

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

### **ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL BARRIO ATACABA, NOROCCIDENTE DE QUITO.**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO**

**WILLIAMS PATRICIO ORMAZA NIETO**

[williams.ormaza@gmail.com](mailto:williams.ormaza@gmail.com)

**DIRECTOR: ING. ELIANA FERNANDA JIMÉNEZ ÁLVARO MSC.**

[eliana.jimenez@epn.edu.ec](mailto:eliana.jimenez@epn.edu.ec)

**Quito, Junio 2017**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Williams Patricio Ormaza Nieto, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Williams Patricio Ormaza Nieto

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Williams Patricio Ormaza Nieto, bajo mi supervisión.

---

Ing. Eliana Jiménez MSc.  
DIRECTORA DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

A mi amada esposa Jimena por ser mi compañera durante toda mi carrera universitaria, por tu apoyo, regaños y en especial tus consejos. Siempre me has ayudado a ser una mejor persona y a crecer. Hemos empezado un largo pero muy bello camino que nos llevara hasta viejitos juntos.

A mi hijo Benjamín por ser mi mayor fuente de inspiración y alegrar cada día de mi vida con su sonrisa. Eres el mejor mi rey.

A mis padres William y Lucrecia por siempre confiar en mí y nunca dejar de apoyarme pese a los disgustos que les he causado. Siempre me han tenido paciencia y me han sabido aconsejar sabiamente. Este proceso que ahora culmino es gracias a ustedes y su perseverancia. Estoy muy agradecido de ser su hijo, los amo mucho.

A mis hermanos Alicia, Edgar y Emily que siempre han estado a mi lado, hemos compartido grandes momentos juntos y sé que siempre podré contar con ustedes. Soy feliz de haber crecido a su lado.

A Jorge Escobar y Laura Peralta por haberme acogido como un miembro más de su familia y apoyarme en la realización de este proyecto.

A mi directora de tesis Ing. Eliana Jiménez, gracias por su tiempo y ayuda en la realización de este proyecto.

A mis amigos de la facultad que me han acompañado durante toda esta etapa de mi vida, en especial a Milton, Danny, Charles, Josue Luis, Alejandro V., Johnny, Juver, Mateo, Fernando y Muchacho.

A Exploraciones Novomining S.A. y en especial a Jason Ward por haberme dado la oportunidad de empezar mi desarrollo profesional y por confiar en mí.



## DEDICATORIA

*A mi **Esposa** e **Hijo** por darme la fuerza de seguir adelante*

*A mis **padres** y **hermanos**, gracias a ustedes he llegado hasta aquí*

*A **Papito Pepe**, que ahora nos cuida desde el cielo*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XIV
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT .....	XVII
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Justificación .....	3
1.2.1 Justificación Teórica .....	3
1.2.2 Justificación Metodológica .....	4
1.2.3 Justificación Práctica .....	5
1.3 Hipótesis.....	5
1.4 Objetivo General .....	6
1.5 Objetivos Específicos .....	6
1.6 Alcance .....	6
<b>CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1. Localización .....	7
2.1.1 Área de Influencia Directa (AID) .....	7
2.1.2 Área de Influencia Indirecta (AII).....	8
2.1.3 Acceso .....	8
2.1.4 Estudios previos.....	8
Levantamiento Planimétrico del Barrio Atacaba .....	8

Alcantarillado Barrio Atacaba .....	9
2.2 Aspecto Socioeconómico.....	9
2.2.1 Tamaño de la población .....	10
2.2.2 Densidad de población .....	10
2.2.3 Educación .....	10
2.2.4 Población Económicamente Activa (PEA) .....	11
2.2.5 Cobertura de Servicios Básicos .....	11
2.3 Aspecto Físico.....	11
2.3.1 Climatología.....	11
2.3.2 Temperatura.....	12
2.3.3 Precipitación.....	13
2.3.4 Hidrografía.....	13
2.3.5 Suelo.....	13
2.3.6 Morfología.....	14
2.3.7 Geología Regional.....	14
Valle Interandino (VIA) .....	15
Cuencas del Valle Interandino .....	15
Cuenca Quito-Guayllabamba.....	16
2.3.8 Geología Local .....	17
Formación Cangahua (Pleistoceno Superior-Holoceno) .....	17
Volcánicos Casitagua (Plioceno Tardío) .....	17
Flujos Piroclásticos Pululahua (Holoceno) .....	17
2.4 Conceptos Generales.....	17
2.4.1 Amenaza.....	17
2.4.2 Amenazas Naturales .....	18
2.4.3 Amenaza Geológica .....	18
2.4.4 Amenazas en el Área de Estudio.....	18
2.4.5 Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) o Movimientos en Masa (MM).....	20
Caída (Fall).....	20
Volcamiento (Toppling) .....	21
Deslizamiento (Slide).....	21
Deslizamiento traslacional.....	22
Deslizamiento rotacional.....	22

Extensiones laterales (Lateral spreads) .....	22
Flujos (Flow) .....	22
Reptación .....	23
2.5 Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM).....	24
2.6 Tipos de mapas de Zonificación.....	24
2.6.1 Mapas de zonificación de Susceptibilidad por FRM.....	24
2.6.2 Mapas de zonificación de Amenaza por FRM .....	25
2.7 Metodologías para la elaboración de Mapas de Susceptibilidad por FRM .....	26
2.7.1 Métodos Heurísticos .....	26
Método Geomorfológico .....	26
Método de Ponderación de Parámetros .....	27
Método de Mora y Vahrson .....	27
2.7.2 Método Determinístico .....	27
2.7.3 Métodos Estadísticos.....	27
<b>CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>30</b>
3.1 Método Estadístico Univariado .....	30
3.2 Factores de Análisis .....	31
3.2.1 Mapa de Inventario de Movimientos en Masa (IMM).....	32
Metodología del Inventario Movimientos en Masa (IMM) .....	33
3.2.2 Factor Geológico.....	35
Metodología del Mapa Geológico .....	36
3.2.3 Factor Geomorfológico.....	36
Metodología del Mapa Geomorfológico .....	37
3.2.4 Factor Cobertura y Uso de Suelo .....	38
Metodología del Mapa de Cobertura y Uso de Suelo .....	38
3.2.5 Factor Pendiente .....	39
Metodología del Mapa de Pendientes .....	40
3.3 Determinación del Peso (W) para cada Factor .....	41
3.3.1 Superficie de las UCP (S) .....	41
3.3.2 Superficie acumulada del FRM de tipo X (m <sup>2</sup> ) sobre la UCP (DZX).....	42
3.3.3 Cálculo del Peso (W) para cada Factor .....	45
3.4 Obtención de rangos para el Peso (W) .....	45

3.5 Determinación de la Susceptibilidad Parcial (SP) y Susceptibilidad Total (ST) .....	49
3.5.1 Susceptibilidad Parcial (SP) .....	49
3.5.2 Susceptibilidad Total (ST) .....	51
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
4.1 Mapa de Inventario Movimientos en Masa (IMM).....	53
4.1.1 FRM tipo deslizamiento rotacional .....	54
4.1.2 FRM tipo caída de bloques .....	55
4.1.3 FRM tipo flujo .....	56
4.2 Mapa Geológico .....	59
4.2.1 Flujo Piroclástico - Tefras (Fpt) .....	61
4.2.2 Flujo Piroclástico Dacítico (Fpd).....	62
4.2.3 Depósitos Aluviales (Alv) .....	62
4.2.4 Depósitos Coluviales (Cv) .....	63
4.2.5 Zonas de Relleno (Zre) .....	63
4.3 Mapa Geomorfológico.....	64
4.3.1 Terrazas Intermedias (Ti) .....	65
4.3.2 Conos de deyección y derrubios recientes (Cd) .....	65
4.3.3 Aluviones y depósitos tipo caída (Avc) .....	65
4.3.4 Rampas de Piedemonte (Rp) .....	65
4.3.5 Cornisas y vertientes abruptas (Cva) .....	65
4.4 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo .....	66
4.5 Mapa de Pendientes.....	67
4.5.1 Mapa de Pendientes del AID .....	69
4.6 Mapa de Susceptibilidad del Área de Estudio .....	69
4.6.1 Peso (W) para cada Factor .....	69
4.6.2 Selección de rangos para el Peso (W) .....	71
4.6.3 Mapa de Susceptibilidad .....	74
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
5.1 Factores que intervienen en la formación de FRM.....	75
5.1.1 Factores Inherentes.....	75
Factor Geológico .....	75
Factor Geomorfológico y de Pendientes .....	76

Factor Cobertura y Uso de Suelo .....	76
5.1.2 Factores que disminuyen la resistencia al corte .....	77
Meteorización .....	77
Presión de Agua.....	77
Cambio de Uso de Suelo .....	78
5.1.3 Factores desencadenantes que aumentan los esfuerzos al cortante .....	79
Lluvias Intensas .....	79
Erosión y socavamiento al pie del talud .....	79
Sobrecarga en la Ladera .....	80
5.2 Validación de los Resultados .....	81
5.2.1 Porcentaje total de FRM agrupados en cada rango de susceptibilidad .....	81
5.2.2 Porcentaje del área de cada clase de susceptibilidad en relación al área total de estudio .....	82
5.2.3 Porcentaje total del área deslizada en cada clase de susceptibilidad.....	83
5.3 Análisis de los niveles de Susceptibilidad por FRM.....	83
5.4 Susceptibilidad en el Área de Influencia Directa (AID) .....	85
5.5 Socialización de los Resultados .....	87
Acciones a seguir por los moradores.....	88
Acciones a gestionar con el Municipio de Quito .....	88
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>89</b>
6.1 Conclusiones .....	89
6.2 Recomendaciones .....	93
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación del Área de Estudio.....	7
Figura 2.2 Levantamiento Planimétrico del Barrio Atacaba .....	9
Figura 2.3 Morfología del Área de Estudio .....	14
Figura 2.4 Contexto Geodinámico del margen del Pacífico Este, a nivel de América Central y del Sur.....	15
Figura 2.5 Subdivisiones del VIA .....	16
Figura 2.6 Esquema de Caída .....	20
Figura 2.7 Esquema de Vuelco del macizo rocoso .....	21
Figura 2.8 Esquema de Deslizamiento Traslacional y Rotacional .....	21
Figura 2.9 Esquema de Flujo Canalizado y no Canalizado .....	23
Figura 2.10 Esquema de Reptación.....	23
Figura 2.11 Esquema General de la Zonificación de la Amenaza .....	25
Figura 2.12 Representación esquemática del proceso en un SIG del Método Estadístico Univariado.....	29
Figura 3.1 Diagrama de Flujo para la aplicación del Método Estadístico Univariado .....	31
Figura 3.2 Formato para el Inventario de Movimientos en Masa.....	33
Figura 3.3 Formato para el Inventario de Movimientos en Masa.....	34
Figura 3.4 Ficha de campo para el Mapa de Cobertura y Uso de Suelo .....	39
Figura 3.5 Cálculo de la Superficie de las UCP del Mapa Geológico .....	42
Figura 3.6 Proceso de Intersección entre los FRM tipo Caída y el Mapa Geológico .....	43
Figura 3.7 Cálculo de la Superficie Acumulada de los FRM tipo Caída en las UCP del Mapa Geológico.....	44
Figura 3.8 Proceso de Rasterización del archivo .shape geologia_caída .....	47
Figura 3.9 Distribución de los Rangos del Peso (W) en función del valor de Susceptibilidad .....	50
Figura 3.10 Procedimiento para determinar la SP para cada tipo de FRM .....	51
Figura 4.1 Mapa de IMM del Área de Estudio .....	53
Figura 4.2 Columna Estratigráfica Generalizada del Área de Estudio.....	60
Figura 4.3 Mapa Geológico del Área de Estudio .....	60
Figura 4.4 Flujo Piroclásticos – Tefras y su Columna Estratigráfica .....	61
Figura 4.5 Mapa Geomorfológico del Área de Estudio.....	64
Figura 4.6 Mapa de Cobertura y Uso de Suelo del Área de Estudio .....	67
Figura 4.7 Mapa de Pendientes del Área de Estudio .....	68

Figura 4.8 Mapa de Pendientes del Área de Influencia Directa .....	69
Figura 4.9 Diagrama de Dispersión del Peso (W) .....	71
Figura 4.10 Mapa de Susceptibilidad del Área de Estudio.....	74
Figura 5.1 Relación: Número de FRM en cada rango de Susceptibilidad .....	82
Figura 5.2 Relación: Porcentaje del Área de Estudio vs el área en los rangos de Susceptibilidad.....	82
Figura 5.3 Relación: Área total de los FRM en cada rango de Susceptibilidad .....	83
Figura 5.4 Mapa de Susceptibilidad del AID.....	85



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Coordenadas del Área de Estudio .....	7
Tabla 2.2	Composición de la Población.....	10
Tabla 2.3	Información de las Estaciones Meteorológicas .....	12
Tabla 2.4	Datos compilados de las Estaciones Meteorológicas entre (1985-2009).....	12
Tabla 2.5	Amenazas en el Área de Estudio .....	19
Tabla 3.1	Caracterización de las Unidades Litológicas.....	35
Tabla 3.2	Formato de Excel para el cálculo del Peso (W) en el Factor Geología .....	45
Tabla 3.3	Formato de Excel para la selección de Rangos del Peso (W).....	48
Tabla 3.4	Relación Rango – Susceptibilidad .....	48
Tabla 3.5	Relación Rango – Susceptibilidad .....	52
Tabla 4.1	Inventario de FRM tipo deslizamiento rotacional .....	54
Tabla 4.2	Inventario de FRM tipo caída.....	55
Tabla 4.3	Inventario de FRM tipo flujo .....	57
Tabla 4.4	Coordenadas Columnas Estratigráficas .....	59
Tabla 4.5	Leyenda temática, Mapa Cobertura y Uso de Suelo.....	66
Tabla 4.6	Rangos del Mapa de Pendientes.....	68
Tabla 4.7	Pesos (W) del Factor Litológico .....	70
Tabla 4.8	Pesos (W) del Factor Geomorfológico.....	70
Tabla 4.9	Pesos (W) del Factor Uso y Cobertura de Suelo .....	70
Tabla 4.10	Pesos (W) del Factor Pendiente .....	71
Tabla 4.11	Selección de los Intervalos para el Peso (W).....	72
Tabla 4.12	Rangos del Peso (W) y su Grado de Susceptibilidad .....	73
Tabla 4.13	Valoración de la Susceptibilidad para las UCP .....	73
Tabla 5.1	Grado de Susceptibilidad del Área de Estudio .....	83
Tabla 5.2	Grado de Susceptibilidad del AID .....	85
Tabla 5.3	Grado de susceptibilidad de los lotes del Barrio Atacaba .....	86

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 Zonas de Relleno, Barrio Atacaba .....	2
Fotografía 1.2 Grietas métricas, Barrio Atacaba .....	4
Fotografía 4.1 FRM tipo Deslizamiento Rotacional .....	55
Fotografía 4.2 FRM tipo Caída de Bloques .....	56
Fotografía 4.3 FRM tipo Flujo.....	58
Fotografía 4.4 Depósitos de Flujo Piroclásticos Dacítico. ....	62
Fotografía 4.5 Depósitos Aluviales .....	63
Fotografía 4.6 Depósito Coluvial.....	63
Fotografía 4.7 Zonas de Relleno.....	64
Fotografía 5.1 Sobrecarga en la ladera .....	76
Fotografía 5.2 Meteorización física .....	77
Fotografía 5.3 Presión de Agua .....	78
Fotografía 5.4 Cambio y Uso de Suelo.....	78
Fotografía 5.5 Lluvias intensas .....	79
Fotografía 5.6 Socavamiento al pie del talud .....	80
Fotografía 5.7 Sobrecarga en la Ladera.....	81
Fotografía 5.8 Socialización de resultados a los moradores del Barrio Atacaba .....	87

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1 Cálculo del Peso (W).....	41
Ecuación 3.2 Selección de Rangos del Peso (W).....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Mapa de Inventario de Movimientos en Masa.....	102
Anexo II. Mapa Geológico del Área de Estudio.....	103
Anexo III. Mapa Geomorfológico del Área de Estudio.....	104
Anexo IV. Mapa de Cobertura y Uso de Suelo del Área de Estudio.....	105
Anexo V. Mapa de Pendientes del Área de Estudio.....	106
Anexo VI. Mapa de Susceptibilidad por FRM del Área de Estudio.....	107
Anexo VII. Mapa de Susceptibilidad por FRM del Área de Influencia Directa.....	108

## RESUMEN

Este proyecto de titulación evalúa la Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) a escala 1:5.000 en el Barrio Atacaba, mediante la aplicación del Método Estadístico Univariado. Esta metodología permite obtener una aproximación semicuantitativa y objetiva de la susceptibilidad por FRM y puede ser utilizada a escala intermedia – detalle. Para ello analiza cuatro factores condicionantes o inherentes (geología, geomorfología, cobertura y uso del suelo y la pendiente del terreno) y los compara estadísticamente con el mapa de Inventario de Movimientos en Masa (IMM) para así determinar el grado de susceptibilidad que cada unidad de terreno tiene hacia la generación de FRM.

El mapa de Susceptibilidad por FRM permite delimitar las zonas más propensas a la generación de movimientos en masa, para plantear alternativas de prevención y mitigación que contribuirán en el mejoramiento de la calidad de vida de la población directamente afectada, a través de mecanismos de planificación territorial.

El presente proyecto se encuentra estructurado en seis capítulos. El primero plantea la problemática actual del barrio, la justificación para su desarrollo, la hipótesis de partida y el alcance del trabajo. En el segundo capítulo se realiza la síntesis de la recopilación bibliográfica, donde se caracteriza el área de estudio, sus aspectos socioeconómicos, físicos y las principales amenazas a las que se encuentra expuesta. El tercer capítulo describe la metodología utilizada para evaluar la susceptibilidad por FRM, los criterios utilizados para agrupar las diferentes unidades que conforman los mapas de factores inherentes y puntualiza los pasos del procesamiento estadístico y de álgebra de mapas que permiten obtener como resultado final. El cuarto capítulo presenta todos los resultados obtenidos en el presente estudio, los mapas (geológico, geomorfológico, de cobertura y uso de suelo y de pendientes) junto con la descripción de las unidades, las tablas producto del procesamiento estadístico de los datos y el mapa de susceptibilidad del área de estudio. En el quinto capítulo se analiza e interpreta los resultados presentados en el capítulo anterior, se describe los factores que reducen la resistencia al corte e incrementan los esfuerzos al cortante identificados en campo, se valida los resultados y se examina la susceptibilidad presente en cada uno de los lotes que conforman el Barrio Atacaba. Por último en el capítulo seis se presenta las conclusiones que se derivan de los resultados obtenidos y se expone algunas recomendaciones que permitirán mejorar la condición actual del barrio.

## **ABSTRACT**

This project evaluates the landslide susceptibility at a scale of 1:5.000 in the Atacaba neighborhood, through the application of the Univariate Statistical Method. This methodology allows to obtain a semi-quantitative and objective approximation of susceptibility by landslide and can be used at intermediate-detail scale. In order to do so, it analyzes four conditioning or inherent factors (geology, geomorphology, land cover and use, and the land slope) and compares them statistically with the Mass Movement Inventory map (IMM) to determine the ranges of susceptibility that each unit of land has towards the generation of the landslide

Landslide susceptibility maps allows to delimit the areas most prone to the generation of mass movements, to propose alternatives of prevention and mitigation that will contribute to the improvement of the population's life quality directly affected, through territorial planning mechanisms.

This project is structured in six chapters. The first chapter presents the current problem of the neighborhood, the justification for its development, the starting hypothesis and the scope of work. In the second chapter, the bibliographic compilation is synthesized. Where the study area, its socioeconomic and physical aspects, and the main threats to which it is exposed are characterized. The third chapter describes the methodology used to evaluate the landslide susceptibility, the criteria used to group the different units that make up the maps of inherent factors and points out the steps of statistical processing and algebra of maps that allow to obtain the final result. The fourth chapter presents all the results obtained in the study, the maps (geological, geomorphological, cover and land use and slopes) together with the description of the units, the tables resulting from the statistical processing of the data and the map of susceptibility of the study area. In the fifth chapter I analyze and interpret the results presented in the previous chapter. I describe the factors that reduce and increase the shear strength identified in the field, validate the results and examine the susceptibility present in each of lots that are part of Atacaba neighborhood. Finally, chapter six presents the conclusions reached in this study and sets out recommendations that will improve the current condition of the neighborhood.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del Problema

Desde su fundación en 1534 la ciudad de Quito se desarrolló como un territorio rural, pero en la actualidad se ha convertido en una moderna metrópoli. Su exponencial crecimiento poblacional y modernización está relacionado con varios factores, siendo el más importante el denominado “boom petrolero” de los años 70s que convirtió a la Ciudad de Quito en una capital petrolera y el segundo centro bancario y financiero del país (Municipio del DMQ, 2015) y (Córdova & Vallejo, 2012).

Este crecimiento poblacional ha traído consigo un cambio drástico en la morfología de la ciudad, ya que con la finalidad de darle continuidad urbana, las redes naturales de drenaje fueron rellenadas. Constituyéndose actualmente en la principal causa de que se produzcan Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) e inundaciones en la ciudad (Peltre, 1989).

Los primeros rellenos realizados datan de la época colonial en el Centro Histórico y continuaron hacia las quebradas ubicadas al Norte y Sur de Quito. Sin embargo, poco se conoce de las condiciones en que estos se llevaron a cabo, constituyéndose no solo como un problema de crecimiento urbano mal controlado, sino también en una fuente de amenazas para la población asentada en las riberas y laderas de estas quebradas (Cupuerán, 2016).

En el estudio de Reducción del Riesgo en Barrios en Situación de Emergencia en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) presentado en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible (HABITAT III) manifiesta que existen 1237 barrios, 90 de los cuales se encuentran en zonas susceptibles a FRM y 53 a inundaciones. (Jimenez, Cárdenas, & Zapata, 2017)

El Barrio de interés social y desarrollo progresivo Atacaba y Área de Influencia Directa (AID) del presente proyecto de titulación, está considerado como uno de los 90 barrios susceptibles a FRM, motivo por el cual es muy importante delimitar las zonas que se encuentran más expuestas a que se produzcan este tipo de fenómenos.

El Barrio Atacaba es el resultado de grupos humanos campesinos de diferentes provincias que migraron hace más de 30 años a la ciudad en busca de mejorar su calidad de vida.

Los lotes correspondientes al actual barrio fueron adquiridos por la Asociación de Trabajadores Autónomos de Carcelén Bajo en 1995 y en el 2004 se expidió la Ordenanza No-3515, que rige a la Urbanización de Interés Social de Desarrollo Progresivo de la Asociación de Trabajadores Autónomos de Carcelén Bajo "ATACABA" (Concejo Metropolitano de Quito, 2004).

El Barrio Atacaba se encuentra ubicado en la ribera del Río Pusuquí, en la ex-hacienda Tajamar al oeste de la Quebrada Almeida, Parroquia de Carcelén, Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Tiene una superficie de 265424.97m<sup>2</sup> y está limitado por los barrios Carcelén Bajo, 29 de Abril, Lirios de Carcelén y Mastodontes.

A pesar de que el barrio cuenta con todos los servicios básicos su actual problemática radica en que las viviendas se encuentran construidas sin una adecuada planificación, en una zona con topografía accidentada sobre quebradas que han sido rellenadas y taludes con pendientes fuertes, además la acción antrópica no ha sido favorable ya que la deforestación, la actividad agrícola y de pastoreo sin control hídrico erosionan y saturan los taludes.

En la fotografía 1.1 se muestran dos zonas de relleno identificadas en el área de estudio.



Fotografía 1.1 Zonas de Relleno, Barrio Atacaba

El presente proyecto de titulación propone la zonificación de la susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) en el Barrio Atacaba, a través de la aplicación del Método Estadístico Univariado, lo que nos permitirá delimitar las zonas más sensibles a que se produzcan este tipo de fenómenos y servirá como base para estudios de la planificación territorial y evaluación del nivel de riesgo por FRM.

## **1.2 Justificación**

### **1.2.1 Justificación Teórica**

El Ecuador está ubicado en la zona de convergencia entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, convirtiéndose así en un país tectónicamente activo y con características geológicas, morfológicas y climáticas que lo hacen susceptible a diversas amenazas naturales. Amenazas que han causado pérdidas de vidas humanas, bienes materiales y efectos nocivos para el desarrollo (INIGEMM, 2013). Una de las amenazas más frecuentes y de gran impacto son los FRM, conocidos en el país como deslizamientos, movimientos en masa, derrumbes, deslaves, aluviones, etc (Castro Pilco, 2013).

La Ingeniería Geológica como ciencia aplicada al estudio y solución de problemas producidos por la interacción del medio geológico y la actividad humana, tiene entre sus principales objetivos la evaluación, prevención y mitigación de los riesgos geológicos. En este contexto los FRM, ya sean producidos por el carácter dinámico del medio geológico, la evolución natural del relieve, o bien desencadenados por el hombre, han causado en la mayoría de casos muchas víctimas y grandes pérdidas económicas (Abad Cárdenas, 2006).

En el DMQ los FRM han llegado a ser muy recurrentes, esto se debe al crecimiento poblacional que ha traído consigo un cambio drástico en la morfología de la urbe y ha significado la permanente transformación del territorio que degrada el medio, acentuando, acelerando y generando la aparición de nuevas amenazas (Córdova & Vallejo, 2012). Lo que se ha convertido no solo en un problema de crecimiento urbano mal controlado, sino también, en una fuente de amenazas para la población asentada en las riberas y laderas de estas quebradas.

Las viviendas del Barrio Atacaba se encuentran construidas en una ladera con pendiente pronunciada, sobre zonas y quebradas que han sido rellenadas, sin un adecuado y completo sistema de alcantarillado. Esto ha producido que los procesos erosivos se acentúen y aceleren generando grietas métricas en el suelo (como se muestra en la fotografía 1.2), FRM y problemas ambientales.





Fotografía 1.2 Grietas métricas, Barrio Atacaba

Estas grietas podrían convertirse en futuras superficies de falla para grandes FRM, los mismos que afectarían no solo a la población del Barrio Atacaba sino también a barrios aledaños y a la red de energía eléctrica y alcantarillado que cruzan por el área de estudio.

### 1.2.2 Justificación Metodológica

De acuerdo a (Fell, y otros, 2008) los métodos de evaluación de susceptibilidad pueden variar según: la escala de zonificación; el propósito de la zonificación (información, planificación, pre-diseño, diseño); y el nivel de zonificación (básico, intermedio y a detalle). La aplicación de metodologías para zonificar la susceptibilidad por FRM nos permitirá delimitar las zonas más sensibles a la ocurrencia de este tipo de fenómenos.

Los métodos estadísticos aplicados en la evaluación de la susceptibilidad por FRM requieren de abundante información, tanto cualitativa como cuantitativa motivo por el cual se ha implementado en el Barrio Atacaba y zonas aledañas una de superficie total de  $1670988\text{m}^2$  que corresponde al mapa 1:5.000, con la finalidad de comprender mejor los aspectos geológicos y que su caracterización sea la adecuada para la aplicación de la metodología.

Para obtener el mapa de zonificación de susceptibilidad del barrio se requiere del levantamiento de información en campo que permitirá elaborar el mapa de inventario de movimientos en masa (IMM), geológico, geomorfológico, y de cobertura y uso del suelo; está información se complementa con el mapa de pendientes. Con ayuda del software ArcGis 10.3 se procesará la información, para el análisis se utilizará el Método Estadístico

Univariado, por ser el método teórico - semianalítico comúnmente utilizado para la zonificación de la susceptibilidad por FRM a escala intermedia - detalle (INGEOMINAS, 2001). Este método identifica de forma objetiva zonas con condiciones potenciales a que se produzcan FRM mediante la relación estadística entre mapas de parámetros (geológico, geomorfológico, pendiente, cobertura y uso de suelo) y el mapa de densidad de movimientos en masa (mapa de inventario de movimientos en masa) (Aricochea, 2016).

### **1.2.3 Justificación Práctica**

Con el objetivo de abordar esta problemática de forma integral, se está impulsando un Programa de Vinculación con la Colectividad entre el Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional y la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgo del Municipio de Quito, para comprender y evaluar la amenaza y la vulnerabilidad estructural que determinan un nivel de riesgo en los barrios en situación de emergencia y desde allí proponer medidas que integran la participación de la comunidad (Jimenez, Cárdenas, & Zapata, 2017).

El estudio de susceptibilidad por FRM en la Urbanización de Interés Social de Desarrollo Progresivo de la Asociación de Trabajadores Autónomos de Carcelén Bajo "ATACABA" nos permitirá delimitar las zonas más propensas a la generación de este tipo de fenómenos, para plantear alternativas de prevención y mitigación que contribuirá en el mejoramiento de la calidad de vida de la población directamente afectada. Además de reducir el impacto en las viviendas que se hallaren en zonas de alta susceptibilidad, resguardar la integridad física y evitar pérdidas económicas a los habitantes del barrio.

El mapa de susceptibilidad por FRM servirá de herramienta para la planificación territorial y gestión del riesgo geológico en el barrio.

## **1.3 Hipótesis**

La Zonificación de la Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) en el Barrio Atacaba, a través de la aplicación del Método Estadístico Univariado nos permitirá delimitar las zonas más sensibles a que se produzcan este tipo de fenómenos y es la base para el análisis y evaluación del nivel de Riesgo por FRM, la planificación territorial y gestión del riesgo geológico.

## **1.4 Objetivo General**

Evaluar la susceptibilidad por FRM a escala 1:5.000 utilizando el método Estadístico Univariado en la Urbanización de Interés Social de Desarrollo Progresivo de la Asociación de Trabajadores Autónomos de Carcelén Bajo "ATACABA" y calibrar los resultados con el mapa de inventario de FRM.

## **1.5 Objetivos Específicos**

- Caracterizar los fenómenos de remoción en masa mediante reconocimiento de campo, elaborar el inventario de movimientos en masa y desarrollar una base de datos.
- Realizar el mapeo geológico a detalle del área de estudio a escala 1:5.000, identificar y agrupar sus principales unidades litológicas.
- Identificar y caracterizar los factores de análisis y elaborar los mapas temáticos correspondientes para la aplicación del método estadístico.
- Determinar los factores desencadenantes de los FRM en el área de estudio para el análisis de los resultados.
- Elaborar el Mapa de zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa mediante el método Estadístico Univariado a escala 1:5.000.
- Socializar la información técnica de los predios susceptibles a fenómenos de remoción en masa obtenida como resultado del presente a los dirigentes del Barrio y al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

## **1.6 Alcance**

Al culminar el presente estudio se obtendrá un mapa de susceptibilidad por FRM a escala 1:5.000, el mismo que contribuirá a que el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito pueda tomar las acciones necesarias para salvaguardar el bienestar de la población que se encuentra más expuesta a las zonas inestables, servirá de base para un futuro análisis y evaluación del riesgo y para la planificación territorial.

## CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Localización

El Barrio de interés social y desarrollo progresivo “ATACABA” se encuentra ubicado en la ribera del Río Pusuquí, al oeste de la Quebrada Almeida, Parroquia de Carcelén, Distrito Metropolitano de Quito, Provincia de Pichincha. Posee una superficie total de 265424.97m<sup>2</sup>, la misma que incluye el área útil de los lotes, el área de protección del río y quebradas, área comunal y parques. Está limitado por los barrios Carcelén Bajo, 29 de Abril, Lirios de Carcelén y Mastodontes, como se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1 Ubicación del Área de Estudio

De acuerdo a la proyección Universal Transversa de Mercador, el área considerada en este estudio está localizada en la zona 17 M, elipsoide WGS 84 y sus correspondientes coordenadas son:

Tabla 2.1 Coordenadas del Área de Estudio

X (ESTE)	Y (SUR)
781509	9992340
783563	9992340
783563	9991530
81509	9991530

#### 2.1.1 Área de Influencia Directa (AID)

El área de influencia directa corresponde al área útil de los 51 los lotes que conforman el Barrio Atacaba, cuya extensión es de 168432.39 m<sup>2</sup>.

### **2.1.2 Área de Influencia Indirecta (All)**

El área de estudio además del Barrio Atacaba abarca otros poblados cercanos, aunque no en su totalidad, como son Carcelén Bajo, Pusuquí, Colegio Francés, Conjunto los Alisos y Lirios de Carcelén; los cuales ocupan un área de 1502555.61 m<sup>2</sup> incluyendo el margen de protección del Río Pusuquí.

### **2.1.3 Acceso**

El ingreso al Barrio Atacaba se realiza por Carcelén Bajo, se debe seguir la Av. Clemente Yerovi hasta la Av. Isidro Ayora para luego tomar la calle E3 y seguido la calle N90. Las operadoras de transporte público que cubren estas rutas son los buses de las cooperativas Catar y Monserrat. El 90% de las calles se encuentran adoquinadas. Sin embargo, el acceso principal al barrio aún no ha llegado a su fase final.

### **2.1.4 Estudios previos**

Son pocos los trabajos que se han realizado en el AID. Estos trabajos fueron realizados gracias a la iniciativa y organización de los moradores del barrio con apoyo de las diferentes instituciones públicas del DMQ. A continuación, se presenta una breve recopilación de estos estudios.

#### **Levantamiento Planimétrico del Barrio Atacaba**

El levantamiento planimétrico se realizó con el objetivo de legalizar el Barrio Atacaba y que se otorguen las escrituras a los propietarios de los lotes. El trabajo lo efectuó el Arquitecto Iván Romera en marzo de 2004, bajo la clave catastral 14009-01-003 y número de predio 366806, a una escala 1:2.000. El sistema de coordenadas utilizado fue el Sistema de Referencia Espacial para el Distrito Metropolitano de Quito (SIRES-DMQ) (Levantamiento Planimétrico - Arq. Iván Romero, 2017).

En el plano se evidencia la delimitación de los 51 lotes que conforman el Barrio Atacaba junto con sus respectivas superficies, la delimitación de las áreas verdes, ribera del río o área de protección municipal, también muestra una proyección de la construcción de parques y escalinatas junto con su respectiva proforma.

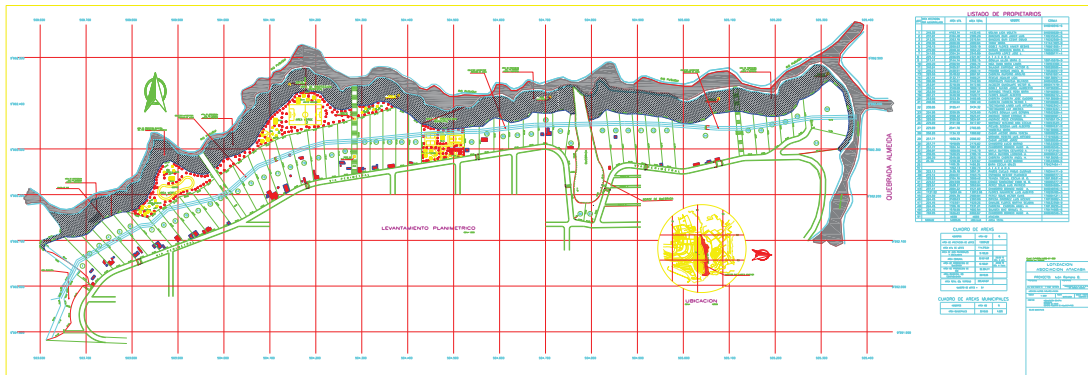


Figura 2.2 Levantamiento Planimétrico del Barrio Atacaba. Fuente: (Levantamiento Planimétrico - Arq. Iván Romero, 2017)

### Alcantarillado Barrio Atacaba

El 18 de abril de 2011 la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) contrató al Consorcio JJ-T para la construcción del Alcantarillado Combinado, descontaminación del Río Monjas, interceptor Oriental Etapa I. Esta obra se realizó bajo la denominada “área útil” de los lotes del Barrio Atacaba, con la finalidad de proveer del servicio de alcantarillado al barrio. La obra fue finalizada y entregada el 20 de marzo de 2013 (EPMAPS, 2014). Es importante señalar que en las especificaciones técnicas de la obra no existe un estudio del impacto de los efectos a producirse por el corte de la ladera, tampoco una obra civil de protección y estabilización del talud. En la actualidad este corte es usado como vía de acceso para volquetas que arrojan escombros y desechos a la ladera.

## 2.2 Aspecto Socioeconómico

Para la descripción de los diferentes aspectos socioeconómicos de la población correspondiente al área de estudio se emplearon datos obtenidos a partir de observación in situ, entrevistas informales y revisión de la siguiente información:

Datos obtenidos del Censo de Población y de Vivienda 2001 – 2010 de Carcelén Bajo, realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y publicados en la página oficial DMQ.



### 2.2.1 Tamaño de la población

Aproximadamente el 50% de la superficie de la Cuenca del Río Monjas se halla urbanizada, se considera una tasa de crecimiento del 2.8% en el 2010 con respecto al Censo de INEC 2001. En el área de estudio se encuentran los poblados de los Barrios Atacaba, Carcelén Bajo siendo este último el más representativo. Además de Los Alisos y Lirios de Carcelén, aunque no en su totalidad.

Tabla 2.2 Composición de la Población

<b>AÑO</b>	<b>2001</b>	<b>2010</b>
<b>Hombres</b>	5306	6139
<b>Mujeres</b>	5287	6398
<b>Total</b>	10593	12537
<b>Densidad (hab/ha)</b>	184.6	219.8

Fuente: INEC Censo de Población y Vivienda 2001-2010, Carcelén Bajo

La población ha incrementado en un 18.35% considerando los censos de 2001 (10593 habitantes) y 2010 (12537 habitantes). El 51% de la población total es decir 6398 habitantes son mujeres mientras que 6139 habitantes son hombres. El 33% de la población es joven, comprendida entre 19 y 35 años de edad seguida del 26% que representa la población mayor a 65 años de edad (Municipio de Distrito Metropolitano de Quito, s.f.).

### 2.2.2 Densidad de población

La densidad poblacional se ha venido incrementando, registra para el año 2001 una densidad de 184.6 hab/ha que asciende a 219.8 hab/ha en el 2010. Según el Censo INEC, 2010 existe un total de 3844 viviendas.

### 2.2.3 Educación

El nivel de instrucción predominante es el Secundario con un 42% (4457 hab), seguido de la educación primaria con un 31%, y sólo el 8% del total de la población presenta un nivel de instrucción superior, según el Censo 2001.

## **2.2.4 Población Económicamente Activa (PEA)**

En el 2010, la población económicamente activa la conforma 8698 habitantes. La tasa bruta de participación laboral es 69.3%.

El 58.4% de la población se desempeña en el sector privado, mientras que el 16.2% trabaja por cuenta propia lo que permite una tasa de desempleo relativamente baja del 3.2% respecto del resto de barrios. Un gran porcentaje de la población está ligada a actividades vinculadas al comercio y servicio. Aproximadamente 80 habitantes se dedican a actividades agrícola.

## **2.2.5 Cobertura de Servicios Básicos**

La cobertura de los servicios básico como es agua potable, sistema de alcantarillado público, recolección de basura y disponibilidad de energía eléctrica en el barrio Carcelén Bajo supera el 90%, situación que no ocurre en el Barrio Atacaba a pesar de encontrarse en las proximidades. Se evidencia una red de alcantarillado inconclusa, la presencia de perros callejeros es inevitable en el lugar debido a que el sitio alberga una gran cantidad de basura a su alrededor. Además de existir malestar en la población por la presencia de un gran volumen de escombros que son arrojados al lugar en la noche. El borde de la quebrada que limita los barrios Carcelén y la Josefina es el albergue de accesorios plásticos, muebles, electrodomésticos, basura común y material de construcción. La falta de interceptores sanitarios genera efectos ambientales negativos al cauce del Río Pusuquí.

## **2.3 Aspecto Físico**

La definición de los aspectos físicos se ha efectuado tomando en cuenta salidas de campo realizadas, en contraste con la información bibliográfica revisada.

### **2.3.1 Climatología**

Los datos de los principales componentes climatológicos corresponden a las estaciones meteorológicas Cotocollao, Calderón y San Antonio de Pichincha por ser las más próximas al sector que disponen de información oficial, como lo muestra la tabla 2.3.



Tabla 2.3 Información de las Estaciones Meteorológicas

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ESTE	NORTE	ALTURA
<b>M0342</b>	Cotocollao	778807	9987139	2870
<b>M0345</b>	Calderón	786815	9989089	2690
<b>M0115</b>	San Antonio de Pichincha	785464	9999105	2430

Fuente: (IEE, 2013)

La tabla 2.4 contiene información resumida de las variables meteorológicas asociadas con el clima del área de estudio.

Tabla 2.4 Datos compilados de las Estaciones Meteorológicas entre (1985-2009)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TEMPERATURA (°C)													
<b>San Antonio de Pichincha</b>	16.1	16.1	16.2	16.2	16.2	16.3	16.0	16.5	16.5	16.1	16.1	16.1	
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)													
<b>Cotocollao</b>	59.0	64.5	108.9	128.2	87.3	33.8	23.1	20.0	59.4	84.8	72.1	42.0	783.1
<b>Calderón</b>	51.1	64.5	78.8	74.5	49.1	16.7	3.7	5.8	45.4	64.6	54.7	41.7	550.6

Fuente: (IEE, 2013)

### 2.3.2 Temperatura

La temperatura promedio anual en la estación seleccionada es de 16.2°C y corresponde a una zona semiárida a árida. La variación de la temperatura media mensual es aproximadamente 1° C a lo largo del año.

### **2.3.3 Precipitación**

Las precipitaciones oscilan entre 500 a 800 mm/año. La época lluviosa corresponde a los meses de enero a mayo y de septiembre a diciembre, en tanto que la época seca abarca los meses de junio a agosto.

### **2.3.4 Hidrografía**

La zona forma parte del sistema de cuencas hidrográficas del Río Esmeraldas, la misma que se forma a partir de la subcuenca del Río Guayllabamba a su vez las microcuencas presentes forman parte de esta subcuenca. Dentro de las microcuencas se puede identificar un total de 40 drenajes simples, de los cuales se puede resaltar varias quebradas distribuidas de manera homogénea. (Neo-plan Cía. Ltda, 2015)

En el sector oriental de la cuenca del Río Monjas nace la Quebrada Carretas, en la Cooperativa de vivienda 27 de Octubre, recorre el extremo oeste del Barrio Carapungo y a la altura de Carcelén Bajo se une con el Río Pusuquí, formando el Río Monjas que sigue su curso hasta desembocar en el Río Guayllabamba. Marca el límite natural entre la Administración Zonal La Delicia y la Administración Zonal Calderón. El Río Pusuquí posee un caudal de  $151.03 \text{ m}^3/\text{s}$  (DMGR, 2016).

Los drenajes son lineales con un sistema de quebradas rectilíneas y dendríticas, que han excavado quebradas y cañones con paredes subverticales y cauces juveniles en forma de "V" formando taludes fuertes y susceptibles de generar FRM (DMGR, 2016).

### **2.3.5 Suelo**

La principal característica de la capa de suelo es que contiene material volcánico lo cual favorece ciertas actividades agropecuarias que se localizan puntualmente. Alrededor del 45% de la superficie corresponde a suelos de tipo areno-francosos, un 15% de suelos francos (suelos óptimos para cultivos) y finalmente un 40% corresponde a suelos de tipo franco-arenoso (Neo-plan Cía. Ltda, 2015).

### 2.3.6 Morfología

El área de estudio forma parte de la Cuenca Quito-Guayllabamba, subcuenca Pusuquí-San Antonio de Pichincha. Sus altitudes varían entre 2612 msnm en la zona de Carcelén Bajo y 2479 msnm en el Río Pusuquí. Está limitada por tres rasgos morfológicos predominantes con dirección Norte-Sur: 1) al Oriente la Meseta El Artesón (2838 msnm), esta meseta corresponde a la parte Sur y más ensanchada del Anticlinal Bellavista-Catequilla; 2) al Sur el Anticlinal El Inca-Puengasí. 3) Al Occidente el Complejo Volcánico Casitagua (3519 msnm) que constituye la elevación de mayor altura (Audin, Segovia, Yepes, & Mothes, 2014), (Procel Guerra, 2008).

Los dos primeros rasgos morfológicos forman parte del Sistema de Fallas inversas de Quito, sistema que juega un rol muy importante en la tectónica de la región.

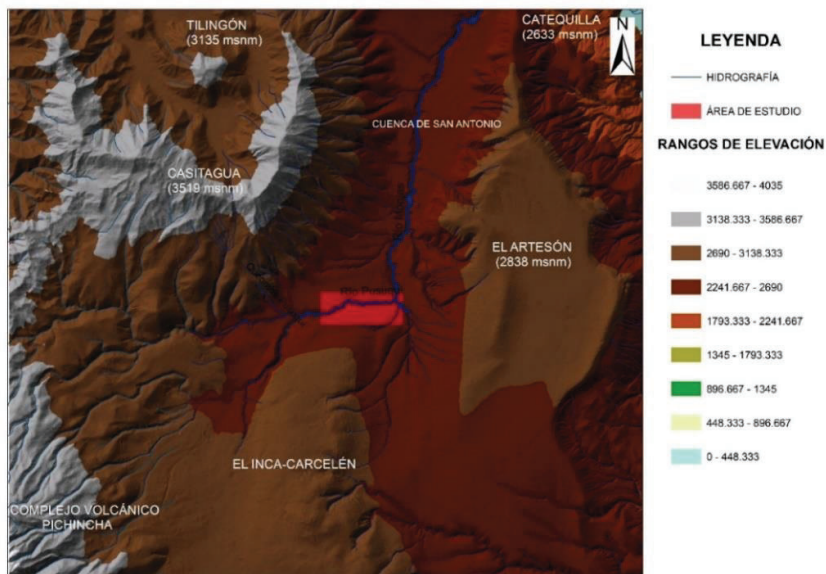


Figura 2.3 Morfología del Área de Estudio

### 2.3.7 Geología Regional

El Ecuador continental está ubicado al noroccidente de Sudamérica, su geodinámica está controlada por el proceso de subducción entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Se estima que este proceso comenzó desde el Oligoceno tardío (Gutscher, Malavieille, Lallemand, & Collot, 1999) con una dirección N83°E (Kendrick, y otros, 2003) y a una velocidad es entre 55 – 58 mm/año (Trenkamp, Kellogg, Freymueller, & Mora, 2002).

El sistema orogénico del Ecuador está compuesto por dos cadenas montañosas sub-lineares denominadas como Cordillera Real y Cordillera Occidental y, situadas al este y oeste respectivamente del Valle Interandino

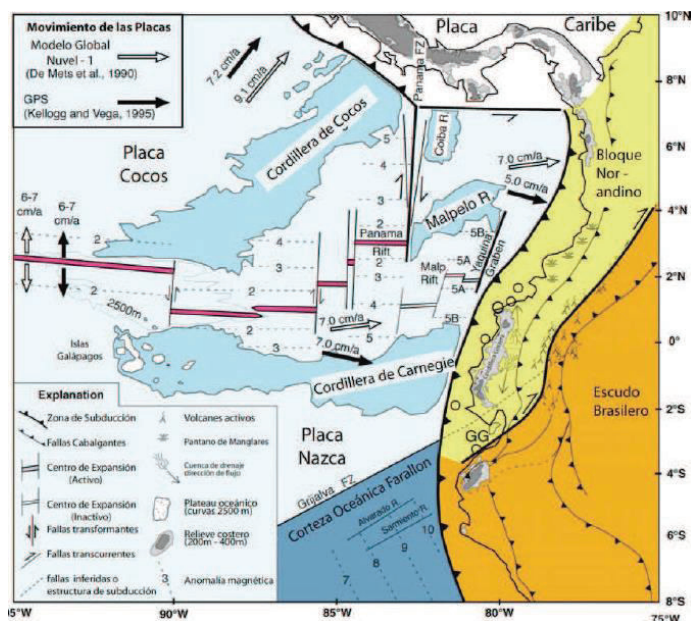


Figura 2.4 Contexto Geodinámico del margen del Pacífico Este, a nivel de América Central y del Sur. Fuente: (Gutscher, Malavieille, Lallemand, & Collot, 1999)

### Valle Interandino (VIA)

El Valle Interandino (VIA) es la principal depresión tectónica intracordillera del Ecuador, tiene aproximadamente 25 km de ancho y 300 km de largo con una dirección N-S a NNE (Ego & Sebrier, 1996) y (Winkler, y otros, 2005). Está ubicado entre los 0°45'N en la zona del Chota hasta 2°30'S en la zona de Alausí donde los Andes del Ecuador Central y Sur forman una única cadena montañosa, sin un valle dominante central (Hall, Samaniego, Le Pennec, & Johnson, 2008) y (Winkler, y otros, 2005). Se presume que el VIA empezó a formarse desde el Norte durante el Plioceno tardío (Villagomez, 2003).

### Cuencas del Valle Interandino

El VIA está dividido en tres segmentos por dos importantes nudos. Las cuencas del VIA se formaron como resultado de la interacción entre procesos volcánico-tectónicos y han sido rellenadas por depósitos volcano-sedimentarios, volcano-clásticos, fluvio lacustres y

aluviales de edad Mioceno tardío hasta Holoceno. (Winkler, y otros, 2005) y (Lavenu, Baudino, & Ego, 1996).

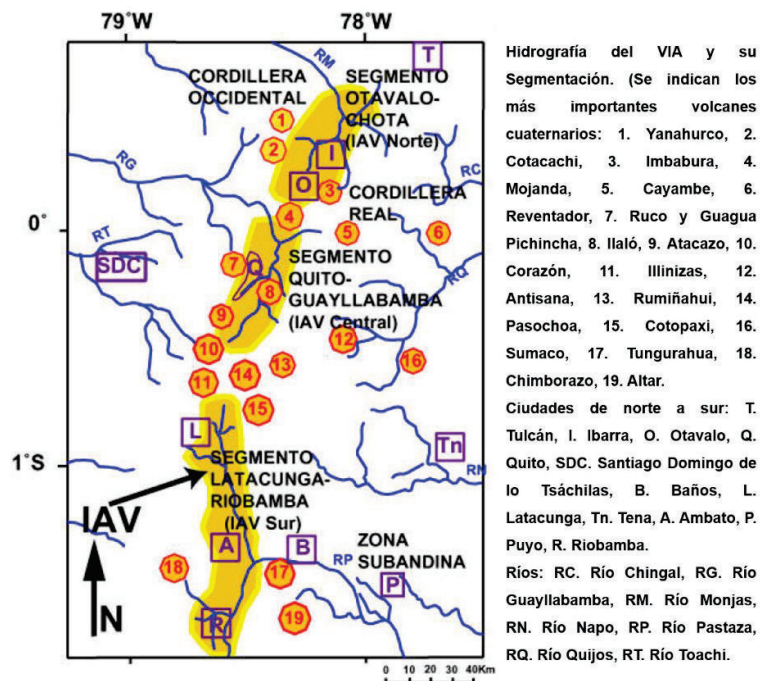


Figura 2.5 Subdivisiones del VIA. Fuente: (Villagomez, 2003)

El área de estudio del presente proyecto forma parte de la Cuenca Quito-Guayllabamba

### Cuenca Quito-Guayllabamba

El segmento Central del VIA (Cuenca Quito-Guayllabamba), es una depresión tectónica de dirección N-S, tiene alrededor de 30 km de longitud y aproximadamente 5 km de ancho. Su límite Norte es el nudo constituido por los volcanes Mojanda y Cusín y su límite Sur el constituido por los volcanes Rumiñahui, Paschocha, Cotopaxi e Illiniza (Villagomez, 2003).

(Villagomez, 2003) describe la Cuenca de Quito-Guayllabamba como depósitos volcánicos y volcano-clásticos. El relleno sedimentario puede ser dividido en dos grandes series separadas por una discordancia mayor; la secuencia inferior consiste de lavas, tobas, lahares, aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres ubicados dentro de las formaciones Pisque y San Miguel. Las formaciones al tope de la secuencia como la Cangahua, se formaron por la actividad volcánica de los centros de emisión como es el caso del Rucu y Guagua Pichincha, Casitahua, Pulumahua, que han tenido actividad en los últimos miles de años.

### **2.3.8 Geología Local**

La estratigrafía del área de estudio está conformada principalmente por los depósitos volcánicos pertenecientes a la secuencia superior de la cuenca Quito-Guayllabamba.

#### **Formación Cangahua** (Pleistoceno Superior-Holoceno)

Petrográficamente son tobas volcánicas alteradas, de colores amarillentos, cremas hasta caki, de textura limo-arenosa. Suele estar intercaladas por estratos de lapilli blancos y cenizas finas endurecidas, formadas a partir de material piroclástico re TRABAJADO y meteorizado. Mineralógicamente está compuesta de 15-20% de cuarzo, 2-5% de hornblenda, 1% de plagioclasa y magnetita, 76-56% de líticos que corresponden a tobas volcánicas, piedra pómez y lavas intermedias a ácidas. (Procel Guerra, 2008)

#### **Volcánicos Casitagua** (Plioceno Tardío)

Son depósitos compuestos de una toba amarillenta de grano fino con gránulos de pómez oxidados; se evidencian esporádicas gravas grises y verdosas, seguidas de arenas de grano fino a medio de colores amarillentos a gris verdosos, de compacidad media a alta, intercaladas con arenas limosas, limos y gravilla de pómez. Mineralógicamente está compuesto de 15-20% de cuarzo, 2-3% de hornblenda, 1% de plagioclasa y biotita, además de trazas de magnetita, moscovita y epidota. Líticos con 53-76% que corresponden a tobas volcánicas, piedra pómez y lavas andesíticas (Procel Guerra, 2008).

#### **Flujos Piroclásticos Pululahua** (Holoceno)

Flujos piroclásticos tipo block y ash, provenientes principalmente de los domos La Marca, Cosa-Minga, Shaygua (Andrade 2002). Están compuestos por bloques que corresponden a rocas de composiciones dacíticas y andesíticas, además de una brecha gris clara con tonalidades rojizas (Procel Guerra, 2008).

## **2.4 Conceptos Generales**

### **2.4.1 Amenaza**

La amenaza es un evento que tiene probabilidad de ocurrencia y capacidad de producir daños físicos, económicos y ambientales. UNDRR UNESCO, 1979-1990, definen a la

amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de una magnitud dada, durante un período específico y en una localidad dada (Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del DMQ, 2015).

### **2.4.2 Amenazas Naturales**

Es el peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno de origen natural como un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán cuya génesis se encuentra en los procesos naturales de transformación y modificación de la Tierra y el ambiente. Suelen clasificarse de acuerdo con sus orígenes terrestres o atmosféricos, permitiendo identificar entre otras, amenazas geológicas, geomorfológicas, climatológicas, hidrometeorológicas, oceánicas y bióticas (FUNEPSA CÍA. LTDA., 2015).

### **2.4.3 Amenaza Geológica**

Procesos o fenómenos naturales terrestres, que puedan causar pérdida de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental. La amenaza geológica incluye procesos terrestres internos (endógenos) o de origen tectónico, tales como terremotos, tsunamis, actividad de fallas geológicas, actividad y emisiones volcánicas; así como procesos externos (exógenos) tales como movimientos en masa: deslizamientos, caídas de rocas, avalanchas, colapsos superficiales, licuefacción, suelos expansivos, deslizamientos marinos y subsidencias. Las amenazas geológicas pueden ser de naturaleza simple, secuencial o combinada en su origen y efectos.

### **2.4.4 Amenazas en el Área de Estudio**

En el DMQ, se han producido una serie de eventos adversos que han puesto en evidencia la su alta vulnerabilidad. Entre ellos se menciona los más importantes como: El sismo de marzo de 1987; la erupción del volcán Guagua Pichincha en 1999; en 1973, 1975, 1983, 1986 y 1987, los aluviones que devastaron zonas urbanas ubicadas en laderas de altas pendientes y franjas de protección de quebradas y ríos (Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del DMQ, 2015).

Las principales amenazas de origen natural identificadas que corresponden al área de estudio se relacionan con la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos, volcánicos, inundaciones y FRM, se resumen en la siguiente tabla 2.5.



Tabla 2.5 Amenazas en el Área de Estudio

AMENAZA	DESCRIPCIÓN	OCURRENCIA
Amenaza sísmica	<p>La superficie total del área de estudio se caracteriza por tener una aceleración que va desde 350-450 <math>cm/s^2</math>, de acuerdo con el mapa de microzonificación sísmica del DMQ (Neo-plan Cía. Ltda, 2015).</p> <p>La cartografía de zonas sísmicas correspondiente a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), elaborado por el IG-EPN, considera al DMQ dentro de la zona de muy alta amenaza sísmica (Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del DMQ, 2015).</p>	Alta
Amenaza volcánica	De acuerdo al mapa de amenaza volcánica del DMQ el área de estudio está expuesta a la caída de ceniza, flujos piroclásticos y avalanchas de escombros provenientes principalmente de los volcanes Casitahua y Pululahua.	Alta
Amenaza a inundaciones	A pesar de que las casas ubicadas en el área de estudio se encuentran fuera del rango de inundación de los ríos y quebradas aledañas, el incorrecto uso de los sistemas de recolección de basura y el uso de laderas y quebradas como botadero puede ocasionar inundaciones al obstruirse tanto el alcantarillado como los sistemas naturales de drenaje.	Media
Amenaza a FRM	El área de estudio tiene un rango de pendientes de leve a muy fuerte, está constituida en gran parte por depósitos volcánicos deleznales y presenta valores relativamente altos de precipitaciones en los meses invernales. Es decir, presenta factores tanto condicionantes como desencadenantes para que se produzcan FRM.	Media – Alta

Fuente: (Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del DMQ, 2015)



## 2.4.5 Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) o Movimientos en Masa (MM)

Es un movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

La intensidad, frecuencia y ocurrencia de los MM está influenciada en ocasiones por la intervención antrópica en los terrenos, convirtiéndolo en fenómeno socio natural.

Cruden y Varnes (1996) propusieron modificaciones a la clasificación de Varnes (1978) que introducen un marco taxonómico multidimensional. Es importante tener en cuenta que en la práctica es difícil asignar un MM a una clase en particular, debido a que la mayoría de procesos son bastante complejos y presentan diferentes comportamientos a lo largo de su trayectoria. A continuación, se describen los distintos tipos de FRM.

### Caída (Fall)

Es un tipo de MM en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978).

La propagación de los desprendimientos en laderas con pendientes superiores a los  $76^\circ$  se produce preferentemente por caída libre, por debajo de este ángulo los impactos contra el terreno son frecuentemente mientras que en laderas de menos de  $45^\circ$  la propagación se realiza por rodadura.



Figura 2.6 Esquema de Caída. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

## Volcamiento (Toppling)

Es la rotación hacia adelante y hacia el exterior de la ladera, de uno o varios bloques de roca o suelo alrededor de un eje (pivote de giro) situado por debajo de su centro de gravedad. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes ejercidos por terrenos adyacentes o por la presión de fluidos en grietas. Se distinguen dos procesos:



Figura 2.7 Esquema de Vuelco del macizo rocoso. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

## Deslizamiento (Slide)

Es un desplazamiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, que tiene lugar predominantemente sobre una o más superficies de rotura, o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de cizalla. Elementos característicos de este tipo de movimientos son la presencia de superficies de rotura definidas y la preservación a grandes rasgos de la forma de la masa desplazada (Corominas, s.f).

En el sistema Varnes (1978), se clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales.

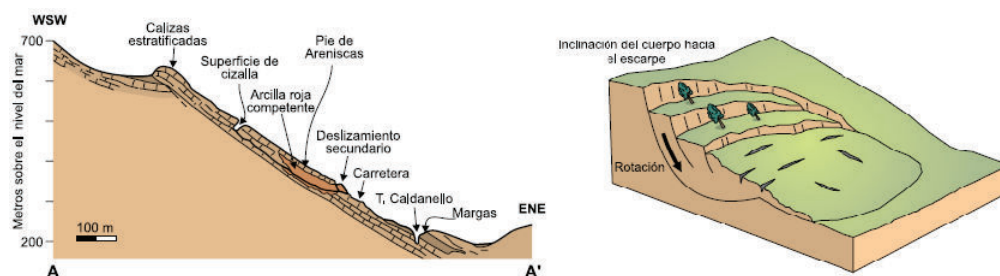


Figura 2.8 Esquema de Deslizamiento Traslacional y Rotacional. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

### Deslizamiento traslacional:

Es un movimiento que se desarrolla a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Corominas, s.f).

### Deslizamiento rotacional:

Es un movimiento que se desarrolla sobre una superficie de falla curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta este MM posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del deslizamiento.

Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas (PMA, 2007).

### **Extensiones laterales (Lateral spreads)**

Este término hace referencia al movimiento de bloques rocosos o masa de suelo muy coherente sobre un material blando y deformable. Como consecuencia de esta diferencia de competencia entre el material subyacente y el infrayacente, se produce la fragmentación de las capas superiores y los desplazamientos diferenciales. Los bloques se desplazan lateral y lentamente a favor de pendientes muy bajas. No son movimientos muy frecuentes y suelen ser bastante extensos (Jiménez J. D., 2005).

### **Flujos (Flow)**

Es un tipo de MM que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Bajo este sustantivo se agrupan a diferentes movimientos de ladera que tienen en común la deformación interna y continua del material y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento.

Los flujos más comunes son los movimientos en suelo (flujos o coladas de tierra o barro), movimientos de derrubios (flujos de derrubios) o bloques rocosos (flujos de bloques).

