo y escombros. Y el 30% de las poblaciones de la Costa y la Amazonía, así como el 15% de la superficie nacional, están sujetos a inundaciones periódicas, indica el informe de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático del Ministerio del Ambiente y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014).

Tabla 1. Amenazas por territorio

Provincias	Inundación	Deslizamientos	Sequía
Azuay	X	X	
Bolívar	X	X	X
Cañar	X	X	
Carchi		X	
Cotopaxi		X	X
Chimborazo		X	X
Imbabura		X	
Loja	X	X	
Pichincha		X	
Santo Domingo	X	X	
Tungurahua		X	X
Morona Santiago	X	X	
Napo		X	
Pastaza	X	X	
Zamora Chinchipe	X	X	
Sucumbíos	X		
Orellana	X	X	
El oro	X	X	
Esmeraldas	X		
Guayas	X		X
Los Ríos	X		
Manabí	X	X	X
Santa Elena	X		
Galápagos.			

Fuente: (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014)

Se han venido elaborando estudios sobre el deslizamiento de masas en todo el Ecuador por parte del Instituto Espacial Ecuatoriano y la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, que es la entidad gubernamental que entre sus funciones está la gestión de riesgos en Ecuador, da inicio a los estudios de peligro, susceptibilidad, vulnerabilidad, entre otros; que serán un elemento importante para estudios que puedan realizarse de Planificación y Ordenamiento Territorial. (SENPLADES, 2014)

La integración de los Sistemas de Información Geográfica y la teledetección, es muy útil para crear inventarios de deslizamientos y atributos relacionados con los planes de evacuación para amenaza por deslizamientos y la elaboración de mapas de la susceptibilidad de los mismos. Los mapas de susceptibilidad a deslizamientos se pueden usar como una herramienta para identificar las zonas de terrenos que no son favorables para el desarrollo de viviendas o edificaciones. (Salazar, 2016).

En el territorio a realizarse la investigación con una extensión de 79km² del área total del Cantón Antonio Ante, los fenómenos de inestabilidad o deslizamiento de terrenos tienen como base diferentes rangos de amenaza en el Cantón, se manejan tres grados medio, bajo y nulo. Por lo tanto, se ha planteado la necesidad de inventariar en el cantón zonas con afección de fenómenos de inestabilidad de terrenos, la población asentada en las zonas, estado socio-económico de la población, geología de la zona, drenaje superficial y subterráneo del sector (Ante, GAD Antonio Ante información., 2008).

La presente investigación está encaminada a la identificación de zonas vulnerables a deslizamientos en el cantón Antonio Ante así como a la contribución con mapas temáticos para la obtención de datos que sirven para generar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos ,este trabajo está destinado para ayudar a las diferentes entidades pertinentes en la toma de decisiones como evacuaciones de los habitantes en las zonas vulnerables a deslizamientos así como también en la reducción de daños en vías y poder disminuir los posibles efectos dañinos de los movimientos de masas dentro del área de estudio además de tener una base de datos actualizada para contribuir a futuros estudios del departamento de planificación territorial y ordenamiento territorial así como gestión ambiental.

3.1 OBJETIVOS

3.1.1 Objetivo general

Aplicar un Sistema de Información Geográfica (SIG) para identificar zonas de Riesgo Naturales y Antrópicas potencialmente vulnerables a deslizamientos de tierra en el Cantón Antonio Ante Provincia de Imbabura.

3.1.2 Objetivos específicos

1. Identificar áreas vulnerables a deslizamientos de tierra, así como los factores incidentes que causen deslizamientos de tierra y dar una categoría.
2. Elaborar cartografía temática (Escala. 1:90 000) de distribución espacial con el uso de herramientas SIG para identificar las zonas de afectación territorial y de infraestructura en el cantón Antonio Ante.
3. Proponer zonas seguras mediante mapas para evacuación de la población potencialmente afectada por deslizamientos de tierra.
4. Socializar los resultados de la investigación a las entidades relacionadas con la gestión de riesgos.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio es el cantón Antonio Ante, en el ámbito geográfico se localiza en la Sierra ecuatoriana, es uno de los seis cantones que integran la provincia de Imbabura, está ubicado en el centro de la misma, exactamente al noroeste, a 9 km de la capital Ibarra, a 94 km de Quito capital del Ecuador y a 178.70km de la frontera colombiana, se encuentra a una altitud de 2.360 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Las condiciones atmosféricas se encuentran en los parámetros aceptables, en el cantón se registra la presencia de un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo y la temperatura promedio es de 15,5 ° C, está ubicada entre las coordenadas geográficas Latitud: 0°21'06" Norte, Longitud: 78°07'20" Oeste (Ante, GAD Antonio Ante información., 2008).

En el ámbito geográfico el cantón Antonio Ante tiene una extensión de 79 km² y una densidad poblacional de 456,36 habitantes/km² por lo que es el cantón más pequeño y céntrico de la provincia de Imbabura, se distribuye en un área geográfica muy irregular por la presencia de colinas y montañas que dan origen a un valle longitudinal.

En la actualidad el cantón Antonio Ante, está conformado por seis parroquias de las cuales dos son parroquias urbanas: Andrade Marín y Atuntaqui; y cuatro rurales: Imbaya, Natabuela, Chaltura y San Roque. (PDOT Antonio Ante, 2011)

4.2 CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS

4.2.1 Geología

Según el PDOT Antonio Ante (2015), en el Callejón Interandino existen estratovolcanes simples y complejos volcánicos que han sufrido erosión glacial y erosión de corrientes de agua dejando remanentes de sus conos y sus calderas. Está formado por dos edificios volcánicos (Taita Imbabura, Huarmi Imbabura) y sus respectivos depósitos distales (depósitos de avalanchas y flujos piroclásticos). El relieve volcánico más representativo es el Volcán Imbabura ubicado en el centro del complejo volcánico y constituido por remanentes glaciares de domos, intrusiones y brechas de domos compuestas principalmente por andesitas básicas y silíceas (ver figura 19). El flanco norte se encuentra constituido por lomas erosionadas conformadas por lavas masivas y brechas de lavas de carácter andesítico

que buzan al norte. En el flanco oeste se destacan las lomas Sanciloma que están conformadas por lavas masivas de composición andesítica que buzan al Sur Oeste.

Debajo de los 2 800 m.s.n.m., en las laderas inferiores del complejo volcánico Imbabura se encuentran los depósitos de las avalanchas y flujos piroclásticos. Presentan una morfología suavizada, a medida que avanza hacia la zona de Atuntaqui, Chaltura, formando una gran llanura de depósitos volcánicos. Los lineamientos del río Ambi cortan al lineamiento del Tahuando, que se interpreta como un contacto litológico posiblemente fallado que separa los materiales volcánicos Angochahua de los productos volcánicos del Cubilche e Imbabura. Las avalanchas de escombros del Volcán Cubilche hicieron que el material del Imbabura se deposite en el valle de río Tahuando hasta el río Ambi.

4.2.2 Tipo de suelo

Los suelos característicos en el cantón Antonio Ante (ver figura 23) corresponden a los Inceptisoles que son suelos que no cumplen con requisitos para ubicarse en alguno de los otros órdenes, presentan mayor desarrollo pedogenético que los entisoles pero no tiene suficiente desarrollo para pertenecer a otro orden lo que refleja una inmadurez pedológica. (IEE, 2017)

A pesar de la presencia de texturas francas que favorece un buen drenaje, se observan manchas de color pardo amarillento en la zona profunda de algunos perfiles debido probablemente a la cercanía de un pequeño cauce fluvial, sin embargo no se observa coloraciones grises en la matriz del suelo ni otros indicadores de encharcamiento permanente (PDOT Antonio Ante, 2015, pág. 19).

Los suelos Inceptisoles con el 77.14% que predominan en las parroquias de Atuntaqui, San Luis de Imbaya, San Francisco de Natabuela con 54.3289 km², seguido por los suelos Molisoles corresponden al 4.52% en las parroquias Andrade Marín, San Francisco de Natabuela y San Roque con 3.1815 km², los entisoles corresponden al 0.48% con 0.3356 km² y los suelos sin definir el 17.86% que está en la zona este de la parroquia de San Luis de Imbaya con 12.5867 km² (SIGAPRO, s.f).

4.2.3 Zona de vida

El área de estudio según la clasificación de Holdridge (1977), tiene cuatro zonas de vida:

Donde predomina el bosque seco Montano Bajo (bs-MB) que corresponde a llanuras y barrancos que se caracteriza por la presencia de espinos y guarangos, comprende más del 50% de la superficie del cantón está caracterizada por una temperatura que oscila entre los 15y 16°C, y una precipitación media anual entre los 500 y 750mm. (García, Parra, & Mena, 2014)

El bosque húmedo montano bajo se encuentra en las estribaciones de la cordillera central, las condiciones que se encuentran aquí son favorables para la vida humana y animal, las precipitaciones son intensas entre los meses de abril hasta noviembre la cantidad de lluvia varía entre los 900 a 1800mm anualmente. Se encuentra en un rango altitudinal de los 800 a los 2.200 metros sobre el nivel del mar, La vegetación primaria está constituida en su mayoría de pino, las especies nativas poseen un alto índice de regeneración por la humedad de los suelos (Marcano, Zonas de vida., 2009).

Para Holdridge (1977), las zonas de vida corresponden a las siguientes características

- El bosque seco montano bajo se desarrolla en lugares escarpados y con colinas entre 2.000 y 3.000 m con variaciones micro climáticas de acuerdo a los pisos altitudinales de las cordilleras. A estas altitudes la neblina provoca precipitaciones horizontales incluso durante la estación seca, por ello más del 50% de los elementos florísticos puede mantener su follaje representa el 21% la vegetación primaria de esta formación ha sido alterada completamente. En la actualidad se observan pocas asociaciones de árboles y muchas áreas de cultivos de subsistencia comprende 63.0987 km².
- El bosque muy húmedo montano está caracterizado por las escarchas temporales y tener una mayor precipitación que el bosque húmedo montano bajo, la cantidad de lluvia puede pasar el 2.000 mm total anual. La topografía de este tipo de zona de vida es accidentada varía entre los 850 a 2.100 msnm, la vegetación natural está constituida por especies arbóreas.

- El páramo pluvial sub alpino se localiza entre los 3.880 a 4.200 metros sobre el nivel del mar y sus precipitaciones oscilan entre los 1.500 mm de promedio anual, la composición florística está caracterizada por los pajonales, también es posible encontrar plantas como carrizo enano del género chusquea.

4.2.4 Uso del suelo

El análisis multitemporal del uso del suelo realizado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Antonio Ante determinó el grado de intervención que tiene el ser humano sobre el recurso natural en función de su aprovechamiento para suplir necesidades, principalmente económicas y de asentamiento. Se pudo obtener resultados donde el uso que se da mayormente al suelo es para el sector agrícola con cultivos de maíz, fréjol, aguacate, cebada entre otros donde ocupa una extensión de 37.0533 km², el uso pecuario es otro de los más importantes ocupa una extensión de 12.4120 km² donde también se incluyen los cultivos de alfalfa y avena forrajera; el uso de suelo que se da para la protección y conservación en el cantón es de 7.7875 km²; el casco urbano, los centros poblados y la cantera ocupan un territorio de 6.4703 km² (CELAEP, 2014).

4.2.5 Uso potencial del suelo

De acuerdo al atlas cartográfico (PDOT Antonio Ante, 2015, pág. 25), el uso potencial de la zona de estudio se distribuye en siete clases diferentes siendo las más importantes la clase II que posee 18.4211 km² donde su uso es para cultivos anuales con algunas medidas de control para la protección del suelo, la categoría IV que posee 18.2795 km² son suelos arables aptos para la producción de cultivos permanentes o semipermanentes, la categoría V con 11.3001 km² son suelos no arables donde su uso potencial es para la ganadería, la categoría VII con 14.8404 km² son suelos no arables sin ningún uso directo del suelo de tal modo que solo se pueden dedicar a la protección de los recursos naturales.

4.2.6 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal presente en el cantón Antonio Ante se la ubica en cuatro categorías; la categoría que tiene un mayor porcentaje es la de agropecuario con el 91.63% del total de la extensión del cantón, las áreas de vegetación arbustiva y herbácea ocupan el

4.37% seguida de la cobertura antrópica con una extensión de 3.78% y en menor proporción se tiene a la cobertura erial con 0.21% (MAGAP, 2013).

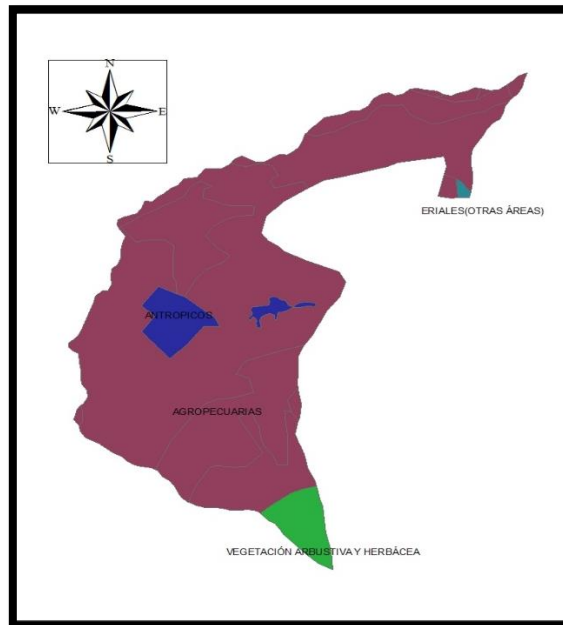


Figura 1. Mapa tipo de cobertura vegetal

Fuente y elaboración: el Autor

La descripción referente a la cobertura páramo cuenta con una extensión de 2.6641 km² ubicada en la parte baja de San Roque, Atuntaqui y San José de Chaltura

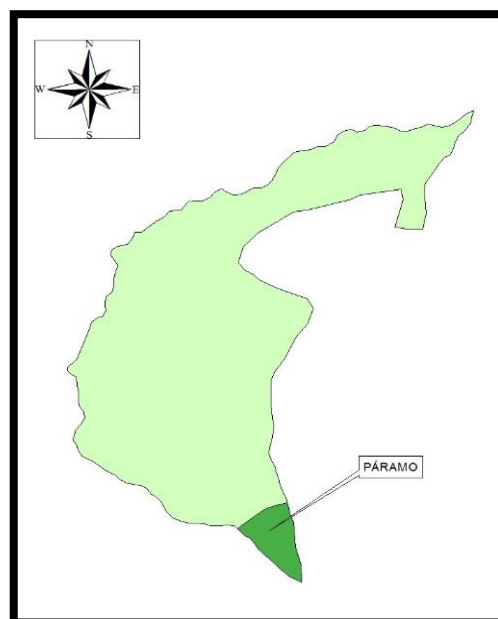


Figura 2. Mapa de cobertura del páramo

Fuente y elaboración: El autor

La descripción que se tiene de la zona urbana dentro del cantón es predominante en las parroquias de Atuntaqui y San José de Chaltura con 3.0812 km² de la superficie total de terreno.

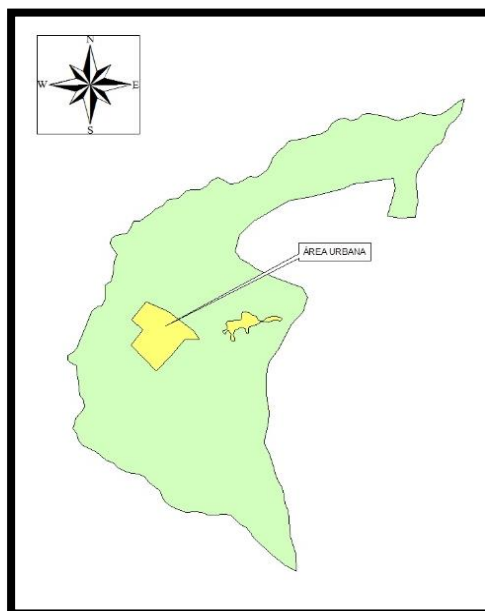


Figura 3. Mapa de zona urbana
Fuente y elaboración: el Autor

Los cultivos de ciclo corto ocupan un gran porcentaje de la extensión del área de estudio con 27.7504 km², estos cultivos están enfocados en el fréjol, avena, cebada; además de algunas hortalizas como: apio, col, papanabo, remolacha, lechuga, haba.

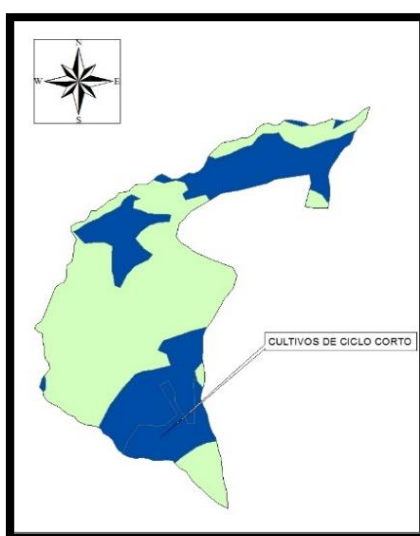


Figura 4. Mapa de cultivos de ciclo corto.
Fuente y elaboración: El autor

Los cultivos de caña de azúcar ocupan una menor extensión con relación a otro tipo de cultivos, éste cultivo se encuentra en la zona de Imbaya con una extensión de 0.7723 km² dentro del cantón.

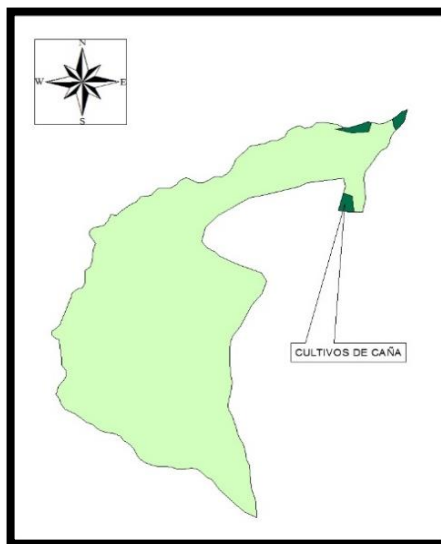


Figura 5. Mapa de cultivos de caña de azúcar
Fuente y elaboración: El autor

El pasto natural también se encuentra en un pequeño porcentaje del territorio del cantón ocupa 2.7865 km² en la parroquia de Imbaya.

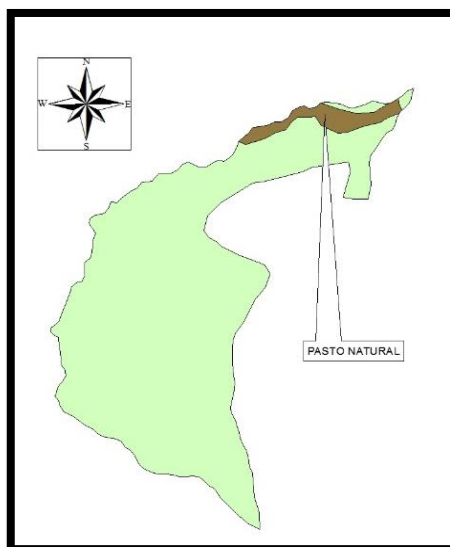


Figura 6. Mapa de pasto natural
Fuente y elaboración: El autor

Un gran porcentaje del territorio del cantón se lo ocupa para el cultivo de maíz, éste cultivo se encuentra en la mayoría de parroquias, a excepción de Imbaya, el cultivo de maíz se lo realiza en 33.2293 km²del área de estudio.

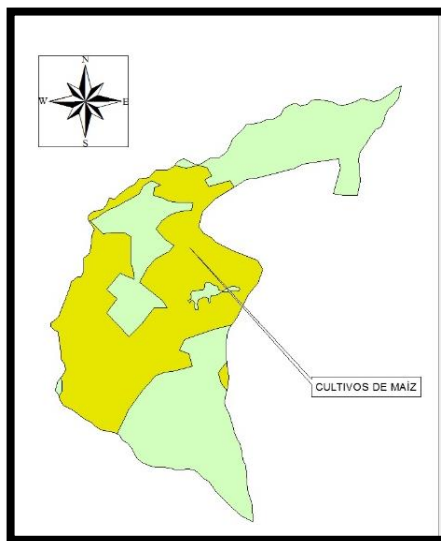


Figura 7. Cultivos de maíz
Fuente y elaboración: El autor

4.2.7 Clima

De acuerdo a la clasificación de Pourrut (1983), el cantón Antonio Ante se encuentra ubicado en dos climas el clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo y el ecuatorial mesotérmico seco; el clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo es el clima más característico de la zona interandina situado por encima de los 3.200 m.s.n.m., ocupa la mayor extensión. Las temperaturas medias anuales están comprendidas generalmente entre 12 y 20° C pero pueden en ocasiones ser inferiores en las vertientes menos expuestas al sol; las temperaturas mínimas descienden rara vez a menos de 0° C y las máximas no superan los 30° C. Variando en función de la altura y de la exposición, la humedad relativa tiene valores comprendidos entre el 65 y el 85 % y la duración de la insolación puede ir de 1.000 a 2.000 horas anuales. Las precipitaciones anuales fluctúan entre 500 y 2.000 mm y están repartidas en dos estaciones lluviosas, de febrero a mayo y en octubre-noviembre. La estación seca principal, de junio a septiembre, es generalmente muy marcada; en cuanto a la segunda, su duración y localización en el tiempo son mucho más aleatorias

El clima ecuatorial mesotérmico está asociado a los valles interandinos abrigados y de menor altura. Las temperaturas medias anuales fluctúan entre 12 y 20° C con muy poca

diferencia entre los meses de verano e invierno. Las lluvias anuales son inferiores a 500 mm y, en las mismas épocas que el clima descrito anteriormente, presentan dos picos pluviométricos separados por dos estaciones secas. En estas cubetas bajas, la acumulación de aire relativamente frío y consecuentemente más denso contribuye a crear condiciones climáticas bastante estables: el cielo es generalmente poco nuboso, la humedad relativa está comprendida entre el 50 y el 80 % y la insolación siempre supera las 1.500 horas por año (INAMHI, 2015).

4.2.8 Microcuencas

Según PRODERENA (2001), los dos micros cuencas presentes en el cantón son el río Ambi y el río Tahuando que desembocan en la cuenca del río Mira.

La subcuenca del río Ambi pertenece al sistema hidrográfico del río Mira, de la vertiente del Pacífico, está ubicada en la Provincia de Imbabura, constituido a su vez por nueve micro cuencas, cubre una superficie de 1111.91km². La red de drenaje posee un carácter regular, por lo que la mayor parte de las características ambientales son comunes en las micro cuencas.

La microcuenca del río Ambi posee una extensión de 75.92 km².

4.3 CONCEPTO DE AMENAZA DESASTRE, RIESGO Y VULNERABILIDAD

4.3.1 Amenaza

Cardona (1993), define la amenaza como un peligro o factor de riesgo externo, representado por un peligro que se encuentra latente en asociación con un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o que sea provocado por el hombre, que suele manifestarse en un lugar específico, durante un determinado tiempo de exposición, produciendo efectos negativos en las personas, los bienes y/o medio ambiente.

4.3.2 Desastre

Según Cardona (2002), los desastres no son más que la materialización de unas condiciones de riesgo ya existentes, donde no sólo dependen de la posibilidad que se presenten eventos o fenómenos intensos, sino también de unas condiciones de

vulnerabilidad, que son los agentes que inciden mayormente o facilitan que se produzca el desastre ante la ocurrencia de los fenómenos. Los desastres también son eventos ambientales cuya materialización es el resultado de la construcción social del riesgo, mediante el aumento en unos casos de la vulnerabilidad y en otros casos de las amenazas o de ambas circunstancias simultáneamente.

4.3.3 Riesgo

En la obra de Jean Gallis, “Los Trópicos: tierras de riesgos y de violencias”, se define el riesgo como "una probabilidad amenazante" enfocado desde un ángulo de aproximación esencialmente humano. Así sostiene que el riesgo está cargado de futuro, de un temor respecto del porvenir unido a una cierta tensión humana o a fenómenos naturales que poseen una cierta probabilidad de realizarse. Analizar globalmente el riesgo, es establecer un sistema de observaciones y de conceptos que permiten definir su frecuencia, sus tendencias si no sus leyes, en suma una potencialidad de violencia." (Gallis, 1994, pág. 450).

Se define riesgo como la “probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos, en un lugar específico y durante un tiempo de exposición determinado”. La valoración cualitativa puede hacerse cuantitativa por medición de pérdidas y probabilidad de ocurrencia. Cuando se cuenta con los datos adecuados para realizar un cálculo de probabilidades se puede definir el riesgo. En cambio, cuando no existe posibilidad de calcular probabilidades, sino que solo existe intuición o criterio personal, se está frente a una incertidumbre (Sarmiento & Segura, 2011).

4.3.4 Vulnerabilidad

Según Chardon & Gonzáles (2002), la vulnerabilidad corresponde a la probabilidad de que una comunidad se encuentre expuesta a una amenaza natural, antrópica o tecnológica, según el grado de debilidad de sus elementos: infraestructura, actividades productivas, grado de organización, desarrollo político institucional, sistemas de alerta entre otros, pueda sufrir daños humanos y materiales al momento del impacto del fenómeno. La magnitud de estos daños estará asociado con el grado de vulnerabilidad.

Cardona (1993), considera a la vulnerabilidad como un factor de riesgo interno de un sistema o sujeto expuesto a una amenaza, que es correspondiente a su predisposición

intrínseca a ser afectado o susceptible de sufrir una pérdida. Es la estimación de daño o pérdida de un elemento o grupo de elementos que se encuentran expuestos ante un fenómeno de una magnitud o intensidad, se lo expresa en una escala que varía desde cero, o sin daños, a uno, o pérdida total.

4.4 AMENAZAS NATURALES

Una amenaza natural puede definirse como un proceso geológico o climatológico potencialmente dañino para la población. Su ocurrencia, de acuerdo a su intensidad, puede provocar “desastres” o “catástrofes”, que involucran desde la pérdida de vidas humanas y graves daños en la infraestructura edilicia, caminos, etc., así como pérdidas económicas. (Atlas de recursos geoambientales, 2014)

Las amenazas pueden estar interrelacionadas y sus efectos magnificados. Por ejemplo, los sismos provocan deslizamientos, los cuales a su vez ocasionan represamiento de ríos e inundaciones progresivas aguas arriba, y la rotura de los represamientos causan inundaciones turbulentas y crecidas aguas abajo. (Plaza & Yépez, 1998)

4.4.1 Tipos de amenazas naturales:

Los tipos de amenazas según Plaza & Yépez (1998), son:

- **Orden geológico**

- Sismos o terremotos

- Erupciones Volcánicas

- Deslizamientos

- **Orden meteorológico**

- Inundaciones

- Sequías

4.4.2 Amenazas de características geológicas

4.4.2.1 Sismos o terremotos

Un sismo es un movimiento o vibración repentina causada por la relajación brusca y súbita de energía, acumulada por deformación de la litosfera, que se propaga en forma de ondas sísmicas. Es por tanto un fenómeno transitorio. La mayoría de los sismos son de origen tectónico; debido a que la fricción en las fallas es a menudo inestable, ocurren desplazamientos muy rápidos como una ruptura que se propaga dinámicamente sobre la superficie de la falla, estos movimientos generan las ondas sísmicas y estas, al llegar a la superficie provocan las sacudidas sísmicas del terreno (Vidal, Los terremotos y sus causas., 2010).

Clasificación de los sismos (Davila, Terremotos y ondas sísmicas., 2011):

- Sismos de subducción someros. Aquellos que se generan en las fronteras de este tipo y que ocurren a profundidades que no exceden los 40 km.
- Sismos de subducción profundos. Aquellos que ocurren debido a la interacción de subducción y en la zona de fricción (interplaca), pero a profundidades mayores a los 40 km.
- Sismos intraplaca de profundidad intermedia. Sismos que se presentan en la placa subducida, pero no ocasionados por la fricción entre las placas sino por fractura de la placa que ha penetrado, sus profundidades son mayores a los 80 km y generalmente menos de 500 en México.
- Sismos de zonas de acreción. Sismos que se presentan en este tipo de fronteras, por lo general con profundidades que no exceden los 20 km.
- Sismos de fallas de transurrencia. Los que se presentan en este tipo de frontera, cuyas profundidades no exceden los 30 km por lo común.
- Sismos corticales intracontinentales. Sismos que se presentan en fallas no directamente relacionadas con los procesos de interacción entre las placas, sino al interior de una placa. Sus profundidades no exceden el grosor de la placa.

Medición:

Escala de Mercalli

Es una escala subjetiva que evalúa la percepción del ser humano del sismo. Sirve para recolectar información en zonas donde no se encuentran aparatos detectores, o instrumentos de medición. Se basa en lo que sintieron las personas que vivieron el sismo, y en los daños ocasionados. Cuando se utiliza esta escala, se habla de grados de intensidad (shoa, s.f).

Escala de Richter

Es una escala que crece en forma logarítmica, así cada punto de aumento puede significar un aumento diez o más veces mayor de la magnitud de las ondas, pero la energía liberada aumenta 32 veces. Una magnitud 4 no es el doble de 2, sino que 100 veces mayor (Angelfire, s.f).

Escala de Mercalli	Escala de Richter
I. Casi nadie lo ha sentido.	2,5 En general no sentido, pero registrado en los sismógrafos.
II. Muy pocas personas lo han sentido.	3,5 Sentido por mucha gente.
III. Temblor notado por mucha gente que, sin embargo, no suele darse cuenta de que es un terremoto.	
IV. Se ha sentido en el interior de los edificios por mucha gente. Parece un camión que ha golpeado el edificio.	4,5 Pueden producirse algunos daños locales pequeños.
V. Sentido por casi todos; mucha gente se despierta. Pueden verse árboles y postes oscilando.	6,0 Terremoto destructivo.
VI. Sentido por todos; mucha gente corre fuera de los edificios. Los muebles se mueven, pueden producirse pequeños daños.	7,0 Terremoto importante.
VII. Todo el mundo corre fuera de los edificios. Las estructuras mal construidas quedan muy dañadas; pequeños daños en el resto.	8,0 Grandes terremotos.
VIII. Las construcciones especialmente diseñadas dañadas ligeramente, las otras se derrumban.	o más
IX. Todos los edificios muy dañados, desplazamientos de muchos cimientos. Grietas apreciables en el suelo.	
X. Muchas construcciones destruidas. Suelo muy agrietado.	
XI. Derrumbe de casi todas las construcciones. Puentes destruidos. Grietas muy amplias en el suelo.	
XII. Destrucción total. Se ven ondulaciones sobre la superficie del suelo, los objetos se mueven y voltean.	

Figura 8. Escala medición sismos

Fuente: (wp, 2012)

4.4.2.2 Erupciones Volcánicas

Las erupciones volcánicas consisten en la emisión de materiales terrestres (magma, gases, rocas y arena) a través de una fisura o conducto hacia la corteza del planeta (CIDBIMENA, 2006).