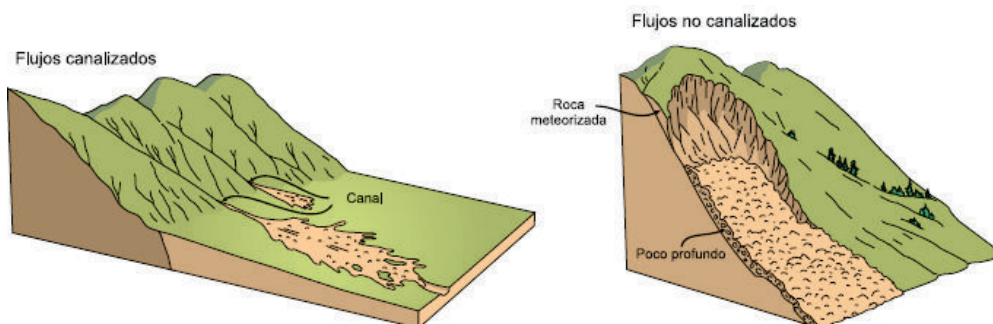


Figura 2.9 Esquema de Flujo Canalizado y no Canalizado. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

### Reptación

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

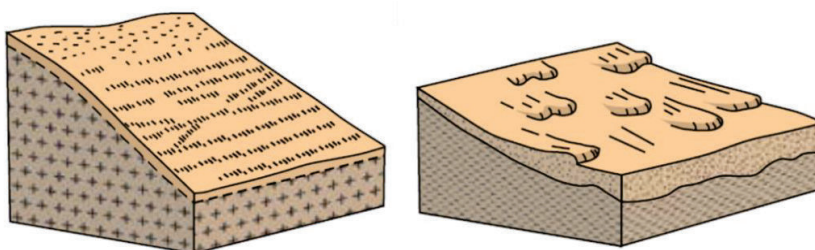


Figura 2.10 Esquema de Reptación. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos (Suárez, 1998). Su formación se atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados (IEE, 2013).

## **2.5 Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM)**

Es una propiedad del terreno que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones del mismo para que pueda ocurrir un FRM (Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del DMQ, 2015).

La Susceptibilidad a FRM es una evaluación cuantitativa y cualitativa de la clasificación, volumen o área y distribución espacial de los MM que existen o potencialmente pueden ocurrir en un área (Eras, 2014).

Aunque se espera que los FRM se originen frecuentemente en zonas más sensibles, en el análisis de la susceptibilidad, no se considera la frecuencia o período de retorno con el que ocurren. La susceptibilidad incluye los MM que tienen su origen dentro o fuera del área de estudio, pero pueden transportarse al interior de la zona o tener un comportamiento regresivo, también puede incluir una descripción de la velocidad e intensidad de los movimientos potenciales o existentes (Eras, 2014).

El mapa de susceptibilidad considera factores condicionantes o inherentes como: geología (unidades litológicas), pendiente del terreno, geomorfología, y uso actual del suelo, elaborados a partir de la interpretación de fotografías aéreas, trabajo de campo y compilación de eventos históricos; clasifica la estabilidad relativa de un área en categorías que van de estable a inestable y muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir FRM (Suarez, 2009) y (Pavón & Garzón, 2014).

## **2.6 Tipos de mapas de Zonificación**

### **2.6.1 Mapas de zonificación de Susceptibilidad por FRM**

Los mapas de susceptibilidad por FRM fueron desarrollados por primera vez, por Brabb en San Mateo, California, para el USGS en 1979. Los primeros mapas se realizaban superponiendo mapas con diferentes factores geológicos que influían en la desestabilización de los taludes (Suarez, 2009).

Este tipo de mapas representan principalmente la clasificación, distribución espacial y el área de los diferentes FRM presentes en una zona determinada. En la elaboración de estos mapas generalmente se incluye el Inventario histórico de Movimiento en Masa (IMM) y una evaluación de zonas que podrían presentar FRM (Abril, 2011).

El mapa de zonificación de susceptibilidad a FRM no considera el periodo de recurrencia de estos y puede o no incluir información general de la distancia de viaje, velocidad e intensidad de los FRM existente o potenciales (Abril, 2011).

### 2.6.2 Mapas de zonificación de Amenaza por FRM

La amenaza por FRM puede ser expresada como la frecuencia de un tipo particular de FRM de un determinado volumen, en algunos casos como la frecuencia de FRM con intensidad particular, donde la intensidad puede ser medida en términos de energía cinética (Fell, y otros, 2008).

Para realizar este tipo de mapas es necesario disponer de un mapa de zonificación de susceptibilidad a FRM, base a la que se integra la información disponible del periodo de recurrencia de los diferentes FRM, (Abril, 2011).

En la figura 2.11 se muestra el esquema generalizado para la elaboración de un mapa de zonificación de la amenaza. El esquema puede ser utilizado en la zonificación de diferentes tipos de amenazas.

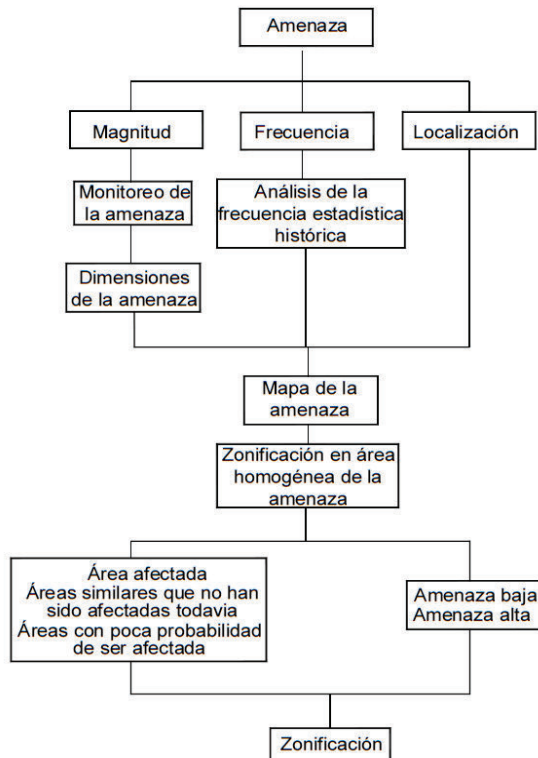


Figura 2.11 Esquema General de la Zonificación de la Amenaza. Fuente: (Suarez, 2009)

Zonificar la Susceptibilidad por FRM permite delimitar las zonas más propensas a la generación de movimientos en masa, para plantear alternativas de prevención y mitigación que contribuirá en el mejoramiento de la calidad de vida de la población directamente afectada, a través de mecanismos de planificación territorial. Además de reducir el impacto en las viviendas que se hallaren en zonas de alta susceptibilidad, resguardar la integridad física y evitar pérdidas económicas a los habitantes del barrio.

## **2.7 Metodologías para la elaboración de Mapas de Susceptibilidad por FRM**

Existen varias metodologías utilizadas en la evaluación de la susceptibilidad por FRM, la mayoría de ellas se basa en la determinación de factores o parámetros que influyen en la generación de los FRM. De acuerdo a (Fell, y otros, 2008) estos métodos pueden variar según: la escala de zonificación, el propósito de la zonificación (información, planificación, pre-diseño, diseño), el nivel de zonificación (básico, intermedio y a detalle).

A continuación, se presenta una breve descripción de las diferentes metodologías utilizadas para elaborar mapas de susceptibilidad a FRM.

### **2.7.1 Métodos Heurísticos**

Estos métodos basan en el estudio conceptual de los procesos de ocurrencia de FRM y requiere del análisis por parte de profesionales con experiencia, quienes se encargan de definir las reglas y criterios de estabilidad y evolución de los FRM (Suarez, 2009), sin embargo, es importante resaltar, que las reglas de decisión y valoración son complicadas de evaluar y varían de un lugar a otro.

#### **Método Geomorfológico**

Tradicionalmente un geomorfológico, experto en los proceso superficiales y morfología es quien construye el mapa de susceptibilidad en base a ortofotografías, imágenes satelitales, etc. y visitas al área de estudio con la finalidad de identificar zonas que podrían verse afectadas por FRM en el futuro (Chung & Fabbri, 2003).

La clave de este método es la experiencia del geomorfológico quien debe identificar los tipos de unidades del terreno que son proclives a desarrollar FRM (Eras, 2014).

## **Método de Ponderación de Parámetros**

Este método igualmente requiere de un experto familiarizado con el área, el mismo que se encargará de escoger e identificar los parámetros más relevantes en la generación de FRM para posteriormente asignarles una valoración subjetiva de acuerdo a su importancia, para posteriormente combinarlos utilizando un algoritmo diseñado (Eras, 2014).

## **Método de Mora y Vahrson**

En este método se relaciona tres factores inherentes; el relieve relativo, condiciones litológicas y humedad. Adicionalmente, se considera dos factores de disparo relacionados con el evento, que son la sismicidad y la intensidad de las lluvias. Combinando estos factores se determina el grado de susceptibilidad a FRM de las laderas o taludes (Suarez, 2009).

### **2.7.2 Método Determinístico**

Esta metodología analiza e interpreta como las diferentes variables (el ángulo de la pendiente, la cohesión del suelo, la capacidad de saturación del agua y la resistencia al corte) inciden en la generación de FRM (Chung & Fabbri, 2003).

Se basa en la aplicación del método de equilibrio límite (ecuación de Talud Infinito) para determinar el equilibrio de una sección superficial de ladera o talud asumiendo propiedades uniformes (Eras, 2014). El grado de amenaza se expresa con el factor de seguridad (FS). Estos modelos requieren información específica de la estratificación, estructuras y modelos de simulación de acuerdo con los períodos de retorno (Suarez, 2009).

### **2.7.3 Métodos Estadísticos**

Los métodos estadísticos aplicados al estudio de susceptibilidad por FRM son utilizados cuando se dispone de abundante información, tanto cualitativa como cuantitativa y son construidos en base a la premisa de que los factores que causaron FRM en una región son los mismos que podrían generar FRM en el futuro.

La mayor dificultad de estos métodos radica en poder establecer qué procesos son los que desestabilizan a las laderas, para poder de forma sistemática identificar y evaluar los diferentes factores que producen los FRM (Náquira Bazán, 2009).



Los métodos estadísticos utilizan el cálculo de la densidad de los FRM (Inventario de Movimientos en Masa) y la relacionan con un conjunto de factores que pudieron generar estos FRM en el pasado, para así, asignar una valoración "Peso (W)" para cada factor y permitirnos hacer predicciones cuantitativas para áreas sin FRM pero con condiciones geológicas y climáticas similares para la generación de los mismos.

Determinar el Peso (W) de manera subjetiva a los distintos parámetros que determinan la estabilidad de las laderas o taludes, representa la mayor limitación de las metodologías cualitativas. En los métodos estadísticos esta limitación se ve resuelta, ya que la asignación del Peso (W) se realiza de forma objetiva, mediante métodos de aproximaciones estadísticas que comparan la distribución de los FRM con los diferentes parámetros considerados (Aleotti & Chowdhury, 1999).

El uso de un SIG (Sistemas de Información Geográfica) hace que estas operaciones estadísticas se realicen con mayor facilidad (Aleotti & Chowdhury, 1999), y en gran medida explican el aumento de la popularidad que han tenido estas metodologías en el zonificación de la susceptibilidad por FRM.

Los SIG permiten y facilitan el manejo espacial de datos a través de un sistema computarizado. El manejo de mapas, imágenes digitales, y tablas de datos es posible con un SIG, ya que está diseñado para juntar datos espaciales que provienen de distintas fuentes, y presentarlos juntos en una sola base de datos. Además, los SIG permiten la manipulación y el análisis individual de cada uno de los datos espaciales, provee herramientas para estudiar y modelar las interrelaciones presentes entre ellos. De forma general, modelar en un SIG es un proceso de combinaciones de los mapas de entrada por medio de una función que genera un mapa de salida (Carrara, 1983), (Náquira Bazán, 2009).

El método estadístico más utilizado en la zonificación de la susceptibilidad por FRM es el Univariado ya que en este método la importancia de cada factor o conjuntos de factores, puede ser analizado individualmente (Suarez, 2009). En la figura 3.1 podemos observar una representación esquemática del proceso en SIG de esta metodología.

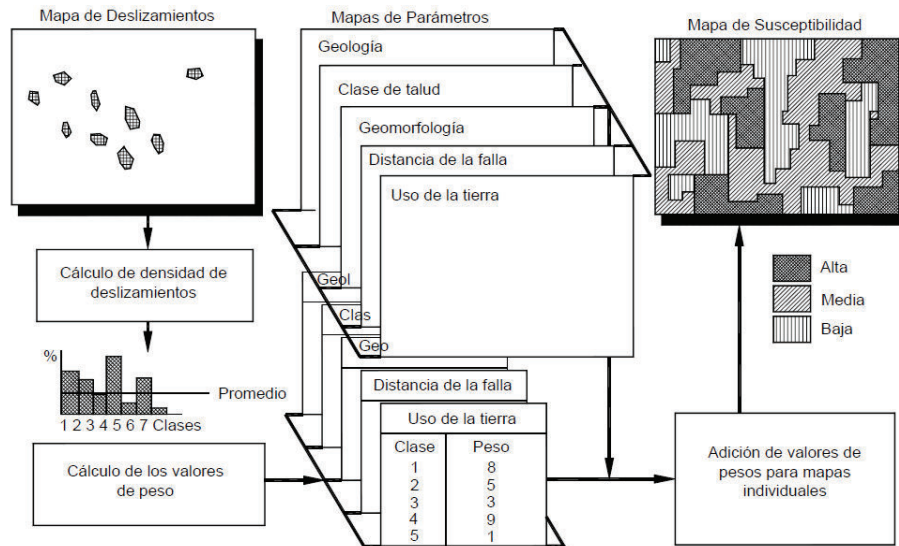


Figura 2.12 Representación esquemática del proceso en un SIG del Método Estadístico Univariado. Fuente: (Suarez, 2009)

## **CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS**

Para realizar la zonificación de la Susceptibilidad por FRM en el Barrio Atacaba se utilizará el Método Estadístico Univariado tomando como base los trabajos realizados por (INGEOMINAS, 2001), (INIGEMM, 2013) y (Aricochea, 2016). Esta metodología es comúnmente utilizado para la zonificación de la susceptibilidad por FRM a escala intermedia - detalle (INGEOMINAS, 2001) y a pesar de su simplicidad en relación a otros métodos estadísticos se ha determinado que presenta mejores resultados (Ranasinghe, Munasinghe, Dammalage, & Puswewala, 2016).

### **3.1 Método Estadístico Univariado**

El método estadístico univariado nos permite obtener una aproximación semicuantitativa y objetiva de la susceptibilidad por FRM (INIGEMM, 2013). Identifica de forma objetiva zonas con condiciones potenciales a que se produzcan FRM y relaciona estadísticamente mapas de parámetros o factores con el mapa de Inventario de Movimientos en Masa (IMM) (Aricochea, 2016).

Esta metodología presenta una combinación satisfactoria de la cartografía directa (orientada a objetivos) y de la capacidad analítica (objetiva) de un SIG. Su principal ventaja es que la determinación de parámetros o combinaciones de parámetros utilizados en la evaluación está determinada por el profesional que ejecuta el análisis en base a el alcance y la escala de trabajo. Esto permite la introducción de la opinión de expertos en el proceso (Van Westen, 2000).

Los factores o parámetros de análisis se transforman en mapas temáticos, que luego se ponderan por comparación estadística con el mapa de IMM para así determinar el Peso ( $W$ ) que cada unidad de terreno tiene hacia la generación de los FRM (INIGEMM, 2013).

El método de análisis comprende cuatro etapas:

1. Elaborar y digitalizar los mapas temáticos a escala 1:5.000 de los diferentes parámetros (mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa de cobertura y uso actual del suelo y mapa de pendientes) y el mapa de inventario de movimientos en masa (IMM).

2. Análisis estadístico que permite determinar cuantitativamente el área de cada FRM presenta en cada unidad o polígono cartografiado en los mapas de parámetros.
3. Establecer los rangos para los valores del Peso (W) y su equivalencia con los rangos de susceptibilidad para cada UCP.
4. Determinar los mapas de Susceptibilidad Parcial (SP), mediante los cuales se obtendrá el mapa de Susceptibilidad Total (ST) del área de estudio.

Las etapas para desarrollar el Método Estadístico Univariado anteriormente descritas se muestran en la figura 3.1.

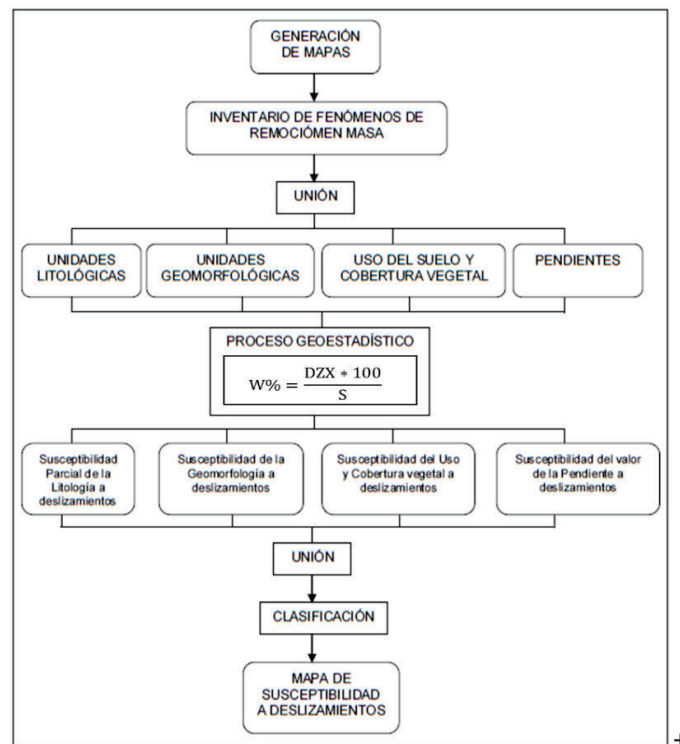


Figura 3.1 Diagrama de Flujo para la aplicación del Método Estadístico Univariado.

Fuente: (INIGEMM, 2013)

### 3.2 Factores de Análisis

Los factores, parámetros o variables inherentes utilizadas para el análisis de la susceptibilidad por FRM pueden ser múltiples y la selección de estos factores depende de las condiciones propias de la región y son generalmente escogidas por expertos familiarizados con el área de estudio o están determinados de forma intrínseca en las diferentes metodologías.

Los factores a considerar para desarrollar el Método Estadístico Univariado en el presente estudio son: El mapa de Inventario de Movimientos en Masa (IMM) usado como variable independiente y los Mapas (Geológico; Geomorfológico; Uso y Cobertura del Suelo y de Pendientes).

Para levantar la información de los diferentes mapas de parámetros, se elaborará para cada caso un Mapa Base con toda la información topográfica disponible (levantamiento planímetro del barrio, curvas de nivel y las vías de accesos). El levantamiento planímetro fue proporcionado por los directivos del Barrio Atacaba en formato *.dxf*, (formato de AutoCAD) de este archivo se deberá extraer los principales polígonos (lotes, áreas verdes, ribera del río o área de protección municipal), para posteriormente georreferenciarlos al sistema de coordenadas con el que se trabajará en el presente proyecto (UTM WGS 84\_17S). Las curvas de nivel serán extraídas del Modelo Digital de Terreno (MDT) de 5 metros de resolución proporcionado por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgo mediante el uso de la herramienta *ArcToolbox, 3D Analyst Tool, Raster Surface, Contour*. Las vías de acceso serán digitalizadas de las ortofotografías de 3 metros de resolución proporcionadas por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgo del DMQ y de las imágenes compiladas por Google Earth.

Los Mapas de Factores obtenidos deberán ser digitalizados y presentados en formato vectorial *.shape*, para ello se utilizará el software ArcGis 10.3.

### **3.2.1 Mapa de Inventario de Movimientos en Masa (IMM).**

El IMM es un registro ordenado de la localización y las características individuales de una serie de FRM ocurridos en un área determinada. Sin embargo, las características a registrar en el inventario dependen del interés para el cual este se realice (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

El mapa de IMM no es en sí mismo un estudio detallado de estos aspectos, sino la compilación de datos básicos para localizar en el espacio y el tiempo un conjunto de FRM y sintetizar los rasgos más característicos de los mismos de acuerdo a atributos de tipo geológico, geomorfológico, geotécnico y de efectos causados.

Realizar un IMM nos permite construir una base de datos confiable para así ser más críticos cuando la intención es zonificar la susceptibilidad por FRM (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Para elaborar el IMM no se cuenta con un esquema unificado pero varios formularios se han propuesto en diversos estudios con la finalidad de sistematizar la recolección de información básica de un FRM. En la figura 3.2 se muestra el formato propuesto en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Nombre del Encuestador		Fecha	Día	Mes	Año	Instituto	Código del Evento
<b>LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y DOCUMENTAL DEL EVENTO</b>							
<b>UBICACIÓN</b> País: _____ Depto./Provincia: _____ Municipio/Ciudad: _____ Localidad: _____		<b>COORDENADAS</b> Sitio: _____ Norte/Sur: _____ Este/Oeste: _____ Proyección: _____ Elevación (m.s.n.m.): _____		<b>DOCUMENTACIÓN</b> Mapa/Fotografía No.: _____ Año: _____ Escala: _____ Editor: _____		<b>DOCUMENTACIÓN</b> Fotografía No.: _____ Año: _____ Escala: _____ Editor: _____	
<b>ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO</b>							
<b>REGIÓN DE OCURRENCIA</b> DD / MM / AA: _____ Primer Movimiento: _____ Última fecha: _____		<b>ESTADO</b> Activo <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Reactivado <input type="checkbox"/> Suspendido <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Abandonado <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Bólico <input type="checkbox"/>		<b>DEFINICIÓN</b> Holoceno <input type="checkbox"/> Pleistoceno <input type="checkbox"/> Cuaternario <input type="checkbox"/> Cuaternario <input type="checkbox"/> Mioceno <input type="checkbox"/> Plioceno <input type="checkbox"/> Cuaternario <input type="checkbox"/> Cuaternario <input type="checkbox"/> Mioceno <input type="checkbox"/> Plioceno <input type="checkbox"/>		<b>DESCRIPCIÓN</b> Descripción: _____ Dirección de Occurrencia: _____ Dirección de Occurrencia: _____	
<b>LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA</b>							
Tipo de litología: _____ Descripción: _____ Dirección de Occurrencia: _____		Tipo de litología: _____ Descripción: _____ Dirección de Occurrencia: _____		Tipo de litología: _____ Descripción: _____ Dirección de Occurrencia: _____		Tipo de litología: _____ Descripción: _____ Dirección de Occurrencia: _____	
<b>CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO</b>							
<b>ESPECIO MOVIMIENTO</b> 1. Caída <input type="checkbox"/> 2. Deslizamiento <input type="checkbox"/> 3. Deslizamiento rotacional <input type="checkbox"/> 4. Deslizamiento translacional <input type="checkbox"/> 5. Deslizamiento lateral <input type="checkbox"/> 6. Rotación <input type="checkbox"/> 7. Flujos <input type="checkbox"/> 8. Colapso <input type="checkbox"/> 9. Desmoronamiento profundo <input type="checkbox"/>		<b>TIPO</b> 1. Roca <input type="checkbox"/> 2. Suelo <input type="checkbox"/> 3. Roca <input type="checkbox"/> 4. Suelo <input type="checkbox"/> 5. Roca <input type="checkbox"/> 6. Suelo <input type="checkbox"/> 7. Roca <input type="checkbox"/> 8. Suelo <input type="checkbox"/> 9. Roca <input type="checkbox"/> 10. Suelo <input type="checkbox"/>		<b>TIPO DE SUELO</b> 1. Arenoso <input type="checkbox"/> 2. Arcilloso <input type="checkbox"/> 3. Arcilloso <input type="checkbox"/> 4. Arcilloso <input type="checkbox"/> 5. Arcilloso <input type="checkbox"/> 6. Arcilloso <input type="checkbox"/> 7. Arcilloso <input type="checkbox"/> 8. Arcilloso <input type="checkbox"/> 9. Arcilloso <input type="checkbox"/> 10. Arcilloso <input type="checkbox"/>		<b>VELOCIDAD</b> 1. Lento <input type="checkbox"/> 2. Moderado <input type="checkbox"/> 3. Rápido <input type="checkbox"/> 4. Muy lento <input type="checkbox"/> 5. Muy rápido <input type="checkbox"/>	
<b>MORFOMETRÍA</b>							
Distancia de altura coronas a punta (m): _____ Longitud horizontal coronas a punta (m): _____ Factor de inclinación (°): _____ Pendiente de talud en por ciento (%): _____ Pendiente talud en por mil (‰): _____ Dirección del movimiento (°): _____ Ancho del talud (m): _____		Probabilidad de la superficie de falla (m): _____ Ancho de la superficie de falla (m): _____ Longitud de la superficie de falla (m): _____ Ancho de la masa desplazada (m): _____ Longitud de la masa desplazada (m): _____ Longitud total (m): _____		Volumen total (m³): _____ Volumen desplazado (m³): _____ Área total (km²): _____ Distancia de viaje (km): _____ Tiempo (m): _____		Tipo de movimiento: _____ Nombre del movimiento: _____	
<b>CAUSAS DEL MOVIMIENTO</b>							
Material plástico/delito <input type="checkbox"/> Material orgánico <input type="checkbox"/> Material colapsable <input type="checkbox"/> Material meteorizado <input type="checkbox"/> Material meteorizado <input type="checkbox"/> Material tallado por corte <input type="checkbox"/> Material fracturado <input type="checkbox"/> Orientación deficiente de discontinuidades <input type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales <input type="checkbox"/> Contraste de tipos de materiales <input type="checkbox"/> Meteorización por congelamiento/deshielo <input type="checkbox"/> Meteorización por segregación/contracción <input type="checkbox"/> Infiltración y apertura de vegetación <input type="checkbox"/>		Movimiento tectónico <input type="checkbox"/> Fricción <input type="checkbox"/> Expansión volcánica <input type="checkbox"/> Cargas: mecánicas <input type="checkbox"/> Desecho <input type="checkbox"/> Acumulación de gases <input type="checkbox"/> Almacenamiento de agua en talud <input type="checkbox"/> Almacenamiento de gases <input type="checkbox"/> Desmoronamiento de gases <input type="checkbox"/> Desmoronamiento de gases <input type="checkbox"/> Desmoronamiento de gases <input type="checkbox"/> Desmoronamiento de gases <input type="checkbox"/> Desmoronamiento de gases <input type="checkbox"/> Desmoronamiento de gases <input type="checkbox"/>		Saturación del pie del talud por corriente de agua <input type="checkbox"/> Saturación del pie del talud por agua <input type="checkbox"/> Saturación del pie del talud <input type="checkbox"/> Carga en la corona del talud <input type="checkbox"/> Tensión subterránea (diferencial, subsaturación) <input type="checkbox"/> Infiltración <input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Fugas de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Alivane <input type="checkbox"/> Disposición deficiente de escombros/vacaciones <input type="checkbox"/> Vibración artificial (tráfico, explosiones, tracción de pilotes) <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>		Tipo de cobertura: _____ Tipo de uso: _____ Tipo de uso: _____ Tipo de uso: _____ Tipo de uso: _____ Tipo de uso: _____ Tipo de uso: _____ Tipo de uso: _____ Tipo de uso: _____	
<b>DOCUMENTOS DE REFERENCIA</b>							
Autor: _____ Año: _____ Tipo: _____		Autor: _____ Año: _____ Tipo: _____		Autor: _____ Año: _____ Tipo: _____		Autor: _____ Año: _____ Tipo: _____	

Figura 3.2 Formato para el Inventario de Movimientos en Masa. Fuente: (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Este formato se divide en catorce secciones donde se recopila toda la información posible y de forma detallada para cada FRM. Los datos que se requieren para completar el formato pueden provenir de la compilación de información secundaria y del levantamiento en campo, aunque lo ideal sería que solo se requiera de información levantada en campo.

### Metodología del Inventario Movimientos en Masa (IMM)

Previo al trabajo de campo se debe realizar la revisión de ortofotografías e imágenes compiladas por Google Earth en contraste con las curvas de nivel, con el objetivo de identificar y delimitar zonas donde se ha producido FRM, teniendo como premisa que el cambio en la dirección de un grupo de curvas de nivel junto con una escasa cobertura

vegetal podría deberse a la presencia de un FRM, también se debe identificar agrietamientos y posibles superficies de ruptura. Todas las zonas delimitadas mediante esta técnica serán posteriormente comprobadas o descartadas en las diferentes visitas que se realizará en el área de estudio.

Para realizar el levantamiento de información en campo, se dividirá el área de estudio en 6 partes con la finalidad de que la recopilación de información se haga de forma ordenada. Para ello debe elaborar los respectivos mapas base en los que se esquematizará a escala los diferentes FRM encontrados.

La caracterización de cada FRM se realizará en el formato propuesto por (Calosama & Carrera, 2017), figura 3.3. Esta ficha de campo muestra una versión simplificada del formato propuesto por (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Presenta de una manera más concisa y clara como describir la información observada en campo. De esta manera facilita y agiliza la descripción de los diferentes FRM. Es importante resaltar que el IMM es el factor más importante en la metodología, ya que es la única variable considera como independiente y que será posteriormente contrastada con el resto de factores.

Una vez culminada la fase de recolección de datos se procesa y digitaliza la información con ayuda del software ArcGis 10.3.