Existen varios tipos de erupciones volcánicas (geoenciclopedia, 2012):

- Magmáticas.- Son las más conocidas. Producen rocas sedimentarias clásticas juveniles durante la descompresión explosiva a partir de la liberación de gas. Las erupciones magmáticas pueden ser:
 - °Hawaiana.- Es una erupción poco violenta con expulsión de abundante lava muy fluida o líquida.
 - °Estromboliana.- Esta erupción provoca violentas explosiones de gases, lo que forma nubes de humo muy densas y una lluvia de piro clastos (materiales sólidos).
 - °Vulcaniana.- La lava se solidifica y tapa la chimenea del volcán, por lo que la presión de los gases aumenta en el interior y posteriormente los materiales son expulsados de manera muy violenta.
 - °Pliniana.- Los gases volátiles se amontonan en el magma y se acumulan cada vez mientras que el magma sube por el conducto. Todo el contenido sale formando una columna.
 - °Peleana.- La viscosidad de la lava obstruye la chimenea del volcán, formándose así cúpulas.
- Freatomagmáticas.- Durante este tipo de erupciones, el contenido del volcán es expulsado mediante una contracción térmica al tener contacto el magma con agua. Pueden ser surtseyanas, submarinas y subglaciales.
- Freáticas.- El “motor” de las erupciones freáticas es la expansión del vapor. En otras palabras, ocurren si el suelo o el agua fríos tocan el magma o la roca (calientes), por lo que se produce un sobrecalentamiento y fisura de la roca.

4.5 DESLIZAMIENTOS

Los movimientos en masa son procesos de la Geodinámica Externa, los que modifican las diferentes formas del terreno. Los deslizamientos, a su vez, son la principal manifestación de los movimientos en masa. Los deslizamientos, como todos los movimientos en masa, involucran el movimiento, pendiente abajo, de los materiales que componen la ladera, bajo la influencia de la gravedad y pueden ser disparados por lluvias, sismos y actividad humana (Mora R. , Fundamentos sobre deslizamientos., 2013).

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año; sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su

importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control (Suarez J, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales., 1998).

4.5.1 Tipos de deslizamiento

Según Corominas (2000):

- Las clasificaciones de movimientos de ladera más aceptadas se basan en las características cinemáticas de los movimientos, es decir, en los mecanismos de propagación.
- Para identificar del mecanismo actuante es necesario acudir a detalladas observaciones geomorfológicas, geométricas y al análisis de los desplazamientos en superficie y en profundidad.
- Todas las clasificaciones coinciden en la existencia de, al menos, cinco mecanismos principales que son: caídas, vuelcos, deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales, expansiones laterales y flujos.

Desprendimientos o caídas:

De acuerdo a Varnes (1996), corresponde al rápido movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material masivo. Los desplazamientos se producen principalmente en sentido vertical por caída libre, son típicos en macizos rocosos y generalmente están controlados por las discontinuidades. Este tipo de movimientos requiere una topografía como escarpes o pendientes fuertes y se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de ladera.

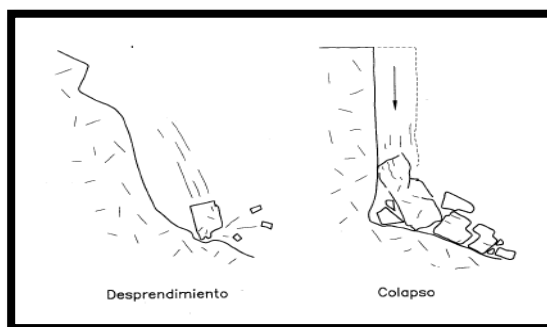


Figura 9. Mecanismos de desprendimiento o caída
Fuente: (Corominas & García, 1997).

- **Vuelcos:**

Los vuelcos son los movimientos de rotación hacia el exterior de un escarpe de una masa de roca, derrubios o tierra alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. Los vuelcos de derrubios o tierra suelen dar lugar a la formación de conos en la base de las laderas (Gomez, 2014).

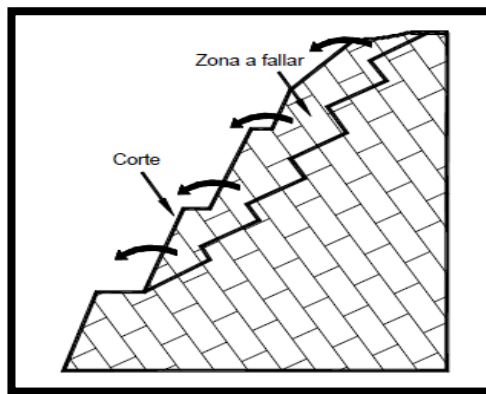


Figura 10. Volcamiento
Fuente: (Corominas & García, 1997).

- **Deslizamiento rotacional:**

De acuerdo a Fraustro (1998), es el desplazamiento de una masa de suelo sobre una superficie de rotación, y se caracteriza por el basculamiento del depósito en sentido contrario a la pendiente. El suelo pierde su estructura aunque se reconocen lentes del material original.

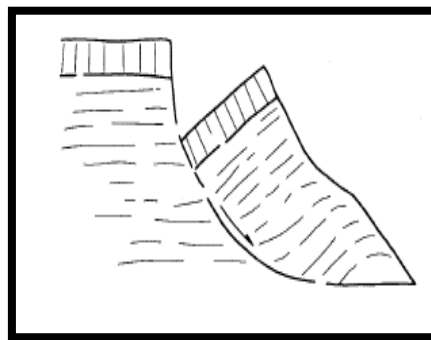


Figura 11. Tipo de deslizamiento rotacional
Fuente: (Corominas & García, 1997).

- **Deslizamiento traslacional:**

Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentados de rocas se desplaza hacia afuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie principal más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, o bien, están definidos por superficies de debilidad en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de cambio de estado de meteorización en las rocas (Ayala, Echevarria, Gutierrez, Dominguez, & Noriega, Inestabilidad de laderas., 2001).

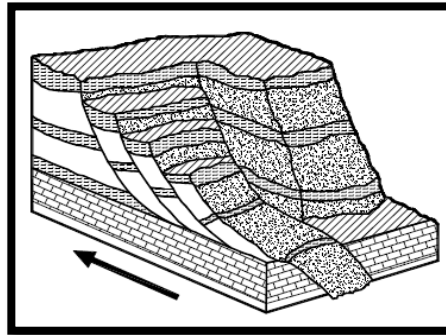


Figura 12. Deslizamiento traslacional
Fuente: (Corominas & García, 1997).

- **Expansiones laterales:**

La expansión lateral es un fenómeno caracterizado por el desplazamiento lateral de una vertiente combinado con la subsidencia de la cima. Las expansiones laterales más habituales se manifiestan en formaciones geológicas en donde existen formaciones duras situadas encima de una formación arcillosa propensa a la licuefacción (como licuefacción se entiende a la transformación de un sedimento granular saturado en agua, poco consolidado y de una cierta consistencia, en una masa con las propiedades de un fluido debido a la vibración causada, por ejemplo, por un sismo) (Coponds & Tallada, 2009).

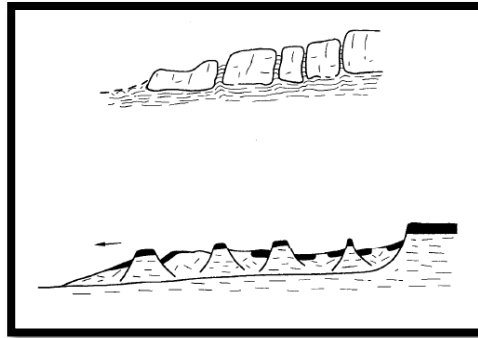


Figura 13. Expansiones laterales, Arriba: por afluencia y extrusión del material subyacente, Abajo: por licuefacción.

Fuente: (Corominas & García, 1997).

- **Flujos:**

Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares (Corominas, 2000).

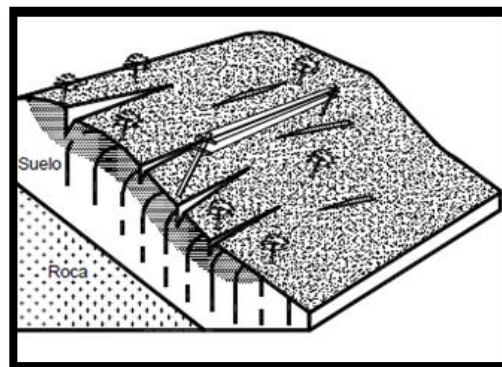


Figura 14. Proceso de flujo

Fuente: (Corominas & García, 1997).

4.5.2 Factores que producen deslizamientos

Para que se produzca la inestabilidad y puesta en movimiento de una masa de terreno deben intervenir y modificarse de forma conjunta varios factores. Aunque las formas de la superficie terrestre se pueden considerar como resultantes de un sistema evolutivo y, por

tanto, en continuo cambio, a la escala de tiempo en la que se producen estos movimientos del terreno, a algunos de los factores que intervienen en ellos se les puede conceptualizar como constantes o con poca variabilidad a lo largo del tiempo y, a otros, como factores variables que sufren modificaciones con cierta periodicidad (Habitatge, 2010).

4.5.3 Factores condicionales

Estos predisponen al terreno a la ocurrencia de un posible deslizamiento, dentro de los cuales se encuentra la topografía (natural o modificada) y la geología, estos son los que inciden durante los procesos de inestabilidad de taludes o laderas y se enfocan en la naturaleza de las mismas (Sepúlveda, 1998).

- **Topografía:**

Según Pérez (2014), es un estudio dado por la relación que mantiene el terreno con las dimensiones del espacio, esto es altimetría y planimetría. La combinación de geo formas como: planicie costera, cordillera volcánica, etc.

- **Geología:**

De acuerdo al estudio realizado por Pérez (2014), es un estudio que define las características y propiedades del suelo o roca, la formación geológica determina la composición de los diferentes materiales suaves o de alta resistencia, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos que propician la falla.

4.5.4 Factores activadores

En el estudio realizado por Guzmán (2000), los factores activadores son los que generan y aceleran los fenómenos de deslizamientos, aportan o contribuyen a ocasionar la fuerza actuante que hacía falta para romper el equilibrio de fuerzas internas en un talud.

- **Precipitación:**

La precipitación y la escorrentía superficial, procesos antrópicos, son mecanismos erosivos que han tomado gran importancia en las áreas intertropicales. El agua se encuentra íntimamente asociada a la estabilidad y deslizamientos de tierra, la infiltración y el

movimiento del agua dentro del suelo del talud hace que aumente el contenido de humedad, lo cual ocasiona un considerable aumento en el peso unitario total de la masa de suelo (González, Umbral empírico de deslizamiento por precipitación, para la provincia de Concepción., 2010).

- **Sismicidad:**

Según Caballero (2011), los sismos se han identificado como una de los fenómenos naturales más peligrosos, los cuales han ocasionado grandes pérdidas económicas y sociales, donde no sólo los eventos considerados como fuertes producen daños severos, sino también los moderados y algunas veces los sismos de reducido tamaño han causado daños considerables debido a las condiciones locales tales como topografía y características geológicas de cada sitio.

Los deslizamientos ocasionados por sismos han sido los causantes de decenas de miles de muertos y billones de dólares en pérdidas económicas alrededor del mundo.

4.5.5 Tasa de movimiento en los movimientos de masa

Tabla 2. Escala de velocidades para movimientos de masa.

Clases de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Velocidad Típica
7	Extremadamente rápido	$5 \cdot 10^3$	5 m/seg
6	Muy rápido	$5 \cdot 10^1$	3m/min
5	Rápido	$5 \cdot 10^{-1}$	1.8m/hr
4	Moderado	$5 \cdot 10^{-3}$	13m/mes
3	Lento	$5 \cdot 10^{-5}$	1.6m/año
2	Muy Lento	$5 \cdot 10^{-7}$	16 m/año
1	Extremadamente lento	$5 \cdot 10^{-7}$	16m/año

Fuente: (Varnes, Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de rules, Granada., 1996).

La velocidad para los movimientos en masa es un parámetro cuya importancia destructiva requiere de una definición independiente.

Tabla 3. Importancia destructiva probable

Clase de velocidad	Importancia destructiva probable
7	Catástrofe de gran violencia; construcciones destruidas por el impacto del material desplazado; muchos muertos.
6	Algunas vidas pérdidas; velocidad muy grande para permitir que todos escapen.
5	Evacuación de escape posible; estructuras, posiciones y equipos destrozados.
4	Algunas estructuras resistentes pueden mantenerse temporalmente.
3	Pueden realizarse estructuras preventivas durante el movimiento: estructuras resistentes pueden ser mantenidas con trabajo frecuente si el movimiento no es tan grande durante fases de aceleración particulares.
2	Algunas estructuras no son dañadas por el movimiento.
1	El movimiento es imperceptible sin instrumentos; las construcciones son posibles con precaución.

Fuente: (Varnes, Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de rules, Granada., 1996)

4.5.6 Peligro de deslizamiento

Para determinar los niveles de amenaza física por cantón se tomó como referencia la zonificación sísmica elaborada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) La Zona I corresponde a la zona de menor peligro y la Zona IV a la de mayor peligro.

- Cantones con mayor peligro (grado 3).
- Ubicados en zonas de alto potencial de deslizamientos y zonas de mayor pendiente.
- Cantones con peligro relativamente alto (grado 2).
- Aquellos que tienen más del 30% de su superficie expuesta a deslizamientos potenciales.
- Cantones con peligro relativamente bajo (grado 1).
- Tienen menos del 30% de su superficie expuesta a deslizamientos potenciales.
- Cantones con bajo peligro de deslizamientos o derrumbes (grado 0),
- Son aquellos que aparentemente no están expuestos.

4.5.7 Impactos de los deslizamientos

Dependiendo de la magnitud de los deslizamientos, los daños pueden ser muy serios, pudiendo quedar enterrado todo el sistema y la ciudad. La magnitud del impacto de los deslizamientos depende principalmente del volumen de la masa en movimiento y de la velocidad de la misma, pero también de la extensión de la zona inestable y de la disgregación de la masa en movimiento. Los deslizamientos más comunes son: la caída de rocas desde los escapes de macizos rocosos muy fracturados, los deslizamientos de tierra en laderas y taludes, los flujos y avalanchas de lodo y escombros que pueden transitar grandes distancias por valles y cauces, y la reptación de laderas que puede abarcar grandes superficies. Las caídas de rocas, flujos y avalanchas afectan solamente a las obras dispuestas en la superficie, mientras que los deslizamientos afectan también los elementos enterrados (Fernandez, Impactos de los deslizamientos y asentamientos del suelo del cantón Moravia., 2016).

La actividad de deslizamientos a nivel mundial se está incrementando debido a:

- Incremento de urbanización y desarrollo en áreas propensas a deslizamientos.
- Deforestación continúa de áreas propensas a deslizamientos.
- Incremento de la precipitación regional causada por los cambios de los patrones climáticos.

4.5.8 Pérdidas Económicas debidas a los Deslizamientos:

Costos Directos:

- Reparación, reemplazo o mantenimiento como resultado de los daños a la propiedad o infraestructura debido a los deslizamientos.

Costos Indirectos:

- Pérdida de productividad e ingresos
- Reducción del valor de la tierra
- Pérdida de ingreso por impuestos
- Medidas de mitigación de los deslizamientos
- Efectos adversos en la calidad del agua v sedimentación de los reservorios
- Pérdida de productividad humana o animal debida a heridas/traumas

- Efectos secundarios, inundaciones causadas por los deslizamientos (Fernandez, Impactos de los deslizamientos y asentamientos del suelo del cantón Moravia., 2016).

4.6 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Los deslizamientos no son susceptibles de un manejo total; sin embargo el riesgo que pueden desencadenar si puede ser evitable. Los análisis de riesgo que se realizan conducen a identificación de lo posible que puede ser la mitigación de los mismos, es decir si las causas y consecuencias pueden ser reducidas o no. Para la reducción del riesgo existen dos tipos de medidas generales (Suárez, 2006), que son:

4.6.1 Medidas estructurales

Las medidas estructurales son al respecto de la intervención física con el desarrollo o refuerzo de obras de ingeniería. La reducción de la amenaza se hace a través de las medidas estructurales, que llegan a controlar el curso físico de un evento, o reducir la frecuencia y magnitud del mismo. La reducción de la vulnerabilidad estructural consiste en disminuir al mínimo posible los daños materiales con la modificación de la resistencia y cambiando los niveles de exposición de los elementos, teniendo como único objetivo mitigar el riesgo (Pavón & Garzón, Evaluación y zonificación de susceptibilidad y amenazas/peligros por fenómenos de remoción en masa en el cantón Pallatanga, Escala 1:50.000 , 2014).

4.6.2 Medidas no estructurales

En el estudio realizado por Pavón & Garzón (2014), estas medidas son aquellas acciones más referentes a temas educativos o de aplicación legislativa de gestión, organización, educación, entre otras, que se adelantan para disminuir los efectos negativos de un evento, son complementarias a las medidas estructurales que se promueven en el interior de la comunidad.

- Mapas de zonificación de amenaza y riesgo: conocer qué tipo de eventos pueden presentarse en una zona determinada, así no se pueda establecer cuando.
- Mapa de amenaza por remoción en masa.
- Suelos de protección por riesgo.

- Planes de ordenamiento territorial: inclusión del componente de riesgo en el modelo de ordenamiento territorial, con la incorporación de los siguientes temas:
- Información pública: continuo seguimiento a las zonas con probabilidad de riesgo.

Para la prevención de los deslizamientos se requiere de la implementación de un sistema de vigilancia y advertencias, por medio de señales, para no permitir la construcción en zonas que se encuentren en lugares susceptibles a deslizamientos. Se debe preparar a las instituciones involucradas y a la población amenazada para la situación que posiblemente pueda producirse, tomando las medidas preventivas correspondientes que, aparte de la disposición de prepararse, de la movilización del potencial de autoayuda de la población y de la puesta en práctica de un sistema de monitoreo, incluyen también lo siguiente:

- Establecimiento y/o fortalecimiento de estructuras de protección de desastres y de servicios de rescate.
- Entrenamiento y capacitación.
- Elaboración participativa de planes de emergencia y de evacuación.
- Planes de coordinación y de intervención para rescate y socorro
- Medidas infraestructurales y logísticas como albergues de emergencia.
- Simulacros.

4.7 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Según Sarria (2003), los Sistemas de Información Geográfica pueden definirse de forma provisional como sistemas que permiten almacenar datos espaciales para su consulta, manipulación y representación.

El espacio geográfico puede ser representado a través de dos grandes componentes. Por un lado las entidades que se encuentran distribuidas con localizaciones espaciales específicas y por el otro los atributos que estas entidades tienen. Se podría decir, que en el espacio geográfico vemos a simple vista formas y características individuales. A nivel computacional esta situación se resuelve mediante la creación de bases de datos gráficas contienen formas y bases de datos alfanuméricas contienen atributos medidos en estas formas (Buzai, 2013).

4.7.1 Componentes de un SIG

Los componentes computacionales se clasifican bajo las definiciones de software (programas – materiales intangibles) y hardware (equipamiento – materiales tangibles). Ambos combinados acertadamente posibilitan tener un alto porcentaje de éxito en la aplicación estrictamente técnica (Buzai, 2013).

- **Software**

El concepto de software se refiere a componentes intangibles conformados por los programas de aplicación que se utilizan para el tratamiento de datos y la búsqueda de resultados. Una aplicación SIG generalmente estará compuesta por diferentes tipos de software que posibilitan un funcionamiento combinado de sus subsistemas para el tratamiento de los datos geográficos (Buzai, 2013).

- **Hardware**

Proporciona las herramientas y funciones necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica, para ello se necesitan de elementos principales de software los cuales son (Catarina, 2001):

- Herramientas para la entrada y manipulación de información geográfica.
- Un sistema de administración de base de datos (DBMS Data Base Management Sistema).
- Herramientas que soportan consultas, análisis y visualización de elementos geográficos.
- Una interfaz gráfica de usuario (GUI Graphical User Interface) de manera que facilite el acceso a las herramientas anteriormente mencionadas.

4.7.2 Estructuras de datos de los sistemas de información geográfica

Características de los datos geográficos

Un dato geográfico posee 2 aspectos (Bosque et al. 1994):

- La geometría describe la posición absoluta de cada objeto respecto a unos ejes de coordenadas. La topología describe relaciones entre los objetos

- El aspecto temático se compone de variables asociadas a cada objeto

4.7.2.1 Modelo integrado y modelo híbrido

Los aspectos espaciales y el temático pueden almacenarse en bases de datos diferentes en cuyos casos se dice que el SIG tiene un modelo híbrido o puede almacenar ambos aspectos juntos en la misma base de datos dando lugar a un modelo integrado (Barbero, Model sistémico para el manejo con SIG de indicadores de calidad de vida., 2008).

4.7.2.2 Forma de organización de las bases de datos espaciales.

- Formato raster

El formato raster se fundamenta en la división del área de estudio en una matriz de celdillas, generalmente cuadradas. Cada una de estas celdillas recibe un único valor que se considera representativo para toda la superficie abarcada por la misma. Este formato, por tanto, cubre la totalidad del espacio, este hecho supone una ventaja fundamental ya que pueden obtenerse valores de forma inmediata para cualquier punto del mismo (UM, 2004).

- Formato vectorial

Un SIG vectorial está basado en la representación vectorial de la componente espacial de los datos geográficos. Considera que la realidad está dividida en una serie de objetos discretos (puntos, líneas, polígonos) a los que se les pueden asignar diversas propiedades, cualitativas o cuantitativas. Estos objetos se codifican por su posición en el espacio (puntos y líneas) o por la posición de sus límites (polígonos). Los cambios de escala van a suponer, en muchos casos, que los objetos cambien de un tipo a otro. Los elementos pueden situarse en cualquier lugar, sin las limitaciones que presentaba el modelo raster (Miliarium, 2012).

4.8 APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LA EVALUACIÓN DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGO.

Para Lantada (2007), es cualquier estudio de riesgos naturales que requiere de la información espacial de la superficie de la zona de estudio, sus características topográficas, la geología, la hidrología y los usos del suelo, entre otros. Para gestionar todo este volumen

de información, se requiere disponer de Sistemas de Información Geográfica, ya que estas herramientas permiten administrar tal volumen de datos, de manera rápida y detallada, y permiten además la presentación gráfica de resultados. En la actualidad, la integración en un SIG con modelos matemáticos facilita procesos de simulación, y acelera el análisis espacial de las variables y de los parámetros requeridos.

Las herramientas SIG facilitan la obtención de los parámetros morfométricos necesarios para realizar estudios de deslizamientos superficiales mediante técnicas multivariantes, así como la evaluación de las condiciones de rotura e identificación de áreas potencialmente inestables, y las condiciones de movilidad del desplazamiento.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación de las zonas susceptibles a deslizamientos en el cantón, inicio con un levantamiento de la información básica en todas las parroquias pertenecientes a Antonio Ante. El área de estudio comprende una extensión de 79,2610 km², se encuentra entre las coordenadas geográficas Latitud: 0°21'06" Norte, Longitud: 78°07'20" Oeste que administrativamente pertenecen al cantón Antonio Ante, el análisis se concentra en datos obtenidos en las parroquias de Imbaya, San Roque, Chaltura y Atuntaqui. Los límites tomados a consideración geográficamente fueron al norte el cantón de Urcuquí, al sur el cantón Otavalo, al este el cantón Ibarra, al oeste el cantón Cotacachi. En el área a analizar se encuentran pendientes que van desde los 0° en zonas planas hasta pendientes fuertes que van de los 40 a los 70° en zonas como el volcán Imbabura y otras zonas de relieve similar, se nota la presencia de una cobertura vegetal muy intervenida donde mayoritariamente está destinada para agricultura y ganadería, otras zonas por su parte ya se encuentran en proceso de erosión además de existir pequeños remanentes de bosque natural que aún se encuentran en la zona.

La salida de campo para el levantamiento de información básica así como el uso de cartografía ya existente y estudios anteriores permitió la identificación de las zonas vulnerables a deslizamientos en el cantón Antonio Ante, que se extienden en una zona reducida del territorio total del cantón, con esto y la toma de coordenadas geográficas se verificaron los sitios donde predomina el factor pendiente, cobertura vegetal y tipo de suelo al que pertenecen, estas áreas encontradas en un futuro podrían enfrentar susceptibilidad a deslizamientos.

Para tener un mejor resultado se elaboraron mapas temáticos de la zona de estudio cuya información se levantó en los laboratorios de sistemas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

Para poder desarrollar esta investigación se utilizó la cartografía digital existente en escala 1:50.000 proporcionada por diferentes entidades, además del uso de fotografías satelitales y varios datos geospaciales; para la salida de campo también fue necesario el uso de una libreta de campo y una cámara fotográfica.

5.1 EQUIPOS

El desarrollo de esta investigación demandó la utilización de varios equipos entre los cuales destacan para la salida de campo un GPS; para el diseño de mapas temáticos y cartografía el primordial fue la de un computador que contenga el programa informático con la versión ARCGIS 10.3.1.

5.1.1 Ubicación del laboratorio

Centro de computación de la Escuela de Sistemas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

Tabla 4. Ubicación

CARACTERISTICA	REFERENCIA
PROVINCIA	Imbabura
CANTÓN	Ibarra
PARROQUIA	San Francisco
BARRIO	La Victoria

Fuente y elaboración: el Autor

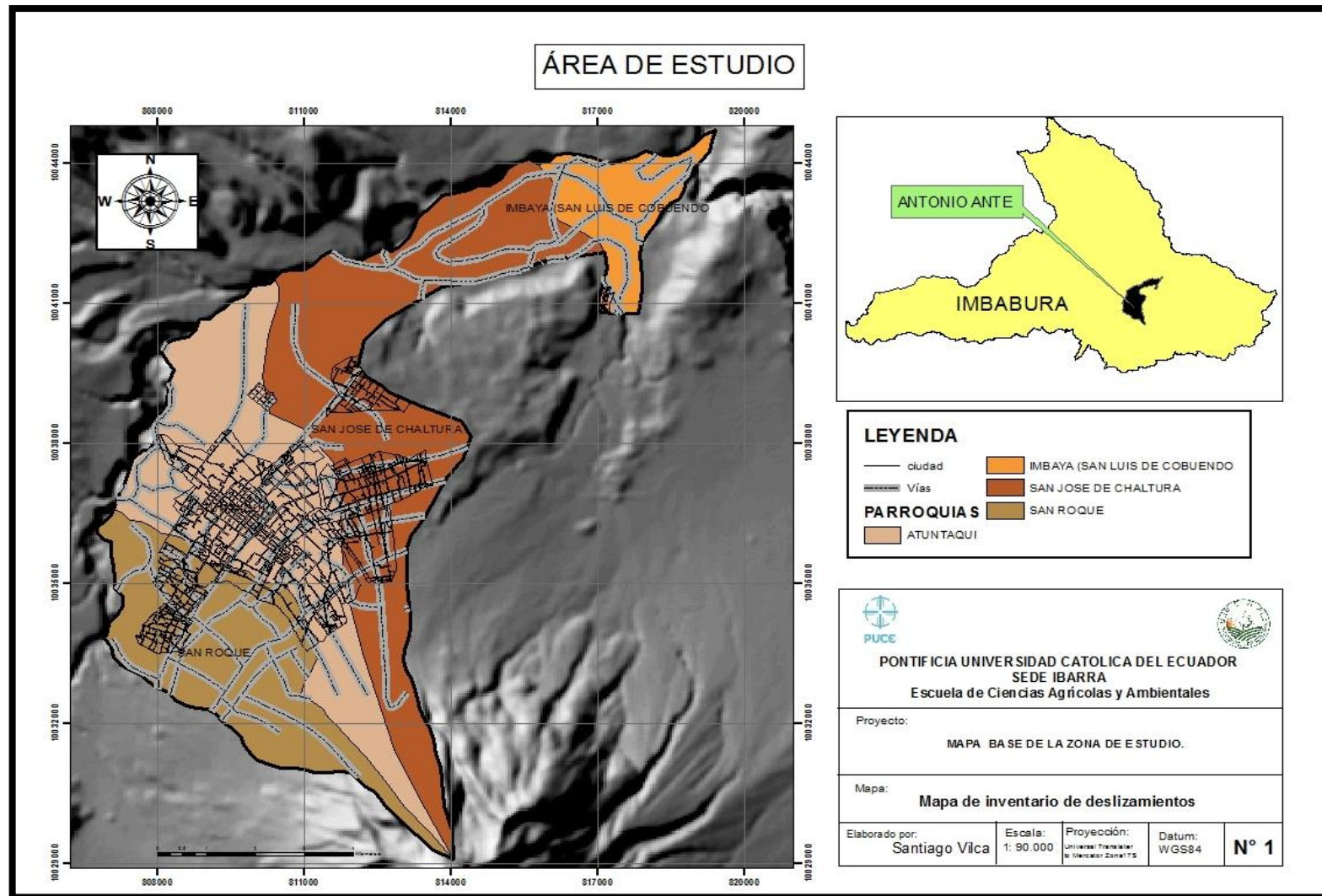


Figura 15. Mapa de zona de estudio
Fuente y elaboración: el Autor

5.2 MÉTODO

La presente investigación se basa en un tipo de estudio descriptivo, uno de los principales objetivos es la determinación de las zonas vulnerables a movimientos de masa o deslizamientos además de la determinación de los factores que pueden llegar a ser condicionantes o detonantes, entre los factores condicionantes se priorizan las: formaciones geológicas, pendientes, cobertura vegetal, permeabilidad; entre los factores detonantes a la precipitación.

5.2.1 Levantamiento de información fase de pre-campo

Para la fase de pre-campo se procedió en primera instancia a la recolección y análisis de datos tanto de mapas cartográficos en una escala 1:50.000 para poder trabajar con estas, así como también la recopilación bibliográfica de estudios anteriores o relacionados a deslizamientos dentro del cantón. Una vez obtenida toda la información requerida, se pasó al siguiente paso que es el análisis de la información cartográfica utilizando siempre una escala idónea para este estudio. Como tercer paso se procedió a la revisión y análisis de todo el material digital específicamente los shapefiles proporcionados por: SENPLADES, MAE, GAD Antonio Ante, IEE y SIN, así manteniendo un orden de las especificaciones técnicas para el manejo de este tipo de archivos.

5.2.2 Fase de campo

La fase de campo o de reconocimiento y observación fue desarrollada en los meses de agosto y septiembre de 2017 debido a que en estos meses termina la época de verano e inicia la época de invierno, tuvo entre uno de los principales objetivos un análisis de posibles lugares que podrían ser susceptibles a deslizamientos y también en lugares exactos de los puntos de deslizamientos todo esto gracias a los estudios anteriores con el fin de conocer el estado actual de estos lugares y conocer la ocurrencia de estos fenómenos en esos sitios o zonas más probables y ver la manera directa en la cual afectan o afectarían en las condiciones de vulnerabilidad y riesgo inminente o probable a la que está expuesta la población. En esta fase se realizaron diferentes recorridos de campo que sirvieron para poder identificar zonas vulnerables a deslizamientos, en estas salidas de campo se logró evidenciar una ocurrencia significativa en la zona de laderas. La utilización del GPS se la realizó en esta fase para

tomar los puntos y las coordenadas geográficas con el fin de realizar un inventario de estos eventos así también el registro fotográfico de los eventos para hacer una comparación si coinciden con deslizamientos anteriores o son nuevos deslizamientos que han surgido en los últimos años.

5.2.3 Fase de post-campo

Se empleó la informática basada en la herramienta ArcGis 10.3.1 aplicada a cartografía de riesgos, la misma que permite el tratamiento y análisis automático de datos y la obtención de mapas de elementos o factores individuales (temáticos) como también combinados entre ellos. Toda la información que se obtuvo con la ayuda del programa informático ArcGis 10.3.1 se basó para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación. Dentro de uno los objetivos que se tiene en la investigación es la generación del mapa base respecto a los deslizamientos, este mapa se lo realizó con la ayuda de la salida de campo donde se obtuvieron los puntos y coordenadas geográficas. En la segunda parte se utilizó el programa informático ArcGis 10.3.1 para la preparación de los mapas temáticos desarrollando mapas como: pendiente, geología, litología, permeabilidad, geomorfología, suelos, cobertura vegetal, clima, isoyetas (precipitación). Para continuar con el siguiente paso, fue necesario la investigación de los grados de la diferenciación para cada suceso, en esta parte fue necesario recurrir a la información (Sarkar & Kanungo, 2004) donde nos da criterios para determinar el grado de susceptibilidad de los deslizamientos. Para la elaboración de los mapas de susceptibilidad a deslizamientos es necesario tener en cuenta que es un mapa en el cual se zonifican las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamiento. Este se obtiene de un análisis multicriterio entre los diferentes factores del terreno que afectan a la susceptibilidad de deslizamientos. Para realizar este mapa no existe un procedimiento estandarizado por lo que existe mucha libertad para la determinación de los pasos a seguir. De los principales elementos para realizar el mapa de susceptibilidad se puede tomar en cuenta el relieve o mapa pendiente, características geológicas, geomorfológicas, y geotécnicas del terreno además del inventario pasado de los deslizamientos.

5.3 INSTRUMENTOS

5.3.1 Mapas temáticos

Los mapas temáticos elaborados una vez obtenida la información en shapefile llevan un orden secuencial donde inicia con (Geología, Formaciones Geológicas, Permeabilidad, Orden del Suelo, Cobertura Vegetal, Clima, Isoyetas) que en primer lugar fueron realizados con el programa informático ArcGis versión 10.3.1 una herramienta básica para realizar estos mapas.

El primer criterio es referente a la Geología donde el shapefile que contiene esta información, tuvo que ser intersecado con el mapa de partida para que la información resultante está dada en torno al área de estudio definida por el mapa pendiente. Con el intersecado obtenido del paquete de datos respecto a Geología y el mapa base se proyectaron datos específicos de la zona de estudio que se los puede observar al ingresar a la tabla de atributos “Attribute table” en el programa informático ArcGIS, aquí la información esta detalla en descripciones como: Nombre, Área y demás atributos presente en el paquete de datos.

Como parte final para cada mapa temático se procedió a realizar la categorización dependiendo las características de cada mapa, en el programa informático ArcGIS se tomó la selección “Properties”, “Symbology” y se seleccionó el atributo requerido para poder categorizarlo según la información requerida.

5.3.2 Método heurístico

Los métodos heurísticos se basan en el estudio conceptual de la mayoría de procesos de ocurrencia de los deslizamientos y requiere del análisis con conocimientos básicos y experiencia tanto de la región estudiada como de los procesos.

En el análisis heurístico, el mapa de amenazas es hecho utilizando el criterio del investigador sobre un sitio específico, a través de fotointerpretación o trabajo de campo. Este mapa puede hacerse directamente en el campo o recodificando un mapa geomorfológico (Suarez, 2008).

El procedimiento es la asignación subjetiva de pesos o valores a los factores relevantes y a las subclases para obtener una suma de susceptibilidad a amenaza relativa.

El Método Heurístico en términos generales faculta para que en los análisis multicriterio se utilicen datos geográficos, debiéndose establecer las preferencias y combinaciones (o agregaciones) de los datos, de acuerdo a reglas de decisiones específicas (reglas de decisión), que han sido implementados en ambiente SIG (Molina, Técnica para crear e identificar mapas de susceptibilidad por remoción de masa usando aplicaciones SIG. , 2009).

5.3.3 Método Mora Vahrson

Se han realizado estudios de casos de fallas de taludes en Centroamérica donde propusieron un método de predicción ante estas amenazas; en este método se incluyeron o utilizaron tres factores relacionados con la susceptibilidad que son: relieve relativo, condiciones litológicas y humedad. Adicionalmente, se consideraron dos factores más relacionados con el evento desencadenante, que son: la sismicidad y la intensidad de las lluvias.

Este método es de tipo explícito semianalítico y tiene por único objetivo predecir las amenazas por fenómenos de deslizamientos, y consideró cinco factores que son: el relieve relativo, la litología, la humedad del suelo, la sismicidad y la intensidad de lluvias.

La combinación de los tres primeros considerados elementos pasivos se realiza teniendo en cuenta que los fenómenos de remoción en masa ocurren cuando una ladera adquiere un grado de susceptibilidad, debido a la interacción entre la pendiente, la litología y la humedad del suelo. Bajo estas condiciones, los factores desencadenantes, como son la sismicidad y las lluvias intensas actúan como elementos de disparo dando lugar a la destrucción de las laderas. De esta forma se considera que el grado o nivel de amenaza es el producto de la susceptibilidad y la acción de los elementos de disparo (Mora & Vahrson, 1993).

Combinando estos factores, se encontró un grado de amenazas a deslizamientos de los taludes.

$$Hl = (Sr.Sl.Sh)(Ts + Tp)$$

Donde:

Hl= Índice de amenaza a deslizamiento

Sr= Índice de relieve relativo

Sl= Susceptibilidad litológica

Sh= influencia de la humedad natural del suelo

Ts= influencia de la sismicidad

Tp= influencia de la intensidad de la precipitación

5.4 PROCEDIMIENTO

La propuesta metodológica a ser utilizada para la investigación se basó en el método heurístico y en el método Mora Vahrson donde se tomó en consideración factores condicionantes y desencadenantes para el proceso de movimientos de masa o deslizamientos en la zona de Antonio Ante. Esto se planteó para poder realizar la propuesta respecto a zonas con susceptibilidad a deslizamientos.

La ecuación propuesta para la siguiente investigación es la siguiente:

$$H = (Fm. Fcv. Fl. Fpe)(Fp)$$

Donde:

H = Índice de amenaza a deslizamiento

Fm= Factor Pendiente

Fcv= Factor Cobertura Vegetal

Fl= Factor formaciones geológicas.

Fpe= Factor permeabilidad

Fp= Factor de disparo por lluvia

Para la toma de estas variables o factores se consideraron los elementos más representativos que se tienen en la zona de estudio, además de las variables de las que se dispongan para realizar este trabajo. Se toman en cuenta en primer lugar factores relacionados a la susceptibilidad que en este caso son cuatro: pendiente, litología, permeabilidad, se incluyó también la cobertura vegetal que es un factor biológico; otra condición para aplicar este método es la inclusión de un factor detonante que puede ser el factor sismicidad y el factor lluvia, por no tener la zona de estudio influencia de sismicidad fue tomado en cuenta y el único factor detonantes es la lluvia.

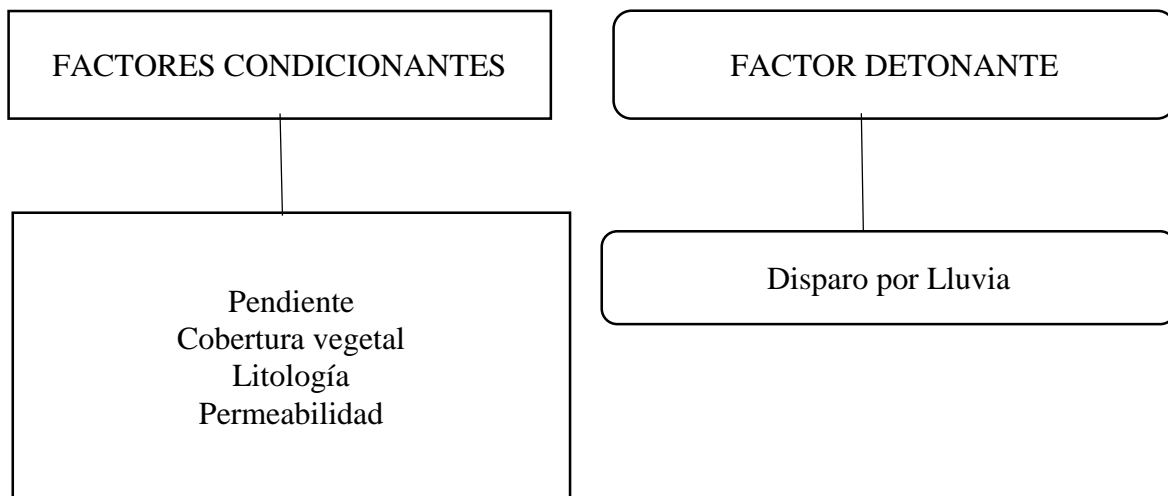


Figura 16. Condiciones tomadas para establecer las zonas vulnerables a deslizamientos.
Fuente y elaboración: El autor

5.4.1 Valoración a variables

Los valores de ponderación para cada parámetro o variable guarda una relación con las clases determinadas durante el transcurso de la presente investigación, en algunos casos se han redefinido las clases para tener un mejor manejo y optimización de los datos.

Las operaciones se realizan entre factores condicionantes para la ocurrencia a movimientos de masa por tipo de movimiento. Posteriormente se procedió a relacionar los factores dinámicos y desencadenantes para la categorización de la amenaza por movimientos en masa.

5.4.1.1 Factor pendiente

Este factor constituye las características numéricas de las unidades geomorfológicas, para el caso particular de esta metodología se van a considerar dos factores dentro de los parámetros, la pendiente del terreno y la longitud de las vertientes. Estos insumos o parámetros se encuentran en la base de datos del cantón estudiado dentro del proyecto “Generación de Geo información para la gestión del territorio a nivel nacional” desarrollado por el Instituto Ecuatoriano Espacial, para los fines de esta investigación se realizó una nueva categorización de las pendientes y longitudes de vertientes para condensarlas en las siguientes clases:

Pendiente

Tabla 5. Categorización Pendiente

Rango (%)	Calificativo	Descripción
0-12;NA	1	Corresponde a relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados, Además de todas las áreas que no son suelo como: centros poblados, ríos dobles o con características similares a estas al representarlas o cartografiarlas.
>12-25	2	Corresponden a relieves medianamente ondulados o moderadamente disectados.
>25-40	3	Corresponden principalmente a relieves mediana a fuertemente disectados.
>40-70	4	Corresponden principalmente a relieves fuertemente disectados.
>70-100	5	Corresponden principalmente a relieves muy fuertemente disectados.
>100-150	6	Corresponden principalmente a relieves escarpados.
>150-200	7	Corresponden principalmente a relieves muy escarpados.
>200	8	Corresponde a las zonas reconocidas como mayores a 200% en el mapa de pendientes.

Fuente: Adaptado de CLIRSEN tabla de atributos del mapa de geomorfología.

Se refiere al grado de inclinación de las vertientes con relación a la horizontal; está expresado en porcentaje y nos da el tipo de relieve al que pertenece.

Tabla 6. Ponderación a la pendiente

Rango (%)	Descripción	Valor
0-3	Plano Casi Plano	0
3-12	Ligeramente ondulado	1
12-25	Fuertemente ondulado	2
25-50	Fuertemente quebrado	3
50-75	Escarpado	4
>75	Muy escarpado	5

Fuente y elaboración: el Autor

La ponderación a la pendiente se realiza para tener datos de la descripción a la que pertenece cada tipo dependiente del rango en el que se encuentren.

Longitud de vertiente

Tabla 7. Categorización de longitud de vertientes

Longitud (m)	Calificativo
< a 15	Muy corta
>15 a 50	Corta
>50 a 250	Media
>250 a 500	Larga
>a 500	Muy Larga

Fuente: Adaptado de CLIRSEN tabla de atributos del mapa de geomorfología.

Corresponde a la distancia inclinada que existe entre la parte más alta y la más baja de una forma del relieve medida en metros.

Tabla 8. Ponderación factor longitud de vertiente

Longitud de vertiente (m)	Ponderación deslizamiento
< a 15	1
>15 a 50	2
>50 a 250	3
>250 a 500	4
>a 500	5

Fuente y elaboración: el Autor

Los valores de longitud de vertiente permiten asignar una ponderación del 1 al 5 con relación al nivel de susceptibilidad al que se encuentran expuestos.

Una vez definidos los valores para estos dos parámetros se tiene una categorización del factor morfométrico de acuerdo a la fórmula. En la que se le da mayor peso a la pendiente ya que este parámetro tiene una influencia alta en la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa en relación a la longitud de vertiente.

$$Factor\ morfométrico = 4P + Lv$$

P= Pendiente

Lv= Longitud de vertiente

Tabla 9. Ponderación del Factor morfométrico

Rango (%)	Valores	Ponderación del factor morfométrico
0-4	0,2,3,4	0
5-7	5,6,7	1
8-10	8,9	2
11-13	11,12,13	3
14-17	15,17	4

Fuente: CLIRSEN

Los valores que se obtienen después de aplicar la fórmula dan los rangos para ponderar al factor morfométrico y que esté sea utilizado para la generación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

5.4.1.2 Factor formaciones geológicas

Se refiere a la composición de las formas del relieve en cuanto a su sustrato rocoso (litología) y a las formaciones superficiales. En primera instancia se adquiere la denominación geológica oficial desde la información secundaria y en campo se confirma y describe el tipo de roca. Debe ser lo más específico posible.

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel importante en el comportamiento dinámico de las laderas, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturamiento, la composición mineralógica, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos influyen claramente respecto a la estabilidad o a su vez a la inestabilidad de las laderas.

La evaluación de este parámetro se puede realizar según las sugerencias establecidas por Mora, R et al., (1992), sin embargo si se cuenta con descripciones de los macizos rocosos y la evaluación de propiedades geotécnicas de suelos, se toman otros valores.

Tabla 10. Categorización factor litología

Litología	Características físico mecánicas típicas	Calificac ión	Calific ativo
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas.	Sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas sin rellenos.	Bajo	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas. Rocas intrusivas, calizas duras.	Resistencia al corte media a elevada, fracturas cizallables.	Moderad o	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas niveles freáticos relativamente altos.	Resistencia al corte moderado media, fracturación importante.	Medio	3
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactado, rocas fuertemente alteradas.	Resistencia al corte moderado a baja.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados.	Resistencia al corte muy baja, materiales blandos con muchos finos.	Muy alto	5

Fuente: (Mora & Vahrson, 1993)

El factor de las formaciones geológicas depende de la estructura de las que estén compuestos, con éstas características le da una ponderación a cada tipo de ellas.

Tabla 11. Ponderación del factor litología

Formación Geológica	Litología	Ponderación Litología
Volcánicos Imbabura	Andesitas de color gris claro a rojizo con fenocristales de piroxeno y plagioclasa.	2
Volcánicos de Yanahurco	Lavas andesitas, brechas volcánicas y productos piroclásticos	3
Cangahua	Depósito de toba volcánica y ceniza	3

Fuente y elaboración: el Autor

Las formaciones geológicas presentes en el cantón están clasificadas dependiendo de las características que están compuestas.

Tabla 12. Ponderación al factor Permeabilidad

Permeabilidad	Valor
Baja A Media	1
Media	3
Generalmente Alta	5

Fuente y elaboración: el Autor.

El tipo de permeabilidad con el que se encuentran asigna una valoración del 1 al 5 para poder categorizar en el mapa de deslizamientos.

5.4.1.3 Factor cobertura vegetal o cobertura del suelo

El efecto que tiene la vegetación sobre la estabilidad de los taludes ha sido muy debatido en los últimos años; incluso ha dejado algunas dudas e inquietudes en relación a la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas respecto al suelo; sin embargo la experiencia ha demostrado un efecto positivo de la vegetación para poder evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales de tierra. Las características de las raíces dependen de la especie vegetal, la edad, las propiedades del perfil de suelo y el medio

ambiente. La profundidad de las raíces generalmente, no supera los cinco metros en árboles grandes, dos metros en los arbustos y 30 centímetros en los pastos (Suárez J. , 1998).

Márquez (citado por Rivera, s/f), menciona que “El efecto de refuerzo mecánico impartido por las raíces, se relaciona con la resistencia del suelo a esfuerzos de cortante tangencial, ya que se mejora ampliamente el valor de la cohesión”. Asimismo, las raíces proporcionan un anclaje que refuerza y contrarresta la gravedad de las pendientes, “y el peso de la vegetación ejerce sobre el suelo una componente vertical que aumenta la carga normal y por consiguiente la resistencia al deslizamiento.”

Tabla 13. Calificación del factor cobertura vegetal o cobertura del suelo

Categoría	Calificativo	Descripción
Bosques, Cultivos permanentes, Manglares	Alta cobertura	Bosque: Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural, que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos. Cultivos: Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, y ofrece durante éste periodo varias cosechas.
Vegetación arbustiva, herbácea Cultivos semipermanentes, anuales. Agropecuario mixto	Baja cobertura	Vegetación Arbustiva: Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas cuya estructura no cumple con la definición de bosque. Vegetación Herbácea: Vegetación dominante constituida por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales. Cultivo Semipermanente: Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo dura entre uno y tres años. Cultivo Anual: Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año. Agropecuario mixto: Comprende las tierras usadas para diferente clase de cultivos donde su uso está caracterizado por variedad de productos.
Sin cobertura Zonas erosionadas Procesos de erosión	Sin cobertura	Áreas con poca o ninguna cobertura vegetal. Incluye playas, desiertos, gravas, salina industrial, salina natural, afloramientos rocosos y áreas erosionadas por procesos naturales o de origen antrópico.
Infraestructura	Mediana cobertura (antrópica)	Establecimiento de un grupo de personas en un área determinada, incluyendo la infraestructura civil que lo complementa.

Fuente: Adaptado de CLIRSEN. Tabla de atributos de mapa de uso y cobertura.

La clasificación de la cobertura vegetal se la realiza dependiendo del uso que se le da y su grado de intervención por el ser humano se toma en cuenta el tipo de plantas, uso que se le da al suelo y extensión.

Tabla 14. Ponderación del factor Cobertura Vegetal

Cobertura Vegetal	Calificativo	Ponderación Deslizamientos
-Bosques (Bosque húmedo muy alterado, bosque seco muy alterado)	ALTA COBERTURA	1
-Vegetación arbustiva (matorral húmedo muy alterado, matorral seco muy alterado,) -Vegetación herbácea (vegetación herbácea húmeda muy alterada, vegetación herbácea seca muy alterada,) -Cultivos permanentes (aguacate, alfalfa, avena forrajera, eucalipto, limón, mandarina, manzana,) -Cultivos semipermanentes (caña de azúcar artesanal, mora, tomate de árbol) -Cultivos anuales (ají, arveja, cebada, cebolla perla, cilantro, frejol, pimiento, quinua, tomate riñón.) Agropecuario mixto (misceláneos indiferenciado, misceláneo de hortalizas) -Pastizales (pasto cultivado)	BAJA COBERTURA	2
-Sin cobertura (Tierra agrícola sin cultivo, barbecho, suelo descubierto, área en proceso de erosión, suelo descubierto, banco de arena)	SIN COBERTURA	3
-Infraestructura (centro poblado, camaronera, vertedero de basura, urbano, área en proceso de urbanización, cantera) -No Aplicable (cuerpos de agua, ríos dobles, áreas de inundación)	MEDIANA COBERTURA (Antrópica).	1

Fuente y elaboración: el Autor

La ponderación al factor cobertura vegetal se lo realiza con un rango de 1 a 5, aquí se toma en cuenta el tipo de vegetación de la que está compuesta o si se encuentra en erosión para asignarle una categoría.

5.4.1.4 Factor disparo por lluvia (precipitación)

Según Suárez (1998), hay evidencias muy claras entre la relación directa del régimen de lluvias y la ocurrencia de procesos de deslizamientos. Se debe tener en cuenta para el análisis la intensidad de la lluvia en una hora, la lluvia de 24 horas y la lluvia antecedente por períodos hasta de tres meses.

La activación de un movimiento de masa no depende solamente de la cantidad total de precipitación sino también de la duración de ésta y de la intensidad de las lluvias que producen saturación. Existe un valor crítico de lluvia que inicia un deslizamiento pero tener una cuantificación previa es muy difícil. Por lo general, los valores que se encuentran por encima del promedio de lluvias son los que detonan la mayoría de los problemas. Entre más lenta es la lluvia hay más infiltración y por lo tanto menos escorrentía. En zonas de pluviosidad moderada estas lluvias pueden producir el mayor número de movimientos de masa. La proporción escorrentía-infiltración depende de la intensidad de la lluvia, la pendiente, la cobertura vegetal y la permeabilidad del suelo subsuperficial.

En general existe una relación directa que se da entre las tasas pluviométricas y la susceptibilidad de los terrenos a la ocurrencia de movimientos de masa, aumentando dicha susceptibilidad en la medida que disminuye la cobertura vegetal y aumenta la pendiente, asociándose de manera complementaria un incremento de la humedad de los suelos.

Tabla 15. Categorización por el factor disparo de precipitaciones

Precipitación (mm)	Ponderación
0-250	0
250-500	1
500-750	2
750-1000	3
1000-1250	4
1250-1500	5

Fuente: Adaptado de CLIRSEN.2011

El factor precipitación se toma en cuenta para realizar la ponderación dependiendo del nivel de precipitación mediante el mapa de isoyetas.

Tabla 16. Jerarquización de factores condicionantes y detonantes a deslizamientos (análisis multicriterio)

FACTOR	VARIABLES	CLASE	VALOR
FACTORES CONDICIONAN TES	Formaciones Geológicas (15%)	V. Imbabura	2
		V. Yanahurco	3
		Cangahua	3
	Permeabilidad (27%)	Baja a media	1
		Media	3
		Generalmente alta	5
	Pendiente (23%)	Plano	0
		Ligeramente ondulado	1
		Fuertemente ondulado	2
		Fuertemente quebrado	3
		Escarpado	4
	Cobertura vegetal (15%)	Muy escarpado	5
		Antrópicos	2
		Eriales y otras áreas	5
		Vegetación arbustiva y herbácea	2
FACTOR DETONANTE	Factor Disparo por Lluvia (20%)	Agropecuarios	3
		0-250mm	0
		250-500mm	1
		500-750mm	2
		750-1000mm	3
		1000-1250mm	4
1250-1500mm	5		

Fuente y elaboración: el Autor

La jerarquización de las variables se las dio dependiendo el grado de importancia que tienen al momento de incidir en un deslizamiento.

Tabla 17. Tabla niveles de susceptibilidad a deslizamientos de tierra

Clase	Calificativo	Valor
Condiciones biofísicas demasiado bajas para que se produzcan deslizamientos	Muy bajo	1
Condiciones biofísicas con menor grado favorable para que se produzcan deslizamientos	Bajo	2
Condiciones biofísicas desfavorables para que se ocasionen deslizamientos	Moderado	3
Condiciones biofísicas fuertes haciendo que los espacios geográficos que presentan estas características, sean demasiado peligrosos a deslizamientos	Alto	4
Condiciones biofísicas muy severas haciendo que los espacios geográficos que presentan estas características, sean altamente peligrosos a deslizamientos (muy alto).	Muy Alto	5

Fuente: (Tambó, 2011)

Los niveles de susceptibilidad a deslizamientos están asignados por las condiciones biofísicas en las que se encuentran otorgando valores de 1 al 5.

5.4.2 Diseño en sistema de información geográfica (modelo de geoprociamiento)

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad a deslizamientos se utilizó el Model Builder que es una herramienta de análisis que está incluida en el programa informático ArcGIS Desktop que de una manera genérica permite ordenar y expresar los métodos por los cuales las variables y las operaciones son seleccionadas y utilizadas para desarrollar un modelo de Sistema de Información Geográfica.

El mapa para deslizamientos fue realizado a partir de las capas, shapes o variables de partida que se encuentra en la base de datos del Instituto Ecuatoriano Espacial, de estas se pueden obtener variables derivadas y nuevas salidas de información. Model Builder es una aplicación que se utiliza para crear, editar y administrar modelos. Para Gómez, Osorio, & Salazar (2013), los modelos son flujos de trabajo que tienen secuencias de herramientas de geoprociamiento y suministran la salida de otra herramienta como entrada desplegadas en

un diagrama de flujo. Model Builder también se puede considerar un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo.



Figura 17. Diagrama de elaboración del mapa de susceptibilidad a deslizamientos.
Fuente y elaboración: el Autor.

6. RESULTADOS

6.1 CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

6.1.1 Pendiente

Con la generación del mapa se procedió a considerar las opiniones de los especialistas en el tema y se reclasificaron todas las pendientes para ajustarlas a los criterios definidos con anterioridad. Para la reclasificación se tomó en cuenta la información generada por el sistema nacional de información referente a pendientes en la Sierra ecuatoriana donde la zona de estudio posee pendientes con rango de 0 a 70%, por lo cual la reclasificación se basó en estos rangos. Para tener una ilustración de estas pendientes se presentan los datos obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 18. Datos de las pendientes presentes en la zona de estudio

Nivel	Pendiente (%)	Área (km²)	Porcentaje (%)
Nulo(0)	0-3	11.39071	16.30
Bajo(1)	3-12	34.68407	49.24
Medio(2)	12-25	11.74639	16.68
Medio(3)	25-50	7.234966	10.27
Alto(4)	50-75	4.562126	6.48
Muy alto(5)	>75	0.793882	1.03
	TOTAL	70.43287286	100

Fuente y elaboración: el Autor

Las pendientes que son menores a 3 grados se encuentran en 11.39071 km² que corresponden al 16.30 % del total de la zona de estudio, las pendientes que se encuentran entre los 3 a 12 grados es la que mayor extensión posee 34.68407 km² ocupando el 49.24% del total de la zona de estudio lo que indica que el cantón no es muy propenso a deslizamientos debido al grado de pendiente. Las pendientes con mayor rango no son muy frecuentes en la zona de estudio, las mayores a los 75 grados representan el 1.03 % del cantón Antonio Ante.

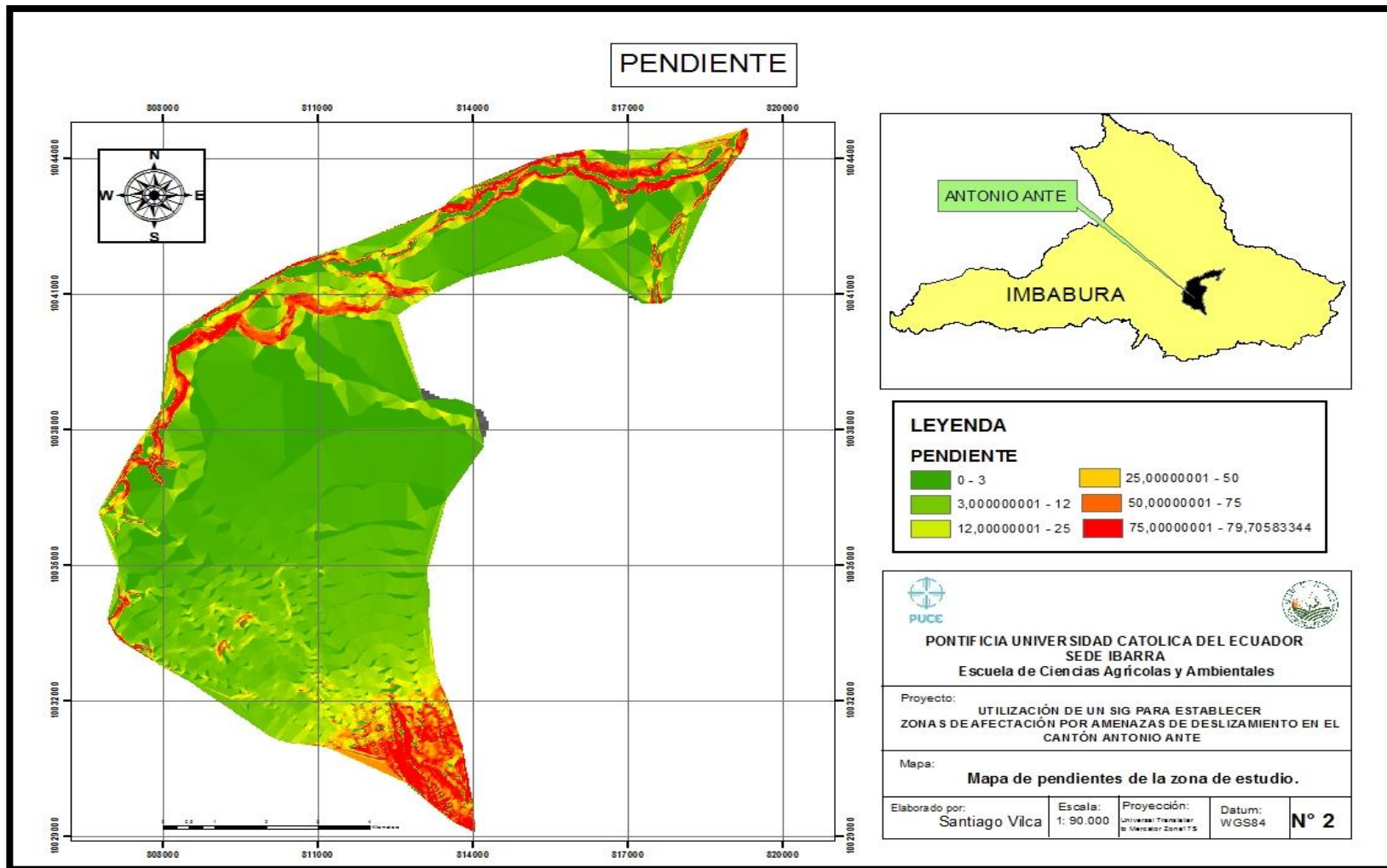


Figura 18. Mapa de pendiente
Fuente y elaboración: el Autor

6.1.2 Geología

La zona de estudio que es el Cantón Antonio Ante esta caracterizada por estar formada de dos edificios volcánicos, las formaciones geológicas que forman esta zona son los volcánicos de Imbabura, Volcánicos de Yanahurco y Cangahua.

- **Volcánicos de Imbabura:**

Antonio Ante, en relación a la formación volcánica de Imbabura, está constituida de lavas, aglomerados y lahares; las lavas que se encuentran son andesitas mesocráticas compactas de grano fino a medio con presencia de fenocristales de plagioclasas y ortopiroxenos en una matriz vidriosa. Los aglomerados poseen fragmentos de rocas volcánicas de redondeadas a angulares; los lahares o depósitos de laháríticos se han desplazado con el tiempo a lo largo de las pendientes hasta llegar a la llanura. El espesor total de los volcánicos de Imbabura es mayor a los 700m. Esta formación geológica está presente en el 77,30% de la zona de estudio.

- **Volcánicos de Yanahurco:**

Esta formación presente en la zona corresponde a la edad terciaria, está constituida por las lavas andesitas, brechas volcánicas y productos piroclásticos. Las lavas son andesitas piroxénicas además posee potentes brechas de flujo. La presencia de cuellos volcánicos en un estado de destrucción limitado, y la ausencia de evidencias estructurales que determinen una acción tectónica hacen suponer que tiene rocas plio-pleistocénicas, corresponde al 1.81% de la zona de estudio.

- **Cangahua:**

En la zona de estudio la formación geológica Cangahua se encuentra en la parroquia de San Roque que representa el 0.29% de la zona de estudio, la Cangahua es un depósito de toba volcánica y ceniza, generalmente de un espesor uniforme que se puede encontrar en la base de estos, la presencia de piroclastos de piedra pómez se halla en capas de 2 a 4 cm de espesor. La toba posee una textura fina a media de color amarillento, también están cubiertos de ceniza de color gris a amarillento.