FORMATO PARA INVENTARIO DE FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Nombre del encuestador: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

<b>UBICACIÓN</b> Localidad: _____ UTM: _____ X: _____ Y: _____ Altura: _____ Error: _____ Referencia: _____ _____ _____	<b>FECHA DE OCURRENCIA (dd/mm/aaaa)</b> Primer Movimiento: ____/____/____ EDAD (Años): ____/____/____ ESTADO <input type="checkbox"/> Activo <input type="checkbox"/> Inactivo	<b>TIPO DE MOVIMIENTO: 1 2</b> <input type="checkbox"/> Caída <input type="checkbox"/> Desliz. Rotacional <input type="checkbox"/> Desliz. Translacional <input type="checkbox"/> Derrumbe <input type="checkbox"/> Flujo <input type="checkbox"/> Erosión de Laderas <input type="checkbox"/> Otros Nota: 1=Primer Movimiento 2=segundo Movimiento	<b>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA (ver columna en la parte posterior)</b> _____ _____ _____ _____ _____ _____																																																																																															
Nivel de Humedad Seco <input type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/>	<b>CAUSAS DEL MOVIMIENTO:</b> <input type="checkbox"/> Material Plástico débil. <input type="checkbox"/> Material deleznable. <input type="checkbox"/> Material Meteorización <input type="checkbox"/> Material Fisurado agrietado <input type="checkbox"/> Orientación desfavorable <input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de dreña <input type="checkbox"/> Sismo. <input type="checkbox"/> Lluvias. <input type="checkbox"/> Erosión Superficial. <input type="checkbox"/> Socavación al pie del talud	<b>POBLACIÓN DAMNIFICADA:</b> _____ _____ _____ _____	<b>Convención para intensidad de daño.</b> DL: Daño leve. DM: Daño Moderado DS: Daño severo DT: Destrucción Total NC: No cuantificable.																																																																																															
<b>COBERTURA Y USO DE SUELO:</b> Tipos de cobertura: <input type="checkbox"/> Vegetación Herbácea <input type="checkbox"/> Árboles <input type="checkbox"/> Matorrales. <input type="checkbox"/> Cuerpo agua. <input type="checkbox"/> Cultivos <input type="checkbox"/> Construcciones <input type="checkbox"/> Sin cobertura <input type="checkbox"/> Otros: _____	Uso de suelo <input type="checkbox"/> Ganadería. <input type="checkbox"/> Área protegida. <input type="checkbox"/> Agrícola <input type="checkbox"/> Recreación. <input type="checkbox"/> Bordado (relleno) <input type="checkbox"/> Viviendas <input type="checkbox"/> Vías <input type="checkbox"/> Otros: _____	<b>DAÑOS.</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">INF</th> <th rowspan="2">AE</th> <th rowspan="2">DA</th> <th rowspan="2">Tipo</th> <th colspan="5">Intensidad y cantidad</th> <th rowspan="2">Observaciones</th> </tr> <tr> <th>DL</th> <th>DM</th> <th>DS</th> <th>DT</th> <th>NC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		INF	AE	DA	Tipo	Intensidad y cantidad					Observaciones	DL	DM	DS	DT	NC																																																																																
INF	AE	DA	Tipo					Intensidad y cantidad						Observaciones																																																																																				
				DL	DM	DS	DT	NC																																																																																										
INF: Infraestructura / AE: Actividad Económica / DA: Daños Ambientales																																																																																																		

Figura 3.3 Formato para el Inventario de Movimientos en Masa. Fuente: (Calosama & Carrera, 2017)

La ficha de campo consta de 3 secciones; la sección 1 nos permite colocar información general referente la fecha de ocurrencia del FRM, el sitio donde se produjo (coordenadas), referencias del lugar, colocar el nombre del encuestador y la fecha en la que se realiza el IMM. La sección 2 nos permite describir el tipo de FRM junto con sus principales características (litología, nivel de humedad, cobertura y uso de suelo del FRM), las posibles causas por las que se produjo dicho FRM y su estado de actividad. La sección 3 nos permite señalar de qué forma se ve afectada la comunidad frente a cada FRM y evaluar la intensidad y cantidad de daños producidos por los mismos.

### 3.2.2 Factor Geológico

El mapa geológico es uno de los factores más importantes para la estabilidad de laderas y taludes. Refleja las características de los diferentes tipos de depósitos y muestra información sobre su distribución espacial y propiedades (MADS, IDEAM, 2012).

Para clasificar y agrupar las diferentes unidades litológicas del mapa geológico, se debe diferenciar cada unidad en base a su origen, tabla 3.1, para posteriormente agruparlas dependiendo de sus características litoestratigráficas.

Tabla 3.1 Caracterización de las Unidades Litológicas

Origen de la Unidad Litológica	Tipo de Unidad Litológica
Derivados de roca <i>In situ</i>	Roca inalterada
	Saprolito
	Suelo Residual
Depósitos aluviales	Aluviones recientes o lecho de río
	Llanuras aluviales
	Abanicos o cono aluviales
	Terrazas aluviales
Depósitos de laderas, vertientes o coluviales	Coluviales
	Talus
	Flujos (lodo, tierra y escombros)
	Derruvios de pendiente
	Flujos piroclásticos
	Ignimbritas
	Flujos de lodos volcánicos
	Lahares
	Ceniza volcánica
	Coladas de lava
Depósitos antrópicos	Rellenos sanitarios o de basuras
	Escombros o botadero

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2015)



Cada una de las unidades litológicas presentan propiedades intrínsecas y distinto comportamiento frente a los agentes erosivos, por lo que, identificar estas características nos permite agrupar las diferentes unidades y entender su comportamiento frente a los FRM.

### **Metodología del Mapa Geológico**

El mapa Geológico será elaborado en base a la información recopilada en las diversas visitas realizadas tanto dentro como fuera del área de estudio, trabajos previos realizados a nivel regional y las columnas estratigráficas y descripciones expuestas en (Merino & Ormaza, 2017 in press).

Se debe realizar la descripción petrográfica de los afloramientos y taludes presentes en el área de estudio, levantar en los mejores cortes columnas estratigráficas e identificar las distintas capas guías, las mismas que nos permitirán diferenciar entre los diferentes tipos de depósitos presentes en el área de estudio. Además, toda la información recopilada en cada visita deberá ser incorporada en el mapa base.

Para elaborar la descripción petrográfica de las capas guías se recopilará un conjunto de muestras, con el fin de realizar un análisis de tamaños de clastos, triturar las muestras para separar los minerales máficos y determinar el porcentaje de estos minerales mediante la utilización de un binocular petrográfico (Merino & Ormaza, 2017 in press).

Una vez caracterizados las diferentes capas guías y realizadas las distintas columnas estratigráficas se elaborará la columna estratigráfica general del área de estudio. Este trabajo nos permitirá correlacionar las diferentes unidades litológicas en base a su origen, ubicación, estratigrafía y posible comportamiento frente a un FRM y agrupar las diferentes unidades que se representarán en el mapa geológico.

Una vez culminada la fase de recolección de datos se procesa y digitaliza la información con ayuda del software ArcGis 10.3.

### **3.2.3 Factor Geomorfológico**

La geomorfología y en particular la cartografía geomorfológica, proporciona la capacidad de identificar y analizar las formas del relieve y asociarlas con los procesos evolutivos tanto superficiales como subterráneos. (Pavlopoulos, Evelpidou, & Vassilopoulos, 2009)

Los principales rasgos geomorfológicos condicionantes en la formación de FRM son la topografía, la altura de las laderas o taludes, su extensión y pendiente. Cualquier variación en estas características puede volver una ladera o talud estable en inestable y generar un FRM. También puede considerarse como factor condicionante la orientación de las laderas con respecto al norte, aspecto geográfico que puede influir en el tiempo de exposición al sol y, por lo tanto, en el grado de humedad, presencia de vegetación y meteorización en la ladera.

Una topografía escarpada y ángulos altos de pendiente pueden influir en la generación de flujos, deslizamientos y derrumbes. Cuanto mayor sea la pendiente tanto de laderas como de cauces, entregan una alta capacidad de transporte y energía a los flujos (Campos, 2014).

### **Metodología del Mapa Geomorfológico**

En el mapeo geomorfológico se cuantifica las pendientes, altitud relativa, orientación de las pendientes y se clasifican las formas del terreno de acuerdo a su génesis u origen para predecir la estabilidad y comportamiento frente a los procesos erosivos. (INGEOMINAS, 2001).

El mapa de unidades Geomorfológicas será elaborado en base a trabajos previos realizados a nivel nacional por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (Equipo de Cartografía Temática -SIGTIERRAS, 2016) y por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito Secretaría General de Seguridad y Gobernabilidad (FUNEPSA CÍA. LTDA., 2015) entidades que facilitaron los archivos *.shape* de los mapas geomorfológicos a escala 1:25.000

El Mapa de Unidades Geomorfológicas será realizado en dos etapas: 1) La información proporcionada debe ser revisada y combinada usando como criterio las descripciones contenidas en la tabla de atributos de los archivos *.shape*; 2) El mapa preliminar será revisado en campo con el fin de verificar su validez para el presente proyecto, también se mejorará el detalle mediante el uso de la morfometría y clasificación de las pendientes del área de estudio extraídas del MDT.

### **3.2.4 Factor Cobertura y Uso de Suelo**

Una adecuada cobertura y uso de suelo sobre un talud, ladera o área ayuda a controlar el grado de meteorización, la erosión y la escorrentía superficial provocada por aguas lluvias, agricultura y aguas residuales domésticas. Previniendo de esta forma que se produzcan inestabilidades ya que a mayor vegetación se incrementa el grado de cohesión y se mantiene un mejor sostén del suelo.

La importancia de evaluar la cobertura y uso de suelo dentro de la generación de mapas de susceptibilidad a FRM es proporcionar una idea más clara de la incidencia de esta temática, visto no solamente como la “vegetación” que se encuentra en determinado sitio, sino todo lo que realmente implica este factor, como por ejemplo, la humedad del suelo, la relación de la humedad con la precipitación, la incidencia antrópica sobre el suelo, entre otras.

#### **Metodología del Mapa de Cobertura y Uso de Suelo**

Para la elaboración del mapa de cobertura y uso de suelo se debe realizar una revisión de información secundaria expuesta en trabajos previos realizados por el MAE y el MAGAP con el fin de entender qué criterios se debe tomar en cuenta para la elaboración de este tipo de mapas.

Las fuentes cartográficas base que se utilizarán son las imágenes compiladas por Google Earth y las Ortofotografía de 3m de resolución. Con esta base debe determinar puntos de muestreo, la heterogeneidad del lugar, la disponibilidad de recursos y, además, ayudará a definir el orden de las visitas para el levantamiento de la información.

Para el levantamiento de información se utilizará una ficha de campo, como se muestra en la figura 3.4. También se debe utilizar el mapa base para plasmar la información recopilada en las diferentes fichas y adicionalmente se tomará una foto digital y otra panorámica como respaldo para facilitar la delimitación de las diferentes unidades.

La ficha de campo consta de tres secciones, con el objetivo de garantizar la claridad de la información; la sección 1 contiene información general referente al lugar y al punto de campo (coordenadas), la sección 2 dispone de los niveles de leyenda temática en orden jerárquico de la cobertura de la tierra, la sección 3 corresponde a información adicional donde se realiza una estimación de la pendiente y el nivel de intervención antrópica

observada en el lugar, por último se describe los comentarios que sustentan la información primaria (MAE-MAGAP, 2015).

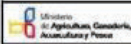

Ficha de Campo							Sección	
 <b>FICHA DE CAMPO PARA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA</b> 							1	
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>				Código de campo (Zona/Punto/Zona): G P S				
Fecha (dd/mm/aa):	2014	Altitud (m):		Fotografía 1:	Código oficial:			
Provincia / Cantón:		Coordenada Este (x):		Foto Panorámica 1:	Videos 1:			
Parroquia / Localidad:		Coordenada Norte (y):		Foto Panorámica 2:	Videos 2:			
<b>COBERTURA DE LA TIERRA</b> (Favor colocar una "X" donde corresponda)							2	
N I V E L	BOSQUE		BOSQUE NATIVO		PLANTACIÓN FORESTAL			
	VEGETACIÓN		VEGETACIÓN ARBUSTIVA		PARAMO			
	T I E R R A  A G R O P E C U A R I A		CULTIVO ANUAL		VEGETACIÓN HERBÁCEA			
			CULTIVO SEMIPERMANENTE		CEREALES (Cac)			
			CULTIVO PERMANENTE		LEGUMINOSAS (CAL)			
			OTRAS TIERRAS		RAICES Y TUBÉRCULOS			
	PASTIZAL		FRUTALES (CSu)		Arroz			
	MOSAICO AGROPECUARIO		INDUSTRIALES (CSB)		Maito duro			
	Mielés de:		FRUTALES (CPe)		Maito suave			
	CUERPO DE AGUA		EN TRANSICIÓN		Cacha			
ZONA ANTROPICA		PASTO CULTIVADO		Mora				
OTRAS TIERRAS		CEREALES		Café robusto				
		FRUTALES		Café arábigo				
		CICLO CORTO		Palma africana				
		HORTALIZAS		Tierra agrícola sin cultivo				
		FLORES		Barbacho				
		PLANTAS AROMÁTICAS		INDIFERENCIADO				
ESTADO DEL CULTIVO:		DESARROLLO		FLORACIÓN		CORREGIR INTERPRETACIÓN:		
MADURACIÓN/PRODUCCIÓN		COSECHA		SÍ		NO		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b> (Favor colocar una "X" donde corresponda)							3	
PENDIENTE (grados):		0-2 Plano		3-9 Ligeramente inclinado		10-19 Fuertemente inclinado		
porcentaje (%):		0-3 %		4-13 %		18-33 %		
NIVEL DE INTERVENCIÓN:		Alto		Medio		Bajo		
OBSERVACIONES:				RESPONSABLE DE LEVANTAMIENTO:				
				CONTACTO (e):				

Figura 3.4 Ficha de campo para el Mapa de Cobertura y Uso de Suelo. Fuente: (MAE-MAGAP, 2015)

Para definir la leyenda temática se utilizará un sistema de clasificación *a posteriori* con el fin de conseguir una correspondencia con la realidad del terreno mediante el conocimiento que se tiene de él a través del trabajo de campo, cartografía, bibliografía de apoyo y fotografías.

Una vez culminada la fase de recolección de datos se procesa y digitaliza la información con ayuda del software ArcGis 10.3.

### 3.2.5 Factor Pendiente

La pendiente es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Es medida en porcentaje o en grados (Suarez, 2009)

Es importante resaltar que no es simple la interrelación entre la pendiente de la ladera y su estabilidad, ya que no siempre la ladera más inclinada es la que presenta la mayor

susceptibilidad para fallar, aunque de forma general se puede señalar que, al aumentar la pendiente de la ladera, tienden a aumentar las fuerzas que tratan de desestabilizar la misma y disminuyen los factores de seguridad. (INIGEMM, 2013).

Las medidas de pendientes de un área determinada pueden ser obtenidas mediante información topográfica (curvas de nivel), extraída de los MDT y de Ortofotografías o imágenes Satelitales.

Para representar el factor pendiente en un mapa es necesario agrupar las medidas de pendiente en clases cuyos rangos son establecidos de acuerdo a características propias de la región o área de estudio.

### **Metodología del Mapa de Pendientes**

El Mapa de Pendientes se obtiene mediante el Modelo Digital de Terreno MDT o DEM por sus siglas en inglés, este material fue proporcionado por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo y dispone de una resolución de 5 metros.

Para que el mapa de pendientes pueda ser usado en el Método Estadístico Univariado es necesario realizarlo en formato *.shape*, para ello se utilizará el software ArcGis 10.3 y se debe seguir el procedimiento que se describe a continuación.

Utilizando la herramienta *ArcToolbox, 3D Analyst Tools, Raster Surface, Slope* se obtendrá un archivo *.raster* con la información de las pendientes del área de estudio y cuya valoración está expresada en números racionales (*float*). Para transferir la información de un formato *.raster* a uno vectorial (*.shape*) es necesario convertir los valores de las pendientes a números enteros (*integer*), para ello se utiliza la herramienta *ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Math, Int*, una vez realizado este proceso con la herramienta *ArcToolbox, Conversions Tools, From Raster, Raster to Polygon* obtenemos los valores de las pendientes en el formato deseado.

Los valores obtenidos en el archivo *.shape* de pendientes deben ser agrupados en diferentes clases. Para esta selección de clases utilizaremos como criterio, mapas de pendientes realizados en trabajos previos en zonas con relieves similares.

### 3.3 Determinación del Peso (W) para cada Factor

Cada uno de los factores o parámetros descritos anteriormente está conformado por varias unidades. Cada una de estas unidades dentro de la metodología es conocida como UCP (Unidad Cartográfica de Parámetro).

El Peso (W) o grado de influencia que cada factor tiene sobre la generación de FRM, es una valoración en porcentaje que determina que tan susceptible es cada UCP a que se genere un FRM. Para determinar esta valoración el método estadístico univariado utiliza la siguiente ecuación:

$$W = \frac{DZX * 100}{S}$$

Ecuación 3.1 Cálculo del Peso (W). Fuente: (INGEOMINAS, 2001)

Donde:

**W:** Peso o susceptibilidad de la UCP respecto al FRM analizado

**S:** Superficie de la UCP (m<sup>2</sup>)

**DZX:** Superficie acumulada del FRM de tipo X (m<sup>2</sup>) sobre la UCP

#### 3.3.1 Superficie de las UCP (S)

Para determinar la superficie de cada UCP es necesario añadir en la tabla de atributos de cada uno de los mapas de factores un nuevo campo denominado *ÁREA\_m<sup>2</sup>* como se muestra en el recuadro rojo de la figura 3.5, posteriormente se procede al cálculo de la superficie mediante la operación *Calculate Geometry* como se muestra en los recuadros azules de la figura 3.5. Este proceso debe ser realizado para cada uno de los mapas de factores.

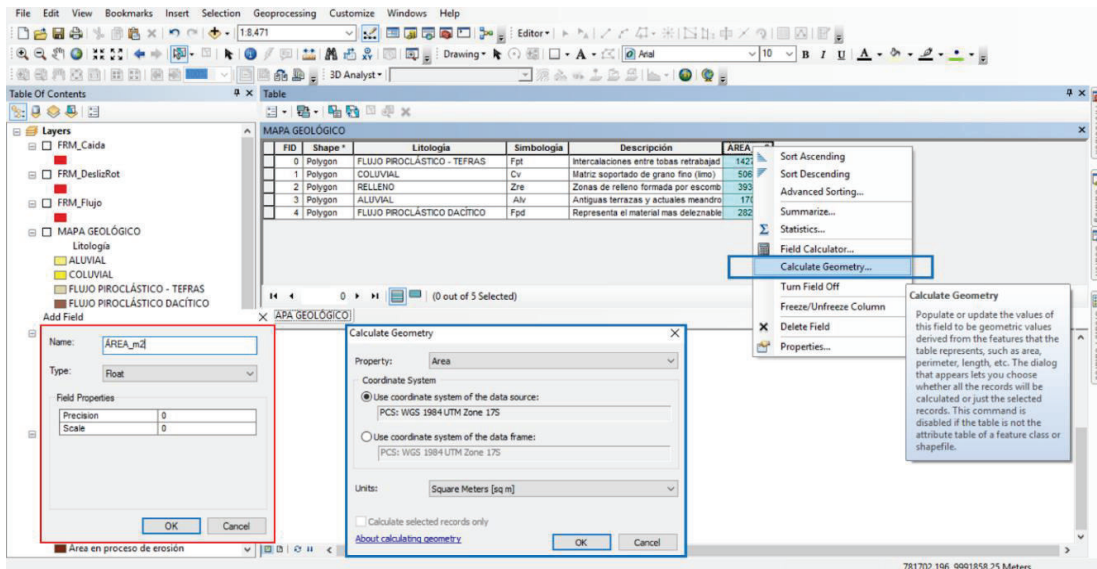


Figura 3.5 Cálculo de la Superficie de las UCP del Mapa Geológico

### 3.3.2 Superficie acumulada del FRM de tipo X (m<sup>2</sup>) sobre la UCP (DZX)

Para determinar la superficie acumulada que tiene cada tipo de FRM sobre cada UCP es necesario seguir el siguiente procedimiento:

1. Se debe cruzar cada uno de los mapas de factores con cada uno de los tipos de FRM, para ello utilizaremos la herramienta *ArcToolbox, Analysis Tools, Overlay, Intersect*, como se muestra en el recuadro azul de la figura 3.6, en la opción *Input Features* primero se debe seleccionar el archivo *.shape* que contiene el tipo específico de FRM y luego uno de los mapas de factores como se muestra en el recuadro rojo de la figura 3.6.

Como resultado de este procedimiento se obtendrá un archivo *.shape* que contendrá la información de cada tipo de FRM presente en cada UCP del mapa de factor escogido.

Es importante resaltar que en este proceso un mismo FRM ubicado sobre dos UCP será dividido entre estos y así el número de registros del archivo *.shape* resultante se incrementará.



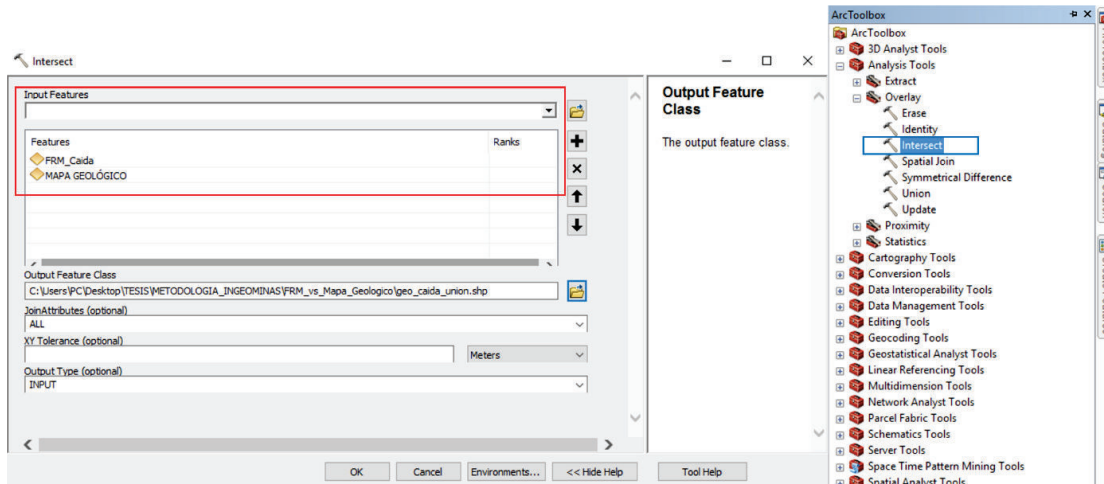


Figura 3.6 Proceso de Intersección entre los FRM tipo Caída y el Mapa Geológico

Los archivos *.shape* resultantes tendrán los siguientes nombres:

- FRM tipo Caída intersección con el Mapa Geológico: geo\_caida\_inter
- FRM tipo Deslizamiento Rotacional intersección con el Mapa Geológico: geo\_desliz\_inter
- FRM tipo Flujo intersección con el Mapa Geológico: geo\_flujo\_inter
  
- FRM tipo Caída intersección con el Mapa Geomorfológico: geomorf\_caida\_inter
- FRM tipo Deslizamiento Rotacional intersección con el Mapa Geomorfológico: geomorf\_desliz\_inter
- FRM tipo Flujo intersección con el Mapa Geomorfológico: geomorf\_flujo\_inter
  
- FRM tipo Caída intersección con el Mapa de Cobertura y Uso de Suelo: cob\_uso\_caida\_inter
- FRM tipo Deslizamiento Rotacional intersección con el Mapa de Cobertura y Uso de Suelo: cob\_uso\_desliz\_inter
- FRM tipo Flujo intersección con el Mapa de Cobertura y Uso de Suelo: cob\_uso\_flujo\_inter
  
- FRM tipo Caída intersección con el Mapa de Pendientes: pend\_caida\_inter
- FRM tipo Deslizamiento Rotacional intersección con el Mapa de Pendientes: pend\_desliz\_inter
- FRM tipo Flujo intersección con el Mapa de Pendientes: pend\_flujo\_inter



2. En cada uno de los nuevos archivos *.shape* creados en el proceso anterior se debe recalcular la superficie de sus registros. Para ello se debe efectuar el mismo proceso que se realizó para determinar la superficie de las UCP, como lo indica la figura 3.5. Así se obtendrán las diferentes superficies que cada tipo de FRM presenta en cada UCP de los distintos mapas de factores.
3. El procedimiento estadístico que nos permite calcular la superficie acumulada que cada FRM presenta en una determinada UCP para cada uno de los mapas de factores se lo realiza mediante la herramienta *ArcToolbox, Analysis Tools, Statistics, Frequency*, como se muestra en el recuadro azul de la figura 3.7.

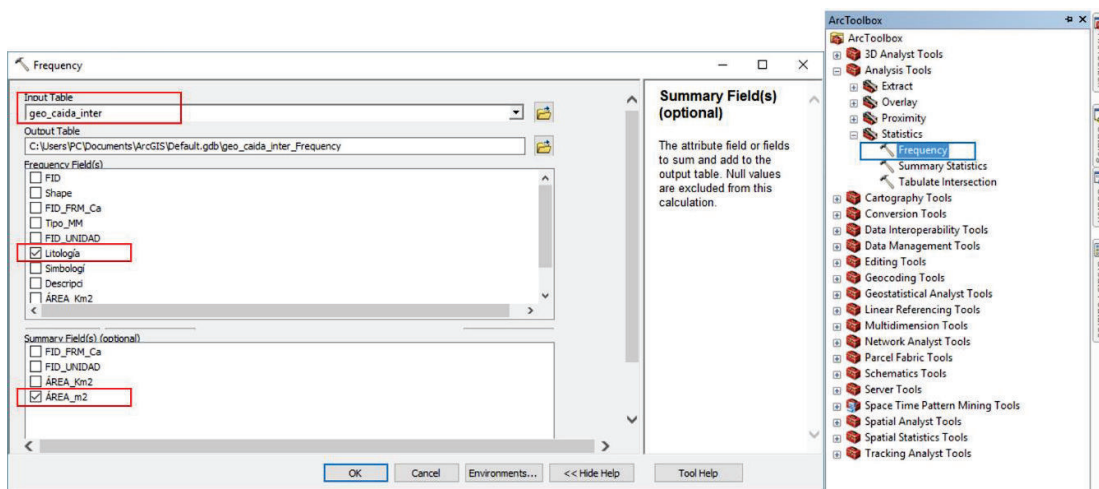


Figura 3.7 Cálculo de la Superficie Acumulada de los FRM tipo Caída en las UCP del Mapa Geológico

En la opción *Input Table* se debe seleccionar uno de los archivos *.shape* que se obtuvo en el proceso de intersección.

En la opción *Frequency Field(s)* se debe seleccionar el atributo que contenga la información de las diferentes UCP y del cual se calculará la frecuencia, es decir, el número de veces que los registros del campo escogido se repitan.

En la opción *Summary Field(s)* se selecciona el campo que contenga el atributo de las superficies del *.shape* antes escogido, con la finalidad de obtener la sumatoria de las superficies del tipo de FRM en cada UCP.

La selección de las diferentes opciones descritas anteriormente se muestra en los recuadros rojos de la figura 3.7.

Los archivos *.txt* o *.dbf* resultantes tendrán los siguientes nombres:

- geo\_caida\_frec.dbf
- geo\_desliz\_frec.dbf
- geo\_flujo\_frec.dbf
- geomorf\_caida\_frec.dbf
- geomorf\_desliz\_frec.dbf
- geomorf\_flujo\_frec.dbf
- cob\_uso\_caida\_inter.shp
- cob\_uso\_desliz\_inter.shp
- cob\_uso\_flujo\_inter.shp
- pend\_caida\_frec.dbf
- pend\_desliz\_frec.dbf
- pend\_flujo\_frec.dbf

### 3.3.3 Cálculo del Peso (W) para cada Factor

Los resultados obtenidos en el cálculo de la superficie de cada UCP y de la superficie acumulada de cada FRM sobre las UCP son ingresados en tablas pre elaboradas de Excel para efectuar el cálculo del Peso (W) como indica la ecuación 3.1.

Es necesario elaborar una tabla para cada mapa de factores, el formato establecido para este procedimiento se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Formato de Excel para el cálculo del Peso (W) en el Factor Geología

							Superficie acumulada de FRM (m2) en cada unidad			Susceptibilidad de las Unidades Litológicas a los FRM		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 = 8/2*100	12 = 9/2*100	12 = 10/2*100
Unidades Litológicas	Superficie UCP	% Superficie UCP	Frecuencia Caída	Frecuencia Deslizamiento Rotacional	Frecuencia Flujo	# de Ocurrencias	Fenómenos de Remoción en Masa (FRM)					
							Caida	Deslizamiento Rotacional	Flujos	Caida	Deslizamiento Rotacional	Flujos
UCP 1												
UCP 2												
UCP 3												
UCP 4												
UCP 5												
<b>TOTAL</b>												

### 3.4 Obtención de rangos para el Peso (W)

Determinar los rangos apropiados para los valores del Peso (W) nos permitirá obtener la susceptibilidad que cada UCP presenta frente a los diferentes tipos de FRM en el área de estudio. Para determinarlos es necesario seguir el siguiente proceso:

1. Incorporar la valoración del Peso ( $W$ ) que presenta cada tipo de FRM en los mapas de factores, para ello es necesario añadir un nuevo campo denominado *PESO* en los mapas de factores. Este procedimiento es el mismo que se realizó para añadir el campo *ÁREA<sub>m<sup>2</sup></sub>* y se muestra en la figura 3.5.
2. Exportar los mapas de factores. Este proceso se realiza presionando clic derecho en el *shape*, en la opción *data, export data*. Cada uno de los mapas de factores debe ser exportado tantas veces como tipos de FRM tengamos en el IMM.

Los archivos exportados tendrán los siguientes nombres:

- geologia\_caida.shp
- geologia\_deslizamieto.shp
- geologia\_flujo.shp
- geomorfologia\_caida.shp
- geomorfologia\_deslizamineto.shp
- geomorfologia\_flujo.shp
- cob\_uso\_caida.shp
- cob\_uso\_deslizamineto.shp
- cob\_uso\_flujo.shp
- pendiente\_caida.shp
- pendiente\_deslizamineto.shp
- pendiente\_flujo.shp

3. Cada uno de los archivos *.shape* creado tendrá el campo de *PESO*, dentro de este campo se debe incorporar los valores obtenidos en el caculo de Peso ( $W$ ).
4. Los archivos resultantes del procedimiento anterior serán convertidos en archivos formato *.raster* en función del campo *PESO*. Para ello utilizaremos la herramienta *ArcToolbox, Conversion Tools, To Raster, Feature to Raster* como se muestra en el recuadro azul de la figura 3.8.

En la opción *Input Table* se debe seleccionar uno de los archivos *.shape* enlistados anteriormente; por ejemplo: (geologia\_caida.shp).

En la opción *Field* se escoge el campo que se usara para asignar la valoración del *.raster* de salida. Se debe escoger el campo *PESO*.

En la opción *Output Cellsize* se coloca 5 m en relación con la escala de trabajo 1:5.000.

La selección de las diferentes opciones descritas anteriormente se muestra en los recuadros rojos de la figura 3.8.