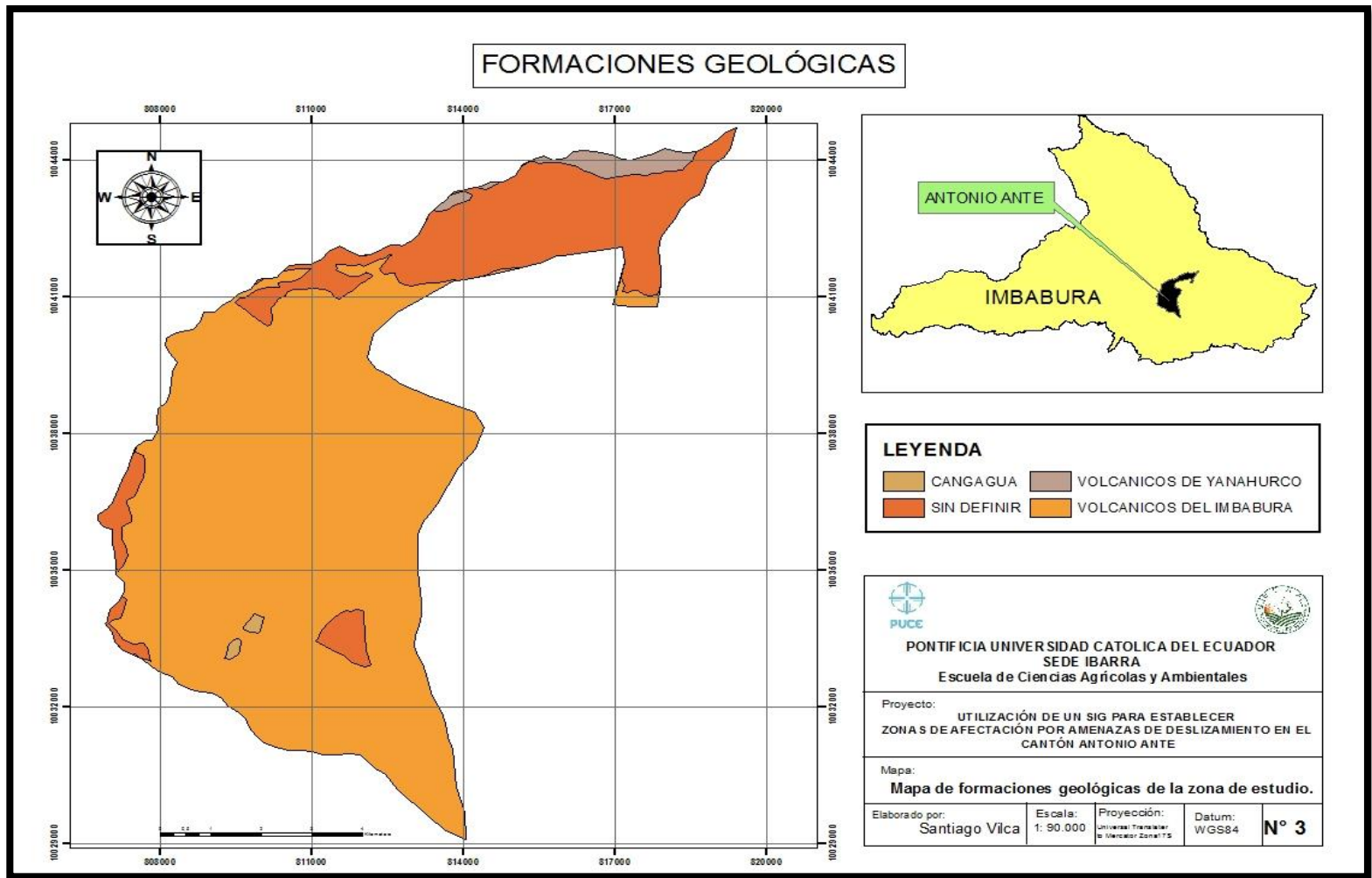


Figura 19. Mapa de formaciones geológicas.
Fuente y elaboración: el Autor.

6.1.3 Litología

Para la clasificación de las unidades litológicas, se tuvo en consideración las características físicas que posee el cantón Antonio Ante, un detalle importante es determinar el grado de permeabilidad de las unidades litológicas presentes en la zona de estudio debido a que las zonas más inestables o con más permeabilidad es donde se encuentran áreas más susceptibles por lo tanto con mayor probabilidad a movimientos de masa.

Para el factor litológico se consideraron las unidades geológicas que fueron identificadas con la base de datos perteneciente al shapefile Hidrogeológico generado por el MAGAP (2005), a escala 1:10.000. Las unidades geológicas que están descritas se definieron en base al Catálogo Nacional de Objetos Geográficos (IEE, s.f).

Tabla 19. Datos de litología del área de estudio.

Nivel	Litología	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Alto(4)	Andesita, Aglomerado, Lahar	54.4436	77.30
Medio(3)	Brecha Volcánica(indiferenciada)	5.1343	7.28
Alto(4)	Ceniza, Piroclastos de pómez	0.2018	0.29
Alto(4)	Depósito coluvial.	0.8976	1.27
Alto(4)	Derrumbe	0.2043	0.29
Medio(3)	Terrazas	7.5243	10.69
Bajo(2)	Terrazas indiferenciadas	0.7449	1.06
Medio(3)	Volcánicos Yanahurco	1.28172	1.82
	TOTAL	70.4328	100

Fuente y elaboración: el Autor.

Andesita, Aglomerado, Lahar: son superficies generadas de la formación de lagos en cráteres volcánicos con mezcla de materiales vulcano clásticos que se desplazan aguas abajo por barrancos Vallance (2000). Es una de las unidades litológicas que comprenden la mayor extensión del cantón Antonio Ante ocupan 54.443 km² lo que representa el 70.30% de la superficie de la zona de estudio en su mayoría se encuentra en las parroquias de Chaltura, San Roque y Atuntaqui, esta litología se encuentra en un grado de susceptibilidad alta.

Brecha volcánica (indiferenciada): Es la tercera unidad litológica con mayor extensión en la zona de estudio que ocupa 5.1343 km² lo que corresponde al 7.28% del total

de la zona de estudio en la parroquia de Imbaya, esta litología se encuentran en un grado medio para ser susceptible a deslizamientos.

Ceniza, Piroclastos de pómez: Dentro de las formaciones litológicas menos importantes en el cantón Antonio Ante, se puede encontrar los piroclastos de pómez que ocupan 0.2018 km² correspondientes al 0.29% de la zona de estudio, posee un grado alto a deslizamientos y se encuentra específicamente en la parroquia de San Roque.

Depósito coluvial: Una de las formaciones litológicas menos importantes presentes en la zona de estudio es la correspondiente a los depósitos coluviales que están compuestos de granodiorítica embebidos en una matriz areno-arcillosa con cristales de cuarzo, feldespato potásico (Cortolima, 2009). Esta litología ocupa 0.8976 km² correspondientes al 1.27% de la zona de estudio, se encuentran en las parroquias de Chaltura y Atuntaqui, por su composición su grado se ubica en la categoría 4 con alto riesgo de susceptibilidad a deslizamientos.

Derrumbe: En la unidades litológicas presentes en la cantón Antonio Ante tenemos la presencia de menor proporción a los derrumbes, esta unidad litológica se genera a través de la fuerza de gravedad Unicef (s,f). Esta litología ocupa 0.2043 km² correspondientes al 0.29% de la zona de estudio, se encuentra en un grado de afectación a deslizamientos alto y está solo en la parroquia de San Roque.

Terrazas: El cantón Antonio Ante presenta la formación litológica terrazas que es la segunda de mayor superficie que se encuentra en la zona de estudio, Según Beltrán & Pozo (2011), “son sedimentos compuestos por gravas, arenas, boleos y limos con una superficie plana limitada por un escarpe, corresponden a un antiguo nivel de sedimentación del río”. Esta litología ocupa 7.5243 km² correspondientes al 10.69% de la zona de estudio se encuentran en las parroquias de Chaltura y de Imbaya, tienen un grado de susceptibilidad alto a deslizamientos.

Terrazas indiferenciadas: Dentro de las formaciones litológicas menos importantes están las terrazas indiferenciadas, según Proaño (2002) están constituidas por ceniza volcánica, limos y cantos rodados, Ocupan 0.7449 km² correspondientes al 1.06% de la zona de estudio se

encuentran en las parroquias de Atuntaqui y San Roque, su grado de susceptibilidad a deslizamientos es bajo.

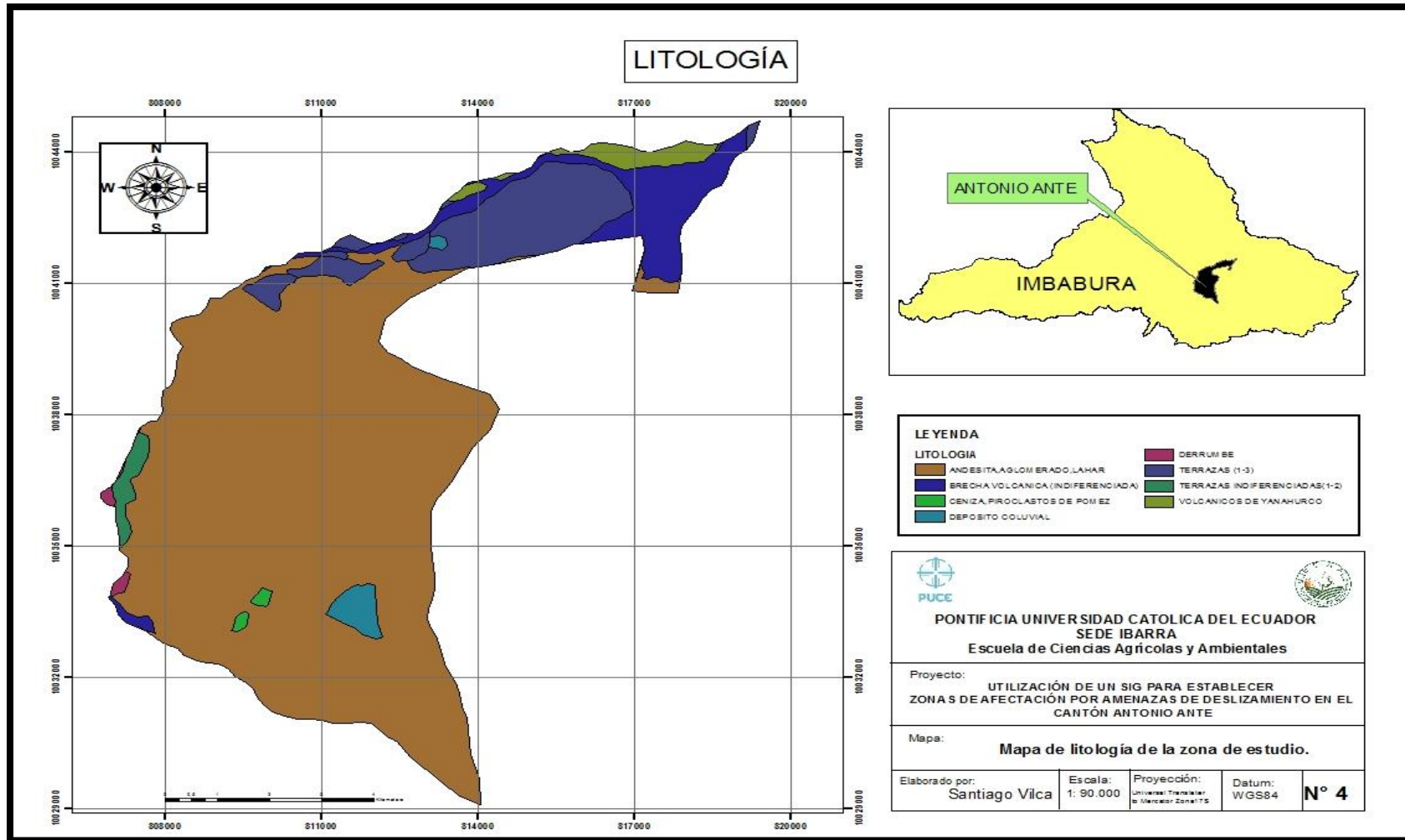


Figura 20. Mapa de litología de la zona de estudio.
Fuente y elaboración: el Autor.

6.1.4 Tipo de permeabilidad

La generación del mapa temático referente al tipo de permeabilidad se lo realizó en base a un mapa de escala 1:50.000 proporcionado por el Sistema Nacional de Información, los siguientes tipos de permeabilidad son los que se encontraron en la zona de estudio.

Tabla 20. Datos de tipo de permeabilidad de la zona de estudio

Tipo de permeabilidad	Extensión (km²)	Porcentaje (%)
Fisuración	60.8596	86.41
Porosidad Intergranular	9.5731	13.59
TOTAL	70.43287	100

Fuente y elaboración: el Autor

El tipo de permeabilidad que mayor extensión posee es la fisuración, los huecos o poros que hay en las rocas y por los que circula el agua, suelen ser los espacios que quedan entre las partículas que las forman, las rocas muy permeables son muy porosas o tienen muchas cavidades, grietas o fisuras, mientras que las menos permeables o impermeables están formadas por granos muy finos y sin apenas espacio entre ellos ANAYA (2012). La extensión que ocupa este tipo de permeabilidad es de 60.8596 km² siendo el 86.41% de la zona de estudio, se encuentra en todas las parroquias del cantón, sin embargo tiene mayor extensión en las parroquias de Atuntaqui, Chaltura y San Roque.

En lo que se refiere a otro tipo de permeabilidad que se encuentra en el cantón es la porosidad intergranular que es una porosidad propia de las calizas con una textura granulada, este tipo de permeabilidad depende de la textura de la roca, son poros primarios por la ausencia de la matriz entre granos en el depósito y de cemento durante la diagénesis, en consecuencia pueden generar rocas con alta porosidad y alta permeabilidad Rodríguez (2006), este tipo de permeabilidad se encuentra en una extensión de 9.5731 km² lo que es el 13.59% de la superficie de cantón Antonio Ante se encuentra en las parroquias de Imbaya y de Chaltura.

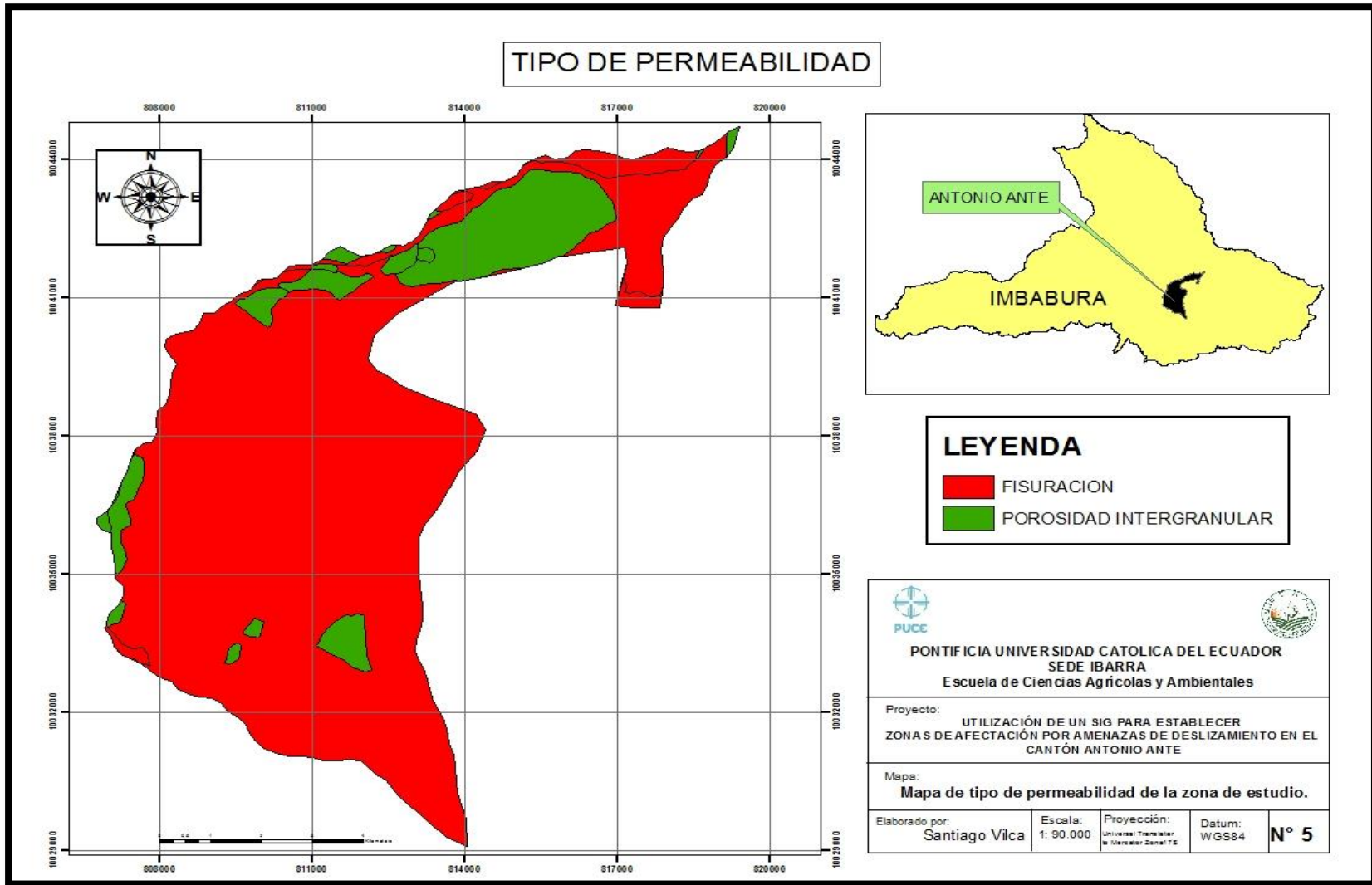


Figura 21. Tipo de permeabilidad de la zona de estudio
Fuente y elaboración: el Autor

6.1.5 Permeabilidad

Los suelos y las rocas no son sólidos ideales, si no que forman sistemas con 3 fases: partículas sólidas y líquidas, partículas sólidas y gas o a su vez partículas sólidas, gas y líquidas; estas características son de la porosidad que a su vez condiciona la permeabilidad (Angelone, Garibay, Cauhapé, & María, Permeabilidad de suelos, 2006).

Para Juárez & Rodríguez (1980), la permeabilidad es una facultad con la que el agua se mueve a través de los poros y su estudio es decisivo en la toma de decisiones en operaciones constructivas y extracción de recursos.

El coeficiente de permeabilidad utiliza la estructura del suelo, de la disposición de las partículas o microestructura. Estos elementos sirven para cuantificar esta propiedad, y depende de las características del fluido, del tipo de suelo y proponen que hay diferentes tipos de coeficientes para la permeabilidad, estos dependen fundamentalmente del tipo de depósito natural del suelo (Terzaghi & Peck, 1996).

Los grados de permeabilidad presentes en la zona de estudio se los logró identificar con el shapefile Hidrogeológico del MAGAP (2005), estos datos se encuentran generados a una escala 1:10.000, el resultado de estos es los coeficientes o grados de permeabilidad presentes en el Ecuador y específicamente en el cantón Antonio Ante.

Tabla 21. Datos de permeabilidad del área de estudio

Nivel	Permeabilidad	Área (km²)	Porcentaje (%)
Baja(1)	Media a Baja	60.85967	86.41
Media (3)	Media	0.20187	0.28
Alta(5)	Generalmente Alta	9.3713	13.31
	Total	70.4328	100

Fuente y elaboración: el Autor.

Baja a media: Este grado de permeabilidad se lo encuentra en la mayor parte del área de estudio extendiéndose en 60.85967 km² un 86,41% de la superficie del cantón. Estudios previos indican que la permeabilidad constituye un factor importante en el proceso de los

deslizamientos, esto quiere decir que a menor permeabilidad existe una mayor susceptibilidad de deslizamientos y viceversa.

Media: Este grado de permeabilidad que ocupa el suelo ocupa una limitada área únicamente está presente en la parroquia de San Roque tiene una extensión de 0.201872 km² que representa el 0.28% de la superficie del cantón.

Generalmente Alta: El suelo con este grado se encuentra en mayor extensión en las parroquias de Chaltura e Imbaya y en menor proporción en las otras parroquias, su extensión es de 9.3713 km² lo que es el 13.31% de la zona cantonal de estudio. Este grado de permeabilidad incide para que en estas zonas ocurran mayor número de deslizamientos.

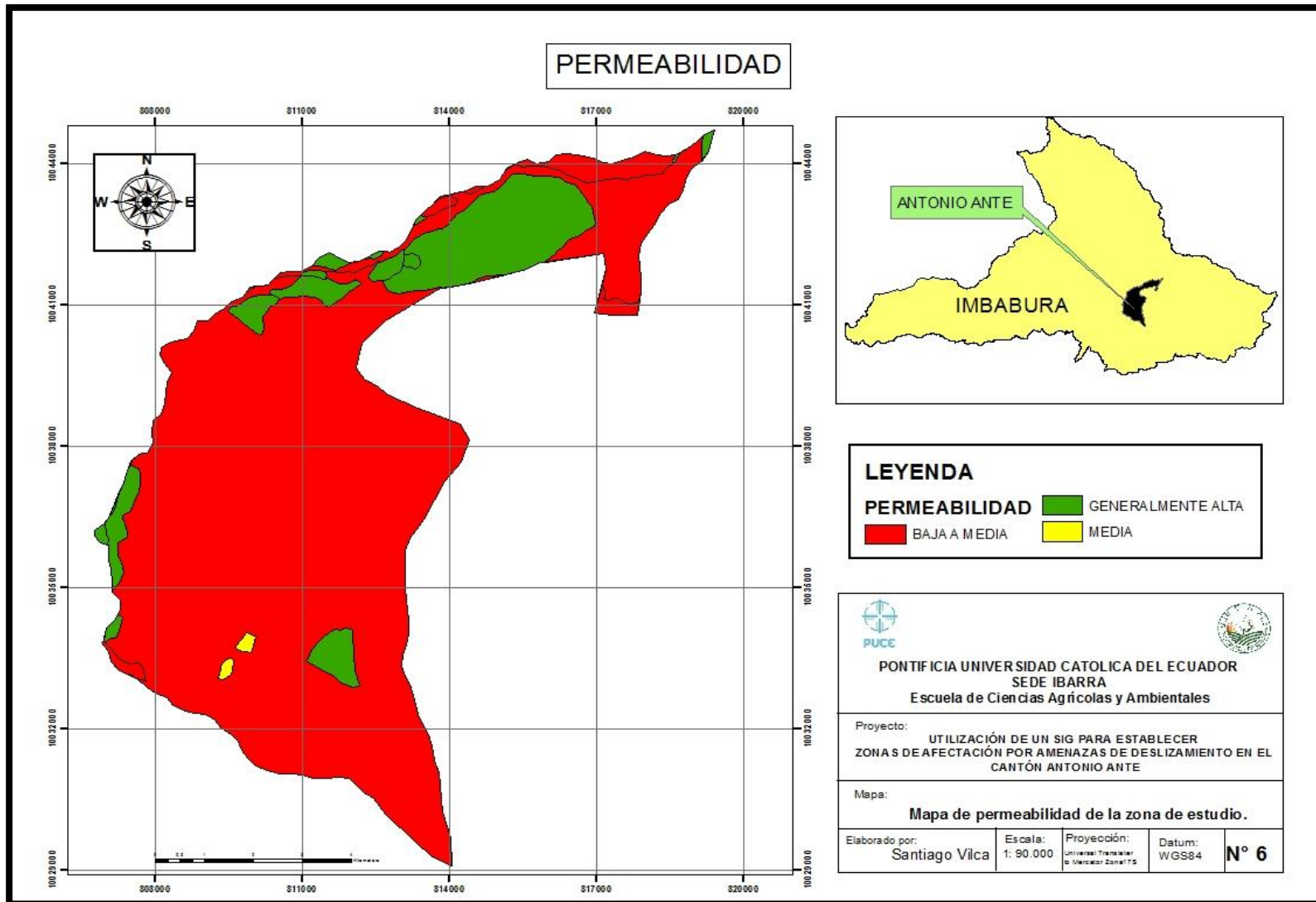


Figura 22. Mapa de permeabilidad de la zona de estudio.
Fuente y elaboración: el Autor

6.1.6 Suelos

Para la generación de este mapa temático se utilizó el shapefile Taxonomía Sierra elaborado por SINAGRO. Estos datos fueron bajados del Sistema Nacional de Información, y sirvieron para la identificación del orden de los suelos según la Soil Taxonomy presentes en el cantón Antonio Ante que es la zona de estudio.

Entisoles: Este orden de suelos es con menor desarrollo en comparación al resto, no es posible distinguir una secuencia de horizontes definidos en el perfil (Bertsch, Mata, & Henríquez, 1993). Según (Ibáñez, Blanquer, & Moreno, Descripción Entisoles, s.f) son los suelos más jóvenes que se pueden encontrar en la superficie terrestre constituyen el orden con mayor representatividad cartográfica en el mundo presentan poca profundidad radical, exceso de humedad mayor frecuencia a inundaciones y una alta susceptibilidad a erosión tanto hídrica como eólica; al no tener perfil definido se los caracteriza con los perfiles AC. Este orden de los entisoles ocupa una extensión de 0.3356 km² lo que es un 0.48% de la superficie total de la zona de estudio, se encuentra principalmente en la parroquia de Imbaya y su característica principal es que son suelos con alto riesgo de erosión por el uso en actividades agrícolas.

Inceptisoles: Son suelos que no cumplen los requisitos para ubicarse en alguno de los otros órdenes anteriores pero presentan evidencias de evolución incipiente que los ha llevado a desarrollar varios horizontes con estructura de suelo Jaramillo (2002), presentan mayor desarrollo pedogenético que los Entisoles pero no tiene suficiente desarrollo para pertenecer a otro lo que refleja una inmadurez pedológica (Angelone, Garibay, Cauhapé, & María, Permeabilidad de suelos, 2006).

El orden de los inceptisoles ocupa la mayor parte de la zona de estudio 54.3289 km² de extensión lo que es el 77.14 % de la superficie total del cantón, lo encontramos en mayor proporción en la formación geológica Volcánicos del Imbabura, presentes en las parroquias de San Roque y Atuntaqui.

Mollisoles: Son suelos superficiales a moderadamente profundos, desarrollados de materiales volcánicos y sedimentarios; tienen el horizonte superficial oscurecido, estructurados en gránulos bien desarrollados de consistencia friable y dotados

suficientemente de bases, principalmente Ca y Mg. Presentan topografía que varía entre ligeramente inclinada a extremadamente empinada (OAS, s.f). El material parental es generalmente calcita (es el mineral más estable que existe de carbonato de calcio (INTA, 2015).

El orden de este suelo se extiende por una superficie de 3.1815 km² lo que es el 4.52% de la superficie cantonal; este orden lo encontramos únicamente en las parroquias de San Roque y Atuntaqui; son parte de la formación geológica Volcánicos de Imbabura.

Tabla 22. Datos del tipo de suelo presente en la zona de estudio

Orden	Área (km²)	Porcentaje (%)
Entisoles	0.3356	0.48
Inceptisoles	54.3289	77.14
Mollisoles	3.18153	4.52
Sin suelo	12.5867	17.86
Total	70.4328	100

Fuente y elaboración: el Autor.

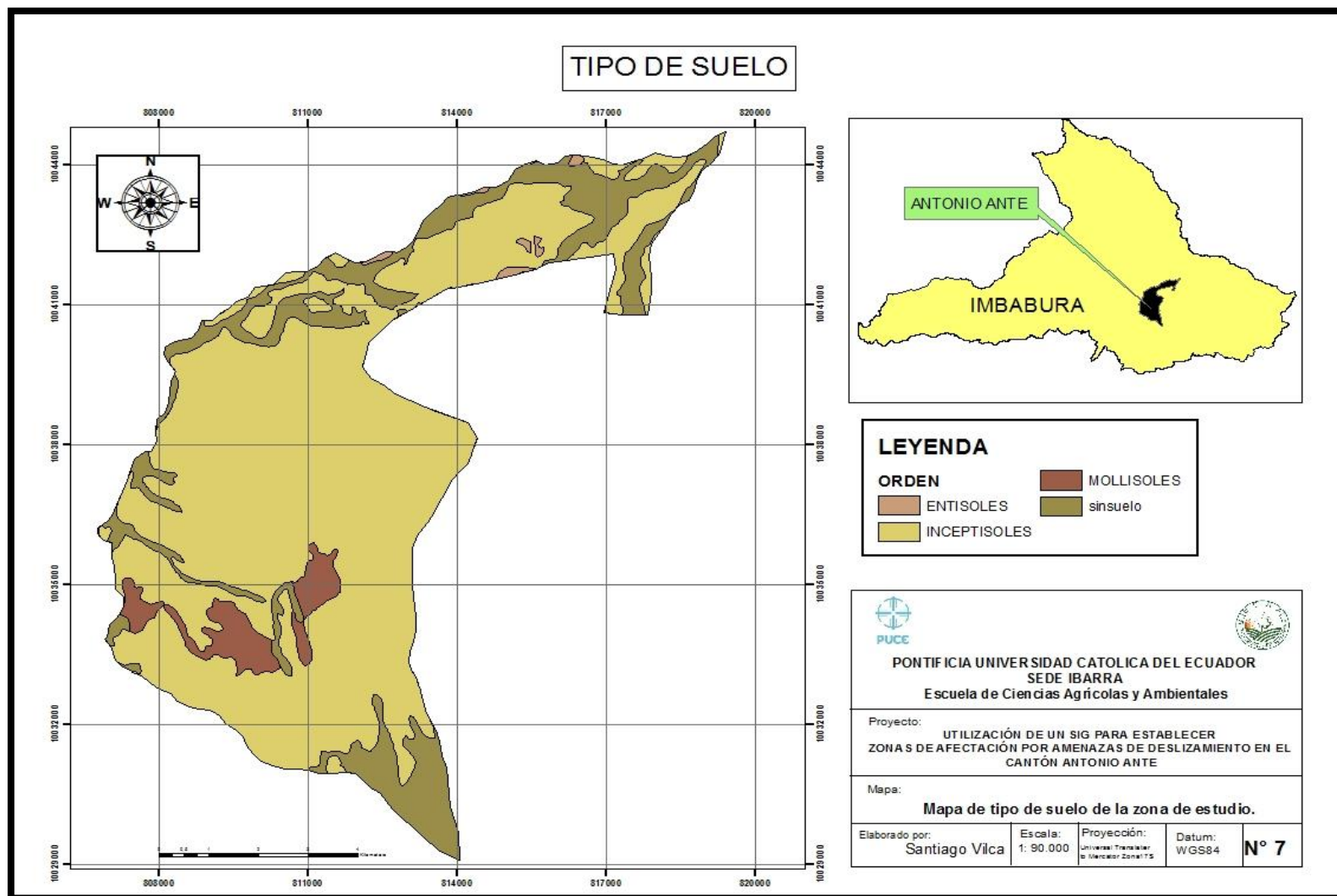


Figura 23. Mapa tipo de suelo de la zona de estudio.
Fuente y elaboración: el Autor

6.1.7 Isoyetas

El método isoyetas se define como las curvas de igual precipitación que se encuentran en un mapa, se utiliza información de las estaciones pluviométricas y la cantidad de lluvia registrada.

Tabla 23. Datos de precipitación de la zona de estudio

Nivel	Precipitación	Área (km²)	Porcentaje (%)
Bajo(2)	500-750mm	17.8793	25.38
Medio(3)	750-1000mm	49.8695	70.80
Alto(4)	1000-1250mm	2.6839	3.82
TOTAL		70.4328	100

Fuente y elaboración: el Autor

En el área de estudio es fundamental tomar a consideración el factor de las precipitaciones “medido en milímetros que es igual al grosos de la lámina de agua formada a causa de la precipitación, esta sobre una superficie plana e impermeable” (Saenz, 2002, pág. 29). La precipitación es un factor detonante tomado en cuenta para la generación del mapa susceptibilidad a deslizamientos. Para la generación del mapa Isoyetas se utilizó el shapefile Isoyetas que se obtuvo del Sistema Nacional de Información y fue elaborado por el INAMHI,2008 en una escala de 1:250.000.

La precipitación descrita en forma de Isoyetas nos indica que en la parroquia de San Roque es donde se registra mayores valores de lluvia de 1000-1250mm siendo los lugares donde este factor tiene más incidencia; En las parroquias de Chaltura y Atuntaqui se registran valores medios en la escala para ser susceptibles a deslizamientos.

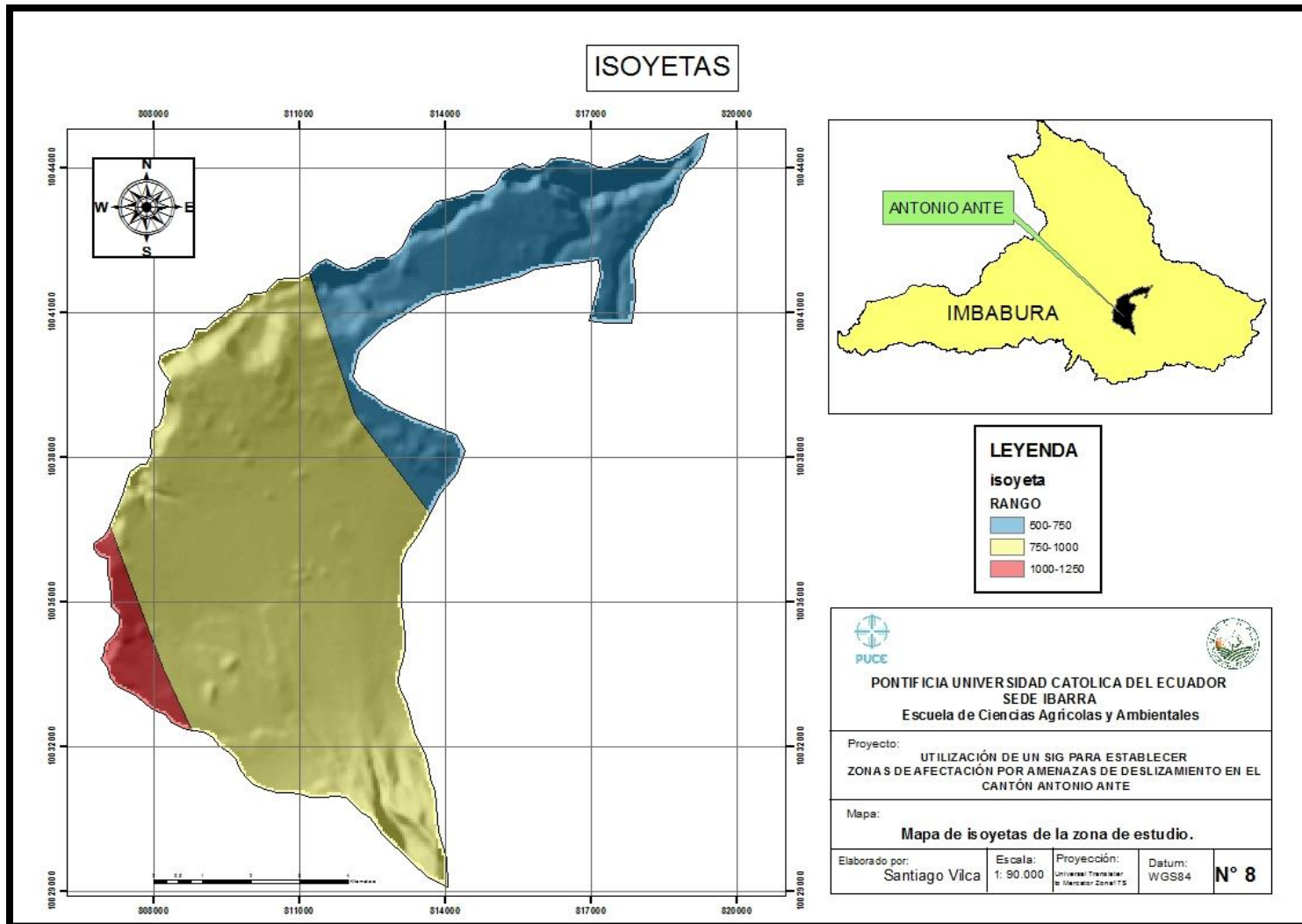


Figura 24. Mapa de isoyetas de la zona de estudio.
Fuente y elaboración: el Autor

6.1.8 Clima

El mapa temático referente al clima de la zona de estudio se lo pudo realizar con los datos de shapefile Tipos Climáticos bajados del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2015). Esta información recopilada en estaciones meteorológicas con las temperaturas y el grado de precipitaciones presentes: nos proporcionan los datos para generar este mapa representativo de los climas e identificar la presencia de los siguientes climas del cantón Antonio Ante.

Tabla 24. Datos de climas presentes en la zona de estudio

CLIMA	Áreas (km ²)	Porcentaje (%)
Clima seco sin exceso de agua, Mesotérmico templado cálido	27.4152	38.92
Clima subhúmedo sin exceso de agua, Mesotérmico templado frío	4.1069	5.83
Clima árido sin exceso de agua, Mesotérmico templado cálido	0.8346	1.19
Clima Subhúmedo con pequeño déficit de agua, Mesotérmico templado frío	38.0760	54.06
TOTAL	70.4328	100

Fuente y elaboración: el Autor

Los climas que están presentes en la zona de estudio son cuatro, el clima con mayor presencia en la zona cantonal es el clima subhúmedo con pequeño déficit de agua (mesotérmico templado frío) que tiene 38.0760 km² correspondientes al 54.06% en las parroquias de Imbaya, San Roque y Atuntaqui; el clima seco sin exceso de agua (mesotérmico templado cálido) se encuentra en 27.1452 km² correspondientes al 38.92% de la zona cantonal en las parroquias de Chaltura y Atuntaqui; el clima subhúmedo sin exceso de agua (mesotérmico templado frío) tiene una extensión de 4.1069 km² que es el 5.83% de la zona de estudio en la parroquia de San Roque, y el clima con menor presencia y en menor porcentaje es el clima árido sin exceso de agua (mesotérmico templado cálido) con una extensión de 0.8346 km² que es un 1.19% de la zona de estudio en la parroquia de Imbaya.

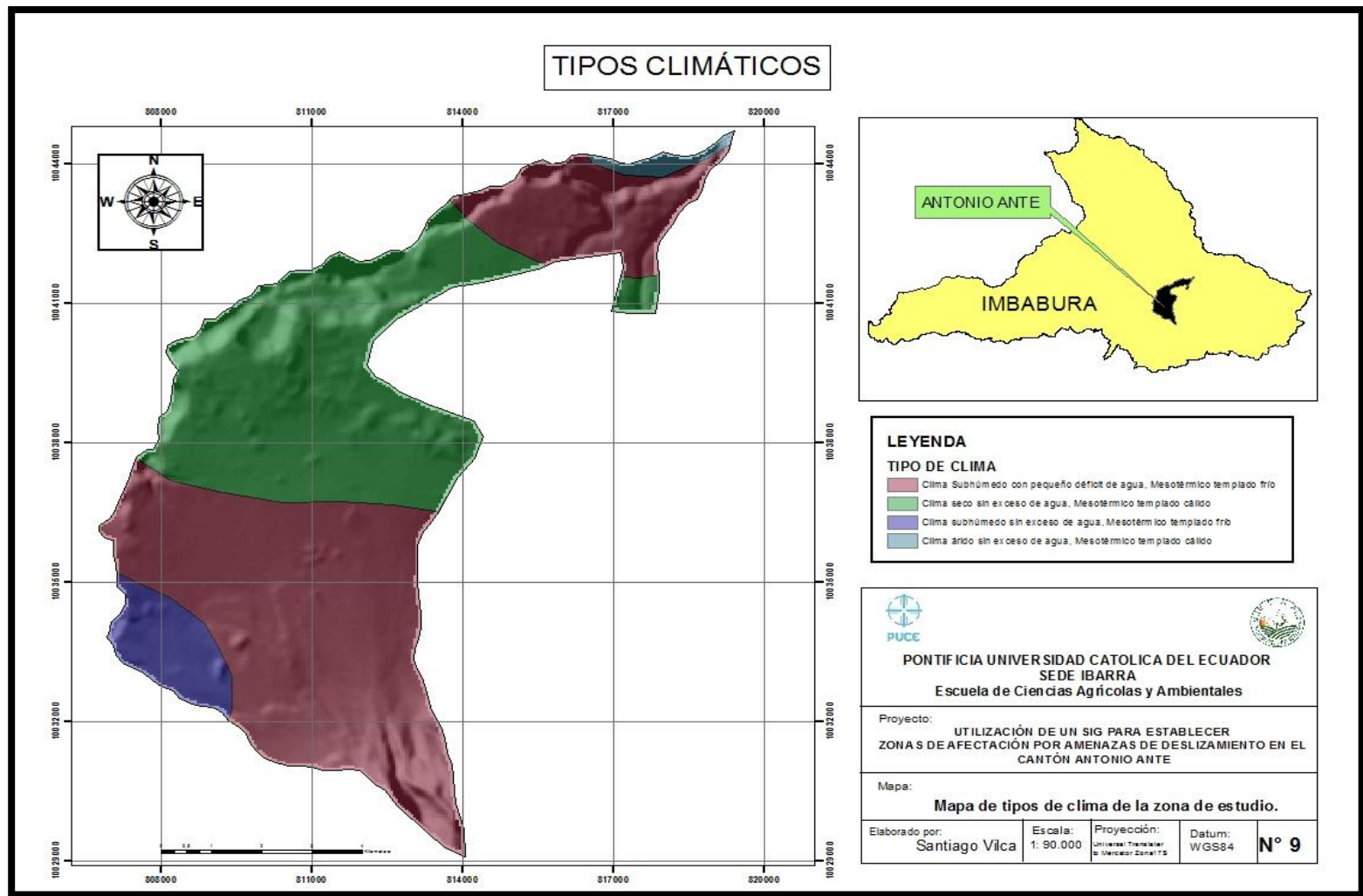


Figura 25. Mapa de tipos climáticos de la zona de estudio.
Fuente y elaboración: el Autor

6.1.9 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal es uno de los factores con mayor relevancia respecto a los movimientos de masa, la vegetación actúa en la estabilidad de los taludes y suelos, estudios hechos han demostrado el efecto positivo que posee la vegetación para evitar problemas de erosión, reptación y fallas superficiales. Los árboles y arbustos de raíz profunda aportan resistencia cohesiva a los mantos superficiales del suelo y al mismo tiempo facilitan el drenaje subterráneo.

El área erosionada de la zona de estudio abarca una superficie no significativa de 14.87 km² en la parroquia de Imbaya, estos datos en los próximos años posiblemente cambiarán debido a las actividades que se realizan, entre las cuales está el monocultivo excesivo de maíz y pasto cuya cobertura se encuentra en 33.3268 km² que es gran parte del territorio de la zona de estudio.

Tabla 25. Datos del uso de suelo en la zona de estudio

Uso	Extensión (km ²)	Porcentaje (%)
Agrícola	23.4945	33,3574
Agrícola conservación y protección	4.9307	7,0005
Agropecuario mixto	33.3268	47,3171
Antrópico	3.0812	4,3747
Conservación y protección	5.4507	7,7389
Tierras improductivas	0.1486	0,2111
TOTAL	70.4328	100

Fuente y elaboración: el Autor

Para generar el mapa de cobertura vegetal de la zona de estudio se utilizó la información presente en el shapefile de uso y cobertura del año 2015 de escala 1:50.000 que lo proporcionó el Sistema de Información Nacional, esta información dio los siguientes resultados. Dentro de la cobertura vegetal encontrada en la zona de estudio están las áreas de uso agropecuario mixto que ocupa 33.3268 km² siendo el 47.31% de la zona, es la cobertura con mayor extensión dentro del cantón Antonio Ante, la vegetación presente en este uso, es al desarrollo de cultivos de maíz, cultivos frutales, cultivos en invernadero,

cultivo de cereales. Estos datos son los que se encuentran actualizados hasta el año 2015 por lo que no se tiene datos de cuanto disminuyó la cobertura vegetal.

Las áreas improductivas o áreas erosionadas ocupan 0.1489 km² el 0.21% de la zona total, es un dato importante porque demuestra que el suelo y la cobertura mantiene vegetación no obstante la mayoría de esta vegetación es destinada a los cultivos por lo cual a futuro las áreas erosionadas aumentarán considerablemente y afectará al deterioro químico y físico del suelo, estas zonas están en la parroquia de Imbaya donde la mayoría de su cobertura está destinada a cultivo de caña de azúcar.

La zona de estudio presenta también áreas destinadas a la conservación y protección con una extensión de 5.4507 km² lo que es el 7.73% de la superficie del cantón, estas áreas están controladas para que su uso no sea ni para forraje ni cultivos de ningún tipo, estas se encuentran en las parroquias de San Roque y de Imbaya.

La importancia para evaluar la cobertura vegetal en la generación de los mapas con susceptibilidad a deslizamientos es dar una idea más clara de la importancia temática, donde no sólo se tiene en cuenta la vegetación sino también lo que implica la humedad del suelo, la relación humedad precipitación y el paisaje que forma entre otras. La densidad, la capacidad de intercepción de agua de lluvia y el área que tiene la cobertura vegetal de protección constituyen un factor para la resistencia, erosión y movimientos de masa. En áreas que poseen una pendiente alta y una cobertura vegetal de ciclo biológico lento y frágil hacen que aumente la susceptibilidad (IDEAM, 2012).

Tabla 26. Datos de la cobertura vegetal presente en la zona de estudio.

Cobertura	Descripción	Extensión (km²)	Porcentaje (%)
Antrópicos	Zona intervenida por el hombre	2.66418	3,7825
Eriales y otra áreas	Áreas desprovistas de vegetación	0.1486	0,2111
Vegetación arbustiva y herbácea	Áreas constituidas por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontaneo, que no reciben cuidados especiales y son utilizadas con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección	3.0812	4,3747
Agropecuarios	Producto agrícola, resultado de un conjunto de técnicas y conocimientos para cultivar la tierra	64.5387	91,6315
TOTAL		70.4328	100

Fuente y elaboración: el Autor.

La cobertura vegetal con mayor presencia en el cantón es la referente a la agropecuaria que se encuentra en 64.5387 km² teniendo el 91,63 % de la zona total de estudio, en lo referente a vegetación arbustiva y herbácea, ocupa una extensión de 3.0812 km² lo que es el 4.37% de la superficie del cantón, dentro de esta vegetación tenemos paramos, vegetación herbácea referente a cultivos para pastoreo y conservación.

La zona antrópica posee 2.6641 km² lo que es el 3.78% de la zona de estudio, esto abarca las zonas de construcción y utilizadas por el hombre para su confort, esta acción antrópica puede aumentar debido a la expansión urbana y la construcción de carreteras y edificaciones para el desarrollo de este cantón.

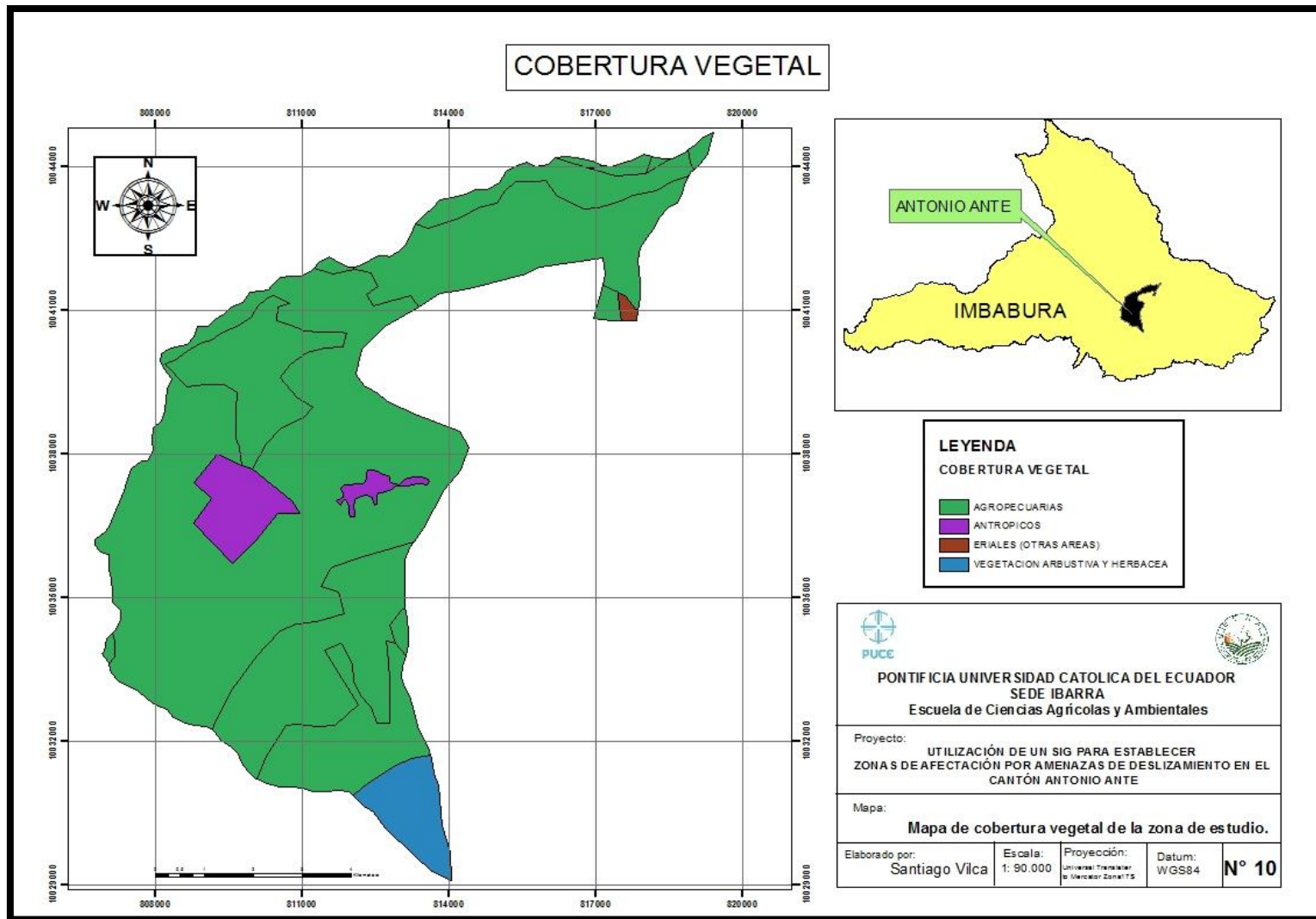


Figura 26. Mapa de cobertura vegetal de la zona de estudio.
Fuente y elaboración: el Autor

6.2 DESLIZAMIENTOS

Con la superposición de mapas temáticos y enfocados al modelo propuesto para esta investigación se realizó el mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el cantón Antonio Ante, en la zona de estudio se evidenció la presencia de 3 niveles de amenazas, estos niveles son resultantes de la utilización del Model Builder en el programa informático ArcGis 10.3.1 y la valoración a los factores mediante un análisis multicriterio con una ponderación de: pendiente (23%), formaciones geológicas (15%), permeabilidad (27%), cobertura vegetal (15%) y precipitación (20%); el nivel muy bajo o nulo posee pendientes mejores a 12 % y precipitación de 500 a 750mm, bajo con pendientes de 12 a 25% y precipitación de 750mm a 1000mm y medio o moderado con pendiente mayor a 25% y precipitación de 1000 a 1250mm; y estas zonas de mayor grado a amenaza se encuentran en un gran porcentaje de la zona de Imbaya, Chaltura y San Roque en la parte de Atuntaqui no existe ningún grado de amenaza.

Tabla 27. Tipos de peligros de deslizamientos en la zona de estudio.

Deslizamientos	Pendiente (%)	Precipitación (mm)	Área (km²)	Porcentaje (%)
Muy bajo o nulo	0-12	500-750	45.4835	64.58
Bajo	12-25	750-1000	18.7708	26.65
Medio o moderado	<25	1000-1250	6.1785	8.77
TOTAL			70.4328	100

Fuente y elaboración: el Autor

La amenaza que tiene el grado de susceptibilidad correspondiente a muy bajo o nulo tiene una extensión de 44.70.636 km² correspondientes al 64.18% del total de la zona de estudio. En esta zona las pendientes que predominan entre 0 a 12 grados que es un condicionante que nos da para que no se produzcan mayor tipo de deslizamientos. En esta zona la litología que la constituye es la andesita, conglomerado, lahar y brechas volcánicas. Con respecto a la cobertura vegetal se evidencia la presencia de tierras para uso agropecuario y de uso antrópico es decir asentamientos humanos, las zonas seguras o que no tienen ningún riesgo a deslizamientos lo encontramos en la parroquia de Atuntaqui y San Roque.

El grado de amenaza referente a el nivel de susceptibilidad bajo tiene una extensión de 18.7708 km² correspondientes al 26.95% de la zona de estudio en el cantón Antonio Ante. En esta zona las pendientes que más presencia tienen están entre los 12 y los 50 grados referentes a zonas fuertemente onduladas y fuertemente quebradas, la litología que se encuentra en estas zonas son andesita, conglomerado, lahar terrazas y terrazas indiferenciadas. La cobertura vegetal que presenta esta zona es para el uso agropecuario y zonas con vegetación arbustiva y herbácea. Esta zona se encuentra en la mayor parte del cantón especialmente en las parroquias de Imbaya y de Chaltura aunque también tiene pequeñas zonas en la parte baja tanto de San Roque como Atuntaqui.

Una extensión de 6.1785 km² o el 8.87% de la zona de estudio se encuentra en el nivel de amenaza medio o moderado. En esta zona las pendientes que se encuentran están entre más de los 50 grados correspondientes a zonas escarpadas. La litología presente en esta zona es: las brechas volcánicas, terrazas, derrumbes, ceniza, piroclastos de pómez. La cobertura vegetal que se tiene en la zona es referente a zonas eriales y uso agropecuario. Estas zonas con amenaza moderada se encuentran en las zonas de Imbaya y Chaltura.

Los estudios que se han realizado en el cantón incluso el realizado por el Instituto Ecuatoriano Espacial (IEE, 2013) se enfocan solamente a determinar las zonas susceptibles en este caso al 8.87% que son las que presentan un riesgo de amenaza moderado, aquí hay pendientes onduladas y escarpadas medios con pendiente, además de un alto uso para la agricultura, las zonas de urbanización o con presencia de asentamientos humanos no se ven afectados a deslizamientos, sin embargo las vías del cantón son los más propensos a recibir daños como se evidencia en la carretera que limita al cantón Antonio Ante con Urcuquí y la frontera que existe con el cantón Cotacachi en la vía que une La Merced con este cantón. Esto se evidenció con las salidas de campo y la comparación con los puntos GPS tomados en las zonas de deslizamientos, hace falta mayor información geográfica e historial de estos eventos en la zona de estudio

Peligro a deslizamientos en el cantón Antonio Ante.

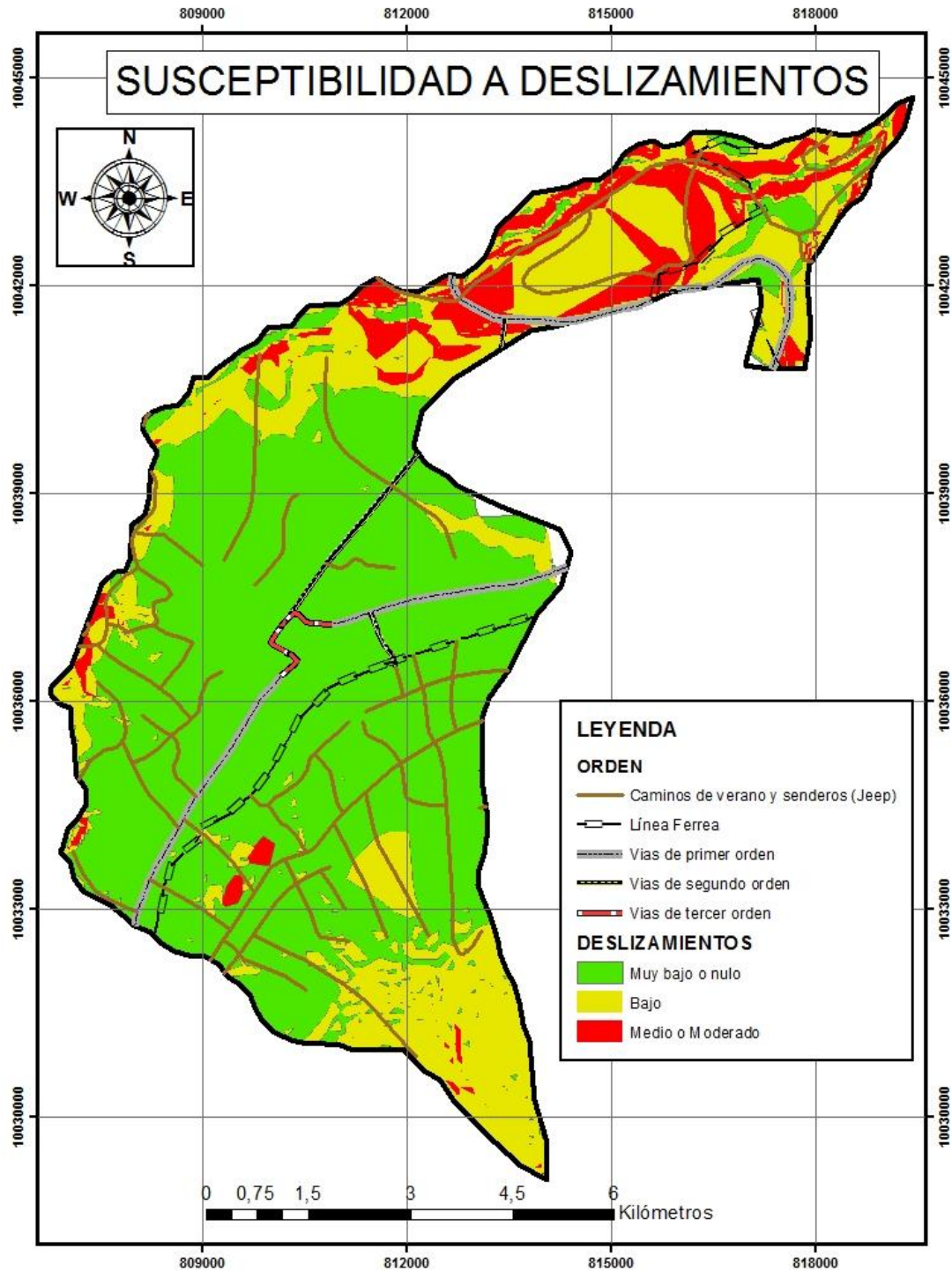


Figura 27. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos
Fuente y elaboración: el Autor

Para una mejor visualización de las zonas susceptibles a deslizamientos se procedió a dividir el mapa de susceptibilidad en tres bloques, donde se puede evidenciar claramente las afectaciones que pueden generar estos fenómenos los bloques resultantes son el bloque 1 o norte, bloque 2 o central y el bloque 3 o sur. Cada uno de estos bloques consta de vías que pueden ser potencialmente afectadas por los deslizamientos

Primer Bloque:

El primer bloque está formado por las parroquias de Atuntaqui, Chaltura y de Imbaya, las vías que se encuentran en este sector son las propensas a deslizamientos, los asentamientos poblados no se ven afectados por el nivel de amenaza moderada o medio.

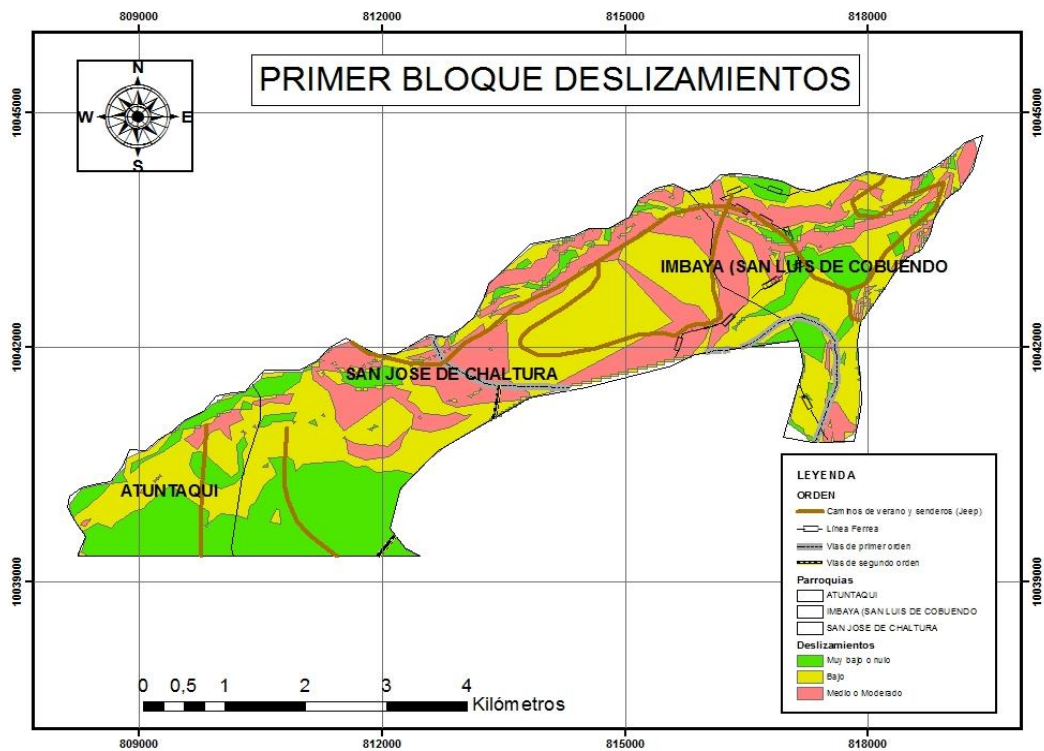


Figura 28. Primer bloque deslizamientos
Fuente y elaboración: el Autor

Los centros poblados no se ven afectador por lo que la investigación está enfocada a los deslizamientos en vías, en esta bloque se evidenciaron que se afectan a 6 vías.

La primera vía en ser afectada es la línea férrea, que está en el sector de Santiago de Monjas en las coordenadas X 816165, Y 10042250, tiene afectación en dos tramos, el primer tramo tiene una longitud de 835 metros y el segundo de igual manera en el sector de Santiago de Monjas en las coordenadas X 815668, Y 10042051 de 1281 metros. La litología que se

encuentra en esta vía es terrazas indiferenciadas y volcánicas de Yanahurco, con una pendiente que va entre 25 a 75 %, la permeabilidad que encontramos en esta línea férrea es generalmente alta y en otro tramo de baja a media.