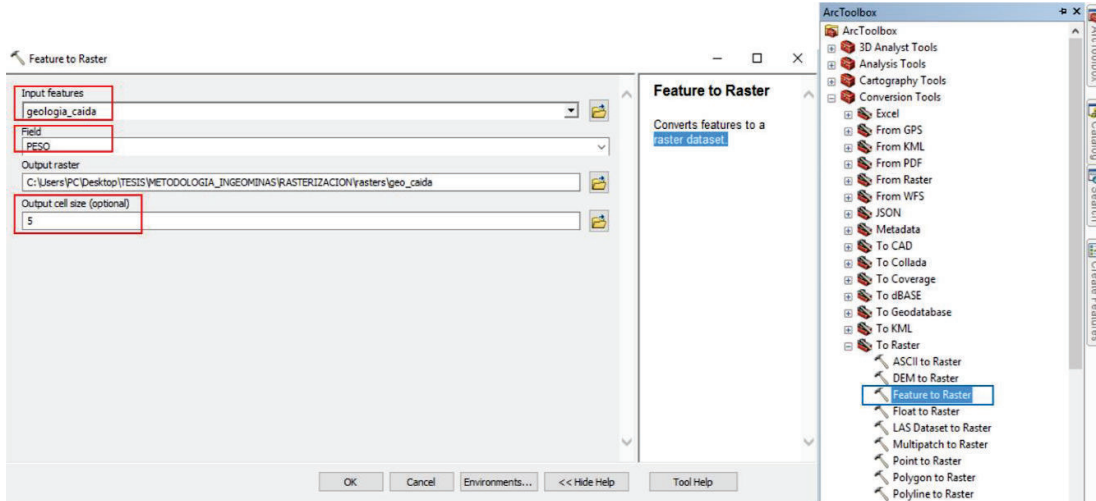


Figura 3.8 Proceso de Rasterización del archivo .shape geologia\_caida

Los archivos *.raster* resultantes tendrán los siguientes nombres:

- geo\_caida
- geo\_desl
- geo\_flujo
- geomorf\_caida
- geomorf\_desl
- geomorf\_flujo
- cob\_uso\_caida
- cob\_uso\_desl
- cob\_uso\_flujo
- pend\_caida
- pend\_desl
- pend\_flujo

Clasificar en rangos los valores del Peso ( $W$ ). Para ello el software ArcGis permite agrupar las valoraciones con diversos métodos preestablecidos. Sin embargo para el presente proyecto se los clasificará en 6 grupos de manera no jerárquica. Para ello se debe realizar un análisis estadístico de dispersión que nos permita discriminar las valoraciones casi nulas o muy altas del conjunto de datos, para posteriormente utilizar la función  $Q$  de (Anderberg, 1973) en la selección de los rangos. Esta función nos permite agrupar los valores del Peso ( $W$ ) en rangos, de forma que se obtenga la suma mínima de sus desviaciones al cuadrado, como se muestra en la siguiente ecuación 3.2 (Aricochea, 2016).

$$Q = \sum_{i=1}^6 (V_i - \bar{X})^2 = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

Ecuación 3.2 Selección de Rangos del Peso ( $W$ ). Fuente: (Aricochea, 2016)

Donde:

**Q:** Suma mínima de las desviaciones al cuadrado

**Vi:** Valores del Peso (W) agrupados en cada rango

$\bar{X}$ : Promedio de valores de Peso (W) en cada rango

Esta ecuación nos permite realizar una adecuada selección de los rangos para el Peso (W) y obtener los intervalos de susceptibilidad que tiene cada UCP en la generación de FRM.

Para verificar la correcta selección de los rangos utilizaremos una tabla pre elaborada de Excel donde se determinará el valor Q, como se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Formato de Excel para la selección de Rangos del Peso (W)

Rango 1			Rango 2			Rango 3			Rango 4			Rango 5			Rango 6		
VALORES	V - X1	(V - X1) <sup>2</sup>	VALORES	V - X2	(V - X2) <sup>2</sup>	VALORES	V - X3	(V - X3) <sup>2</sup>	VALORES	V - X4	(V - X4) <sup>2</sup>	VALORES	V - X5	(V - X5) <sup>2</sup>	VALORES	V - X6	(V - X6) <sup>2</sup>
X1:			X2:			X3:			X4:			X5:			X6:		
Q1:			Q2:			Q3:			Q4:			Q5:			Q6:		
Q:																	

Los rangos del 1 al 6 en los que se clasificará la valoración del Peso (W) representan el grado de susceptibilidad que tiene cada UCP. La relación rango – susceptibilidad se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Relación Rango – Susceptibilidad

Rangos	Susceptibilidad
1	Nula o muy baja
2	Baja
3	Media Baja
4	Media Alta
5	Alta
6	Muy Alta

## 3.5 Determinación de la Susceptibilidad Parcial (SP) y Susceptibilidad Total (ST)

### 3.5.1 Susceptibilidad Parcial (SP)

La valoración de susceptibilidad para cada UCP obtenida en el procedimiento anterior está sujeta a modificaciones de acuerdo al criterio del profesional que realice el estudio y en base al reconocimiento realizado en las visitas de campo. Lo que indicaría que a pesar de que el método Estadístico Univariado es considerado una aproximación cuantitativa existe cierto grado de subjetividad.

La SP es la susceptibilidad que cada tipo de FRM genera en área de estudio. Para determinarla es necesario seguir el siguiente proceso:

1. Ingresar los valores de susceptibilidad obtenidos en los archivos *.raster* correspondientes. Para ello utilizaremos la herramienta *ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Reclass, Reclassify*, como se muestra en el recuadro azul de la figura 3.9.

En la opción *Input Raster* se debe seleccionar el *.raster* que contienen la valoración del Peso (W); por ejemplo: *geo\_caida*.

En la opción *Reclass field* se selecciona *VALUE* que representa la valoración en función de la que se creó el archivo *.raster* seleccionado. Es decir, el valor del Peso (W) asignado a los diferentes archivos *.raster*.

En *Reclassification* se presentan las opciones *Old Values* y *New Values*, en la primera opción se debe ingresar los valores de los diferentes rangos, mientras que en la segunda opción se ingresa el valor de susceptibilidad correspondiente para cada rango.

La selección de las diferentes opciones descritas anteriormente se muestra en los recuadros rojos de la figura 3.9.

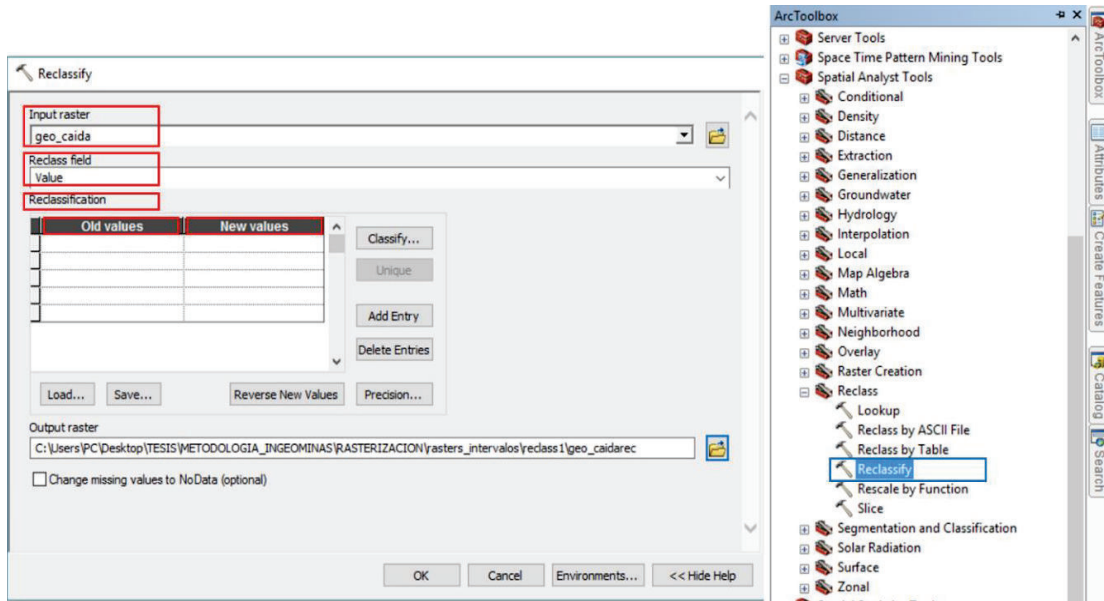


Figura 3.9 Distribución de los Rangos del Peso (W) en función del valor de Susceptibilidad

Los archivos *.raster* resultantes tendrán los siguientes nombres:

- geo\_caidarec
- geo\_deslrec
- geo\_flujorec
- geom\_caidarec
- geom\_deslrec
- geomoflujorec
- cob\_caidarec
- cob\_deslrec
- cob\_flujorec
- pend\_caidarec
- pend\_deslrec
- pend\_flujo

2. La Susceptibilidad Parcial (SP) se obtiene mediante una sumatoria algebraica de los archivos *.raster* anteriores. Para ello utilizaremos la herramienta *ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Map Algebra, Raster Calculator*.

En la opción *Map Algebra expression* se debe seleccionar los archivos *.rasters* del mismo tipo de FRM; por ejemplo: geo\_caidarec + geom\_caidarec + cob\_caidarec + pend\_cairec.

La selección de las diferentes opciones descritas anteriormente se muestra en los recuadros rojos y azul de la figura 3.10.

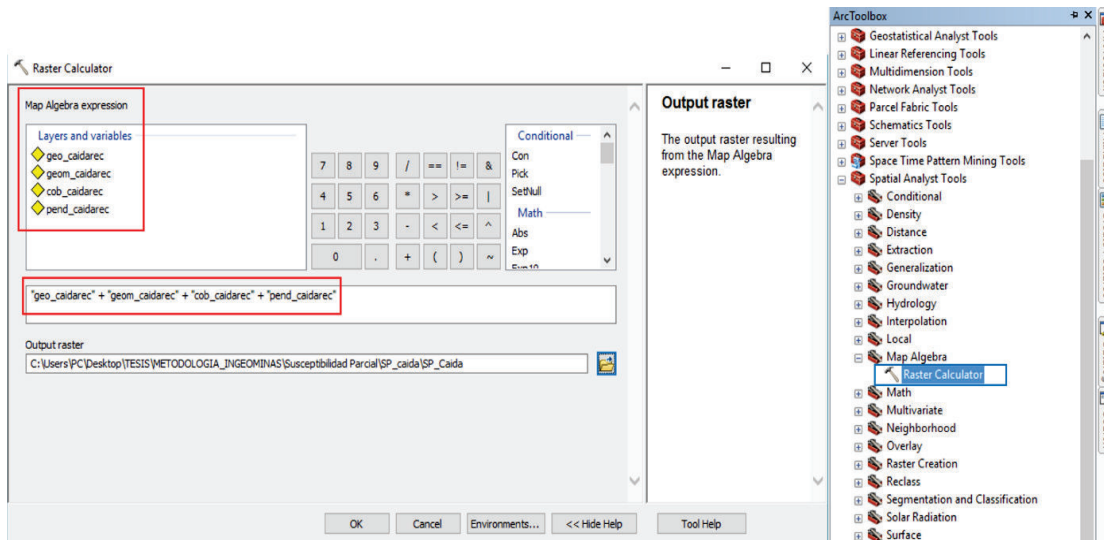


Figura 3.10 Procedimiento para determinar la SP para cada tipo de FRM

Los archivos *.raster* resultantes tendrán los siguientes nombres:

- SP\_caida
- SP\_desl
- SP\_flujo

El mapa de SP se obtiene mediante la adición de los mapas *.raster* de cada mapa de factores con sus respectivos valores de susceptibilidad; es decir que de cuatro mapas de entrada con valores de susceptibilidad 1 a 6, se obtiene un mapa con celdas que van de 4 a 24. Por lo tanto, los valores menores que 4 se recodifican con el valor de uno (categoría nula), a los valores entre 4 y 8 se les asigna el 2 (muy baja), entre 8 y 16 se les asigna el 3 (Media baja); entre 16 y 20, el 4 (Media alta); entre 20 y 24, el 5 (alta); y mayores de 24, el 6 (muy alta) (INGEOMINAS, 2001).

### 3.5.2 Susceptibilidad Total (ST)

La Susceptibilidad Total (ST) del área de estudio se obtiene mediante la adición de los mapas de SP (SP\_caida, SP\_desl y SP\_flujo), para ello se realizará el mismo procedimiento de adición de mapas utilizando la herramienta (*ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Map Algebra, Raster Calculator*), como se muestra en la figura 3.10. Obteniendo así un mapa raster con valoraciones que van de 12 a 72.



Para la representación cartográfica final del mapa ST se debe clasificar nuevamente sus valoraciones. Para esta etapa del proceso (INGEOMINAS, 2001) considera únicamente 5 rangos de susceptibilidad. La selección final de rangos para las valoraciones se la realiza utilizando uno de los métodos de clasificación estándar presentes en el software ArcGIS y depende del criterio del profesional que realice el estudio.

El método escogido es el de intervalos geométricos ya que es el método que más se ajusta a la realidad y en trabajos previos como el de (INIGEMM, 2013) ha presentado los mejores resultados. El método utiliza un algoritmo que crea intervalos geométricos al minimizar la suma de cuadrados del número de elementos de cada clase. Con esto se garantiza que cada rango de clase tenga aproximadamente el mismo número de valores en cada clase y que el cambio entre intervalos sea bastante coherente (pro.arcgis.com, 2017).

La clasificación final de los rangos de susceptibilidad se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Relación Rango – Susceptibilidad

<b>Rangos</b>	<b>Susceptibilidad</b>
1	Nula o muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1 Mapa de Inventario Movimientos en Masa (IMM)

El levantamiento de campo realizado para elaborar el mapa de IMM se efectuó entre el 13 y 18 de diciembre de 2016, tomando como base el trabajo realizado por los estudiantes de la materia de Fenómenos de Remoción en Masa, semestre 2016-B, el 10 de diciembre de 2016.

Como resultado del trabajo de campo se obtuvo el mapa de IMM, como se muestra en la figura 4.1. En el área de estudio se registraron un total de 83 FRM de los cuales, 26 fueron de tipo deslizamiento rotacional (31.33%), 21 de tipo caída de bloques (25.30%) y 36 de tipo flujo (43.37%).

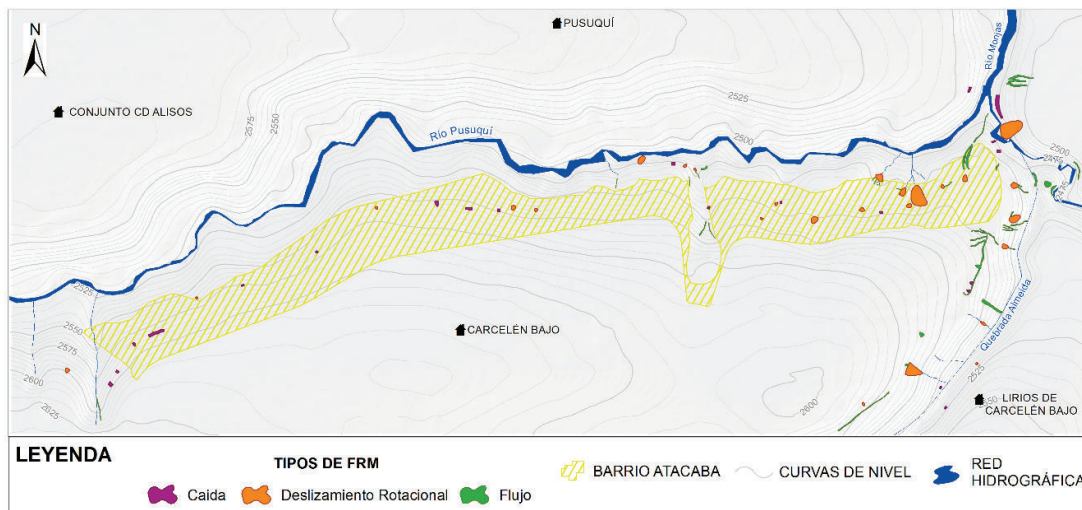


Figura 4.1 Mapa de IMM del Área de Estudio

Es importante recordar que la tipología de los FRM no es simple y en su mayoría se presentan en conjunto más de un tipo de movimiento en masa, por lo que, en su clasificación se consideró el tipo de FRM predominante. En las tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se sintetizan las descripciones de los movimientos en masa identificados y recopilados en el formato preestablecido. Las coordenadas presentadas en las tablas fueron tomadas con un error entre 2 – 3 metros.

El Mapa de IMM a escala 1:5.000 se presenta en el anexo 1.

## 4.1.1 FRM tipo deslizamiento rotacional

Tabla 4.1 Inventario de FRM tipo deslizamiento rotacional

ID	X	Y	Z	Tipo de Movimiento 1	Referencia	Tipo de Movimiento 2	Nivel de Humedad	Causas del Movimiento	Cobertura Vegetal	Uso de suelo
WPON038	781618	9991650	2616	Deslizamiento Rotacional	camino alcantarillado		húmedo	orientación desfavorable, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias, socavación al pie del talud	vegetación herbácea, árboles	vías
WPON043	781865	9991790	2575	Deslizamiento Rotacional	zona de areasverdes bajo el lote 7 y 8	caída	húmedo	orientación desfavorable, socavación al pie del talud	cultivos, vegetación herbácea	agrícola
WPON046	782207	9991960	2579	Deslizamiento Rotacional	camino alcantarillado		húmedo	orientación desfavorable, socavación al pie del talud, erosión superficial	matorrales, árboles	vías
WPON050	782468	9991960	2556	Deslizamiento Rotacional	camino alcantarillado		seco	socavación al pie del talud, orientación desfavorable, erosión superficial	vegetación herbácea	vías
WPON051	782511	9991960	2550	Deslizamiento Rotacional	camino alcantarillado	caída	seco	material meteorizado, material deleznable, erosión superficial	vegetación herbácea	vías
WPON033	782711	9992050	2525	Deslizamiento Rotacional	ribera del río		húmedo	material meteorizado, material deleznable, lluvias	vegetación herbácea, matorrales	otros (ninguno)
WPON052	782795	9992040	2505	Deslizamiento Rotacional	ribera del río		seco	erosión superficial, material meteorizado, lluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON053	782814	9992030	2497	Deslizamiento Rotacional	ribera del río		seco	erosión superficial, material meteorizado, lluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON027	782941	9991940	2523	Deslizamiento Rotacional	lote42	caída	seco	material fisurado o agrietado, lluvias, erosión superficial	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON014	782968	9991970	2523	Deslizamiento Rotacional	vía alcantarillado	caída	húmedo	material meteorizado, lluvias, socavación al pie del talud	vegetación herbácea	vías
WPON026	783041	9991940	2535	Deslizamiento Rotacional	lote 44		húmedo	material deleznable, material meteorizado, lluvias	vegetación herbácea, matorrales,	agrícola
WPON054	783131	9991960	2514	Deslizamiento Rotacional	lote 44		húmedo	material deleznable, material meteorizado, lluvias	vegetación herbácea, matorrales,	agrícola
WPON023	783210	9991990	2534	Deslizamiento Rotacional	bajo el camino		húmedo	material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias, material deleznable	vegetación herbácea, matorrales,	viviendas
WPON012	783238	9991980	2522	Deslizamiento Rotacional	vía alcantarillado	flujo	húmedo	material meteorizado, material fisurado o agrietado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias	vegetación herbácea, árboles,	recreación
WPON013	783221	9991960	2524	Deslizamiento Rotacional	vía alcantarillado	flujo	húmedo	material meteorizado, lluvias, socavación al pie del talud	vegetación herbácea,,	vías
WPON025	783165	9992020	2495	Deslizamiento Rotacional	ribera del río_lote 21		muy húmedo	material deleznable, material meteorizado, lluvias, material fisurado o agrietado	vegetación herbácea, matorrales	agrícola
WPON022	783285	9992000	2502	Deslizamiento Rotacional	bajo camino alcantarillado	caída	húmedo	material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias, material deleznable	vegetación herbácea, matorrales	agrícola
WPON011	783328	9992010	2521	Deslizamiento Rotacional	cerca de la cancha	flujo	muy húmedo	material meteorizado, material fisurado o agrietado	vegetación herbácea, árboles	recreación
WPON017	783414	9992110	2481	Deslizamiento Rotacional	marge derecho Qda. Almeida		húmedo	material deleznable, socavación al pie del talud, lluvias	vegetación herbácea, matorrales, árboles	otros (ninguno)
WPON058	783422	9992000	2505	Deslizamiento Rotacional	entre lote 50 y Qda Almeida	caída	seco	material meteorizado, material deleznable, erosión superficial	sin cobertura	otros (ninguno)
WPON016	783422	9991940	2503	Deslizamiento Rotacional	bajo la cancha		húmedo	material deleznable, material fisurado o agrietado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias	sin cobertura	área protegida
WPON009	783404	9991890	2524	Deslizamiento Rotacional	cerca cancha de futbol	flujo	húmedo	material meteorizado, material fisurado o agrietado, erosión superficial, socavación al pie del talud	vegetación herbácea, árboles	vías (tercer orden)
WPON005	783363	9991740	2520	Deslizamiento Rotacional	marge izquierdo Qda. Almeida	flujo	húmedo	material deleznable, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial	vegetación herbácea, construcciones	viviendas, vías
WPON037	783350	9991660	2514	Deslizamiento Rotacional	margen izq. Qda. Almeida		seco	material fisurado o agrietado, lluvias, erosión superficial	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON055	783228	9991650	2560	Deslizamiento Rotacional	entre via principal y Qda. Almeida	flujo	seco	material deleznable, material meteorizado, erosión superficial	sin cobertura	otros (ninguno)
WPON034	783135	9991590	2582	Deslizamiento Rotacional	margen izq. Qda. Almeida		seco	material deleznable, orientación desfavorable, lluvias	vegetación herbácea, matorrales	otros (ninguno)

En la fotografía 4.1 se muestra dos FRM tipo deslizamiento rotacional representativos del área de estudio.



Fotografía 4.1 FRM tipo Deslizamiento Rotacional

#### 4.1.2 FRM tipo caída de bloques

Tabla 4.2 Inventario de FRM tipo caída

ID	X	Y	Z	Tipo de Movimiento 1	Referencia	Nivel de Humedad	Causas del Movimiento	Cobertura Vegetal	Uso de suelo
WPON039	781700	9991620	2599	Caida	camino alcantarillado	muy húmedo	material fisurado o agrietado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias, erosión superficial	vegetación herbácea	viviendas
WPON040	781714	9991650	2600	Caida	camino alcantarillado	seco	material fisurado o agrietado, erosión superficial, lluvias, erosión superficial	vegetación herbácea, matorrales	vías
WPON041	781746	9991700	2600	Caida	camino alcantarillado	seco	material deleznable, erosión superficial, material meteorizado, lluvias	vegetación herbácea	vías
WPON042	781788	9991720	2603	Caida	camino alcantarillado	seco	socavación al pie del talud, erosión superficial, material meteorizado, lluvias	vegetación herbácea	agrícola
WPON044	781952	9991810	2581	Caida	camino alcantarillado	muy húmedo	material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje	vegetación herbácea, matorrales	ganadería
WPON045	782093	9991880	2578	Caida	camino alcantarillado	húmedo	material meteorizado, erosión superficial, lluvias	vegetación herbácea, matorrales	vías
WPON047	782322	9991970	2569	Caida	camino alcantarillado	húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias	matorrales, vegetación herbácea	vías
WPON048	782383	9991960	2556	Caida	camino alcantarillado	seco	orientación desfavorable, material fisurado o agrietado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias	vegetación herbácea	viviendas
WPON049	782440	9991950	2559	Caida	camino alcantarillado	húmedo	material deleznable, erosión superficial,	vegetación herbácea	vías
WPON032	782772	9992040	2517	Caida	ribera del río	húmedo	orientación desfavorable, material fisurado o agrietado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias	vegetación herbácea, matorrales	otros (ninguno)
WPON029	782839	9991960	2521	Caida	lote38	seco	material fisurado o agrietado, lluvias, erosión superficial	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON028	782977	9991970	2523	Caida	lote42	seco	material fisurado o agrietado, lluvias, erosión superficial	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON024	783168	9991950	2532	Caida	lote23	húmedo	material deleznable, lluvias, socavación al pie del talud, socavación al pie del talud	vegetación herbácea, matorrales	agrícola
WPON056	783336	9992180	2493	Caida	margen izq. Río Pusuquí	seco	socavación al pie del talud, orientación desfavorable, erosión superficial	sin cobertura	otros (ninguno)

Tabla 4.2 Continuación

ID	X	Y	Z	Tipo de Movimiento 1	Referencia	Nivel de Humedad	Causas del Movimiento	Cobertura Vegetal	Uso de suelo
WPON020	783391	9992150	2472	Caida	unión Qda. Almeida Río Pusuquí	seco	erosión superficial, lluvias, orientación desfavorable	vegetación herbácea	área protegida
WPON057	783382	9992080	2484	Caida	entre lote 50 y Qda Almeida	seco	material meteorizado, erosión superficial	sin cobertura	otros (ninguno)
WPON019	783392	9992070	2475	Caida	Qda. Almeida	húmedo	orientación desfavorable, lluvias, erosión superficial	sin cobertura	área protegida
WPON002	783340	9991820	2547	Caida	camino alcantarillado	húmedo	material deleznable, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias, socavación al pie del talud	vegetación herbácea	vías
WPON001	783335	9991800	2551	Caida	camino alcantarillado	húmedo	material deleznable, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, lluvias, socavación al pie del talud	vegetación herbácea	vías
WPON036	783281	9991620	2514	Caida	margen izq. Qda. Almeida	seco	material fisurado o agrietado, lluvias, erosión superficial	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON035	783291	9991580	2520	Caida	margen der. Qda. Almeida	seco	material fisurado o agrietado, lluvias, erosión superficial	vegetación herbácea	otros (ninguno)

En la fotografía 4.2 se muestra dos FRM tipo caída de bloques representativos del área de estudio.



Fotografía 4.2 FRM tipo Caída de Bloques

#### 4.1.3 FRM tipo flujo

En el área de estudio se identificaron varias zonas de alta erosión presentes principalmente sobre un depósito volcánico altamente deleznable y donde se acumula una considerable cantidad de material canalizado en grietas. Estas zonas se caracterizan por que han generado o podrían generar FRM tipo flujo.



Tabla 4.3 Inventario de FRM tipo flujo

ID	X	Y	Z	Tipo de Movimiento 1	Referencia	Nivel de Humedad	Causas del Movimiento	Cobertura Vegetal	Uso de suelo
WPON003	781679	9991580	2601	Flujo	zona de relleno, limt. Occidental barrio	muy húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	vegetación herbácea	camino alcantarillado
WPON004	782664	9992010	2514	Flujo	entre ribera del río y lote 31	húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	vegetación herbácea, matorrales	otros (ninguno)
WPON006	782828	9991920	2535	Flujo	zona de relleno casa comunal	húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON007	782843	9991920	2535	Flujo	zona de relleno casa comunal	húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON008	782803	9992010	2508	Flujo	zona de relleno entre lote 35-38	muy húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	vegetación herbácea, matorrales	otros (ninguno)
WPON010	782818	9992020	2499	Flujo	zona de relleno entre lotes 35-38 y la ribera del río	húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON015	782832	9992030	2502	Flujo	entre ribera del río Pusuquí y lote 38	húmedo	erosión superficial, socavación al pie del talud, llluvias	matorrales, vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON018	783153	9992010	2498	Flujo	zona de relleno entre lotes 44-45	muy húmedo	erosión superficial, llluvias	cultivos	agrícola
WPON021	783156	9992010	2499	Flujo	zona de relleno entre lotes 44-45	muy húmedo	erosión superficial, llluvias	cultivos	agrícola
WPON030	783161	9992010	2497	Flujo	zona de relleno en lote 45	muy húmedo	erosión superficial, llluvias	cultivos	agrícola
WPON031	783161	9992000	2499	Flujo	zona de relleno en lote 45	muy húmedo	erosión superficial, llluvias	cultivos	agrícola
WPON059	783165	9992010	2496	Flujo	zona de relleno en lote 45	muy húmedo	erosión superficial, llluvias	cultivos	agrícola
WPON060	783202	9991990	2507	Flujo	lote 46	húmedo	erosión superficial, material meteorizado, llluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON061	783296	9992000	2510	Flujo	lote 49, vía alcantarillado	seco	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	sin cobertura	vías
WPON062	783331	9992060	2500	Flujo	entre lote 50 y ribera del río Pusuquí	húmedo	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON063	783358	9992110	2485	Flujo	ribera del río Pusuquí y margen izq Qda. Almeida	muy húmedo	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON064	783389	9992040	2506	Flujo	lote 50	seco	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	sin cobertura	otros (ninguno)
WPON065	783425	9992190	2493	Flujo	margen derecho derecho del río Monjas	seco	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	sin cobertura	otros (ninguno)
WPON066	783426	9992200	2493	Flujo	margen derecho derecho del río Monjas	humedo	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON067	783431	9992210	2493	Flujo	margen derecho derecho del río Monjas	seco	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	sin cobertura	otros (ninguno)
WPON068	783432	9992000	2496	Flujo	margen izq. Qda. Almeida	húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON069	783438	9991990	2494	Flujo	margen izq. Qda. Almeida	húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON070	783461	9992010	2481	Flujo	margen derecho Qda. Almeida	seco	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	sin cobertura	otros (ninguno)
WPON071	783485	9992000	2500	Flujo	margen derecho Qda. Almeida	seco	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , llluvias	sin cobertura	otros (ninguno)

Tabla 4.3 Continuación

ID	X	Y	Z	Tipo de Movimiento 1	Referencia	Nivel de Humedad	Causas del Movimiento	Cobertura Vegetal	Uso de suelo
WPON072	783494	9991990	2496	Flujo	margen izq Qda. SN	seco	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , lluvias	sin cobertura	otros (ninguno)
WPON073	783542	9992030	2481	Flujo	margen derecho Qda. SN	seco	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , lluvias	sin cobertura	otros (ninguno)
WPON074	783417	9991950	2510	Flujo	entre lote 51 y Qda. Almeida	seco	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , lluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON075	783431	9991930	2500	Flujo	entre lote 51 y Qda. Almeida	muy húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , lluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON076	783412	9991920	2505	Flujo	entre lote 51 y Qda. Almeida	muy húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , lluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON077	783417	9991880	2499	Flujo	margen izq. Qda. Almeida	húmedo	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON078	783363	9991910	2520	Flujo	vía alcantarillado	húmedo	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	vegetación herbácea	vías
WPON079	783354	9991860	2530	Flujo	entre vía alcantarillado y vía principal	muy húmedo	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	vegetación herbácea	vías
WPON080	783377	9991770	2514	Flujo	margen izq. Qda. Almeida	húmedo	erosión superficial, material meteorizado, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje , lluvias	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON081	783245	9991720	2562	Flujo	vía principal	seco	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	vegetación herbácea	otros (ninguno)
WPON082	783217	9991660	2565	Flujo	vía principal	seco	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	sin cobertura	vías
WPON083	783129	9991570	2574	Flujo	vía principal	seco	mantenimiento deficiente del sistema de drenaje, erosión superficial, material fisurado o agrietado	sin cobertura	vías

En la fotografía 4.3 se presenta dos FRM tipo flujo representativos del área de estudio.



Fotografía 4.3 FRM tipo Flujo

## 4.2 Mapa Geológico

El levantamiento de campo realizado para elaborar el mapa geológico se efectuó entre el 24 y 30 de enero de 2017. El reconocimiento de las principales unidades litológicas se realizó junto con el ingeniero Bernardo Beate y la colaboración de la estudiante Lorena Merino el 17 de diciembre de 2016.

Durante el recorrido de campo se determinó que muchos de los afloramientos expuestos en el área de estudio se encontraban perturbados, lo que dificultó la selección de afloramientos para la realización de las diferentes columnas estratigráficas. Se identificaron tres puntos donde se encuentran expuestos los mejores cortes y en los que se elaboraron las columnas estratigráficas. Las coordenadas de estos puntos se presentan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Coordenadas Columnas Estratigráficas

X (ESTE)	Y (SUR)
783323	9991940
783414	9992180
781948	9991990

En las columnas estratigráficas se identificaron los estratos de ceniza y pómez (LW001, LW002, LW003, LW004, LW005 y LW006) que sirvieron como capas guías y nos permitieron correlacionar los diferentes afloramientos presentes en el área de estudio.

Como resultado de este trabajo y las descripciones petrográficas de los distintos depósitos se obtuvo la columna estratigráfica generalizada, y un adecuado criterio de selección de las unidades litológicas con las que se elaboró el mapa geológico del área de estudio.

Las unidades litológicas fueron agrupadas en base a su origen, ubicación, estratigrafía y posible comportamiento frente a un FRM, determinándose así, 5 unidades litológicas definidas como: Flujos Piroclástico – Tefras (Fpt), Flujo Piroclásticos Dacíticos (Fpd), Depósitos Aluviales (Alv), Depósitos Coluviales (Cv) y Zonas de Relleno (Zre).

En las figuras 4.2 y 4.3 se presentan la columna estratigráfica generalizada y mapa geológico del área de estudio respectivamente.



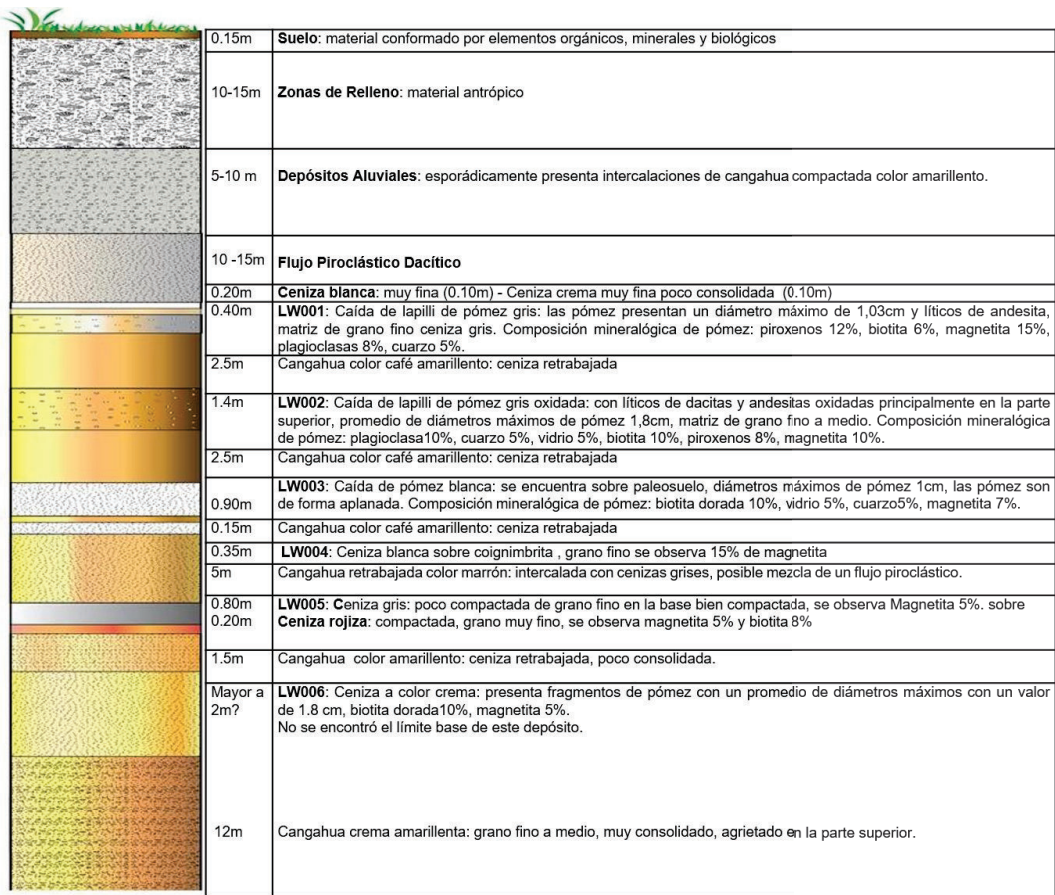


Figura 4.2 Columna Estratigráfica Generalizada del Área de Estudio. Fuente: modificado de (Merino & Ormazá, 2017 in press)

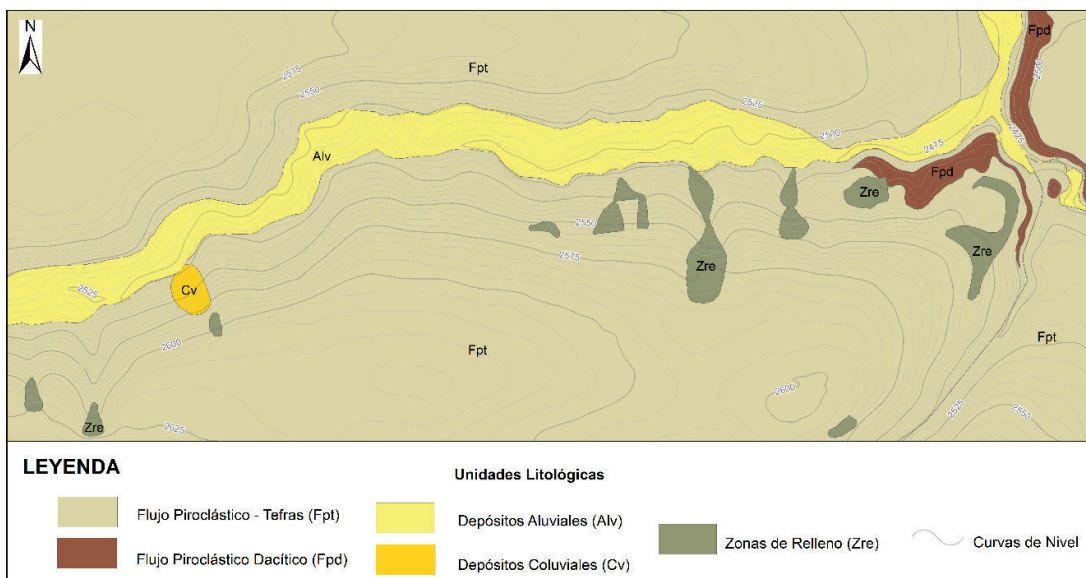


Figura 4.3 Mapa Geológico del Área de Estudio

El Mapa Geológico a escala 1:5.000 se presenta en el anexo 2.

Como podemos observar en la figura 4.3 la mayor parte el área de estudio está formada por flujos piroclásticos (Fpt y Fpd) provenientes de los centros volcánicos Pululahuá, Casitahuá y Pichincha constituyendo aproximadamente el 88% del área total, los depósitos aluviales componen el 10%, las zonas de relleno el 2% y los depósitos coluviales representan menos del 1%.

#### 4.2.1 Flujo Piroclástico - Tefras (Fpt)

Esta unidad está formada por intercalaciones de tobas retrabajadas (cangahua) color café amarillento y tefras (caídas de lapilli) con líticos de pómez oxidada, pómez con biotita y andesitas, su espesor varía entre 30 – 35 metros. La descripción a detalle de esta unidad fue realizada por (Merino & Ormazá, 2017 in press) y se muestra en la columna estratigráfica de la figura 4.4 junto con la fotografía del corte de la ladera donde se levantó esta columna.

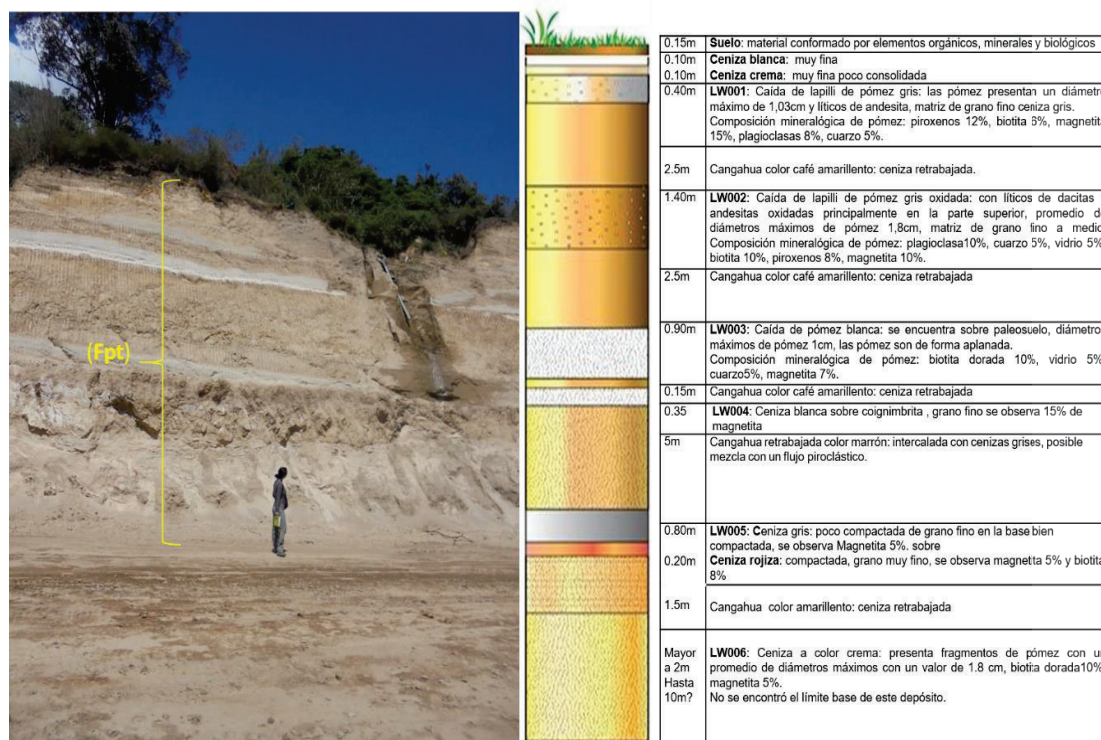


Figura 4.4 Flujo Piroclásticos – Tefras y su Columna Estratigráfica

El talud que se muestra en la figura 4.4 fue realizado como parte de los trabajos del proyecto de Prolongación de la Av. Simón Bolívar, Tramo 2 (Tajamar – Pusuquí) que conecta la Escuela de Policía "Gral. Alberto Enríquez Gallo" con la Urbanización Tajamar y que actualmente se construye al margen izquierdo del Río Pusuquí.

#### 4.2.2 Flujo Piroclástico Dacítico (Fpd)

Flujo Piroclástico matriz soportado de ceniza y arena volcánica color gris con clastos dacíticos (50%), andesíticos (10%) subangulares y pómez subredondeada (35%). Su espesor varía entre 10 y 15 metros, se caracteriza por ser el material más deleznable del área de estudio, mostrando grietas métricas y pendientes de subverticales a verticales.



Fotografía 4.4 Depósitos de Flujo Piroclásticos Dacítico. A) Antigua cantera ubicada al margen izquierdo de la Qda. Almeida. B) Casa sobre ladera perpendicular ubicada al margen derecho de la Qda. Almeida

#### 4.2.3 Depósitos Aluviales (Alv)

Esta unidad está formada por antiguas terrazas aluviales y actuales meandros del Río Pusuquí. Depósito clasto soportado con bloques subredondeados a redondeados mayormente de composición andesítica de entre 0.3-1.5 metros de diámetro, en una matriz de arena fina a media. Su espesor varía entre pocos metros y 10 metros.





Fotografía 4.5 Depósitos Aluviales. A) Antiguas terrazas aluviales formadas por la incisión del Río Pusuquí. B) Intercalaciones de depósitos aluviales y caídas de ceniza (tobas).

#### 4.2.4 Depósitos Coluviales (Cv)

Material retrabajado, presenta una superficie irregular y ondulada, matriz soportado de grano fino (limo) y material orgánico, polimítico con fragmentos subredondeados y subangulares de andesitas, dacitas y en menor porcentaje pómez oxidada.



Fotografía 4.6. A) Único depósito coluvial reconocido en el área de estudio. B) Bloque redondeado, matriz soportado con pequeños líticos de andesita, dacita y pómez.

#### 4.2.5 Zonas de Relleno (Zre)

Zonas formadas por una matriz de ceniza retrabajada color café claro a crema junto con material de origen antrópico (fundas plásticas, envases, cerámica y escombros), fragmentos subangulares de composición andesítica y en menor cantidad fragmentos redondeados de pómez oxidada. Su espesor varía entre pocos metros y hasta 15 metros.



Fotografía 4.7. A) Zona de relleno ubicada en el camino del alcantarillado del AID. B) Zona en proceso de relleno al borde de la Qda. Almeida

### 4.3 Mapa Geomorfológico

El área presenta una morfología variada, en las partes más altas predomina un relieve colinado que se muestra alternado por zonas con orografía abrupta donde los cauces están muy encajados. Las unidades geomorfológicas fueron agrupadas y delimitadas en base a los trabajos realizados por (Equipo de Cartografía Temática -SIGTIERRAS, 2016) y (FUNEPSA CÍA. LTDA., 2015).

En la figura 4.5 se presenta el mapa geomorfológico del área de estudio.

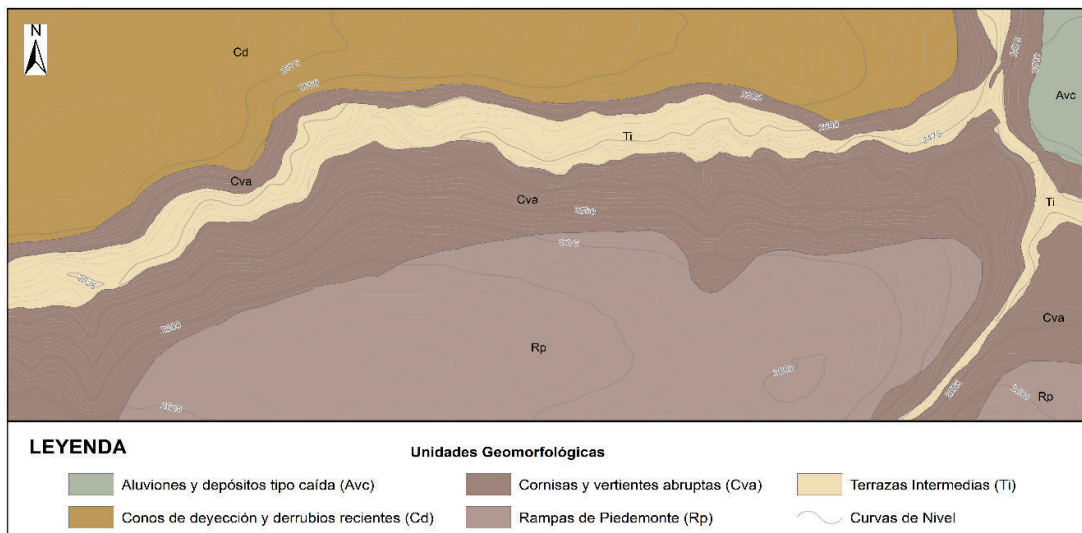


Figura 4.5 Mapa Geomorfológico del Área de Estudio

Se identificó 6 unidades geomorfológicas definidas como Terrazas Intermedias (Ti), Conos de deyección y derrubios recientes (Cd), Aluviones y depósitos tipo caída (Avc), Rampas de Piedemonte (Rp) y Cornisas y vertientes abruptas (Cva).

El Mapa Geomorfológico a escala 1:5.000 se presenta en el anexo 3.

#### **4.3.1 Terrazas Intermedias (Ti)**

Niveles de terrazas intermedias indiferenciadas con pendientes suaves de 1° - 2° y desniveles de entre 0 - 5 metros. Presenta clastos subredondeados a redondeados de diferente composición.

#### **4.3.2 Conos de deyección y derrubios recientes (Cd)**

Conglomerados y aluviones meteorizados, lahares y flujos de lodo indiferenciados, conos de deyección, conos de derrubios recientes localmente con huellas de divagación, superficies onduladas casi horizontales con pendientes entre 3°-14°.

#### **4.3.3 Aluviones y depósitos tipo caída (Avc)**

Presenta formaciones superficiales de aluviones limo – arcillosos a limo – arenosos, depósitos de ceniza y lapilli, su forma de relieve es de antiguas cuencas lacustres colmatadas, presenta superficies planas, ocasionalmente cortadas por drenajes recientes e inclinados localmente por la tectónica local.

#### **4.3.4 Rampas de Piedemonte (Rp)**

Flujos piroclásticos indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitahua y Pichincha Rampas de piedemonte, a manera de extensos espaciamentos de cenizas volcánicas, superficies estructurales de disección plana a moderada como niveles escalonados por la tectónica local, con pendientes entre 22-35°

#### **4.3.5 Cornisas y vertientes abruptas (Cva)**

Flujos piroclásticos indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitahua y Pichincha Cornisas y vertientes abruptas, laderas y cañones o gargantas profundas de las quebradas y ríos, vertientes rectilíneas de fuerte pendiente >35°.

#### 4.4 Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo

En el área de estudio sobresale el suelo destinado a actividades antrópicas el cual representa aproximadamente el 55% del total del área, se distingue también el área de conservación del margen del Río Pusuquí que en su mayoría lo forman arbustos de mediano tamaño. Además, en el recorrido se observó áreas con árboles que han sido plantados y luego talados; la construcción inicial de una nueva vía en las proximidades del Río Pusuquí ha modificado el paisaje además de disminuir las áreas destinadas a la agricultura. El cultivo principal es el maíz, pequeñas parcelas de este producto se siembran para consumo local.

También existe un mosaico de cultivos de frutales como el tomate y aguacate; en menor cantidad hortalizas. La presencia de pasto ha dado lugar a la ganadería, el cual representa aproximadamente el 6% del total del área de estudio, razón por la cual en el Barrio Atacaba se observan corrales y criaderos de ganado vacuno, porcino y aves.

La leyenda temática que se presenta en la tabla 4.5 nos muestra una descripción de las diferentes unidades que se presentarán en el mapa de cobertura y uso de suelo.

Tabla 4.5 Leyenda temática, Mapa Cobertura y Uso de Suelo

<b>Términos de la leyenda</b>	<b>Descripción</b>
Área poblada	Asentamiento humano y la infraestructura que lo complementa
Bosque plantado	Masa arbórea establecida antrópicamente con una o más especies forestales.
Cultivo anual	Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año
Bosque intervenido	Formación boscosa con un nivel de intervención mayor al 40%, especialmente por la tala de muchas especies maderables.
Pasto cultivado	Vegetación herbácea dominada por gramíneas introducidas, utilizadas con fines pecuarios

Tabla 4.5 Continuación

Vegetación Arbustiva	Áreas naturales caracterizadas por su heterogeneidad florística y su diversidad estructural, protectoras del suelo, agua, flora y fauna
Área en proceso de erosión	Áreas sin cobertura vegetal, erosionadas por procesos naturales o de origen antrópico
Cuerpo de agua	Área que se encuentra cubierta o saturada de agua estática o en movimiento, natural o artificial

En la figura 4.6 se presenta el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del área de estudio.

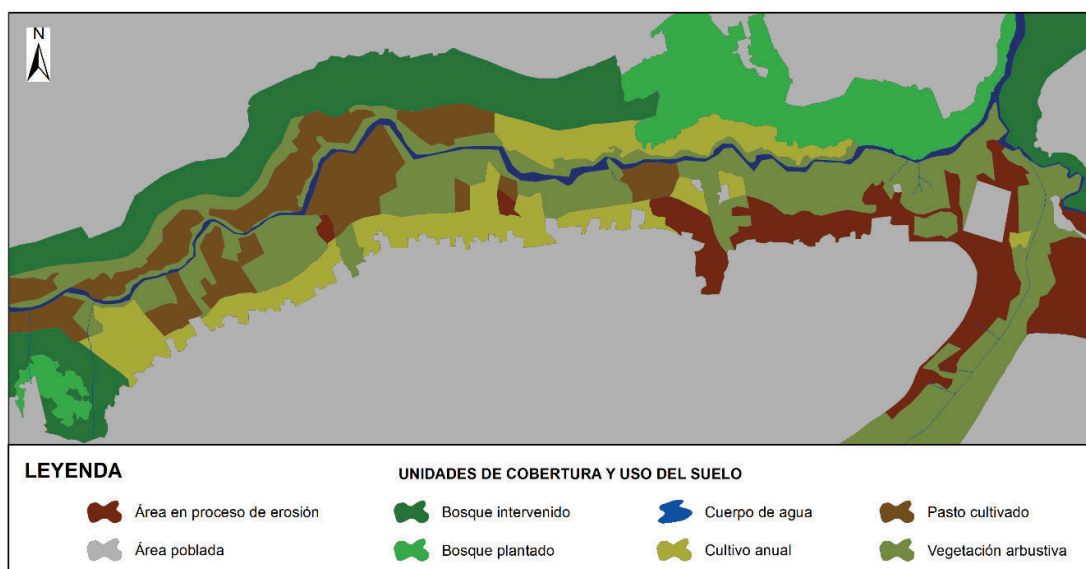


Figura 4.6 Mapa de Cobertura y Uso de Suelo del Área de Estudio

El Mapa de Cobertura y Uso de Suelo a escala 1:5.000 se presenta en el anexo 4.

#### 4.5 Mapa de Pendientes

Los intervalos establecidos para la clasificación de las pendientes fueron designados en base al Mapa Geomorfológico y trabajos previos de susceptibilidad por FRM en zonas con relieves similares. Para ello se comparó la selección de intervalos de pendientes utilizado en los siguientes trabajos: (INIGEMM, 2013), (Aricochea, 2016) y (Jiménez & Reyes, 2014).



En la tabla 4.6 se muestra los diferentes rangos e intervalos de pendientes escogidos para el presente estudio y sus respectivas áreas en metros cuadrados.

Tabla 4.6 Rangos del Mapa de Pendientes

Rangos	Intervalo	Área (m2)
I	0° – 8°	703271
II	9° – 16°	310415
III	17° – 30°	426539
IV	31° – 50°	221162
V	> 50°	9601.91

En la figura 4.7 se presenta el mapa de pendientes del área de estudio y con borde blanco el AID.

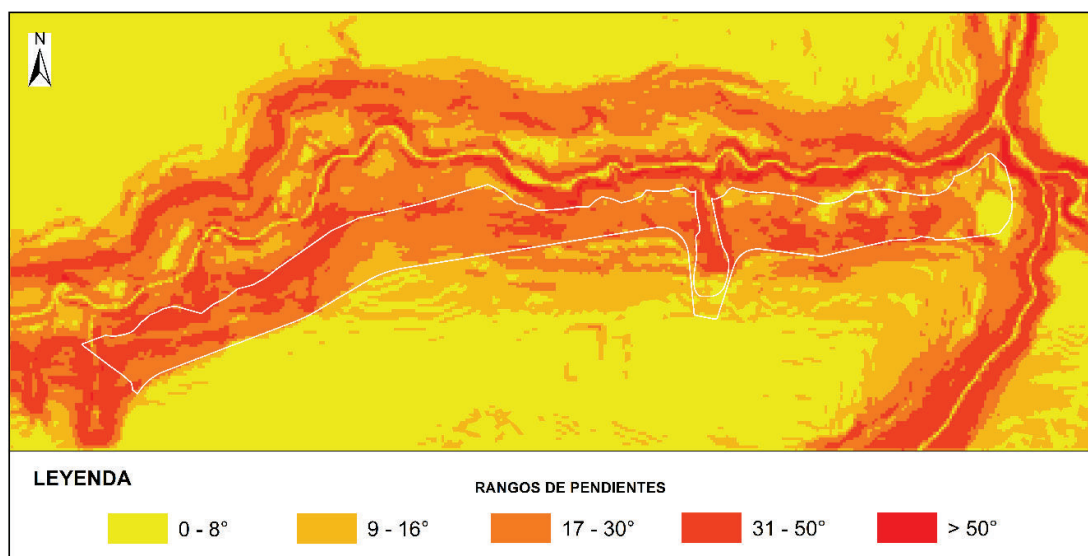


Figura 4.7 Mapa de Pendientes del Área de Estudio

El Mapa de Pendientes a escala 1:5.000 se presenta en el anexo 5.

En el área de estudio predominan las pendientes muy suaves (0° – 8°) y suaves (9° - 16°) con el 61% del área total y corresponde a las zonas donde se encuentran situados los Barrios Carcelén Bajo, CD. Alisos, Pusuquí, Lirios de Carcelén. Las pendientes moderadas (17° – 30°), fuertes (31° – 50°) y muy fuertes (>50°) representan el 39% del área de estudio situándose a un rango promedio de 180 metros tanto al margen derecho como izquierdo del Río Pusuquí y de las principales quebradas.

#### 4.51 Mapa de Pendientes del AID

En la figura 4.8 se presenta el mapa de pendientes del AID y con borde blanco se resalta las Zonas de Relleno.

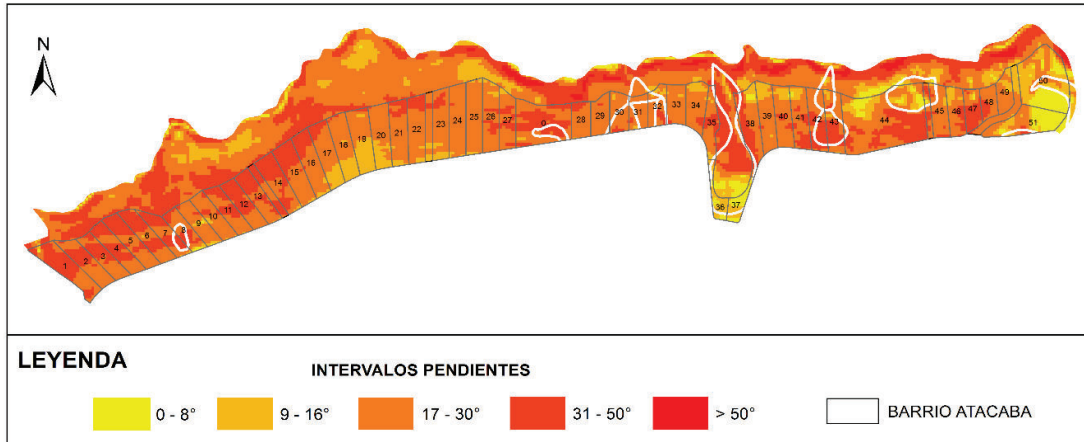


Figura 4.8 Mapa de Pendientes del Área de Influencia Directa

En el AID predominan las pendientes moderadas ( $17^\circ - 30^\circ$ ) con el 54%, en estas zonas se localizan las viviendas del Barrio Atacaba y representa la mayor parte de los Lotes (9, 10, 15-26, 28-34, 36, 37, 39, 40, 45, 49-51). Las pendientes fuertes ( $31^\circ - 50^\circ$ ) constituyen el 29% del AID y coinciden en gran parte con las zonas de relleno representadas en el mapa de la figura 4.15 con color blanco y componen parte importante de los Lotes (1-8, 11-14, 26, 27, 35, 38, 41-48). Las pendientes muy fuertes ( $> 50^\circ$ ) conforman el 1% del AID y se presentan en las laderas subverticales desarrolladas por la incisión del Río Pusuquí.

#### 4.6 Mapa de Susceptibilidad del Área de Estudio

##### 4.6.1 Peso (W) para cada Factor

Siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo anterior se obtuvieron las valoraciones del Peso (W) para cada uno de los mapas de factores en función del tipo de FRM presente en cada una de sus unidades.

En las tablas 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 se presentan estos resultados y se resalta en negrillas los valores obtenidos del Peso (W).

Tabla 4.7 Pesos (W) del Factor Litológico

1	2	3	4	5	6	7	Superficie acumulada de FRM en (m2) de cada unidad			Susceptibilidad de las Unidades Litológicas a los FRM		
							8	9	10	11=8/2*100	12=9/2*100	12=10/2*100
Unidades Litológicas	Superficie UCP	% Superficie UCP	Frecuencia Caída	Frecuencia Deslizamiento Rotacional	Frecuencia Flujo	# de Ocurrencias	Fenomenos de Remocion en Masa					
							Caida	Deslizamiento Rotacional	Flujos	Caida	Deslizamiento Rotacional	Flujos
Flujo Piroclásticos - Tefras	1427970.00	85.46	19	24	23	66	842.75	2099.73	810.75	0.06	0.15	0.06
Depósitos Coluviales	5069.76	0.30	0	1	0	1	0.00	12.46	0.00	0.00	0.25	0.00
Zonas de Relleno	39308.50	2.35	4	3	15	22	63.29	169.34	687.50	0.16	0.43	1.75
Depósitos Aluviales	170356.00	10.19	0	2	1	3	0.00	460.95	1.38	0.00	0.27	0.00
Flujo Piroclástico Dacítico	28271.80	1.69	1	7	14	22	3.32	1146.67	876.61	0.01	4.06	3.10
TOTAL	1670976.06	100.00	24	37	53	114	909.36	3889.15	2376.25			

Tabla 4.8 Pesos (W) del Factor Geomorfológico

1	2	3	4	5	6	7	Superficie acumulada de FRM (m2) en cada unidad			Susceptibilidad de las Unidades Geomorfológicas a los FRM		
							8	9	10	11=2/8*100	12=2/9*100	12=2/10*100
Unidades Geomorfológicas	Superficie UCP	% Superficie UCP	Frecuencia Caída	Frecuencia Deslizamiento Rotacional	Frecuencia Flujo	# de Ocurrencias	Fenomenos de Remocion en Masa					
							Caida	Deslizamiento Rotacional	Flujos	Caida	Deslizamiento Rotacional	Flujos
Terrazas Intermedias	112977	6.76	1	3	3	7	243.16	276.42	152.43	0.22	0.24	0.13
Conos de deyección y derrubios recientes	474505	28.40	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aluviones y depósitos tipo caída	31279.9	1.87	0	0	2	2	0.00	0.00	45.82	0.00	0.00	0.15
Cornisas y vertientes abruptas	572988	34.29	17	24	33	74	605.41	3116.11	1854.97	0.11	0.54	0.32
Rampas de Piedemonte	479240	28.68	2	2	4	8	60.79	496.62	328.41	0.01	0.10	0.07
TOTAL	1670989.9	100	20	29	42	91	909.36	3889.15	2381.62			

Tabla 4.9 Pesos (W) del Factor Uso y Cobertura de Suelo

1	2	3	4	5	6	7	Superficie acumulada de FRM en (m2) de cada unidad			Susceptibilidad de las Unidades de Cobertura y Uso de Suelo		
							8	9	10	11=8/2*100	12=9/2*100	12=10/2*100
Unidades Cobertura y Uso de Suelo	Superficie UCP	% Superficie UCP	Frecuencia Caída	Frecuencia Deslizamiento Rotacional	Frecuencia Flujo	# de Ocurrencias	Fenomenos de Remocion en Masa					
							Caida	Deslizamiento Rotacional	Flujos	Caida	Deslizamiento Rotacional	Flujos
Área poblada	914237.00	54.65	1	3	10	14	18.28	45.66	198.27	0.00	0.00	0.02
Bosque plantado	99929.10	5.97	1	1	0	2	35.48	47.96	0.00	0.04	0.05	0.00
Cultivo anual	94384.90	5.64	7	3	3	13	281.94	81.81	106.19	0.30	0.09	0.11
Bosque intervenido	157014.00	9.39	3	1	5	9	311.29	1019.97	459.96	0.20	0.65	0.29
Cuerpo de agua	20352.20	1.22	0	0	1	1	0.00	0.00	1.38	0.00	0.00	0.01
Pasto cultivado	93887.40	5.61	1	3	0	4	29.79	160.69	0.00	0.03	0.17	0.00
Vegetación arbustiva	210515.00	12.58	8	14	19	41	134.12	1664.30	791.38	0.06	0.79	0.38
Área en proceso de erosión	82697.80	4.94	4	12	16	32	98.46	868.76	820.62	0.12	1.05	0.99
TOTAL	1673017.40	100	25	37	54	116	909.36	3889.15	2377.82			

Tabla 4.10 Pesos (W) del Factor Pendiente

1	2	3	4	5	6	7	Superficie acumulada de FRM en (m2) de cada unidad			Susceptibilidad de los Intervalos de Pendientes		
							8	9	10	11=8/2*100	12=9/2*100	12=10/2*100
Intervalos de Pendientes	Superficie UCP	% Superficie UCP	Frecuencia Caída	Frecuencia Deslizamiento Rotacional	Frecuencia Flujo	# de Ocurrencias	Fenomenos de Remocion en Masa					
							Caída	Deslizamiento Rotacional	Flujos	Caída	Deslizamiento Rotacional	Flujos
0-8°	703271	42.09	2	4	5	11	7.70	211.53	47.11	0.00	0.03	0.01
9-16°	310415	18.58	2	8	16	26	53.10	447.69	407.23	0.02	0.14	0.13
17-30°	426539	25.53	12	19	27	58	210.97	1482.51	1205.86	0.05	0.35	0.28
31-50°	221162	13.24	14	18	24	56	589.53	1706.09	629.83	0.27	0.77	0.28
>50°	9601.91	0.57	4	2	3	9	48.06	41.34	86.22	0.50	0.43	0.90
TOTAL	1670988.91	100	34	51	75	160	909.36	3889.15	2376.25			

#### 4.6.2 Selección de rangos para el Peso (W)

La selección de los rangos del Peso (W) se realizó con la asesoría del Ing. Juan Reina, quien colaboró en el trabajo de ensayos metodológicos para la zonificación de la susceptibilidad por FRM, zona de Riobamba (INIGEMM, 2013).