Otra vía afectada es el sendero que comunica Imbaya con la línea férrea en el sector de Santiago de Monjas en las coordenadas X 816330, Y 10043854, esta vía comprende 899 metros y está en la parroquia de Imbaya, se encuentra en una litología de terrazas indiferenciadas y brechas volcánicas, las pendientes que se encuentran en esta vía van de 3 a 50%, la permeabilidad que tiene es generalmente alta y una precipitación baja entre 500 a 750mm.

La tercera vía en verse potencialmente afectada es el sendero que comunica Chaltura-Imbaya, no se encuentran asentamientos poblados cercanos, consta de dos tramos el primer tramo tiene una longitud de 920 metros se encuentra en las coordenadas X 814759, Y 10043143 y el segundo tramo consta de 1229 metros en las coordenadas X 813618, Y 10042531, se encuentra en una litología formada de terrazas, la pendiente en la que se encuentra está entre los 12 a 75%, la vía se encuentra ubicada en una zona con una permeabilidad alta y una precipitación que esta entre 500 a 750mm.

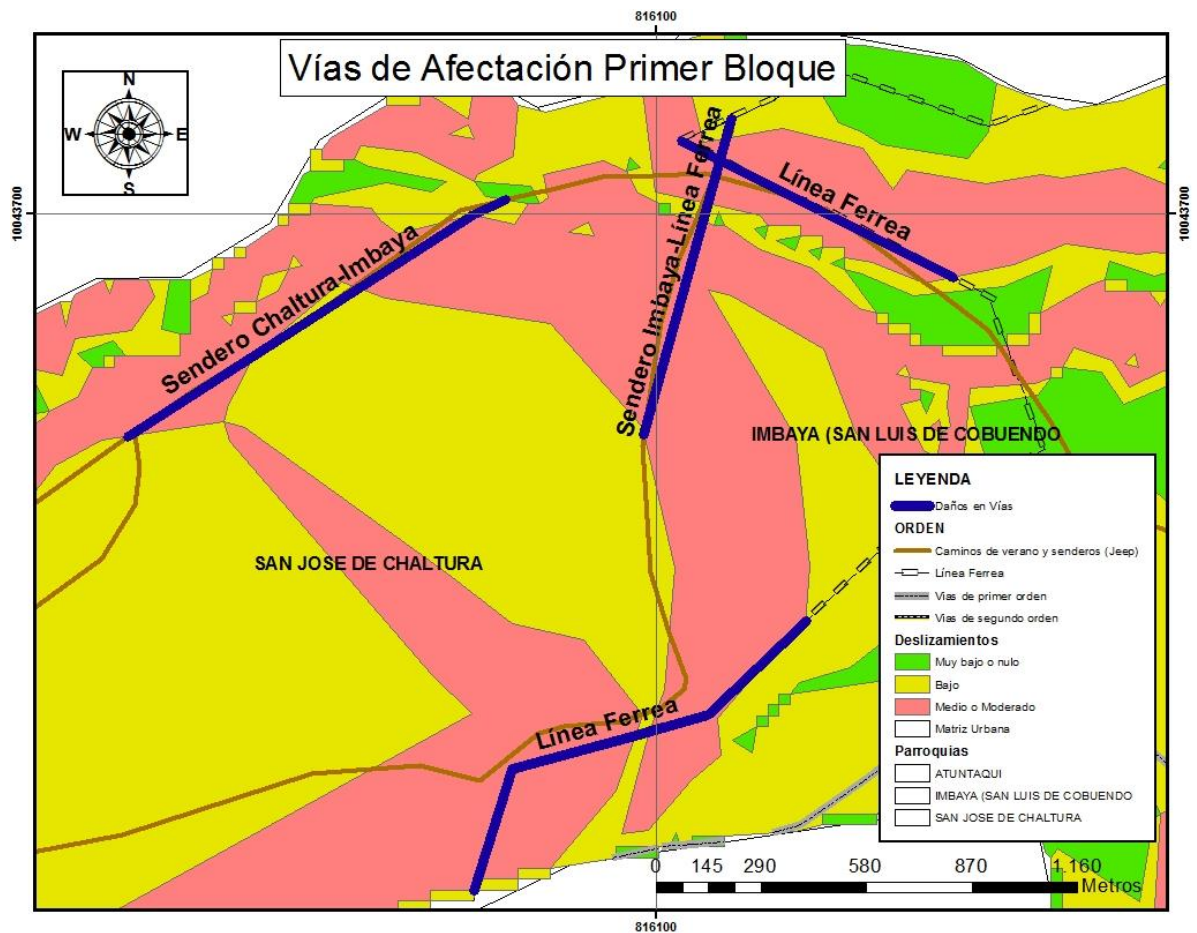


Figura 29. Vías de afectación primer bloque.
Fuente y elaboración: el Autor.

Otra vía que es potencialmente susceptible a deslizamiento es la Vía Urcuquí-Antonio Ante que está en las coordenadas X 813072, Y 10041605, tiene una longitud de 1358 metros está en la parroquia de Chaltura, está ubicada en una litología de terrazas, se encuentra con pendientes de 0 a 12 %, posee una permeabilidad de media a alta y existe una precipitación de 500 a 750mm.

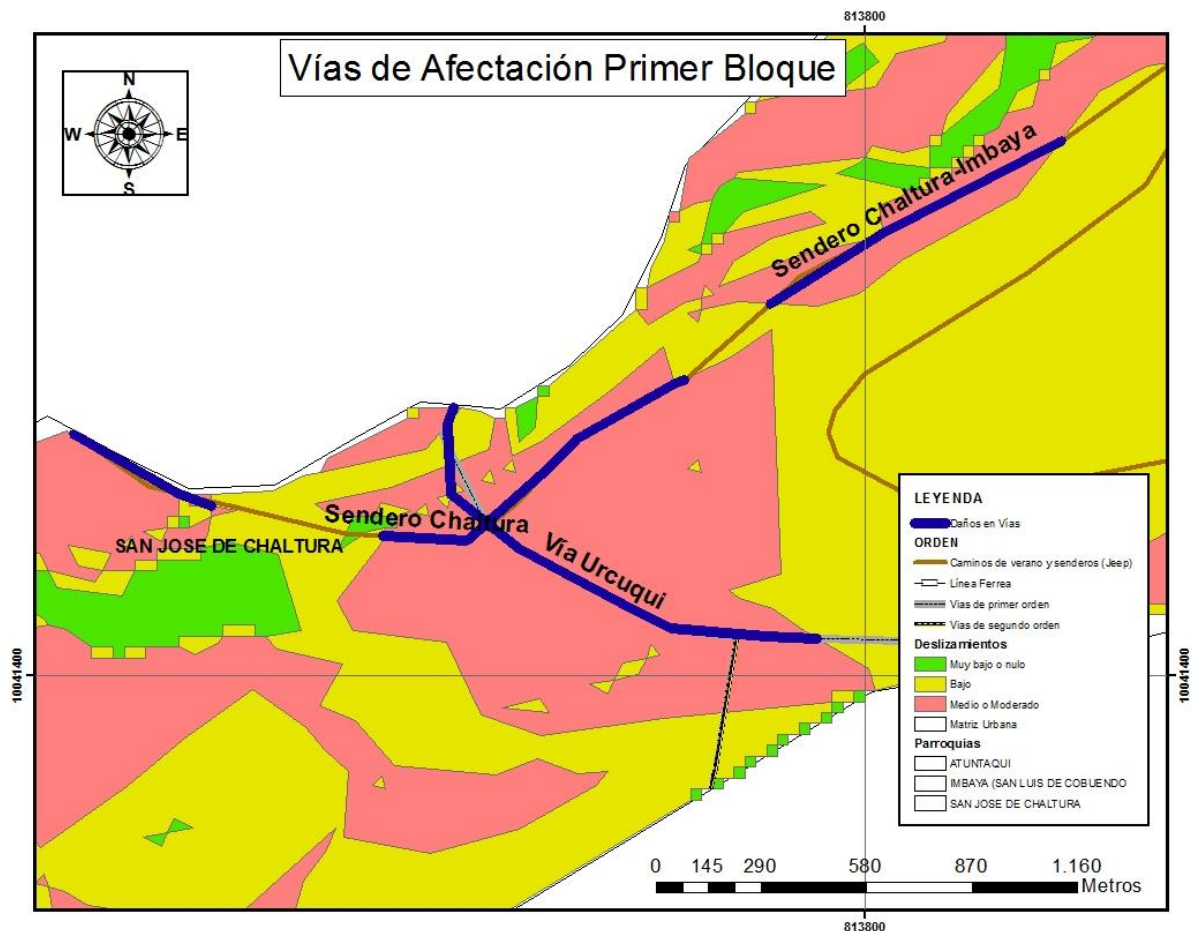


Figura 30. Vías de afectación primer bloque
Fuente y elaboración: el Autor.

La vía Chaltura-Urcuquí es potencialmente susceptible a deslizamientos, tiene un tramo de 428 metros y se encuentra en la parroquia de San José de Chaltura en las coordenadas X 811594, Y 10042071, se encuentra en una litología de terrazas, la pendiente se encuentra entre 0 a 12%, la permeabilidad en esta vía es alta y la precipitación que se encuentre en esta zona es de 500 a 750mm.

La vía que se encuentra en este bloque está en la parroquia de Atuntaqui no posee asentamientos humanos cercanos, está en las coordenadas X 809801, Y 10040801, consta de una longitud de 188 metros, con una litología de conformada de terrazas por lo que tiene un grado de afectación medio, la pendiente está entre 12 a 50%, la permeabilidad de la zona es alta y la precipitación es de 750 a 1000mm.

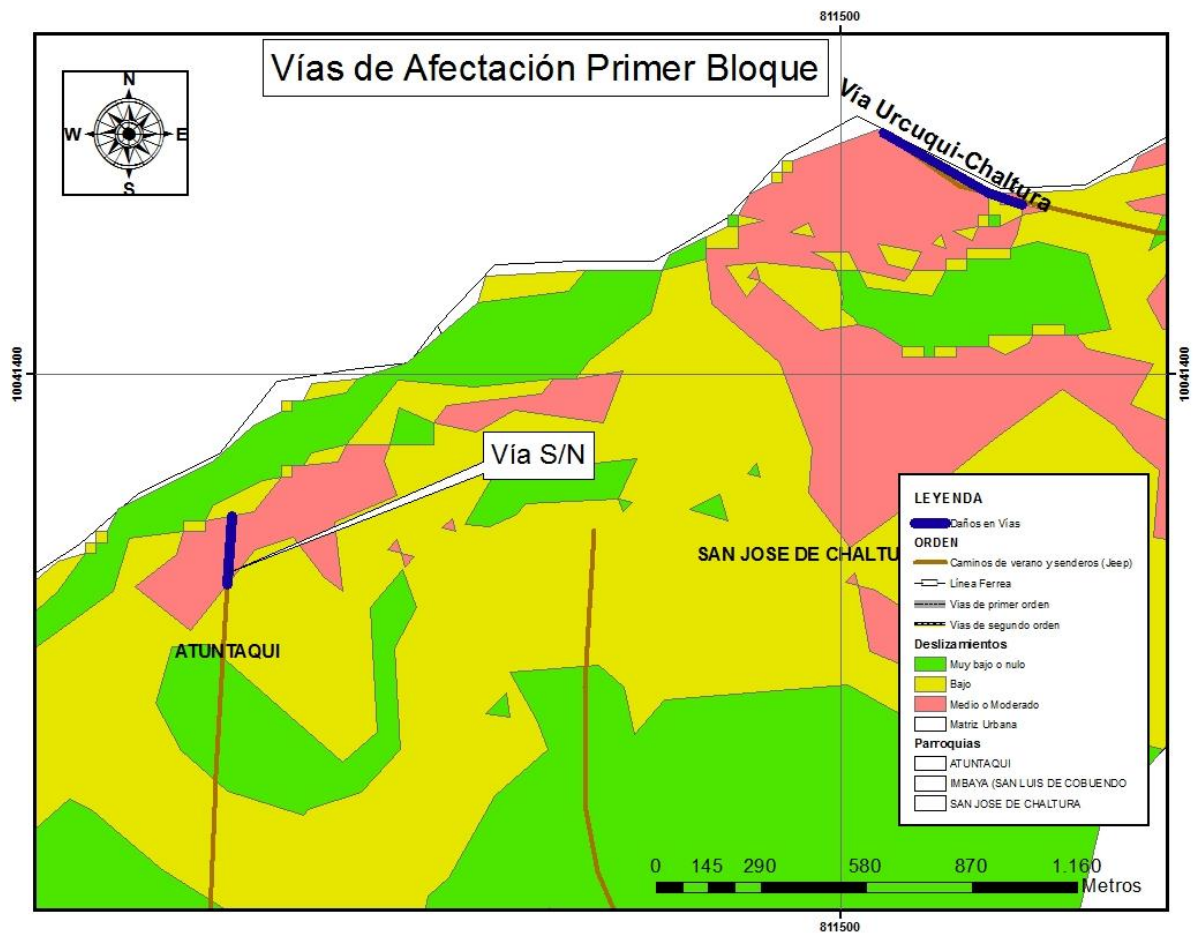


Figura 31. Vías de afectación primer bloque
Fuente y elaboración: el Autor.

Segundo Bloque:

En el segundo bloque se encuentran las parroquias de Atuntaqui, Chaltura y San Roque, en este bloque se encuentra la mayor población y asentamientos humanos así como también las vías. Los centros poblados no se ven afectados a deslizamientos, por lo que los daños que se pueden generar están en las vías alejadas.

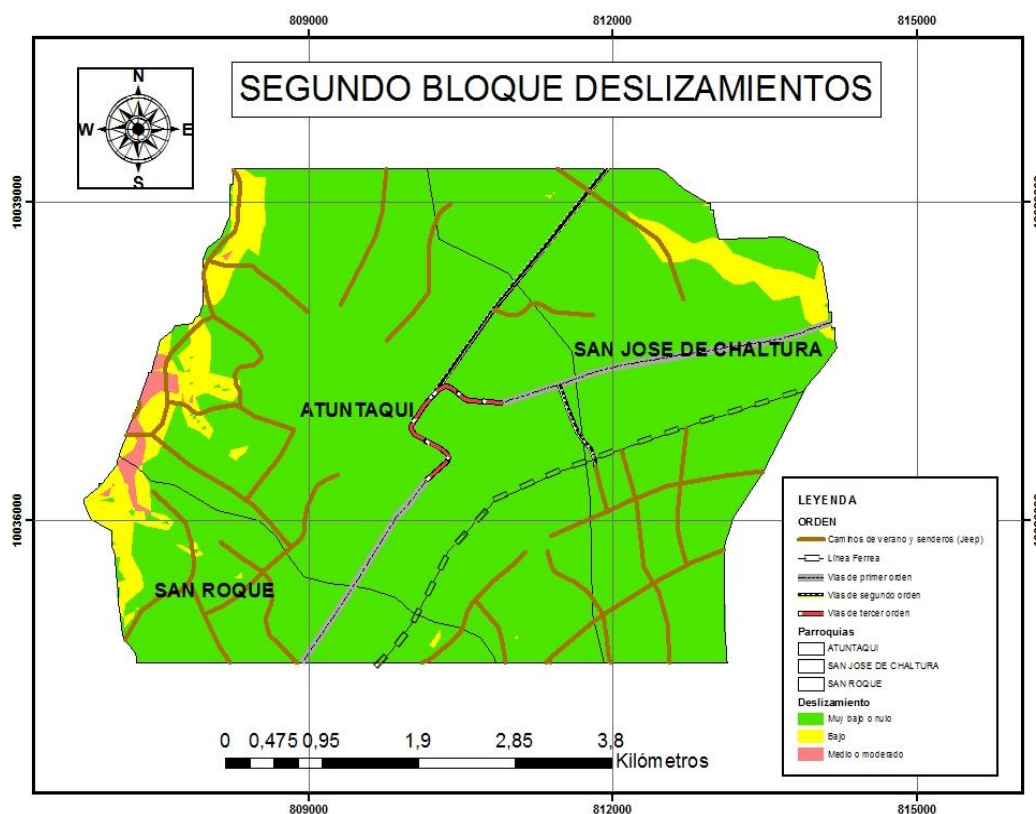


Figura 32. Segundo Bloque deslizamientos
Fuente y elaboración: el Autor

Dentro de las vías que son afectadas por los deslizamientos se encuentran dos:

La primera vía en verse afectada es la vía El Jardín-Imantag en las coordenadas X 807376, Y 10036789, el tramo a ser afectado es de 137 metros, esta vía se encuentra en la parroquia de Atuntaqui donde la litología presente es de terrazas indiferenciadas con grado medio de afectación, con una permeabilidad alta y una pendiente entre 25 a 50%.

La segunda vía afectada es la vía a Imantag cerca al Rio Ambi que se encuentra dividida en dos tramos, el primer tramo es de 185 metros y está en las coordenadas X 807600, Y 10037206 y el segundo tramo de 120 metros en las coordenadas X 807619, Y 10037541. Los dos tramos están cercanos poseen una litología de terrazas indiferenciadas, tiene una permeabilidad alta y la precipitación que se da en el lugar, oscila entre los 1000 a 1250 mm al año, este factor es el desencadenante de los deslizamientos.

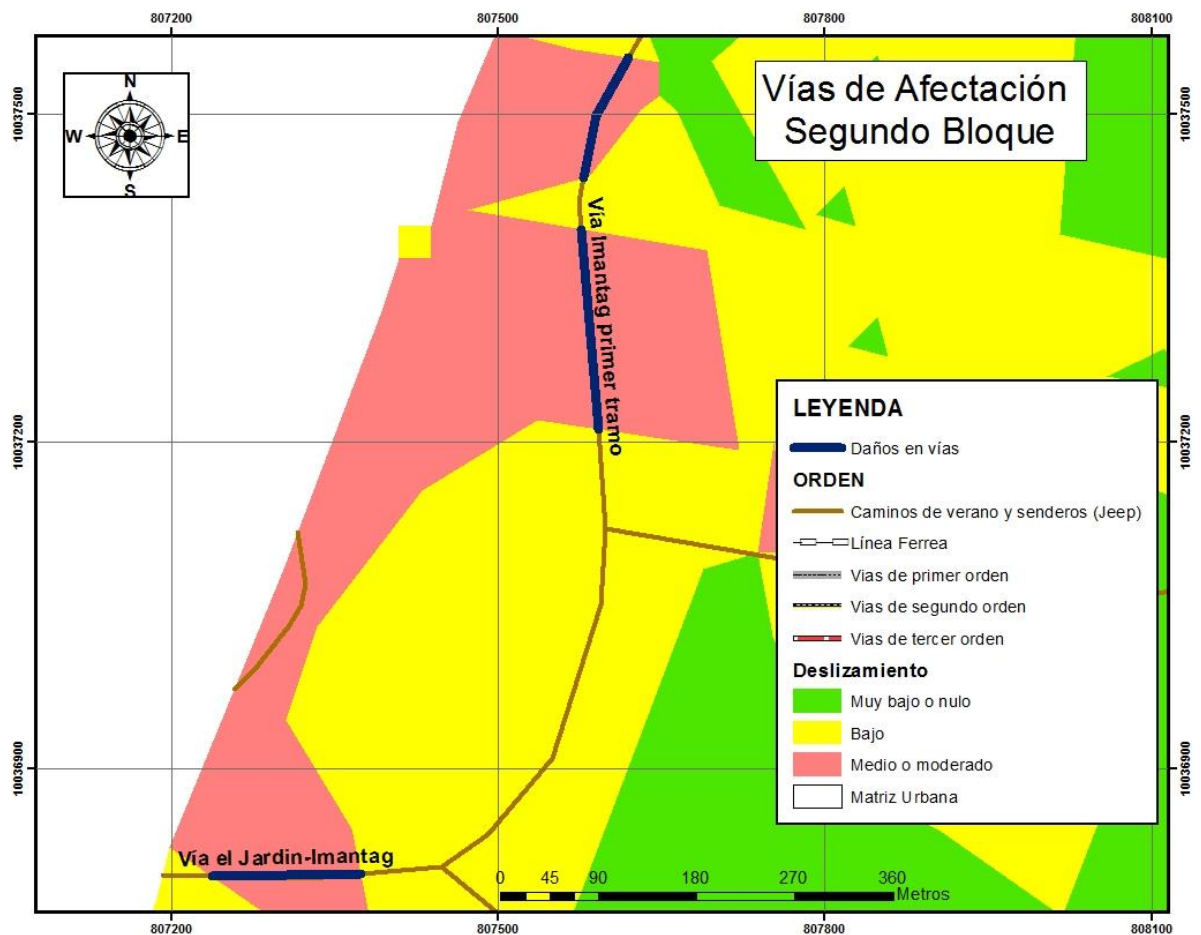


Figura 33. Vías de afectación segundo bloque
Fuente y elaboración: el Autor.

Tercer Bloque:

El tercer bloque está conformado por las parroquias de Atuntaqui, San Roque y Chaltura; en este bloque las afectaciones a los asentamientos humanos, poblados y vías no tiene repercusiones por lo que sus daños son mínimos, se puede tomar en cuenta que ningún tipo de infraestructura puede ser afectada de forma directa, más bien estos puntos que tienen un grado de amenaza moderado o medio se encuentran en quebradas que por su taponamiento o cierre pueden provocar daños siendo afectados de forma indirecta como desbordamiento en época de lluvia.

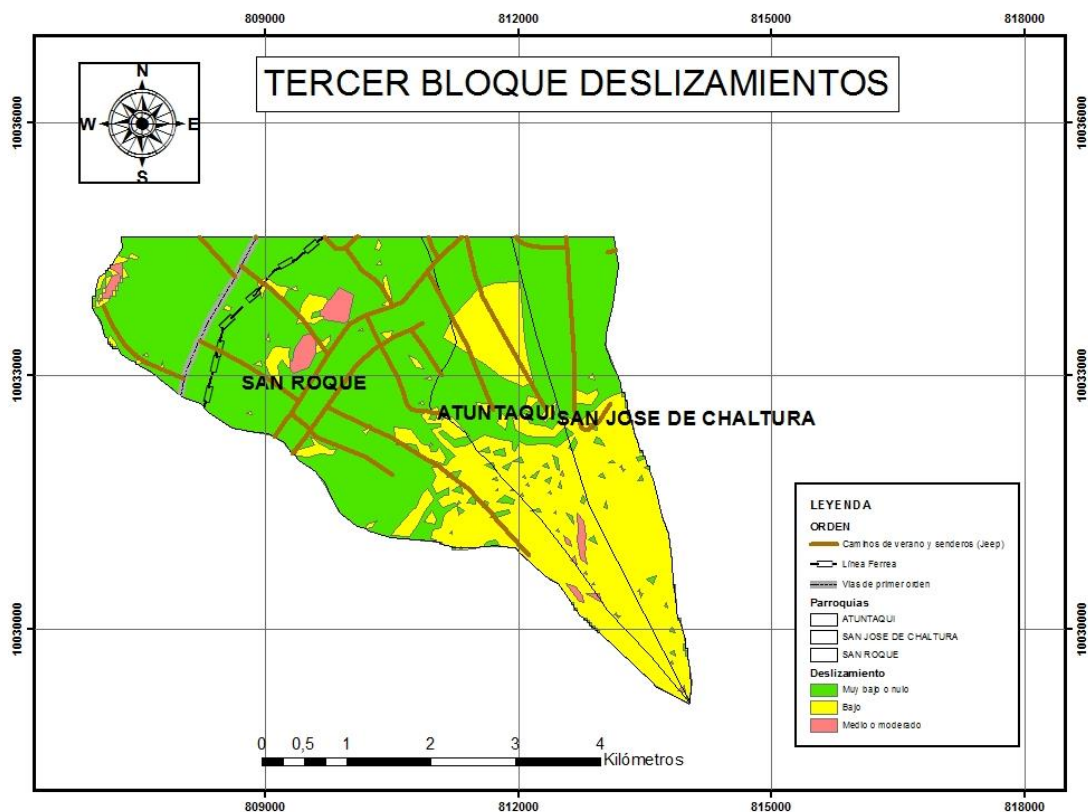


Figura 34. Tercer bloque deslizamientos
Fuente y elaboración: El autor

6.3 PROPUESTA PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

Con la información que se tiene debidamente verificada en campo y la creación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el cantón Antonio Ante, se procede al análisis para poder generar una propuesta de prevención y/o mitigación de las zonas que poseen un grado de susceptibilidad medio en el mapa y en las zonas donde existe peligro de movimientos de masa.

Para esto se toma en consideración un conjunto de medidas y acciones para poder anticipar los efectos negativos que puedan generar estos fenómenos y así mitigar los efectos que puedan generar ante los bienes públicos (carreteras) y el ambiente. Se presenta una propuesta donde se toma medidas de ingeniería así como también las normativas del uso de suelo y ordenamiento territorial del cantón Antonio Ante.

6.3.1 PREVENCIÓN

Dentro de la prevención se tiene que tomar en cuenta que las entidades que deben tomar principal participación en este tema es el Gobierno Autónomo Descentralizado de Antonio Ante y la Secretaria de Gestión de Riesgos que son los entes que están en la obligación del diseño, revisión y mantenimiento de planes que controlen la no expansión ni cortes de terrenos en laderas, zonas con pendiente pronunciada y zonas que ya han presentado deslizamientos en el pasado, la prohibición y sanciones se deben establecer a quienes realicen actividades de excavación en laderas, construcción en zonas con pendiente o inclinadas, venta de terrenos que se encuentren en zonas susceptibles a deslizamientos de tierra, impedir la expansión agrícola así también la quema de cobertura vegetal herbácea y arbustiva presente en la zona de laderas.

Las medidas que se toman a consideración para la prevención proponen varias acciones que tienen como finalidad evitar el desenlace de este fenómeno natural o a su vez que los efectos que se produzcan no sean tan perjudiciales:

- Identificar los puntos donde ya se han presentado deslizamientos e iniciar trabajos para la mitigación mediante construcción de muros de contención u otros procesos de ingeniería que garanticen que los deslizamientos no se produzcan o sean a menor escala, teniendo en cuenta que no representen gastos elevados buscando alternativas a bajo costo.
- No amontonar basura o desecho en suelos con pendiente, porque terminan taponando desagües, haciendo que el agua se filtre por donde no debe y desestabilizando terrenos.
- Controlar la expansión de los asentamientos humanos dentro del cantón debido a que estos asentamientos cada vez son más alejados de la zona habitable y se procede a construir viviendas sin una adecuada infraestructura en zonas no recomendables
- Evitar la construcción e instalación de cualquier estructura o vivienda en zonas con pendientes pronunciadas, características del suelo no favorables para la construcción que estén en relación con deslizamientos.
- Emitir una regulación o normativa que prohíba actividades antrópicas en las zonas en donde ocurren los deslizamientos como: cortes verticales al pie de una ladera, vibraciones ocasionadas por maquinaria.

- Controlar y supervisar el nivel de deforestación presente en la zona buscando sancionar a las personas que practiquen actividades que fomenten la pérdida de cobertura vegetal.
- Fomentar una norma para el uso de suelo especialmente en temas de ganadería y agricultura, buscando estrategias para que el desarrollo de estas actividades no afecten a la calidad de suelo ni se pierda cobertura vegetal, así como también que no se afecte ni sobre explote en lugares cercanos a efluentes de agua.
- Fortalecer lazos entre entidades relacionadas (MAE, MAGAP, SGR, Municipio) al control de excavación y explotación de recursos mineros en el cantón para que se trabaje conjuntamente y estas zonas no sean sobreexplotadas ni presenten mayor riesgo.
- Vigilar y controlar las zonas donde se han producido deslizamientos en el pasado especialmente en estaciones donde los factores detonantes a deslizamientos aumenten su intensidad tales como fuertes lluvias o después de un movimiento telúrico.

Las actividades de prevención son utilizadas para lograr una estabilidad de suelos en gran parte, además de ayudar a que no ocurran deslizamientos y si ocurrieran sus daños sean mínimos.

6.3.2 MITIGACIÓN

6.3.2.1 Propuesta para el primer bloque

La primera parte de la propuesta del primer bloque está destinada a tres vías que se encuentran cercanas y comparten las condiciones de susceptibilidad a deslizamientos.

La línea férrea presente en el primer bloque se encuentra en el sector Santiago de Monjas es potencialmente afectada a deslizamientos, la propuesta está encaminada a prevenir o mitigar los impactos de deslizamientos en ésta, dependiendo de sus condiciones la línea férrea posee pendientes moderadamente inclinadas, su estructura litológica es de grado 3 o medio, la mayor influencia viene dada por el excesivo uso de lugares aledaños para cultivos lo que ha degradado los suelos, la precipitación no posee niveles altos por lo que no es un factor predominante o de gran influencia para los deslizamientos en esta vía.

En el sector de Santiago de Monjas, la vía que comunica Imbaya con la línea férrea, consta de igual manera de manera con una litología de grado 3 o medio, una pendiente moderadamente inclinada, los cultivos son predominantes en las cercanías de la vía y la precipitación es leve anualmente por lo que no incide en los deslizamientos,

El sendero que comunica Chaltura con Imbaya de igual manera consta de una litología con un grado 3 o medio de afectación a deslizamientos, la pendiente es moderadamente inclinada, la presencia de cultivos también es evidente y los niveles de precipitación no tienen influencia para el proceso de deslizamientos.

Escalonamiento de talud:

En el estudio realizado por Alberti, Canales, & Sandoval (2006), el escalonamiento de talud se realiza de la siguiente manera:

La propuesta para estas vías es el escalonamiento de talud que consiste en la construcción de planicies en las zonas medias de los taludes, a estos se los denomina “bermas”. Las bermas son las masas de tierra que son cortadas o se compactan de forma correcta en el lado exterior del talud, tiene como fin el mejorar la estabilidad; para la construcción generalmente se usan materiales similares a los que está compuesto el talud que se trata de mejorar.

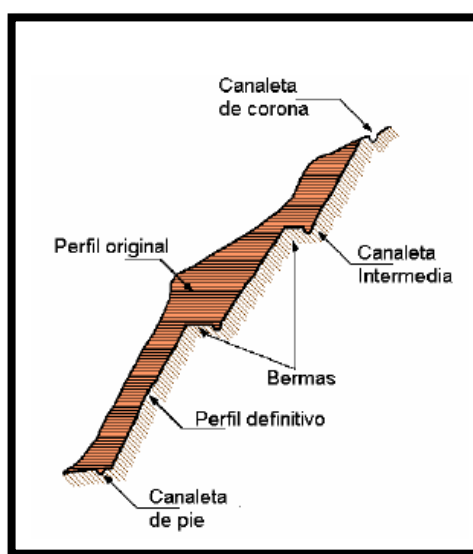


Figura 35. Conformación de la berma por corte de material externo del talud.
Fuente: (Alberti, Canales, & Sandoval, 2006)

La berma ayuda a la estabilización del talud debido a su propio peso. Para el diseño de la berma no existe una reglamentación fija respecto a sus dimensiones, sino que son calculadas por medio de aproximaciones sucesivas.

Este tipo de medidas suelen decidirse antes de la conformación del talud; dado que estas bermas sirven para retener bloques que lleguen a desprenderse y roturas específicas del talud. Además el escalonamiento del talud, con la debida construcción de bancos y bermas contribuye a evitar que se produzcan roturas superficiales que afecten a todo el frente del talud.