En la figura 4.9 se muestra el diagrama de dispersión que contiene los 69 resultados obtenidos en el cálculo del Peso (W) y donde se distinguen dos grupos de puntos de color rojo; los primeros señalan los valores iguales o cercanos a cero, mientras que el segundo grupo muestra aquellos valores altos que se alejan considerablemente del resto.

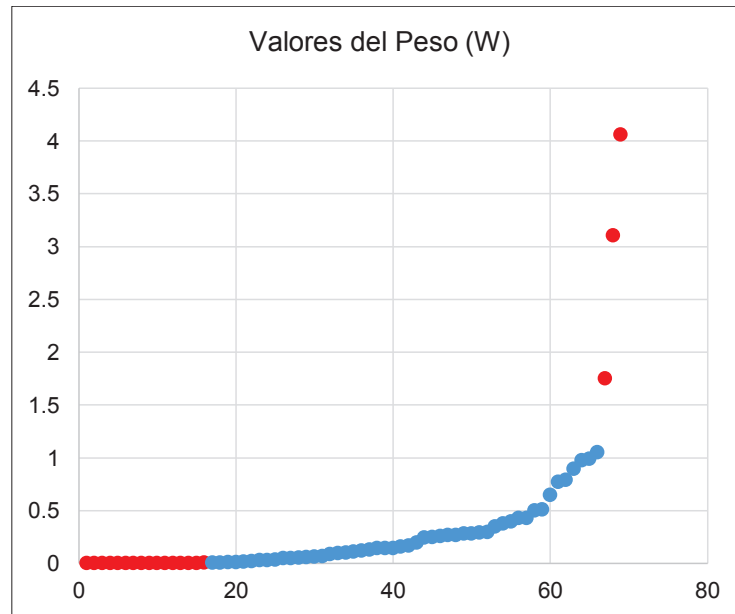


Figura 4.9 Diagrama de Dispersión del Peso (W)

Este conjunto de puntos señalados con rojo se asignan de forma directa a los rangos de susceptibilidad nula o muy baja y alta o muy alta respectivamente.

La selección de los intervalos se realizó en base a la ecuación 3.2 expuesta en el capítulo anterior. Es importante señalar que para alcanzar los resultados que se muestran en la tabla 4.11 se realizaron varios ensayos agrupando los valores del Peso (W) de diversas formas hasta finalmente obtener la mínima suma de sus desviaciones al cuadrado para cada uno de los rangos escogidos.

Tabla 4.11 Selección de los Intervalos para el Peso (W)

1			2			3			4			5			6		
VALORES	V - X	(V - X) <sup>2</sup>	VALORES	V - X	(V - X) <sup>2</sup>	VALORES	V - X	(V - X) <sup>2</sup>	VALORES	V - X	(V - X) <sup>2</sup>	VALORES	V - X	(V - X) <sup>2</sup>	VALORES	V - X	(V - X) <sup>2</sup>
0.00	-0.04	0.00	0.15	-0.09	0.01	0.32	-0.10	0.01	0.65	-0.17	0.03	1.05	-0.35	0.12	3.10	-0.48	0.23
0.00	-0.04	0.00	0.15	-0.09	0.01	0.35	-0.05	0.00	0.77	-0.05	0.00	1.75	0.35	0.12	4.06	0.48	0.23
0.00	-0.04	0.00	0.16	-0.07	0.01	0.38	-0.02	0.00	0.79	-0.03	0.00						
0.00	-0.04	0.00	0.17	-0.06	0.00	0.43	0.03	0.00	0.90	0.08	0.01						
0.00	-0.04	0.00	0.20	-0.04	0.00	0.43	0.03	0.00	0.99	0.17	0.03						
0.00	-0.04	0.00	0.25	0.01	0.00	0.50	0.10	0.01									
0.00	-0.04	0.00	0.25	0.01	0.00	0.54	0.15	0.02									
0.00	-0.04	0.00	0.26	0.03	0.00												
0.00	-0.04	0.00	0.27	0.03	0.00												
0.00	-0.04	0.00	0.27	0.04	0.00												
0.00	-0.04	0.00	0.28	0.05	0.00												
0.00	-0.04	0.00	0.28	0.05	0.00												
0.00	-0.04	0.00	0.29	0.06	0.00												
0.00	-0.04	0.00	0.30	0.06	0.00												
0.00	-0.04	0.00															
0.00	-0.03	0.00															
0.01	-0.03	0.00															
0.01	-0.03	0.00															
0.01	-0.03	0.00															
0.01	-0.02	0.00															
0.02	-0.02	0.00															
0.02	-0.02	0.00															
0.03	-0.01	0.00															
0.03	-0.01	0.00															
0.04	0.00	0.00															
0.05	0.01	0.00															
0.05	0.01	0.00															
0.06	0.02	0.00															
0.06	0.02	0.00															
0.06	0.03	0.00															
0.07	0.03	0.00															
0.09	0.05	0.00															
0.10	0.07	0.00															
0.11	0.07	0.00															
0.11	0.07	0.01															
0.12	0.08	0.01															
0.13	0.09	0.01															
0.13	0.10	0.01															
0.14	0.11	0.01															
<b>SUMA</b>	1.47		<b>SUMA</b>	3.28		<b>SUMA</b>	2.95		<b>SUMA</b>	4.10		<b>SUMA</b>	2.80		<b>SUMA</b>	7.16	
<b>X1</b>	0.04		<b>X2</b>	0.23		<b>X3</b>	0.42		<b>X4</b>	0.82		<b>X5</b>	1.40		<b>X6</b>	3.58	
<b>Q1</b>	0.05		<b>Q2</b>	0.04		<b>Q3</b>	0.05		<b>Q4</b>	0.07		<b>Q5</b>	0.24		<b>Q6</b>	0.46	
<b>Q</b>	0.91																

Tabla 4.12 Rangos del Peso (W) y su Grado de Susceptibilidad

RANGOS DEL PESO (W)		GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	
< 0.15		1	Nula o muy baja
0.15	0.30	2	Baja
0.31	0.60	3	Media Baja
0.61	0.99	4	Media Alta
1.00	2.00	5	Alta
> 2		6	Muy Alta

De acuerdo a los intervalos expuestos en la tabla 4.12 se clasificó los valores del Peso (W) en su respectivo grado de susceptibilidad como se muestra es la tabla 4.13.

Tabla 4.13 Valoración de la Susceptibilidad para las UCP

		Caida	Deslizamiento Rotacional	Flujos	Valor de Susceptibilidad		
Unidades Litológicas	Flujo Piroclásticos - Tefras	0.06	0.15	0.06	1	1	1
	Depósitos Coluviales	0.00	0.25	0.00	1	2	1
	Zona de Relleno	0.16	0.43	1.75	2	3	5
	Depósitos Aluviales	0.00	0.27	0.00	1	2	1
	Flujo Piroclástico Dacítico	0.01	4.06	3.10	1	6	6
Unidades Geomorfológicas	Terrazas Intermedias	0.22	0.24	0.13	2	2	1
	Conos de deyección y derrubios recientes	0.00	0.00	0.00	1	1	1
	Aluviones y depósitos tipo caída	0.00	0.00	0.15	1	1	2
	Cornisas y vertientes abruptas	0.11	0.54	0.32	1	3	3
	Rampas de Piedemonte	0.01	0.10	0.07	1	1	1
Unidades de Cobertura y Uso de Suelo	Área poblada	0.00	0.00	0.02	1	1	1
	Bosque plantado	0.04	0.05	0.00	1	1	1
	Cultivo anual	0.30	0.09	0.11	2	1	1
	Bosque intervenido	0.20	0.65	0.29	2	4	2
	Cuerpo de agua	0.00	0.00	0.01	1	1	1
	Pasto cultivado	0.03	0.17	0.00	1	2	1
	Vegetación arbustiva	0.06	0.79	0.38	1	4	3
Área en proceso de erosión	0.12	1.05	0.99	1	5	4	
Unidades de Pendiente	0-8°	0.00	0.03	0.01	1	1	1
	9-16°	0.02	0.14	0.13	1	1	1
	17-30°	0.05	0.35	0.28	1	2	2
	31-50°	0.27	0.77	0.28	2	4	2
	>50°	0.50	0.43	0.90	3	3	4

### 4.6.3 Mapa de Susceptibilidad

En la figura 4.10 se presenta el mapa de susceptibilidad del área de estudio que se obtuvo como resultado de la aplicación del método estadístico univariado. En la figura se señala con blanco el IMM.

El mapa de susceptibilidad por FRM presenta un diagnóstico de las propiedades del terreno y muestra que tan favorables o desfavorables son las condiciones del mismo para que pueda ocurrir un FRM. Indica el grado de susceptibilidad que presenta el área de estudio frente a los diferentes tipos de FRM, teniendo en cuenta los factores intrínsecos evaluados en el terreno.

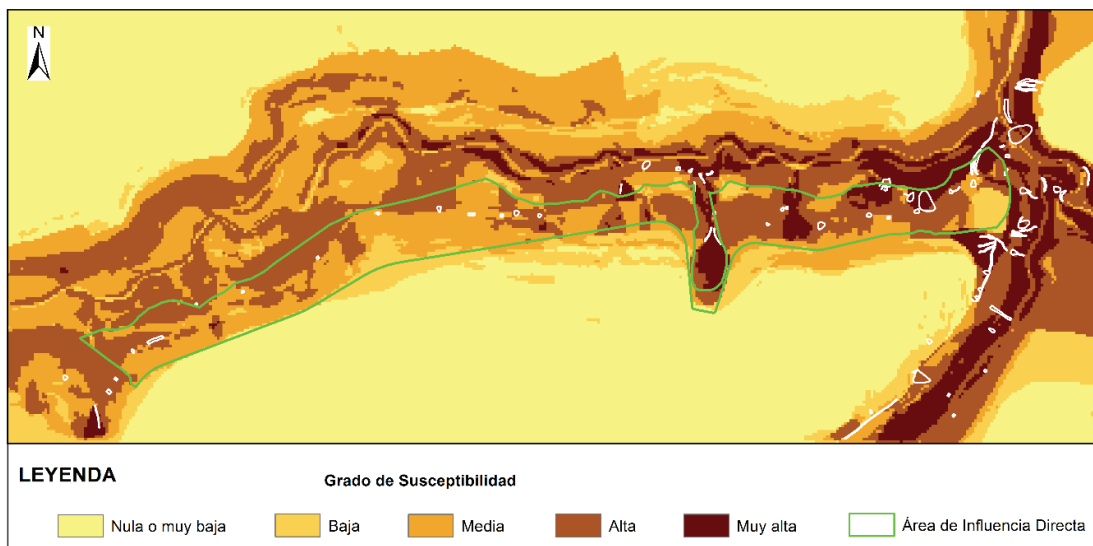


Figura 4.10 Mapa de Susceptibilidad del Área de Estudio

El Mapa de Susceptibilidad a escala 1:5.000 se presenta en el anexo 6.

## **CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **5.1 Factores que intervienen en la formación de FRM**

Los fenómenos de remoción de masa (FRM), o movimientos en masa (MM), son un fenómeno geohidrometeorológico, cuyo movimiento de roca, tierra y detritos ladera abajo, se produce cuando los esfuerzos de corte sobrepasan a los esfuerzos de resistencia, Es decir, cuando la resistencia al corte de los materiales se ve superada por esfuerzos cortantes que desestabilizan las laderas o taludes (sismos, lluvias intensas, etc.) permitiendo que se detone el movimiento en masa.

El mapa de susceptibilidad por FRM nos muestra una valoración del estado actual de los factores inherentes o intrínsecos del terreno (geología, geomorfología, pendientes, cobertura y uso del suelo, etc.), tomando en consideración factores que disminuyen la resistencia al corte (presión de agua, grado de meteorización, cambio de uso de suelo, deforestación, erosión al pie del talud, etc.).

El análisis de estos factores se determina en función de la información obtenida del Mapa de IMM. En el cual se identificó que UCP son más susceptibles a generar FRM y cuáles de los factores que disminuyen la resistencia al corte están desestabilizando las laderas del área de estudio.

#### **5.1.1 Factores Inherentes**

##### **Factor Geológico**

Las unidades litológicas en las que se identificó la mayor cantidad de FRM fueron los flujos piroclásticos (Fpt y Fpd) y las zonas de relleno (Zre). En el Fpt se identificaron el 57.89% del total de FRM inventariados y el 19.30% tanto en el Fpd y la Zre.

Estas unidades se caracterizan por ser fácilmente erosionables ya que debido a su naturaleza no son lo suficientemente consolidadas y al estar formadas por distintos sustratos y componentes manifiestan una naturaleza anisotrópica, lo que permite que cambios en las condiciones físicas como las variaciones de temperatura durante el día y noche o el grado de saturación producto de las lluvias disminuya su resistencia al corte facilitando lentamente la formación de discontinuidades (surcos, grietas, fracturas, etc) y a su vez formando superficies de falla para FRM.



### **Factor Geomorfológico y de Pendientes**

En vista de que los mapas geomorfológicos y de pendientes están ligados entre sí, el análisis de los resultados de estos factores se lo realiza de forma conjunta.

El 81.3% de los FRM inventariados fueron identificados en los flujos piroclásticos presentes en las Cornizas y Vertientes abruptas (Cva), y el 55% se presentan en los rangos de pendientes entre 31-50° y mayores a 50°. Estas unidades presentes tanto en el mapa geomorfológico como en el de pendientes constituyen grandes extensiones terreno con una topografía abrupta, condiciones que incrementan el esfuerzo tangencial (paralelo a la superficie) ejerciendo una fuerza de empuje ladera abajo y facilitando la generación de FRM.

Las unidades geomorfológicas y de pendientes restantes no son proclives a que se desarrollen FRM, no obstante el tipo de material que las conforma (litología), su tipo de cobertura vegetal y la acción antrópica que se desarrolla en ellas ha producido que también se originen este tipo de fenómenos.

### **Factor Cobertura y Uso de Suelo**

En el área de estudio se identificó que el 35.34% de los FRM se presenta en las zonas de vegetación arbustiva, este porcentaje relativamente alto no es acorde a este tipo de cobertura vegetal, ya que estas áreas deberían brindar un mejor sostén al suelo y no ser proclives a la ocurrencia de FRM, pero la presencia de sobrecarga de escombros y basura en la ladera ha contribuido a su formación, fotografía 5.1.



Fotografía 5.1 Sobrecarga en la ladera

El porcentaje restante corresponde a las áreas en proceso de erosión y zonas intervenidas por el hombre, donde la falta de cobertura vegetal aumenta la saturación de los suelos, incrementa la escorrentía superficial, favoreciendo a que se originen FRM.

### **5.1.2 Factores que disminuyen la resistencia al corte**

En el área de estudio se identificaron que los principales factores que disminuyen la resistencia al corte son:

#### **Meteorización**

La meteorización física causada principalmente por la acción del agua sobre los flujos piroclásticos (Fpt y Fpd) y las zonas de relleno, produce que estos se disgreguen, separándolos de su matriz y permitiendo que agentes erosivos remuevan este material formando grietas de hasta 7 metros de profundidad. Esto ha favorecido que se originen FRM tipo flujo por la acumulación de material canalizado en las grietas.



Fotografía 5.2 Meteorización física

#### **Presión de Agua**

La descarga de aguas residuales directamente sobre la ladera y la presencia de cultivos sin un adecuado sistema de riego saturan las laderas, incrementando la presión de poros de sus partículas reduciendo su resistencia al corte.



Fotografía 5.3. A) Descarga de aguas residuales. B) Adaptación de canal para riego

### Cambio de Uso de Suelo

Las principal actividad antrópica que ha modificado el uso de suelo es la deforestación de las especies endémicas para la inserción especies foráneas maderables, con fines agrícolas, o de pastores y para la construcción de obras civiles.



Fotografía 5.4 Imágenes Satelitales del Área de Estudio y del AID en las que se evidencia el cambio de uso de suelo desde marzo de 2003 a septiembre de 2016



La fotografía 5.4 presenta dos imágenes satelitales tomadas de Google Earth Pro. En la primera se resalta con amarillo las principales zonas que han sido alteradas entre marzo de 2003 y septiembre de 2016 producto principalmente de obras civiles y del crecimiento poblacional, además se muestra con una línea roja la vía del alcantarillado en la que se resalta un grupo de casas ubicadas bajo el nivel de recolección de aguas servidas.

### 5.1.3 Factores desencadenantes que aumentan los esfuerzos al cortante

En el área de estudio se identificó que los principales factores desencadenantes son las lluvias, el socavamiento al pie del talud y la sobrecarga en la ladera.

#### Lluvias Intensas

La lluvia es uno de los principales y más frecuentes factores detonantes de los FRM, ya que muchos de estos ocurren durante o después de períodos de lluvias intensas. En el área de estudio se identificó que el 74.70% de FRM inventariados se produjo a causa de la acción de este factor. Esto se debe principalmente a que los flujos piroclásticos se saturan y disgregan fácilmente.



Fotografía 5.5 Lluvias intensas. A) Fpd en la unión Qda. Almeida con el Río Pusuquí. B) Fpt en la vía del alcantarillado

#### Erosión y socavamiento al pie del talud

Se identificaron tres acciones antrópicas que han generado erosión y socavamiento al pie del talud detonando el 22.89% de FRM inventariados.

El corte en la ladera realizado para implementar el servicio de alcantarillado en el Barrio Atacaba sin la adecuada protección y estabilización del talud ha originado el 84.21% de los FRM producidos por este factor.

El 15.79% restante se produjo por la erosión causada por el incremento del caudal líquido en la Quebrada Almeida y el Río Pusuquí, lo que aumenta el proceso erosivo y socava los pies del talud. Este incremento es el resultado de la incorporación de interconectores de aguas residuales y el aumento de la escorrentía superficial producto de la impermeabilización de los suelos por el crecimiento urbano.



Fotografía 5.6 Socavamiento al pie del talud producto del incremento del caudal líquido.

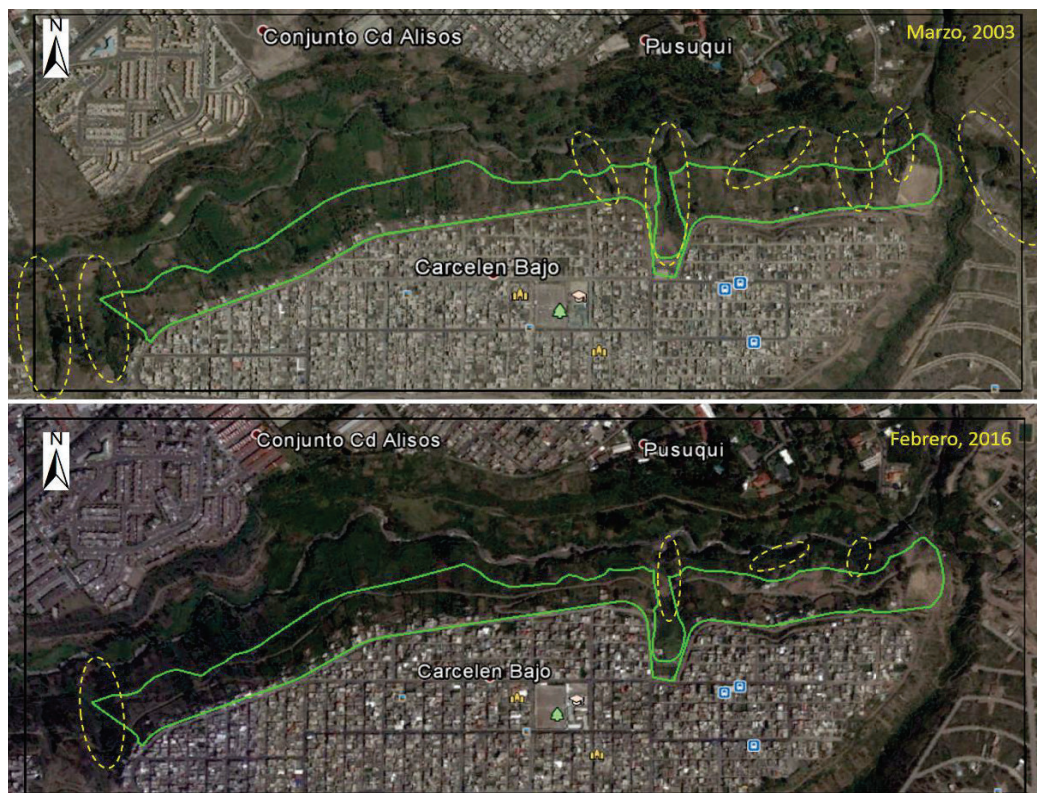
A) Margen Izquierdo Qda. Almeida. B) Margen derecho de la Qda. Almeida

### **Sobrecarga en la Ladera**

Las zonas de relleno, viviendas, torres de alta tensión, escombros y basura presentes en las quebradas y laderas del área de estudio constituyen una carga extra que incrementa los esfuerzos que disminuyen la resistencia al corte, generando el 2.41% de FRM inventariados. De los elementos antes mencionados, las zonas de relleno presentan la mayor sobrecarga debido a sus grandes extensiones y espesores de hasta 15 metros.

En la fotografía 5.1 se muestra un ejemplo de sobrecarga en la ladera por acumulación de escombros y basura.

La fotografía 5.7 presenta dos imágenes satelitales tomadas de Google Earth Pro. En la primera se resalta con amarillo las quebradas presentes en el área de estudio hasta marzo de 2003 y la segunda nos permite evidenciar que estas quebradas han sido parcial o totalmente rellenas hasta febrero de 2016. En la mayoría de los casos estos rellenos fueron producto del crecimiento urbano.



Fotografía 5.7 Imágenes Satelitales del Área de Estudio y del AID en las que se evidencia las zonas que han sido rellenadas desde marzo de 2003 a febrero de 2016

## 5.2 Validación de los Resultados

De acuerdo a JTC- 1 (2008) en (Eras, 2014), para validar los resultados obtenidos se debe sobreponer el mapa de IMM al mapa de susceptibilidad del área de estudio. Este procedimiento tiene como objetivo verificar que el mayor número de FRM se presente en los rangos más altos de susceptibilidad y a su vez que estos altos grados de susceptibilidad presenten la menor superficie posible. Para establecer la validez se determina las siguientes relaciones:

### 5.2.1 Porcentaje total de FRM agrupados en cada rango de susceptibilidad.

El rango de susceptibilidad Alta presenta la mayor cantidad de FRM con 59 ocurrencias y representa el 43.38% del total, seguido por el rango de susceptibilidad Muy alta con 49 ocurrencias (36.03%). El rango de susceptibilidad Media presenta 22 FRM (16.18%), el susceptibilidad Baja 6 FRM (4.41%), mientras que en el rango de susceptibilidad Nula o Muy baja no se presentan FRM, figura 5.1.

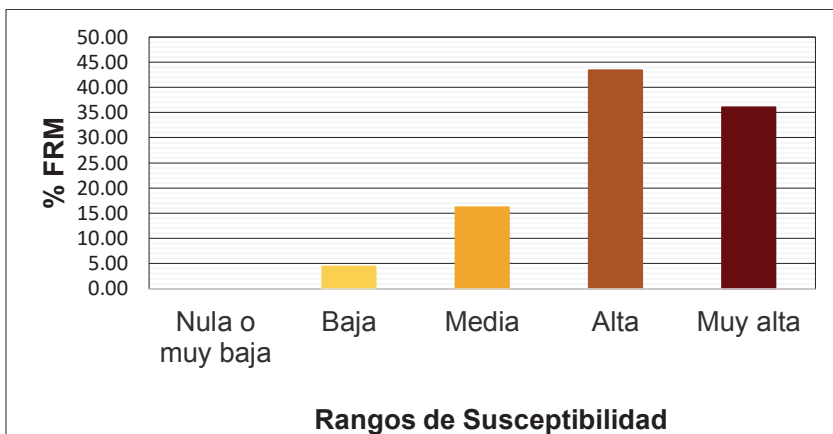


Figura 5.1 Relación: Número de FRM en cada rango de Susceptibilidad

Es importante resaltar que el número total de FRM analizados en este indicador es mayor que los FRM presentes en el IMM. Esto se debe a que un mismo FRM puede presentarse en dos o más rangos de susceptibilidad.

### 5.2.2 Porcentaje del área de cada clase de susceptibilidad en relación al área total de estudio.

En el área total de estudio predomina el grado de susceptibilidad Nula y Baja con el 55.77% de la superficie total, seguido por las zonas de susceptibilidad Media con el 19.21%, mientras que los rangos de susceptibilidad Alta y Muy alta constituyentes el 25.02%, figura 5.2. Sin embargo, en los lotes del Barrio Atacaba predominan las categorías de susceptibilidad media y alta.

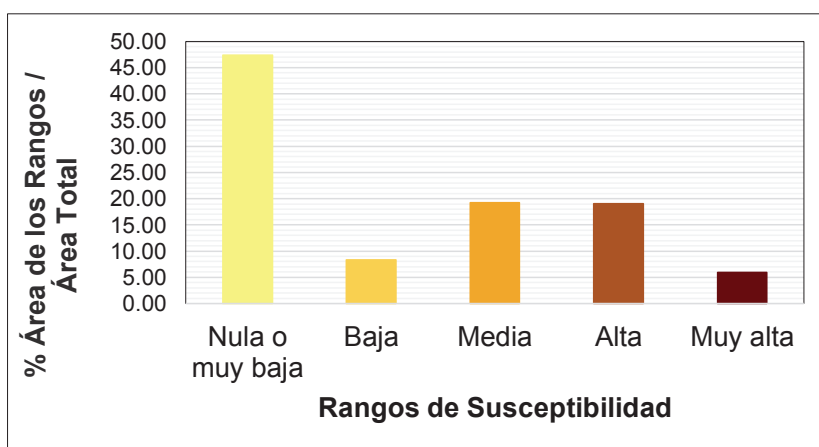


Figura 5.2 Relación: Porcentaje del Área de Estudio vs el área en los rangos de Susceptibilidad



### 5.2.3 Porcentaje total del área deslizada en cada clase de susceptibilidad.

El 40.87% de los FRM presentes en el IMM coinciden el grado de susceptibilidad Alta y el 49.38% con el de Muy alta. Lo que indica que el 90.25% de FRM representados en el IMM se encuentran sobre los rangos más altos de susceptibilidad, por lo tanto, el resultado obtenido en el Mapa de Susceptibilidad del área de estudio es considerado válido, figura 5.3.

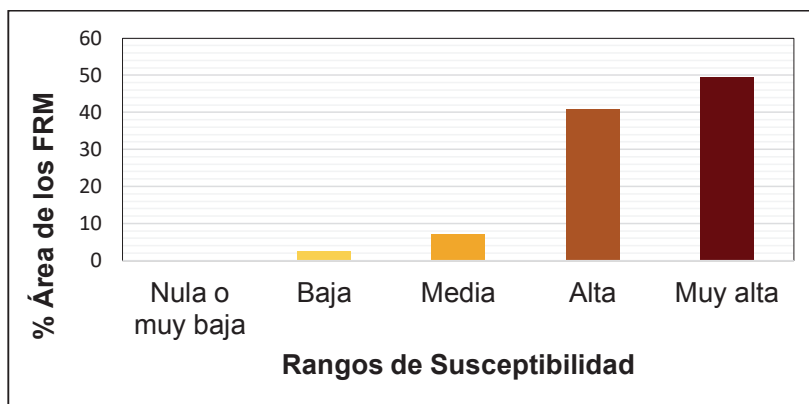


Figura 5.3 Relación: Área total de los FRM en cada rango de Susceptibilidad

La relación para establecer la validez de la metodología nos muestra que el 79.49% de FRM se presentan en las categorías más altas de susceptibilidad, el 90.25% del área de los FRM inventariados se encuentra dentro de los rangos de susceptibilidad más altos y que el porcentaje del área de estos rangos de susceptibilidad con respecto al área total es del 25.02%. Por lo tanto, los resultados obtenidos en el mapa de susceptibilidad se considerados válidos.

### 5.3 Análisis de los niveles de Susceptibilidad por FRM

Tabla 5.1 Grado de Susceptibilidad del Área de Estudio

Grado de Susceptibilidad	Áreas (m2)	%
Nula o muy baja	792505.33	47.43
Baja	139460.74	8.35
Media	321003.08	19.21
Alta	318761.44	19.08
Muy alta	99257.41	5.94
<b>TOTAL</b>	<b>1670988</b>	<b>100</b>



El grado de susceptibilidad Muy Alta abarca un área de 99257.41 m<sup>2</sup> (5.94%), geográficamente se encuentra ubicada principalmente al Este del área de estudio, sobre las cornisas y vertientes abruptas, donde las pendientes varían entre 31 – 68°. Se presenta predominantemente en los depósitos del flujo piroclástico dacítico y en las zonas de relleno, en zonas de bosque intervenido, áreas en proceso de erosión y con presencia de vegetación arbustiva. Se desarrollan principalmente FRM de tipo flujo, deslizamiento rotacional y caída.