Al construir la berma, el talud queda dividido en diferentes taludes que tienen un comportamiento independiente, los cuales tienen que ser estables. El efecto que tienen las bermas es el de disminuir las fuerzas que actúan en la zona más crítica del talud, para que no se generen movimientos desestabilizantes. De esta manera el círculo crítico de falla hace más profundo y más extenso aumentando el factor de seguridad.

El escalonamiento se realiza a un talud con el propósito de así controlar la erosión y facilitar que se establezca la vegetación. La altura de las gradas es de 5 metros y cada grada debe contar con canaleta revestida para el control del agua superficial.

En suelos residuales, generalmente la grada más alta debe tener una pendiente menor, teniendo en cuenta que el suelo subsuperficial es usualmente el menor resistencia. Las terrazas generalmente, son útiles para el control de las aguas de escorrentía.

Material y equipo:

- Camiones de volteo.
- Retroexcavadora.
- Cargador
- Compactadoras.
- Equipo de topografía.
- Herramientas básicas (palas, cintas, carretillas, etc.)

Proceso constructivo:

1. Se establecen en campo las dimensiones del corte a realizar en el talud con la utilización de los equipos topográficos, la dimensión total a ser intervenida es de 5164 metros, dividida en cinco tramos.

Tabla 28 Tramos para escalonamiento de talud.

Tramos	Distancia (m)	X	Y	Pendiente (%)	Permeabilidad	Cobertura Vegetal	Precipitación (mm)
Línea Férrea	835	816165	10042250	25 a 75	Alta	Agrícola	500-750
Línea Férrea	1281	815668	10042051	25 a 75	Alta	Agrícola	500-750
Sendero Línea Férrea-Imbaya	899	816330	10043854	3 a 50	Alta	Agrícola	500-750
Sendero Chaltura-Imbaya	920	814759	10043143	12 a 75	Alta	Agrícola	500-750
Sendero Chaltura-Imbaya	1229	813618	10042531	12 a 75	alta	Agrícola	500-750
TOTAL	5164						

Fuente y elaboración: el Autor.

2. Se establecen las dimensiones proporcionales a las bermas, midiendo cada tramo para verificar un adecuado dimensionamiento y verificando que la berma va a cumplir con el objetivo de frenar con cualquier tipo de deslizamiento.
3. Posteriormente se procede al corte del material, en esta parte con las herramientas ya sea retroexcavadora o mano de obra se procede a la creación de las bermas en los cinco tramos diferentes antes mencionados, dependiendo del manejo de recursos económicos que se tenga se puede optar por el uso de retroexcavadora que ahorra tiempo, o se puede optar por la mano de obra de obreros donde las herramientas son más rústicas pero cumplen con el mismo objetivo.

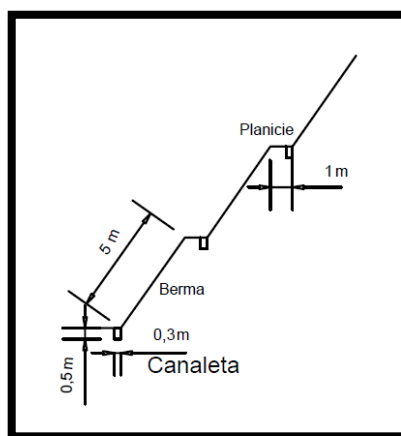


Figura 36. Esquema de escalonamiento de talud
Fuente y elaboración: el Autor.

4. Finalmente, se procede al desalajo del material de la zona de empleando cargadores y camiones de volteo para tal fin, con el desalajo del material la compactadora procede a aplanar la zona donde se realizaron las bermas

En la segunda parte, la propuesta está enfocada en dos vías que de igual manera se encuentran en lugares cercanos y comparten los factores condicionantes y el factor detonante.

Barrera Viva:

Según la (FAO, 2011):

Las barreras vivas son hileras simples, dobles o triples de especies vegetales preferiblemente perennes y de crecimiento denso, establecidas en curvas a nivel y a distanciamientos cortos. Los espaciamientos máximos recomendados entre barreras vienen dados por la especie a ser utilizada.

El objetivo principal de las barreras vivas es el de reducir la velocidad de escorrentía superficial y retener el suelo que en ella se transporta, logrando así que las vías no se vean afectadas. Para que este objetivo se cumpla, las especies se plantan lo más cercanas posibles, para que en el menor tiempo la barrera sea continua.

Con un sistema de barreras vivas, se disminuyen los efectos nocivos causados por la escorrentía superficial y por lo tanto, se contribuye a conservar la productividad de los recursos naturales.

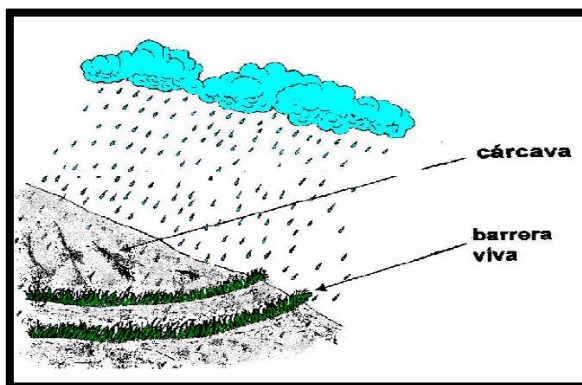


Figura 37. Esquema de una barrera viva.
Fuente: (FAO, 2011)

Las barreras vivas son prácticas que se pueden establecer en todo el territorio nacional, de acuerdo a la especie a utilizar; son recomendadas para pendientes hasta del 15 % por lo que estas vías son idóneas para ser utilizadas; arriba de esta inclinación, deben combinarse con otras actividades de manejo sostenible de suelos y agua.

Material y Equipo:

- Los materiales y herramientas necesarias para construir barreras vivas son:
- Material vegetativo o semilla
- Estaca
- Azadones
- Piochas
- Cintas métricas
- Corvo, cuma o cuchillo
- Nivel (eclímetro, tipo A, etc.)

Procedimiento para la construcción de barreras vivas:

- Trazo y estaquillado de línea guía: se ubica en sentido a la pendiente y en el sector del terreno que presente una inclinación idónea. Las estacas se colocan de arriba

hacia abajo, con una distancia de 15 a 30 metros debido a que las pendientes que se encuentran en estas vías están entre 0 a 15%.

- Preparación del material que se sembrara dependiendo la especie a utilizar.
- Plantación o siembra del material vegetativo.
- Sobre la curva de nivel seleccionada se hace una zanja de 0.5 metros de ancho y 0.10 de profundidad, posteriormente se planta el material a un distanciamiento apropiado. En el caso que la especie sea una semilla se hace un rayón sobre la curva. Los espaciamientos entre plantas depende de la especie que se plante, para esta zona la especie que mayor utilidad tiene es el pasto (*Eragrotis curvula*).

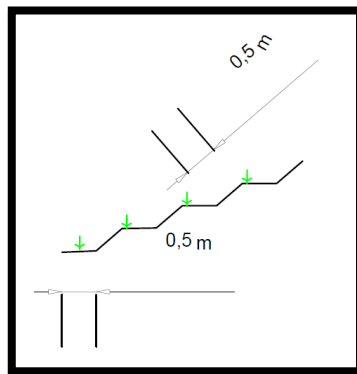


Figura 38. Esquema barrera viva
Fuente y elaboración: el Autor.

Procedimiento para implementar barrera viva de pasto.

1. Una vez definida la curva de nivel y la distancia de los tramos que es de 1786 metros, se realiza el trazo y estaquillado de la curva a nivel para la separación entre las barreras vivas de pasto, de acuerdo a la pendiente.

Tabla 29. Tramos para barrera

Tramos	Distancia (m)	X	Y	Pendiente (%)	Permeabilidad	Cobertura Vegetal	Precipitación (mm)
Vía Urcuquí-Atuntaqui	1358	813072	10041605	0-12	Alta	Agrícola	500-750
Sendero Chaltura-Urcuquí	428	811594	10042071	0-12	Alta	Agrícola	500-750
Total	1786						

Fuente y elaboración: el Autor.

2. Selección del material, Se deben seleccionar macollas de pasto de buena calidad, extrayéndose cuidadosamente con un azadón.
3. Las macollas son separadas en manojos de aproximadamente dos centímetros de grosor.
4. Preparación de los manojos: Las hojas de los manojos enraizados deben ser cortadas a una altura de 15 a 20 cm a partir de la base de la raíz. Los manojos preparados deben ser sembrados a una distancia de 10 a 15 cm formando una barrera muy estrecha.

Recomendaciones:

- No utilizar especies invasoras
- Iniciar el establecimiento en la parte alta de los terrenos
- Podarlas periódicamente, por lo menos dos veces por año
- Utilizar especies de usos múltiples, principalmente forrajeras

La tercera parte de la propuesta está enfocada en la vía que se encuentra en Atuntaqui-Chaltura, posee una litología de terrazas con un grado medio para susceptibilidad a deslizamientos, la cobertura vegetal está destinada a cultivos, la pendiente en la que se encuentra esta vía es de grado medio, y la precipitación en esta zona ya es de un grado de afectación medio

Contracuneta:

En el estudio Alberdi, Canales, & Sandoval (2006),

La contracuneta es la propuesta para estas vías, son zanjas generalmente paralelas al eje de la carretera, que son construidas a una distancia mínima de 1.50 metros de la parte superior de un talud en corte. Su sección transversal es variable, siendo más comunes las de forma triangular o cuadrada. Su ubicación, longitud y dimensiones deben ser indicadas por personal con experiencia en el campo de las carreteras.

Se acostumbra a construir las contracunetas cuando el agua que llega al talud es moderada o abundante, y para taludes que sobrepasan los 4 metros de alto. Las contracunetas tienen la función de evitar que las aguas superficiales se desplacen por el talud de corte, erosionando y recargando a su vez la capacidad de la cuneta.



Figura 39. Contracuneta en base de un talud.
Fuente: (Alberti, Canales, & Sandoval, 2006)

Proceso para la construcción de una Contracuneta:

1. Se inicia realizando la proyección en campo de la línea de construcción de la contracuneta, el tramo es de 188 metros.

Tabla 30. Información de la vía

Tramos	Distancia (m)	X	Y	Pendiente (%)	Permeabilidad	Cobertura Vegetal	Precipitación (mm)
Vía Atuntaqui-Chaltura	188	809801	10040801	12-50	Alta	Agrícola	750-1000
TOTAL	188						

Fuente y elaboración: el Autor.

- Luego se realiza la excavación para la conformación de la Contracuneta en el talud.

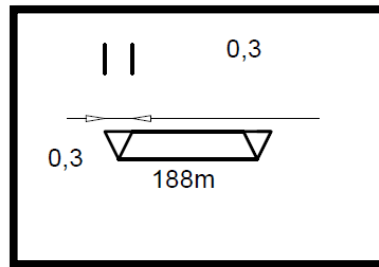


Figura 40. Tramo a ser intervenido

Fuente y elaboración: el Autor

- Las contracunetas se pueden construir a mano o por medios mecánicos, cuando las contracunetas estarán sujetas a erosión se usa un revestimiento. El revestimiento de las contracunetas puede hacerse utilizando diferentes materiales para esta propuesta es de placas de concreto hidráulico prefabricadas o coladas en el lugar de 10 cm de grosor y 30 cm de altura.

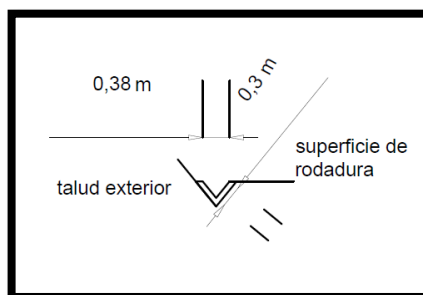


Figura 41. Esquema de contracuneta

Fuente y elaboración: el Autor.

- Se procede a tomar medidas oportunas para impedir erosiones antes de colocar el revestimiento.

5. Posteriormente se procede a la colocación de la capa base, la cual debe estar limpia y humedecida para su posterior compactación.
6. Se realiza el afinado y acabado de la contracuneta, para garantizar el flujo libre del agua.

6.3.2.2 Propuesta del segundo bloque.

Cuneta:

La propuesta del segundo bloque con la utilización de cunetas estaba basada según el Manual de carreteras Hidrología, Hidráulica y drenaje (MTC, 2010).

Las cunetas son zanjas de sección determinada construidas a uno o ambos lados de la corona de un talud en los cortes. También se pueden definir como un conducto abierto, revestido o no revestido, que sirve para conducir aguas de plataformas a las cajas, puede ser de sección triangular, trapezoidal, rectangular y semicircular.

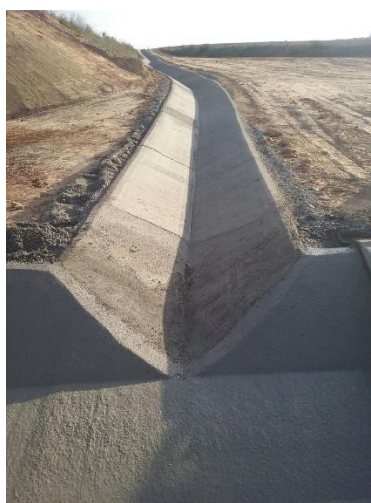


Figura 42. Cuneta triangular.
Fuente: (Engenor, 2016)

Pasos para la construcción:

1. Se inicia haciendo la proyección en campo de donde se construirá la cuneta.

Tabla 31. Tramos para cuneta

Tramos	Distancia (m)	X	Y	Pendiente (%)	Permeabilidad	Cobertura Vegetal	Precipitación (mm)
El Jardín-Imantag	137	807376	10036789	25-50	Alta	Agrícola	1000-1250
Vía Imantag	185	807600	10037206	25-50	Alta	Agrícola	1000-1250
Vía Imantag	120	807619	10037541	25-50	Alta	Agrícola	1000-1250
TOTAL	442						

Fuente y elaboración: el Autor.

2. Luego se realizará la excavación para la conformación del canal.
 - Las cunetas se pueden construir a mano o por medios mecánicos (niveladora). Cuando las cunetas están sujetas a erosión se usa un revestimiento. El revestimiento de las cunetas se hace utilizando diferentes materiales que van desde boleos o cantos rodados, ligados con mortero arena-cemento.

Tabla 32. Dimensiones para cuneta

Región (mm/año)	Profundidad (m)	Ancho (m)
Seca < 400	0,20	0,5
Lluviosa (de 400 a 1600)	0,30	0,75
Muy lluviosa (de 1600 a 3000)	0,40	1,2
Muy lluviosa(>3000)	0,30(trapezoidal)	1,2

Fuente y elaboración: el Autor.

- La construcción de elementos superficiales se realizará siempre del desagüe hacia aguas arriba, evitando especialmente la formación de encharcamientos en puntos intermedios.

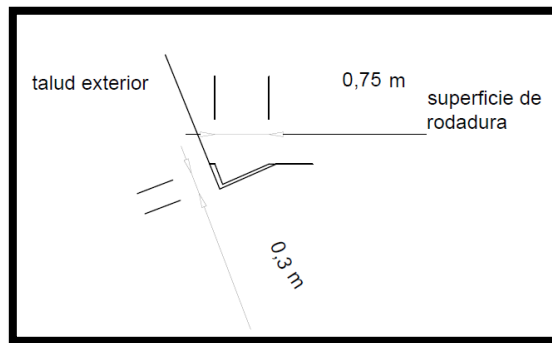


Figura 43. Dimensiones de cuneta para la propuesta
Fuente y elaboración: el Autor

- Durante la construcción de cunetas revestidas se tomarán las medidas oportunas para impedir erosiones antes de colocar el revestimiento.
 - Se evitará la erosión de los taludes, dando salida provisional al agua en los mismos puntos en que se construirán las bajadas definitivas.
3. Posteriormente se procede a la colocación de la capa base, la cual debe estar limpia, humedecida y compacta.
 4. Colocación de encofrado, si se construirá la cuneta in-situ, en caso contrario se procede al cortado y colocando la tubería prefabricada.
 5. Colado de concreto o ubicación y pegado de secciones de canal prefabricado, cuyas juntas deberán tener de 10 a 25 milímetros de ancho y deberán ser rellenadas con mortero.
 6. Curado y acabado final del sistema de drenaje. Se acabará el concreto en forma lisa y pareja con una llana de madera y se terminará con cepillo. Se dejarán los encofrados en su sitio durante 24 horas, o hasta que el concreto haya fraguado lo suficiente, de tal manera que los encofrados pueden ser removidos sin dañar el cordón.

7. DISCUSIÓN

La metodología propuesta con métodos cuantitativos son los que más se utilizan en este tipo de investigaciones como lo ha realizado en estudios anteriores De Paula, (2016) y IEE, (2013).

Para establecer el análisis multicriterio se tomó la opinión de varios autores entre los cuales podemos citar a De Paula, (2016) quien consideró como variables condicionantes importantes para este análisis la pendiente, cobertura vegetal, permeabilidad, litología y como variable detonante la precipitación asignándoles una ponderación de: 17%,15%,15%,33% y 20% respectivamente, estas ponderaciones se obtuvieron mediante un análisis multicriterio donde se aplicó diferentes valores para obtener un mapa más exacto a la realidad de la zona de estudio. Para la investigación se utilizaron las mismas variables por el motivo que el estudio antes mencionado se realizó en la ciudad de Ibarra, ciudad cercana a la zona de estudio con características similares y debido a que en el Ecuador no existe una gran base de datos que permita optar por otras opciones al momento de elegir otras variables; las ponderaciones cambiaron debido a que las características presentes en la zona varían en relación al estudio hecho en Ibarra.

Las variables que fueron seleccionadas también son aceptadas por el IEE, (2013) que se encarga de generar datos de movimientos de masa de acuerdo a lo estipulado en el Plan Nacional del Buen Vivir, el IEE también tomó como información base para las variables la pendiente, cobertura vegetal, permeabilidad pero como variables detonantes se encuentran a dos variables que son la sismicidad y precipitación; esto discrepa con la investigación que se realizó en el cantón Antonio Ante donde no se tomó en cuenta a la sismicidad debido a que no representa datos con mayor relevancia para la elaboración del mapa de susceptibilidad, los datos que obtuvo el IEE tiene relación a las zonas susceptibles a deslizamientos con los niveles de muy bajo o nulo, bajo y moderado o medio, que se lograron también obtener en la investigación realizada.

8. CONCLUSIONES

- Después de haber realizado el mapa de los niveles de susceptibilidad a deslizamientos en el cantón Antonio Ante, se identificaron los niveles de amenaza en los que se encuentra la zona de estudio arrojando como el mayor nivel de amenaza al nivel moderado o medio con el 8.77% de toda la zona de estudio, el resto de la zona se encuentra en niveles bajo con el 26.65% y nivel nulo con 64.58% para presentar un fenómeno a deslizamiento, para el 8.87% se elaboró las medidas de prevención y mitigación, para esto se empleó como herramienta principal el programa informático ArcGIS 10.3.1.
- Las zonas de afectación se dividieron en tres bloques para poder identificar los daños que provocan en el cantón. En el primer bloque se encontraron seis vías que pueden ser potencialmente afectadas, tres de estas vías son: la línea férrea, el sendero que conduce Imbaya con la Línea férrea y el sendero Chaltura-Imbaya, estas vías se encuentran cercanas por lo que comparten una permeabilidad alta, las pendientes son moderadas, la cobertura vegetal en la zona es de cultivos, posee una precipitación baja por lo que no es un factor detonante; otras dos vías del primer sector son las vías Chaltura-Urcuquí y la vía Urcuquí-Antonio Ante, estas vías se encuentran en una zona con una permeabilidad alta, el uso de suelo es destinado a la agricultura, las pendientes que se encuentran son bajas a nulas, posee la zona una precipitación baja; la última vía que se encuentra está en Atuntaqui con Chaltura, está en una zona con permeabilidad alta, las pendientes son moderadas, la precipitación en esta vía es de grado de intensidad medio.
- El segundo bloque en el que fue dividido el mapa presenta dos vías que son la vía a Imantag y la vía el Jardín-Imantag, Estas se encuentran en lugares cercanos por lo que también comparten las mismas características, tienen una permeabilidad alta, se encuentran en una zona con pendientes moderadas, y la precipitación en esta zona ya es alta por lo que representa un factor detonante para la susceptibilidad a deslizamientos.
- Los mapas temáticos que fueron elaborados, dieron una idea de los factores que tiene incidencia al momento que se genera un deslizamiento, cada mapa tiene un resultado o una descripción que con la utilización de las tablas de ponderación dieron un peso a cada uno, la tabla de ponderación dio resultados que varían entre 1 a 5, con la

ponderación 1 se categoriza al nivel de afectación más bajo y con el número 5 al nivel de afectación más alto.

- La propuesta que se da a esta investigación está enfocada a las ocho vías afectadas, para tres de las vías del bloque 1 que presentan pendiente moderada, permeabilidad alta y una precipitación baja se propone la utilización del escalonamiento de taludes para poder crear bermas que cumplan con la función de mitigar los deslizamientos en esta zona; 2 de las vías del bloque uno presentan características de permeabilidad alta, precipitación baja y una pendiente nula por lo que la propuesta para estas vías es la implementación de barreras vivas con la utilización de la especie vegetal Pasto (*Eragrotis curvula*), otra vía del primer bloque con permeabilidad alta, pendiente moderada y precipitación moderada se propone la utilización del sistema de drenaje contracuneta.
- Para el segundo bloque la propuesta es de la implementación de un sistema de drenaje con cunetas que son las más idóneas para este sector; las dos vías que se encuentran en esta bloque poseen una pendiente moderada y una precipitación alta por lo que esta propuesta es la más adaptable a las condiciones de la zona
- La socialización de la investigación se llevó a cabo ante miembros del departamento de gestión ambiental, comisaria municipal, obras públicas y planificación territorial del GAD de Antonio Ante, en la sala de sesiones del mismo, donde se dieron a conocer los resultados de la investigación y se plantearon medidas de mitigación para los deslizamientos que fueron identificados en el área de estudio.
- .

9. RECOMENDACIONES

- El GAD de Antonio Ante debe llevar estudios relacionados a la gestión de riesgos en el cantón, debido a la expansión urbana a la que está sometida el territorio, así como también controlar el uso agrícola dentro de su jurisdicción, controlar los taludes ya identificados para que no generen daños a las vías ni afecten a la movilidad de la población que utiliza estas carreteras.
- Fomentar el trabajo con otros GADs cercanos, para que los estudios referentes al manejo de riesgos sean más completos y puedan generar una mayor aplicación de éstos.
- Realizar un análisis multitemporal por parte del GAD de Antonio Ante de las quebradas y acequias del cantón, para de ser necesario abrir nuevamente estas quebradas que por algún motivo hayan sido modificadas, alterando así el cauce normal de ríos estacionales que son los que producen movimientos de tierra.
- Controlar y vigilar a las canteras presentes en las zonas debido a que la maquinaria y procesos que utilizan aumentan la probabilidad de que se generen deslizamientos en zonas con pendientes pronunciadas.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alberti, J., Canales, R., & Sandoval, B. (2006). Técnicas de mitigación para el control de deslizamientos en taludes y su aplicación a un caso específico. . San Salvador.

ANAYA. (2012). Biología y geología. Obtenido de www.edistribucion.es/anayaeducacion/8440034/...and/.../P_1_166_permeabil.ppt

Angelfire. (s.f). Terremotos y otros desastres naturales. Obtenido de <http://www.angelfire.com/ri/chterymercalli/>

Angelone, S., Garibay, M., Cauhapé, & María. (2006). Permeabilidad de suelos. Obtenido de <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>

Ante, G. A. (2008). GAD Antonio Ante información. Obtenido de <http://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/index.php/canton/informacion-general>

Atlas de recursos geoambientales. (2014). Amenazas naturales. Obtenido de <http://lae.unsl.edu.ar/Ediciones/III%20AMENAZAS%20NATURALES.pdf>

Ayala, I., Echevarria, A., Gutierrez, C., Dominguez, L., & Noriega, I. (2001). Inestabilidad de laderas. Obtenido de <http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieFasciculos/fasciculoladeras2.pdf>

Barbero, D. (2008). Modelo sistémico para el manejo con SIG de indicadores de calidad de vida. Obtenido de <http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Doctorado/Tesis/tesisBarbero.pdf>

Beltran, & Pozo. (2011). Zonificación ecológica económica y propuestas de gestión integral de los recursos naturales del cantón Ibarra. Ibarra.

Bertsch, F., Mata, R., & Henríquez, C. (1993). Características de los principales ordenes de suelos presentes en Costa Rica. Costa Rica.

Buzai, D. (2013). Sistema de información geográfica teoría y aplicación. Buenos Aires: Libro de edición Argentina.

Caballero, O. (2011). Base de datos de deslizamientos inducidos por sismos. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7472/tesis598.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cardona, O. (2002). Sistemas nacionales y mecanismos institucionales para la Gestión integral de riesgos y desastres. San José, Costa Rica: Documento interno de trabajo, Oficina de asistencia para desastres en el extranjero.

Catarina. (2001). Sistema de información geográfica. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/msp/aragon_p_sm/capitulo1.pdf

CDC. (s.f). Desastres naturales y tiempos severos. Obtenido de <https://www.cdc.gov/es/disasters/landslides.html>

CELAEP. (2014). Análisis comparativo de uso de suelo.

Chardon, A., & González, J. (2002). Programa de información e indicadores de gestión de riesgos. Obtenido de <http://idea.unalmztl.edu.co/documentos/Anne-Catherine%20fase%20I.pdf>

CIDBIMENA. (2006). Desastres de tipo geológico. Obtenido de <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Junio2006/CD2/pdf/spa/doc13843/doc13843-2e.pdf>

Coponds, R., & Tallada, A. (2009). Enseñanza de la ciencias de la tierra. En R. Coponds, & A. Tallada, Enseñanza de la ciencias de la tierra (pág. 286). Cataluña: ISSN. Obtenido de <file:///C:/Users/Home/Downloads/199931-267499-1-PB.pdf>

Corominas, J. (2000). Uso de técnicas del sistema de posicionamiento global en monitoreo de deslizamientos. Obtenido de <http://www2.etcg.upc.edu/asg/Talussos/pdfs/ClasificacionDeslizamientos.pdf>

Corominas, J., & García, Y. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. Granada.

Cortolima. (2009). Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas Las Panelas y Balsas. Obtenido de

https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.6GEOLOGIA.pdf

Cruz Roja. (s.f). Aluviones y deslizamientos. Obtenido de <http://www.cruzroja.org.ec/index.php/2-uncategorised/157-aluviones-y-deslizamientos>

Davila, R. (2011). Terremotos y ondas sísmicas. Obtenido de <http://www.geociencias.unam.mx/~ramon/sismo/IntroSism.pdf>

De Paula, F. (2016). Identificación de zonas de riesgo naturales ocasionados por deslizamientos de tierra mediante el uso de SIG en el cantón Ibarra. Ibarra.

Engenor. (2016). Ejecución de cuneta en M-50 en los centros de transformación de M-50. Obtenido de <http://www.engenor.ro/es/procon-sl/obras/cuneta-en-m-50-y-mas-espana/>

FAO. (2011). Buenas Prácticas. Guatemala: Serviprensa.

Fernandez, M. (2016). Impactos de los deslizamientos y asentamientos del suelo del cantón Moravia. Obtenido de <http://www.relaciger.org/revista/pdf/spa/doc1701/doc1701-contenido.pdf>

Fraustro, O. (1998). Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del. sciELO, 21.

GAD Antonio Ante. (2012). GAD Antonio Ante información. Obtenido de <http://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/index.php/canton/informacion-general>

Gallis, J. (1994). Les tropiques, terres de risques et de violences. 450.

García, M., Parra, D., & Mena, P. (2014). El país de la biodiversidad Ecuador. Quito: imprenta mariscal.

geoenciclopedia. (2012). Definición de erupción volcánica. Obtenido de <http://www.geoenciclopedia.com/erupcion-volcanica/>

Gómez, L. (2014). Introducción a los riesgos geológicos. Madrid: UNED.

Gómez, N., Osorio, Y., & Salazar, J. (2013). SIG para determinar la susceptibilidad a movimientos de masa en la cuenca del Río Campoalegre. Obtenido de

<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1011/SIG%20PARA%20DETERMINAR%20%20LA%20SUSCEPTIBILIDAD%20A%20MOVIMIENTOS%20EN%20MASA%20EN%20LA%20CUENCA%20DEL%20RIO%20CAMPOALEGRE.pdf?sequence=1>

Gonzales, F., Ruiz, J., & Acosta, F. (2013). Tutorial de teledetección espacial. Las palmas de Gran Canaria.

González, M. (2010). Umbral empírico de deslizamiento por precipitación, para la provincia de Concepción. Obtenido de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/810/1/Pradenas_Gonzalez_Marcela.pdf

Guzmán, E. (2002). Estudio geológico-geotécnico de la susceptibilidad de deslizamientos en la colonia El Carmen Zona 12 de la ciudad de Guatemala. Obtenido de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0043/doc0043-parte01.pdf>

Habitatge. (2010). Factores que intervienen en la inestabilidad del terreno. Obtenido de http://www.habitatge.gva.es/estatico/areas/urbanismo_ordenacion/infadm/publicaciones/pdf/litologia/48_54factor.pdf

Holdbridge, L. (1977). Ecología Basada en zonas de vida. San José.

Ibáñez, A., Blanquer, G., & Moreno, J. (s.f). Descripción Entisoles. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12883/Entisoles.pdf?sequence=3>

IDEAM. (2012). Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos de masa. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152732/Metodologia+suscept+FRM_oficial_final.pdf/6ded04e2-9378-440f-8902-2e6c92fcc745

IEE. (2013). Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000. Antonio Ante.

IEE. (2017). <http://www.ideportal.iee.gob.ec>. Obtenido de <http://www.ideportal.iee.gob.ec>: <http://www.ideportal.iee.gob.ec/visorIEE/composer/>

- IEE. (s.f). Cartografía de libre acceso. Obtenido de <http://www.institutoespacial.gob.ec/>
- INAMHI. (2015). Geoinformación Hidrometeorológica. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>
- INDECI. (2006). Protocolo para instalación de albergues. Perú.
- INEC. (2010). Población y demografía del Ecuador. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INTA. (2015). Suelos de Costa Rica orden molisol. San José: M&F S.A. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1826.PDF>
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Recuperado el 24 de septiembre de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Juárez, B., & Rodríguez, E. (1980). Mecánica de suelo. México: LIMUSA.
- Lantada, N. (2007). Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona. Obtenido de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6259/09Nlz09de12.pdf;jsessionid=17E0FEF027FFEF8D4630F5918ADE73C1?sequence=9>
- MAGAP. (2013). cobertura vegetal.
- Manrique, G., & Rosero, P. (2011). Riesgos por erosión en la Provincia de Imbabura. Obtenido de <http://www.puce.edu.ec/documentos/Investigacion/2011/PUCE-Investigacion-2011-GEO-Erosion-Imbabura.pdf>
- Marcano, J. (2009). Zonas de vida. Obtenido de <http://www.jmarcano.com/ecohis/zonas/montanos.html>
- Martínez, J., & Díaz, A. (2005). Percepción remota "Fundamentos de teledetección espacial". México.
- Miliarium. (2012). Proyectos nitratos tipo SIG. Obtenido de <http://www.miliarium.com/Proyectos/Nitratos/Modelos/SIG/TiposSIG.asp>

Molina, J. (2009). Técnica para crear e identificar mapas de susceptibilidad por remoción de masa usando aplicaciones SIG. . Bucaramanga.

Mora, R. (2013). Fundamentos sobre deslizamientos. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf15.pdf>

Mora, S., & Vahrson, W.-G. (1993). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Costa Rica.

MTC. (2010). Manual de carreteras de hidrología, hidráulica y drenaje. Lima.

OAS. (s.f). Clasificación taxonómica de los suelos identificados. Obtenido de <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea30s/ch026.htm#a.2.5> suelos del orden molisol

PASOLAC. (2000). Guía Técnica de conservación de suelos de agua . San Salvador: New Graphic. Obtenido de <http://infoagro.net/programas/ambiente/pages/agricultura/herramientas/3.pdf>

Pavón, N., & Garzón, O. (2014). Evaluación y zonificación de susceptibilidad y amenazas/peligros por fenómenos de remoción en masa en el cantón Pallatanga, Escala 1:50.000. Quito.

PDOT Antonio Ante. (2011). Plan de desarrollo cantonal. Obtenido de http://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/images/PDF/plan_desarrollo_cantonal_2011.pdf

PDOT Antonio Ante. (2015). Actualización y sistematización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Antonio Ante de la Provincia de Imbabura 2015-2030. Antonio Ante.

Pérez, B. (2014). Caracterización geotécnica de los deslizamientos de taludes del km 18+900 al Km 19+600 de la ruta departamental 5, carretera a la ciudad de Quetzal, San Juan Sacatepéquez, Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3762_C.pdf

Pérez, C., & Ángel., M. (2006). Teledetección nociones y aplicaciones .

- Plaza, G., & Yépez, H. (1998). Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable. OPS, 6.
- Pourrut, P. (1983). Los climas del Ecuador- Fundamentos explicativos. Quito.
- Proaño, G. (2002). Informe geológico y geomorfológico para el diseño del puente angosto . Buena Fe.
- PRODERENA. (2001). Propuesta de un plan de manejo racional del uso del agua.
- RENFE. (1999). Normas Españolas para Proyectos, Estudios Geotécnicos, Explanaciones y Taludes. Madrid: Dirección de Mantenimiento de Infraestructura,.
- Rodríguez, J. (2006). La porosidad de las rocas carbonatadas. Oviedo. Obtenido de http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/4886/mod_resource/content/1/T3a-PetrografiaPorosidad.pdf
- Sáenz, M. (2002). HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA. Bogotá, Colombia.
- Salazar, J. (2016). SIG aplicado a la zonificación de la amenaza por deslizamientos en la ciudad de Quito, Ecuador. Quito.
- Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2004). An integrated approach for landslie susceptibility mapping using remote sensing and GIS. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
- Sarmiento, P., & Segura, N. (2011). Conferencia hemisférica para la reducción de riesgos. Tercera cumbre de las américas (pág. 2). San José: ITERNEM.
- Sarria, F. (2003). Sistemas de Información Geográfica. Obtenido de <http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- Secretaria de Gestión de Riesgos. (2014). Programa de prevención y mitigación para reducir el riesgo por diferentes amenazas. Obtenido de <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/ProyectoPrevencion.pdf>

SENPLADES. (2009). Plan nacional para el buen vivir. Obtenido de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Plan_Nacional_para_el_Buen_Vivir.pdf

SENPLADES. (2014). Amenaza movimientos de masa. Obtenido de http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Escenarios_MARZO_Movimientosmasa.pdf

Sepúlveda, S. (1998). Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. . Santiago.

Servicio Metereologico. (2016). Geoinformación Hidrometereológica. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>

Shoa. (s.f). Escalas de medición. Obtenido de <http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/escalas.htm>

SIGAPRO. (s.f). Archivos de información geográfica. Obtenido de <http://sni.gob.ec/coberturas>

Suarez J, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Obtenido de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>

Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Publicaciones UIS.

Suarez, J. (2008). Deslizamientos: análisis geotécnico. Bogotá.

Suárez, O. (2006). Susceptibilidad a deslizamientos de laderas en la sierra madre oriental. México, D.F.

Tambó, W. (2011). Estudio del peligro de deslizamiento del norte de la ciudad de Loja, Provincia de Loja, Ecuador. La Habana.

Terzaghi, R., & Peck, R. (1996). Mecánica de suelos.

UM. (2004). El formato raster fundamentos. Obtenido de http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_4.pdf

Unicef. (s.f). Derrumbes y deslizamientos. Obtenido de https://www.unicef.org/lac/UNICEF_be_folleto_3_Derrumbes_y_deslizamientos_reduc.pdf

Vallance, J. (2000). Encyclopedia of volcanoes. USA: Academic press.

Varnes, D. (1996). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de rules, Granada. Obtenido de http://www.ugr.es/~ren03366/DEA/TEMAS/memoria/3_MOVIMIENTOS.pdf

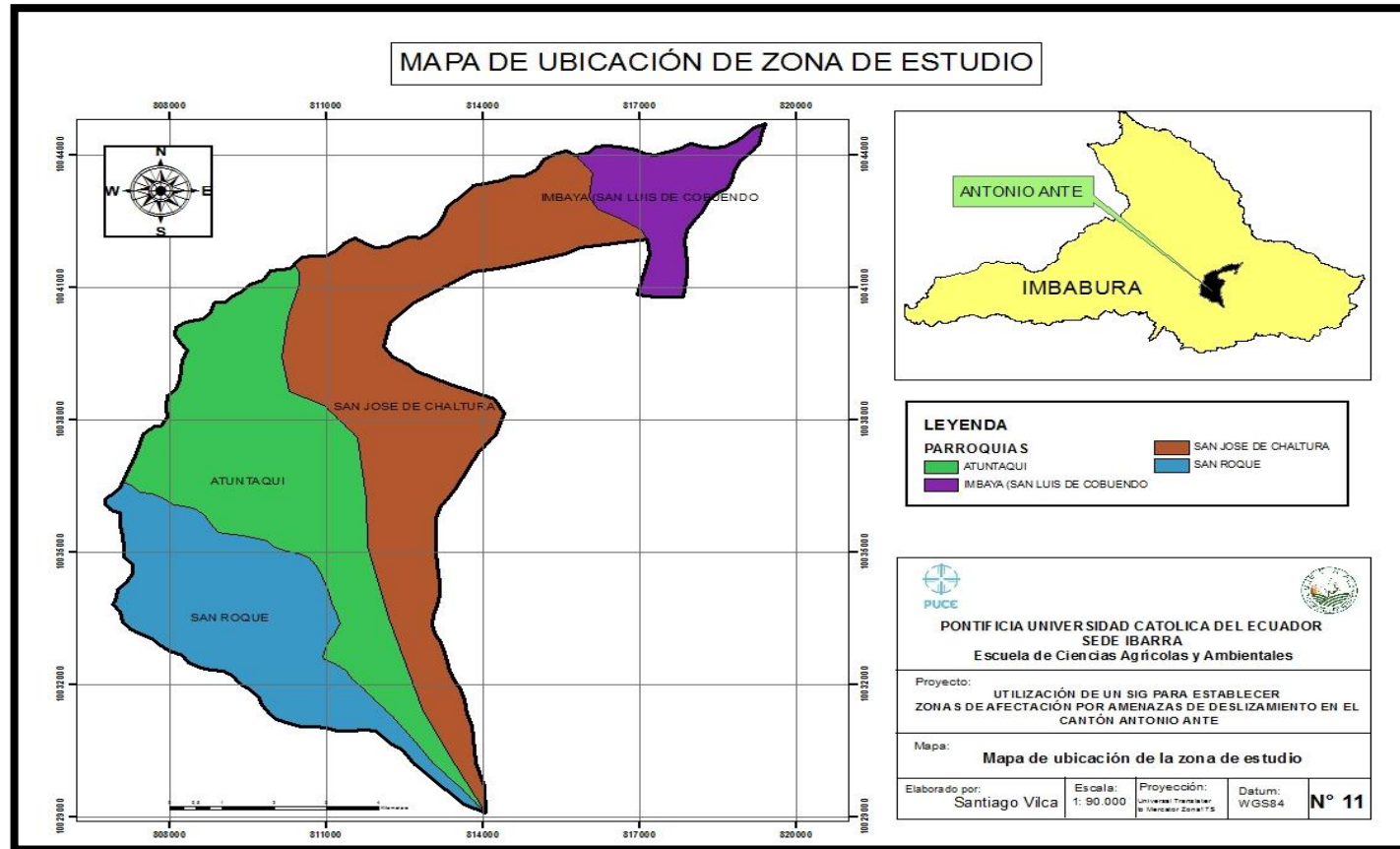
Vidal, F. (2010). Los terremotos y sus causas. Obtenido de [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/\\$File/ETA-C1.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-ETA-C1/$File/ETA-C1.pdf)

wp. (14 de 04 de 2012). Escalas de medición. Obtenido de <https://i1.wp.com/cuadroscomparativos.com/wp-content/uploads/2016/09/escalas-de-medicion-de-terremotos.gif>

Zuidam, R. V. (1986). Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping.

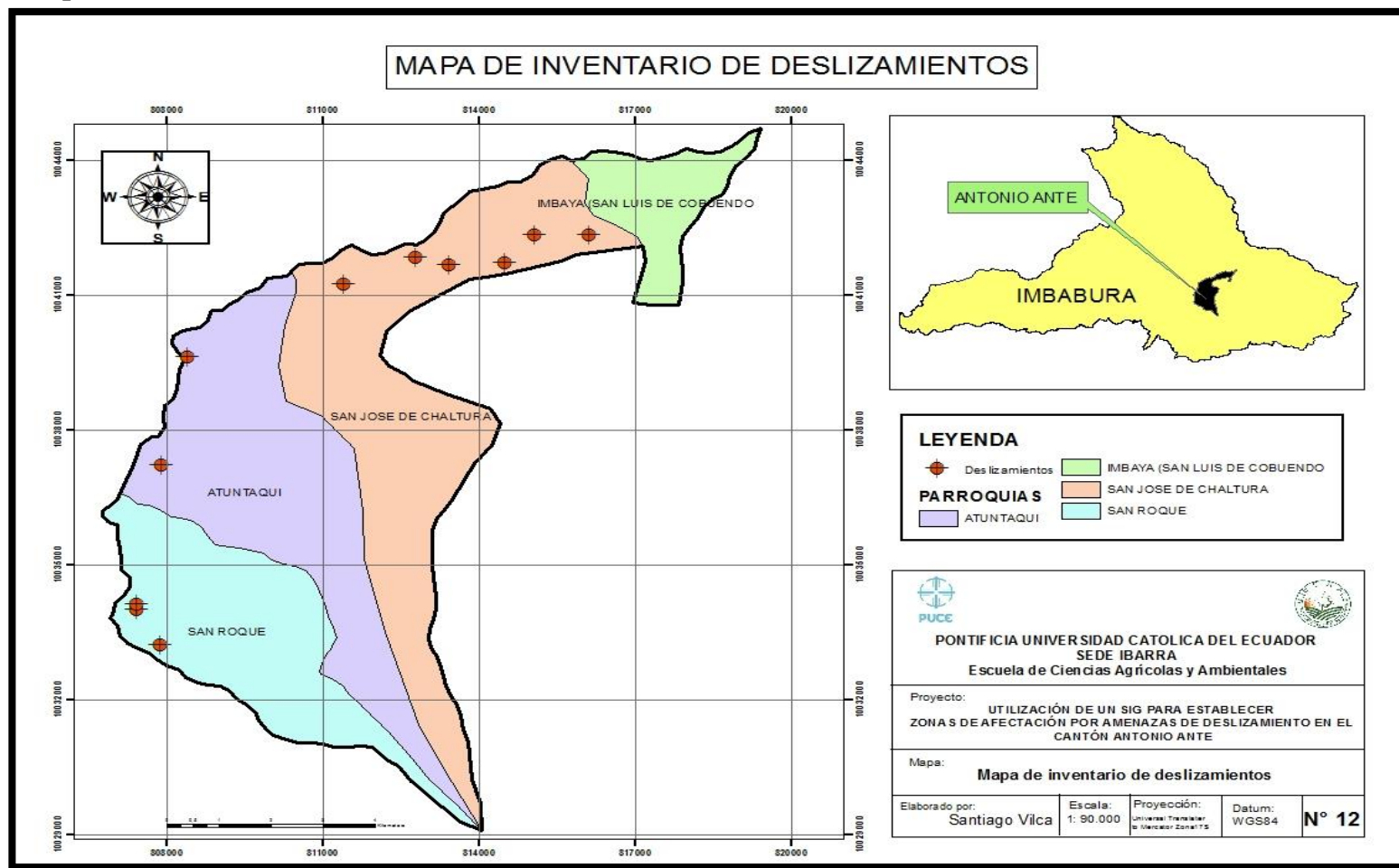
11. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de zona de estudio



Fuente y elaboración: el Autor

Anexo 2. Mapa de inventario de deslizamientos



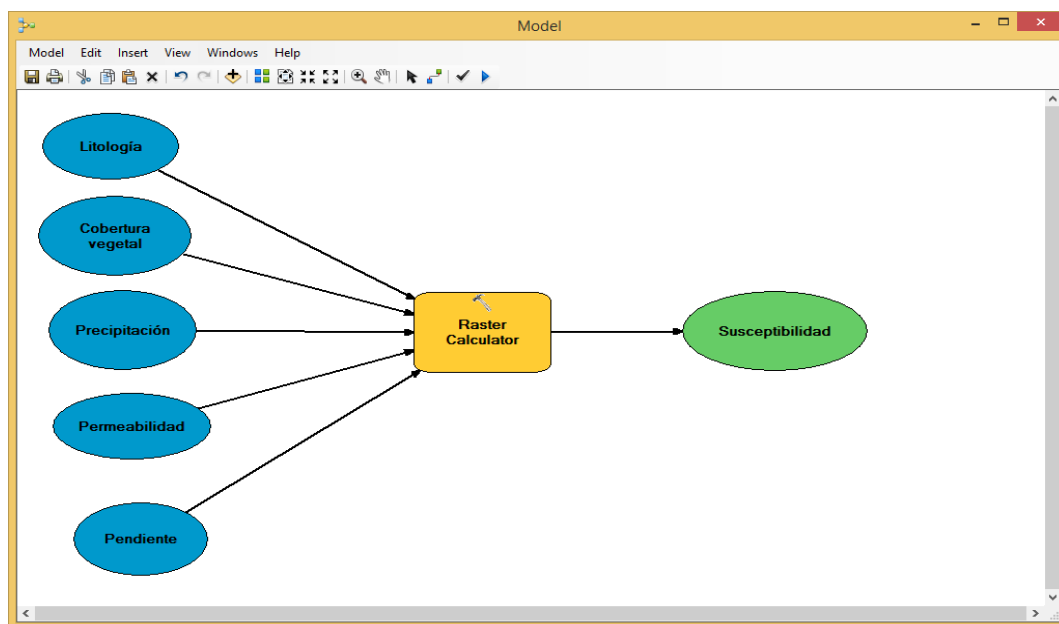
Fuente y elaboración: el Autor

Anexo 3. Tabla de coordenadas de inventario a deslizamiento

N°	X	Y
1	814499	10041729
2	813428	10041667
3	812795	10041827
4	815081	10042341
5	816122	10042341
6	811408	10041239
7	807428	10034015
8	808408	10039617
9	807918	10037229
10	807428	10034137
11	807888	10033219

Fuente y elaboración: el Autor

Anexo 4. Model Builder



Fuente y elaboración: El autor

Anexo 5. Fotografías



Foto de deslizamiento #1 sector Imbaya

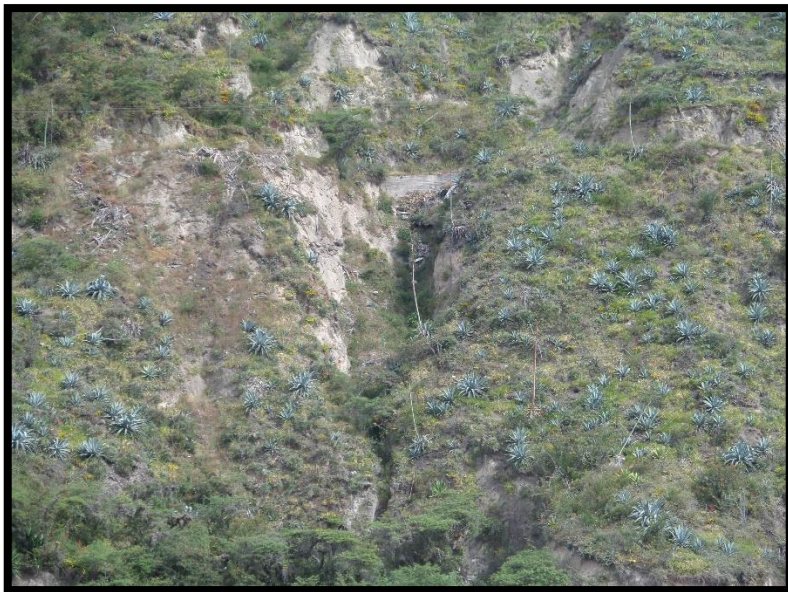


Foto de deslizamiento #3 vía Urcuquí-Antonio Ante



Foto de deslizamiento #5 Sector puente de unión Antonio Ante-Urcuquí



Foto de deslizamiento #7 Sector Imbaya



Foto de deslizamiento #9 Vía la Merced

**Anexo 6. Datos para la elaboración de mapas
Fuentes de información geográfica y no geográfica.**

Información referencial

FUENTE	DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN
SENPLADES	Shapefiles
GAD Antonio Ante	Cartografía
INAMHI	ShapeFiles
Sistema Nacional de Información	ShapeFiles
MAGAP	ShapeFiles
Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo	Memoria Técnica Deslizamientos
Sistema Integrado de Amenazas Naturales.	Mapas amenazas naturales.

Fuente y elaboración: el Autor

Archivos considerados en el modelo cartográfico

Tabla Información geográfica

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Matriz urbana	Zona urbana del cantón.	GAD Antonio Ante
Erosión .shp.	Tipos de erosión de suelos	SIISE
Limites políticos .shp	Parroquias y cantones del cantón.	SENPLADES
Vías .shp	Vías de acceso cantonal.	SENPLADES
Curvas de nivel .shp.	Curvas de nivel.	SENPLADES
Uso de suelo .shp	Uso de suelo	SENPLADES
Cobertura vegetal .shp	Cobertura vegetal	SENPLADES
Pendiente Sierra. Shp	Rango de pendientes	SIN
Isoyetas. Shp	Isoyetas	SIN
Hidrogeológico .shp	Permeabilidad	SIN
Tipos climáticos .shp	Tipo de clima	INAMHI
Textura sierra .shp.	Textura	SIN

Fuente y elaboración: el Autor

Anexo 7. Oficio de petición de información al GAD de Antonio Ante



GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPAL DE ANTONIO ANTE

Oficio N° 117-2017- DPT- GADM-AA-D
Atuntaqui, 31 de marzo del 2017

Magsiter.
Vicente Arteaga
DIRECTOR ECAA.

ASUNTO: ENTREGA DE INFORMACION SOLICITADA.

De mi consideración:

En relación al trámite N° 704799 y sumilla inserta por Alcaldía, en el que se solicita información relacionada con fuentes de información geográfica y no geográfica consideradas en el modelo cartográfico, que servirán para el desarrollo de trabajo tesis. Mediante la presente hago la entrega de lo solicitado.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines pertinentes.

Atentamente

Arq. Edgar Arturo Valverde Maldonado
DIRECTOR DE PLANIFICACION TERRITORIAL

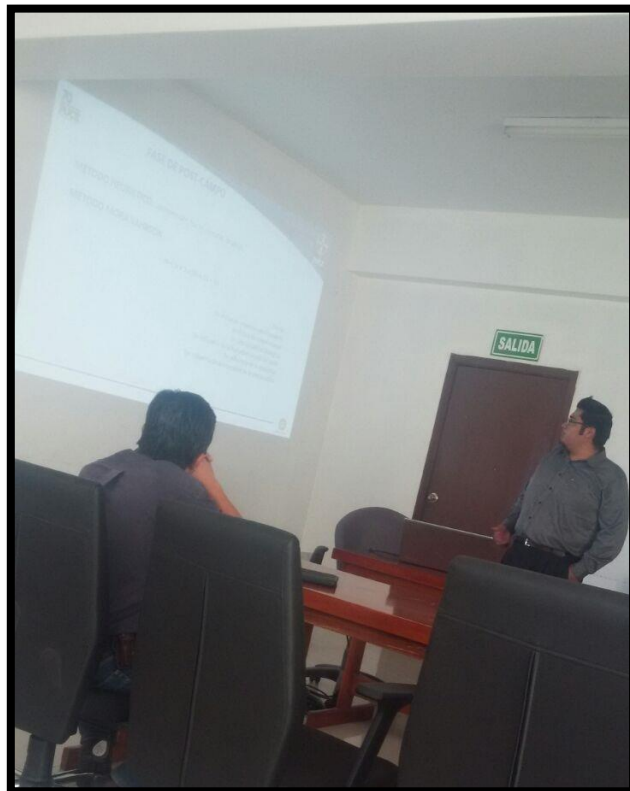


Atuntaqui - Ecuador / Calle Amazonas y Av. Julio Miguel Aguinaga
Tels.: 593 062 906 117 / 062 906 039 / Fax.: 062 907 646
Email: municipio@antonioante.gob.ec / www.antonioante.gob.ec
f Atuntaqui-Gobierno Municipal de Antonio Ante
t @AtuntaquiGMAA

Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado Antonio Ante gerencia@epaa.gob.ec / Telf.: 062906 823
Empresa Pública Fábrica Textil Imbabura info@fabricaimbabura.gob.ec / Telf.: 062 908 660
Empresa Pública de Servicios Municipales sermaa@sermaa.gob.ec / Telf.: 062 910 110
Desarrollo Socioeconómico y Patronato desarrollo.socioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf.: 062 908 266
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia ccna-aa@antonioante.gob.ec / Telf.: 062 908 266 Ext.: 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos jproteccion@antonioante.gob.ec / Telf.: 062 908 266 Ext.: 106
Registro de la Propiedad rpropiedad@antonioante.gob.ec / Telf.: 062 906 115 Ext.: 130



Anexo 8. Socialización del proyecto



Anexo 9. Oficio enviado para la socialización



Anexo 10. Encuesta de socialización



PROCESO DE SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

El siguiente cuestionario nos permitirá implementar mejoras constantes en los procesos de socialización de trabajos de investigación, por favor háganos llegar sus comentarios y sugerencias:

FECHA	13/12/2017		
EXPOSITOR	SANTIAGO PAUL VILCA HERNANDEZ		
LUGAR	DENTRO PUCESI	FUERA PUCESI	

NOTA IMPORTANTE: Por favor conteste las preguntas según la siguiente escala:

5. MUY ALTO / 4. ALTO / 3. MEDIO / 2. BAJO / 1. NULO

DETALLE DE VALORACIÓN	1	2	3	4	5
ORGANIZACIÓN DEL EVENTO DE SOCIALIZACIÓN:					
1. ¿Considera Usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?				X	
2. ¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?			X		
EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR					
3. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?				X	
4. ¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?				X	
5. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?			X		
MEDICIÓN DE IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN:					
6. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?					X
7. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?					X
8. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?					X
9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?				X	
REALICE UN COMENTARIO O SUGERENCIA PARA LOS ORGANIZADORES DE ESTE EVENTO					
aumentar datos desde 10 años atrás.					
MENCIONE USTED OTRAS PROBLEMÁTICAS QUE A SU PARECER PODRÍAN SER INVESTIGADAS Y QUE POSEAN IMPORTANCIA PARA ALGÚN ACTOR Y/O SECTOR DE NUESTRA COLECTIVIDAD					
Zona de Riesgo en Cuevas e Isoyetas.					
INSTITUCIÓN U ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE EL ENCUESTADO					GADM Antonio Ante.

Anexo 11. Listado de personas asistentes a la socialización



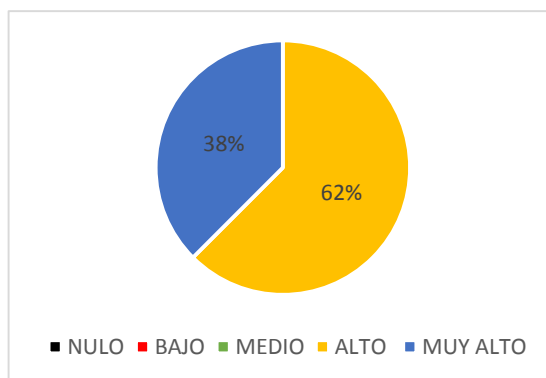
LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

NOMBRE DEL EXPOSITOR: SANTIAGO PAUL VILCA HERNANDEZ
CARRERA: CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODesarrollo
FECHA: 13 DE DICIEMBRE DEL 2017

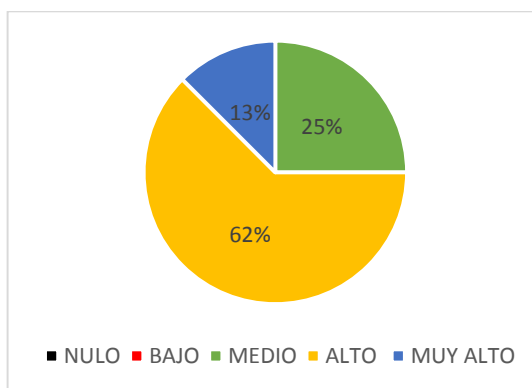
NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCION A LA QUE REPRESENTA	FIRMA
Diego Mejía	100797296-7	PUCE Ibarra	<i>[Handwritten Signature]</i>
Carolina Lomas	100492639-8	PUCE-SI	<i>[Handwritten Signature]</i>
INDIANET CUBEG	1001658052	BOO AA-	<i>[Handwritten Signature]</i>
Nairo Jaramillo E	100260272-8	GADH-AA	<i>[Handwritten Signature]</i>
Osmar Caion G	1003149208	GADM-AA	<i>[Handwritten Signature]</i>
Cristian Yépez	100420032-3	PUCE Ibarra	<i>[Handwritten Signature]</i>
Fabio Cabrera	0401034156	GADH-AA	<i>[Handwritten Signature]</i>
Cristina Carugal	100285306-5	PUCE-SI	<i>[Handwritten Signature]</i>

Anexo 12. Resultados de las encuestas de socialización.

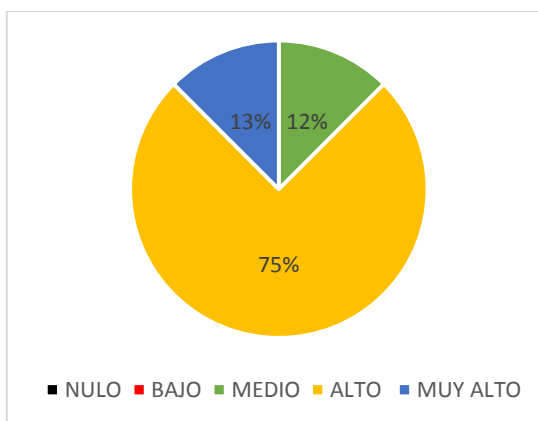
1. ¿Considera usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?



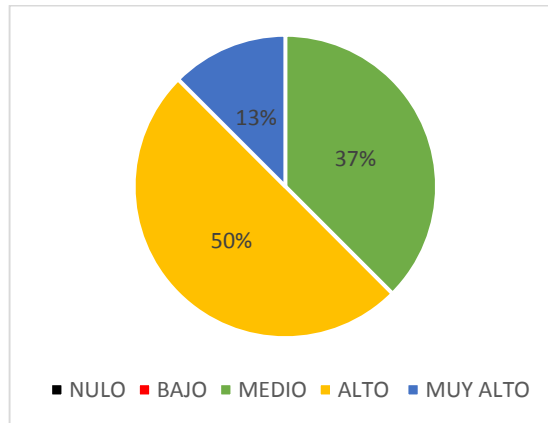
2. ¿Considera usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?



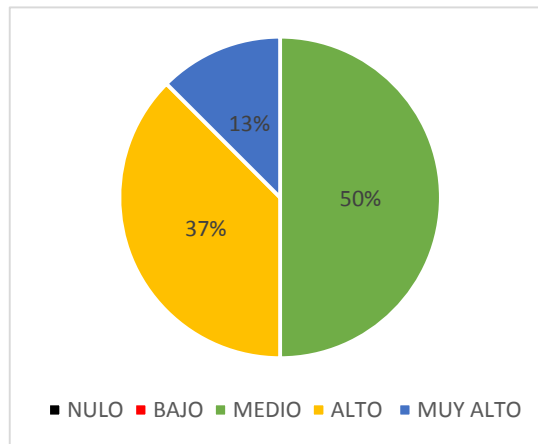
3. ¿Considera usted que el expositor mostró dominio del tema?



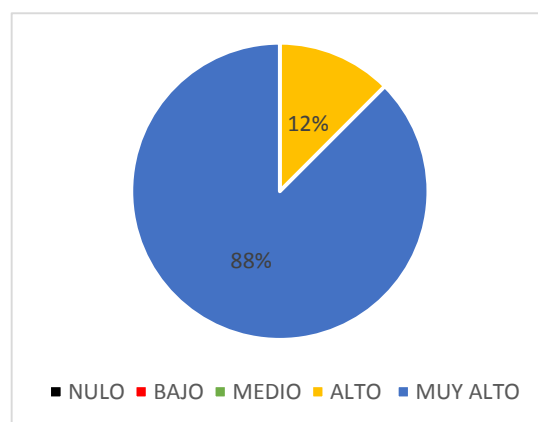
4. ¿Estima usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?



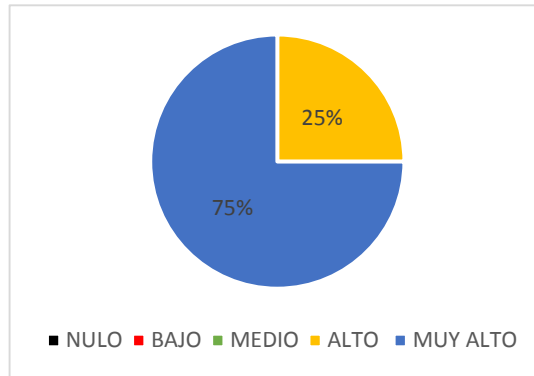
5. ¿Considera usted que el expositor demostró facilidad de expresión?



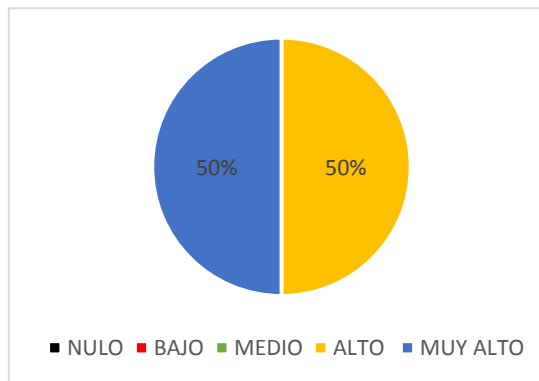
6. ¿Considera usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?



7. ¿Considera usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios o posteriores?



8. ¿Considera usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?



9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera usted que éstos se cumplieron?