El grado de susceptibilidad Alta abarca un área de 318761.44 m<sup>2</sup> (19.08%), geográficamente se encuentra ubicada en la parte central del área de estudio bordeando el Río Pusuquí y la Quebrada Almeida, sobre las cornisas y vertientes abruptas, donde las pendientes superan los 25°. Se presenta predominantemente en los depósitos del flujo piroclástico – tefra, en el depósito coluvial y una pequeña parte de los depósitos aluviales, en zonas con presencia de vegetación arbustiva y con áreas en proceso de erosión y bosque intervenido. Se desarrollan principalmente FRM de tipo deslizamiento rotacional y caída.

El grado de susceptibilidad Media abarca un área de 321003.08 m<sup>2</sup> (19.21%), geográficamente se encuentra ubicada en la parte central del área de estudio bordeando las zonas de alta susceptibilidad, entre el límite de las rampas de piedemonte - conizas y vertientes abruptas y sobre los conos de deyección y derrubios recientes, donde las pendientes varían entre 17 – 30°. Se presenta predominantemente en los depósitos del flujo piroclástico – tefra y depósitos aluviales, en zonas de actividades antrópicas con presencia de pasto cultivado, cultivos anuales y bosque intervenido. Se desarrollan principalmente FRM de tipo caída.

El grado de susceptibilidad Baja abarca un área de 139460.74 m<sup>2</sup> (8.35%), geográficamente se encuentra ubicada en la parte central del área de estudio bordeando las zonas de alta susceptibilidad, en las rampas de piedemonte, conos de deyección y derrubios recientes, donde las pendientes varían entre 9 – 16°. Se presenta predominantemente en los depósitos del flujo piroclástico – tefra, en zonas antrópicas (viviendas) y bosque plantado. No se identificaron FRM en esta categoría de susceptibilidad.

El grado de susceptibilidad Nula o muy baja abarca un área de 792505.33 m<sup>2</sup> (47.43%), constituye las partes más elevadas y planas del área de estudio, donde las pendientes

varían entre 0 – 8°. Se presenta predominantemente en los depósitos del flujo piroclástico – tefra, en zonas antrópicas (viviendas) y bosque plantado. No se identificaron FRM en esta categoría de susceptibilidad.

### 5.4 Susceptibilidad en el Área de Influencia Directa (AID)

En la figura 5.4 se presenta el mapa de Susceptibilidad del AID, donde se muestra el grado de susceptibilidad para los diferentes lotes que conforman el Barrio Atacaba.

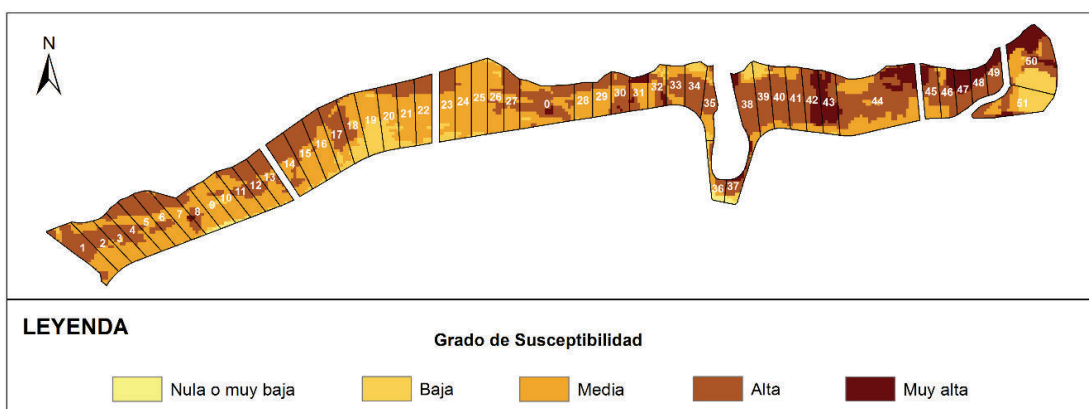


Figura 5.4 Mapa de Susceptibilidad del AID

El Mapa de Susceptibilidad del AID se presenta en el anexo 7.

En base a los polígonos expuestos en el mapa se calculó las áreas con las que se elaboraron las tablas 5.2 y 5.3.

Tabla 5.2 Grado de Susceptibilidad del AID

Grado de Susceptibilidad	Área (m2)	%
Nula o muy baja	929.69	0.55
Baja	13612.40	8.08
Media	70654.00	41.95
Alta	70804.00	42.04
Muy alta	12432.30	7.38
<b>TOTAL</b>	<b>168432.39</b>	<b>100</b>

En el AID predominan los rangos de susceptibilidad Alta y Media con el 83.99% del área total, seguidas por las zonas de susceptibilidad Baja y Muy alta, mientras que el grado de susceptibilidad Nula o muy baja representa tan solo el 0.55%.

El grado de susceptibilidad Muy Alta comprende un área de 12432.30 m<sup>2</sup> (7.38%) y representa parte importante de los lotes (42, 43, 47-50).

El grado de susceptibilidad Alta comprende un área de 70804.00 m<sup>2</sup> (42.04%) y representa parte importante del área comunal y de los lotes (1, 4, 6, 12-14, 17, 27, 30-35, 37-42, 44-49).

El grado de susceptibilidad Media comprende un área de 70654.00 m<sup>2</sup> (41.95%), y representa parte importante de los lotes (2, 3, 5, 7-11, 15, 16, 18-29, 31, 36).

El grado de susceptibilidad Baja comprende un área de 13612.40 m<sup>2</sup> (8.08%), y representa parte importante de los lotes (19, 20, 51).

El grado de susceptibilidad Baja comprende un área de 929.69 m<sup>2</sup> (0.55%), y representa parte importante del lote 36.

En la tabla 5.3 se muestra un análisis detallado del grado de susceptibilidad para cada uno de los lotes que conforman el Barrio Atacaba.

Tabla 5.3 Grado de susceptibilidad de los lotes del Barrio Atacaba

Resultados - Zonificación de la Susceptibilidad por FRM en el Barrio Atacaba (AID)													
Lotes Barrio Atacaba	Área (m <sup>2</sup> )	Lista de Propietarios	Áreas en (m <sup>2</sup> )					Porcentajes Susceptibilidad					
			Nula o muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta	% Nula o muy baja	% Baja	% Media	% Alta	% Muy alta	
0	6569.36	ÁREA COMUNAL		75.00	2807.63	3511.73	175.00		0.00	1.14	42.74	53.46	2.66
1	4138.87	MOLINA LIGIA VIOLETA		53.70	1464.11	2621.04			0.00	1.30	35.37	63.33	0.00
2	2998.62	BANEGAS BURI JAVIER LUIS			1914.40	1084.21			0.00	0.00	63.84	36.16	0.00
3	2577.68	BANEGSA BURI CESAR EMILIO			1457.22	1120.46			0.00	0.00	56.53	43.47	0.00
4	2899.60	TAMAY MARIA		0.26	1390.22	1509.12			0.00	0.01	47.95	52.05	0.00
5	3066.55	GOMEZ FLORES XAVIER MESIAS	2.74		1637.31	1426.51			0.09	0.00	53.39	46.52	0.00
6	3067.42	VARGAS MEDOZA MARIA C	25.06	25.00	1479.67	1537.69			0.82	0.82	48.24	50.13	0.00
7	2546.55	GUJARRO LOPEZ JOSE L.	16.88	39.01	1375.84	1042.06	72.77		0.66	1.53	54.03	40.92	2.86
8	2322.61	ATACABA	119.67	95.64	1285.15	769.93	52.23		5.15	4.12	55.33	33.15	2.25
9	2362.74	BONILLA ULLOA MARIA G	169.77	218.25	1864.35	110.37			7.19	9.24	78.91	4.67	0.00
10	2567.41	INGA DUMAMARIA LAURA	64.43	181.97	2066.71	254.30			2.51	7.09	80.50	9.91	0.00
11	2646.91	SALAZAR ENRIQUE HECTOR G.	29.96	47.36	1473.15	1096.44			1.13	1.79	55.66	41.42	0.00
12	2660.73	PROAÑO VARGAS ANGEL M.	11.06	79.17	879.10	1691.39			0.42	2.98	33.04	63.57	0.00
13	2807.38	CABRERA RUPERTO ARIOLFO	27.36	26.46	1251.68	1501.85			0.97	0.94	44.59	53.50	0.00
14	3401.24	REVELO AGUILAR LIGIA	2.08	70.82	1299.38	2028.96			0.06	2.08	38.20	59.65	0.00
15	3743.15	RODRIGUEZ PANTOJA WILFRIDO		112.46	1929.98	1700.71			0.00	3.00	51.56	45.44	0.00
16	3473.93	ALCOCER GUADALUPE VICTOR M.		214.47	2148.84	1110.62			0.00	6.17	61.86	31.97	0.00
17	3609.14	GOMEZ TUFÍÑO JORGE HUMBERTO		502.18	925.11	2181.85			0.00	13.91	25.63	60.45	0.00
18	3484.39	SARANSIG TRAVES ROSA MARIA		944.60	1680.62	859.16			0.00	27.11	48.23	24.66	0.00
19	3731.35	FLORES GALAPI ALBERTO		1827.14	1798.93	105.28			0.00	48.97	48.21	2.82	0.00
20	3469.37	CABRERA CABRERA JOSE EUDORO		1095.70	1816.50	557.17			0.00	31.58	52.36	16.06	0.00
21	3398.35	CABRERA CABRERA SERVIO T.		314.39	2266.03	817.92			0.00	9.25	66.68	24.07	0.00
22	3435.26	TOCTAGUANO LINDO LUIS ARTURO, TOCTAGUANO LUZ AMERICA		243.07	2257.68	934.51			0.00	7.08	65.72	27.20	0.00
23	3426.77	FLORES BONILLA LUIS GERMAN		509.21	1839.07	1078.49			0.00	14.86	53.67	31.47	0.00
24	3527.03	ANDRADE TOBAR ERRIQUE R.		129.31	3348.72	49.00			0.00	3.67	94.94	1.39	0.00
25	3626.26	ANDRADE POZO CRISTOBAL		185.12	3431.79	9.35			0.00	5.10	94.64	0.26	0.00
26	3418.67	MARTINEZ VIZCAINO AIDA CECILIA		178.43	2593.64	646.61			0.00	5.22	75.87	18.91	0.00
27	2768.27	PICUASI SEGOVIA LUIS ARTEMIO, YAMBERLA MARIA		17.89	1336.25	1414.14			0.00	0.65	48.27	51.08	0.00
28	1991.77	CAZAR JACOME MARIA TERESA		19.05	1488.93	483.79			0.00	0.96	74.75	24.29	0.00

Tabla 5.3 Continuación

Resultados - Zonificación de la Susceptibilidad por FRM en el Barrio Atacaba (AID)												
Lotes Barrio Atacaba	Área (m2)	Lista de Propietarios	Áreas en (m2)					Porcentajes Susceptibilidad				
			Nula o muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta	% Nula o muy baja	% Baja	% Media	% Alta	% Muy alta
29	2096.56	MIRANDA ROSERO LUIS ARTEMIO, CAZAR JACOME JORGE			1485.69	610.87		0.00	0.00	70.86	29.14	0.00
30	2177.18	CHAMORRO LUCIO MARINO			454.12	1654.05	69.02	0.00	0.00	20.86	75.97	3.17
31	1862.39	CHAMORRO OBANDO HUGO A.			957.76	494.57	410.06	0.00	0.00	51.43	26.56	22.02
32	2147.28	MAFLA BUITRON ESTUARDO A.		220.50	829.03	906.08	191.67	0.00	10.27	38.61	42.20	8.93
33	2187.89	MAFLA BUITRON LEONIDAS U.		20.44	992.72	1174.73		0.00	0.93	45.37	53.69	0.00
34	2834.76	CABRERA CABRERA ANGEL H.		411.75	484.19	1938.82		0.00	14.53	17.08	68.39	0.00
35	2355.82	CHAMORRO LUCIO MARINO		197.08	876.70	1245.46	36.58	0.00	8.37	37.21	52.87	1.55
36	1466.68	MARIA CECILIA MALES	298.10	69.02	560.36	525.18	14.02	20.32	4.71	38.21	35.81	0.96
37	1393.02	ATACABA	162.59	208.29		809.79	212.35	11.67	14.95	0.00	58.13	15.24
38	4211.32	RAMOS CUELLO PABLO GUSTAVO		384.65	545.07	2865.71	415.88	0.00	9.13	12.94	68.05	9.88
39	3166.17	ESPINOZA NESTOR PLUTARCO		521.39	485.78	2159.00		0.00	16.47	15.34	68.19	0.00
40	3011.12	TEANGA TISCUAL CECILIA M. O.		32.38	586.20	2392.54		0.00	1.08	19.47	79.46	0.00
41	3070.18	CONGO SANTACRUZ ENMA M. O.			706.52	2363.67		0.00	0.00	23.01	76.99	0.00
42	3064.75	PEREZ SOLIS LUIS PATRICIO			349.50	1382.85	1332.40	0.00	0.00	11.40	45.12	43.47
43	3122.46	CHAMORRO OBANDO HUGO A.		44.47	322.41	950.66	1804.92	0.00	1.42	10.33	30.45	57.80
44	13815.60	FLORES NAVARRETA LUIS ALBERTO		3.52	4703.74	7220.09	1888.28	0.00	0.03	34.05	52.26	13.67
45	2590.63	PEREZ SOLIS VICTOR ELIAS			770.95	1339.52	480.16	0.00	0.00	29.76	51.71	18.53
46	2392.90	ORTEGA ORDONEZ LUIS VICENTE		25.00	598.83	1280.78	488.29	0.00	1.04	25.03	53.52	20.41
47	1928.78	DAVALOS FLORES MARTHA SELMAN				847.14	1081.64	0.00	0.00	0.00	43.92	56.08
48	1532.10	CABRERA CABRERA ANGEL H.				889.07	643.04	0.00	0.00	0.00	58.03	41.97
49	1802.42	SALAMEA DIAZ MANUEL R.				1219.13	583.30	0.00	0.00	0.00	67.64	32.36
50	7850.93	CHAMORRO OBANDO HUGO A.		2231.63	1298.32	2045.23	2275.75	0.00	28.43	16.54	26.05	28.99
51	4614.12	ATACABA		2036.60	1138.14	1234.46	204.91	0.00	44.14	24.67	26.75	4.44

## 5.5 Socialización de los Resultados

Los resultados obtenidos en el presente estudio fueron socializados a los pobladores del Barrio Atacaba el día sábado, 10 de junio de 2017: Se contó con la presencia de 20 moradores y la directiva presidida por el Sr. Jaime Flores presidente del barrio.



Fotografía 5.8 Socialización de resultados a los moradores del Barrio Atacaba

En la asamblea se expusieron las utilidades del mapa de susceptibilidad con miras a que el barrio sea regularizado. Se indicó que el mapa muestra que zonas son favorables o desfavorables para generar FRM y se aclaró que el mapa de susceptibilidad no indica

cuándo se van a producir los movimientos en masa, ni su tamaño o velocidad. Se explicó que el mapa integra factores que diagnostican la situación actual de la ladera considerando aspectos que disminuyen la resistencia al corte y se explica cuales son cada uno de estos aspectos.

Se mostró a la población que con el objetivo de reducir los niveles de susceptibilidad, se deben impulsar varias acciones en conjunto con el Municipio de Quito, para así, lograr una mejora sus condiciones de vida.

### **Acciones a seguir por los moradores**

- Control de erosión en zonas de flujos piroclásticos y evitar asentamientos.
- Control de descargas de agua servidas y agua para cultivos ya que aumentan la escorrentía superficial y la erosión.
- Control de depósito de escombros que aumentan la carga en los taludes y aceleran los movimientos en masa.
- Estudio de nivel de Riesgo-Exposición en el barrio, integrando el estudio de Vulnerabilidad física de las viviendas.

### **Acciones a gestionar con el Municipio de Quito**

- Sistema adecuado de recolección de basura.
- Control y retiro de escombros.
- Mejoramiento de las cunetas y adoquinamiento de la vía del alcantarillado.
- Las viviendas ubicadas en zonas de susceptibilidad alta y muy alta requieren realizar estudios para estabilizar los taludes.
- Las viviendas ubicadas en zonas de susceptibilidad media se recomienda: control de erosión, reforestación y en casos específicos el terraceo de la ladera.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- El Barrio Atacaba está legalmente consolidado, cuenta con una organización interna lo que ha permitido gestionar mejoras para el barrio y que se desarrolle este proyecto. Sus viviendas se han edificado respetando la franja de protección del Río Pusuquí, sin embargo, la mala calidad de los suelos combinada con la topografía abrupta de la zona, los diseños no técnicos de sus viviendas y las actividades antrópicas representan una condición desfavorable en la estabilidad de las mismas.
- Los problemas socio-ambientales identificados en el área de estudio fueron: el barrio no cuenta con un eficiente y completo sistema de recolección de basura; la presencia de escombros y basura en la zona genera efectos ambientales negativos y constituye una sobrecarga para la ladera.
- Para dar respuesta a la necesidad de la población en el 2011 se construyó un sistema de alcantarillado que atraviesa todo el Barrio Atacaba, sin embargo, no hubo un tratamiento adecuado en los taludes ni se elaboró un sistema de canalización para las aguas lluvias, lo que aceleró el proceso erosivo en el talud.
- El Barrio Atacaba se encuentra asentado sobre una ladera con pendientes fuertes, constituida por un flujo piroclástico formado por intercalaciones de tobas retrabajadas con tefras y que se caracteriza por ser un material heterogéneo, poco consolidado y deleznable.
- Los métodos de zonificación de susceptibilidad permiten analizar e integrar los factores que inciden en la generación de FRM; tanto intrínsecos del terreno (geología, geomorfología, pendientes, cobertura y uso del suelo, etc.) como antrópicos, para así poder determinar las zonas más propensas a la generación de movimientos en masa.

- Los Métodos Estadísticos de zonificación de la susceptibilidad por FRM facilitan la elaboración de un análisis posterior de la Amenaza, ya que permiten incorporar la frecuencia de ocurrencia de los FRM. También permiten añadir un sin número de factores que puede también incidir en la generación de FRM como: proximidad a fallas activas; dirección de la pendiente; proximidad de las redes de drenaje, etc.
- El Método Estadístico Univariado cuenta con un proceso que objetivamente asigna rangos de susceptibilidad para los diferentes factores analizados pero a la vez permite incorporar el criterio del evaluador en la asignación de estos rangos. Los resultados de las valoraciones tanto objetiva como subjetiva pueden trabajarse de forma separada y así poder contrastar los mapas de susceptibilidad resultantes.
- En el área de estudio se identificó una total de 83 FRM de los cuales, 26 son de tipo deslizamiento rotacional (31.33%), 21 de tipo caída de bloques (25.30%) y 36 de tipo flujo (43.37%). El análisis del Inventario de Movimientos en Masa permitió entender que parámetros están disminuyendo la resistencia al corte de las laderas y que factores incrementan el esfuerzo al cortante y están desencadenando los diferentes FRM.
- Los FRM tipo deslizamiento rotacional afectan a una o más unidades litológicas a la vez y se desarrollan en los flujos piroclásticos con intercalación de tefras, flujo piroclástico dacítico y las zonas de relleno. Se originan en pendientes mayores a 30° principalmente en áreas en proceso de erosión o intervenidas por el hombre, es importante destacar que el 38.46% de estos FRM se presenta en la vía del alcantarillado del barrio, lo que indica que la acción antrópica es un factor importante en la formación de este tipo de fenómenos.
- Los FRM tipo caída se presentan principalmente en el flujo piroclástico con intercalación de tefras en zonas con pendientes mayores a 50° producidas por la incisión del Río Pusuquí y las principales quebradas del área de estudio. En zonas donde la acción conjunta de las raíces y la infiltración del agua separan bloques de hasta pocos metros desprendiéndolos de la ladera. También se evidenció la formación de este tipo de FRM en el talud de la vía del alcantarillado del barrio donde de igual forma existen pendientes mayores a 50°.



- Los FRM tipo flujo se forman principalmente en el flujo piroclástico dacítico. Esta unidad al ser muy deleznable facilita la acumulación de material reabajado en grietas y surcos formados por la acción erosiva del agua. También se identificó este tipo de movimientos en masa en las zonas recientemente rellenadas que no presentan cobertura vegetal y que se encuentran sobre pendientes mayores a 35°. Además se identificó que las zonas donde se depositan escombros y basura pueden generar este tipo de FRM.
- Los factores que disminuyen la resistencia al corte y debilitan las laderas identificados en el área de estudio son: la meteorización (disgrega fácilmente los componentes de las unidades litológicas); presión de agua (producto de las descargas de aguas residuales y de riego directamente sobre la ladera); cambio y uso de suelo.
- De acuerdo a los datos recabados en el Inventario de Movimientos en Masa donde se recogió la percepción de los pobladores se determinó que los principales factores que aumentan el esfuerzo al cortante y han desencadenado los FRM inventariados son; las lluvias Intensas (74.70%); erosión y socavamiento al pie del talud (22.89%) de los cuales, el corte de la ladera para implementar el servicio de alcantarillado generó el (84,21%) y el incremento del caudal líquido del Río Pusuquí y Quebrada Almeida el (15.79%); sobrecarga en la ladera (2.4%).
- Los Barrios Carcelén Bajo, Pusuquí, Ciudad Bicentenario y Lirios de Carcelén presentan pendientes bajas y se encuentran dentro de las zonas con susceptibilidad Muy bajo o Baja. Sin embargo al estar constituidos sobre terrenos deleznable pueden generar problemas producto de la erosión como socavones, por ello es importante controlar la adecuada descarga de aguas residuales.
- Las zonas de Muy alta susceptibilidad se encuentran sobre las quebradas que han sido rellenadas y en los márgenes de la Quebrada Almeida y donde la erosión hídrica ha generado pendientes verticales. Sobre el margen derecho de esta quebrada se encuentra la prolongación de la Avenida Simón Bolívar, Tramo 1 (Carapungo - Tajamar - Maresa), misma que podría ser afectada, a mediano o largo plazo.



- En el Barrio Atacaba predominan los rangos de susceptibilidad Media y Alta con el 83.99% del área total, seguidas por las zonas de susceptibilidad Baja y Muy alta, mientras que el grado de susceptibilidad Nula o Muy baja representa tan solo el 0.55%. Los números de lotes en los que predominan las categorías Muy alta y Alta susceptibilidad son: 1, 4, 6, 12, 13, 14, 17, 27, 30, 32 – 35, 37 – 50.
- El proceso de socialización a los habitantes del Barrio Atacaba permitió dar a conocer la importancia y necesidad de tomar medidas que permitan reducir su susceptibilidad, explicando que factores inciden en la generación este tipo de fenómenos, ejemplificando los peores escenarios posibles y recomendando posibles medidas a seguir para mejorar su condición actual.

## 6.2 Recomendaciones

- Realizar un estudio de nivel de Riesgo-Exposición en el barrio, integrando el estudio de Vulnerabilidad física de las viviendas tomando como base los resultados obtenidos en el presente estudio.
- Coordinar con el Municipio de Quito la implementación de un adecuado sistema de recolección de basura, el retiro de los escombros presentes en las quebradas y sobre las laderas. Denunciar a las personas que arrojan basura y escombros para que las autoridades tomen las medidas necesarias. Impedir el acceso a la vía del alcantarillado a maquinaria pesada, medida que se podría trabajar en conjunto con la UPC más cercana.
- Promover acciones con la población: realizar periódicamente de mingas, recolectar la basura presente en la ladera que obstruye el drenaje natural del agua, implementar un mejor sistema de riego en los cultivos y eliminar las descargas de aguas residuales sobre la ladera.
- En la vía del alcantarillado y en el tramo sin finalizar de la vía principal se debe trabajar conjuntamente con el Municipio de Quito para la implementación cunetas y bordillos que permitan la adecuada circulación de las aguas superficiales, con la finalidad de disminuir el impacto causado por la erosión hídrica.
- En las viviendas ubicadas en las zonas de mayor susceptibilidad se debe realizar estudios geotécnicos para la estabilización de los taludes. Donde no haya viviendas, no se debe realizar ningún tipo de infraestructura sin un estudio técnico previo y se recomienda reforestar todas estas áreas con especies endémicas de la zona para incrementar la cohesión del suelo.
- En las zonas específicas de susceptibilidad Media y Alta se recomienda el *terraceo de la superficie* de la ladera para disminuir la carga sobre esta y su topográfica abrupta, esta medida además de estabilizar la ladera permite construir obras para controlar la erosión y la actividad agrícola sobre las terrazas siempre y cuando su riego sea controlado.

- Es importante que se siga impulsando el programa de atención a los barrios de emergencia con la participación conjunta de la Universidad y el Municipio de Quito ya que se han obtenido resultados favorables en los estudios realizados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abad Cárdenas, K. F. (2006). Ensayo metodológico para la evaluación y zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, Cuenca de Loja. *Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Plitécnica Nacional, Quito, Ecuador.*
- Abril, A. (2011). Estudio e implementación de un modelo para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocha. *Tesis de Grado, Repositorio Institucional Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 1-153.*
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull Eng Geol Env No. 58, 21-44.*
- Aricochea, E. (2016). Zonificación de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa en la cuenca del Rio Omayá Distrito de Pichari, Provincia de La Convención – Región Cusco. *Tesis para optar al título de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 1-151.*
- Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del DMQ. (2015). Atlas de amenazas naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito (segunda edición). Quito: D.M.
- Audin, L., Segovia, M., Yepes, H., & Mothes, P. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *American Geophysical Union, 45.*
- Calosama, J., & Carrera, S. (2017). Análisis y Evaluación del Peligro y la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa. *Proyecto previo a la obtención del Título de Ingenieros Geólogos, Universidad Plitécnica Nacional, Quito, Ecuador.*
- Campos, F. (2014). Evaluación de la Susceptibilidad de Remociones en Masa en la Quebrada de los Chanchos, Región Metropolitana, Chile. *Tesis para optar al título de Ingeniero Geólogo, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 1-143.*

- Carrara, A. (1983). Multivariate Models for Landslide Hazard Evolution. *Mathematical Geology, Vol. 15*, 403-426.
- Castro Pilco, J. A. (2013). Evaluación y zonificación de los procesos geodinámicos que influyen en el área urbana del Cantón Guaranda. *Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador*, 126.
- Chung, C.-J., & Fabbri, A. (2003). Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards*, 451-472.
- Concejo Metropolitano de Quito. (8 de Noviembre de 2004). Ordenanza No. 3515. *Secretaría General 2782*, pág. 9.
- Córdova, M., & Vallejo, A. (2012). Riesgos Urbanos en América Latina. *Letras Verdes*, 1-3.
- Corominas, J. (s.f). Tipo de Rotura en Laderas y Taludes. En J. Corominas. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Cupuerán, M. (2016). *Evaluación del riesgo por subsidencia en la zona de Turubamba, Sur de Quito, como aporte al diseño de un plan integral de gestión de riesgo del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniera Geóloga, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- DMGR. (2016). Consultoría para la elaboración del Plan de Gestión Integral de Riesgos de la Cuenca del Río Monjas. *I FASE: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE AMENAZAS, VULNERABILIDADES Y RIESGOS*, 1-312.
- Ego, F., & Sebrier, M. (1996). The Ecuadorian Inter-Andean Valley, A Major and Complex Restraining Bend and Compressive Graben Since Late Miocene.
- EPMAPS. (2014). Alcantarillado Combinado, Descontaminación del Río Monjas, Interceptor Oriental, Etapa I. Acta de Recepción definitiva, Proyecto 7616.0, Contrato LI-CO-EMAAPQ-023-2010. *Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento*, 1-8.

- Equipo de Cartografía Temática -SIGTIERRAS. (2016). Levantamiento de Cartografía Temática escala 1:25.000, LOTES 1 y 2. *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*, 1-28.
- Eras, M. (2014). Determinación de zonas de Susceptibilidad a movimientos en masa en el Ecuador, a escala 1:1'000.000, utilizando el Método de Ponderación de Parametro. *Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniera Geóloga, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador*, 1-119.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology* 102, 85-98.
- FUNEPSA CÍA. LTDA. (2015). Actualización de la Zonificación por Amenaza de deslizamientos en el Distrito Metropolitano de Quito. *MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y GOBERNABILIDAD*, 1-246.
- Gutscher, M., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 168, 225-270.
- Hall, M., Samaniego, P., Le Pennec, J., & Johnson, J. (2008). A review of Late Pliocene to present activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1-6.
- IEE. (2013). Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a nivel Nacional escala 1:25000. *Memoria Técnica: Análisis de Amenaza por tipo de Movimiento en Masa*, 1-65.
- IEE. (2013). *Memoria Técnica Cantón Quito. Clima e Hidrología*. Quito: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo.
- INGEOMINAS. (2001). Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa. *Guía Metodológica, Primera Edición, Bogotá*.
- INIGEMM. (2013). Memoria Técnica, Ensayos Metodológicos para la Zonificación de la Susceptibilidad/Amenaza por Movimientos en Masa; Zona de Riobamba.

*Zonificación de Susceptibilidad y Peligros/Amenazas por Procesos de Movimientos en Masa, Escala 1:50.000 del Territorio Ecuatoriano, Fase I, 1-402.*

Jiménez, E., & Reyes, P. (2014). Informe Técnico deslizamiento unión del Río Toachi. *Departamento de Geología de la EPN.*

Jimenez, E., Cárdenas, D., & Zapata, C. (2017). Reducción del Riesgo en Barrios en Situación de Emergencia en el DMQ. *Hábitat III.*

Jiménez, J. D. (2005). *Análisis de la Susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la Cuenca Vertiente al Embalse de Ruales, Granada.* España: Universidad de Granada. Obtenido de [http://www.ugr.es/~ren03366/DEA/TEMAS/memoria/DEA\\_J.Jimenez.pdf](http://www.ugr.es/~ren03366/DEA/TEMAS/memoria/DEA_J.Jimenez.pdf)

Kendrick, E., Bevis, M., Smalley, R., Brooks, B., Barriga, R., Lauria, E., & Souto, L. (2003). The Nazca-South America Euler vector and its rate of change. *Journal South Am Earth Sc* 16, 125-131.

Lavenue, A., Baudino, R., & Ego, F. (1996). Stratigraphie des dépôts Tertiaires et Quaternaires de la Depression Interandine d'Equateur (entre 0° et 2°15S). *Bull. Inst. Fr. Etudes Andines* 25, 1-15.

Levantamiento Planimétrico - Arq. Iván Romero. (2017). Lotización Asocioación Atacaba. *Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 1A2.*

Madero Guerrón, F. (2010). *Manual para la Evaluación de los Factores de Vulnerabilidad y su aplicación en el Ecuador.* Instituto de Altos Estudios Nacionales.

MADS, IDEAM. (2012). Metodología para la zonificación de Susceptibilidad general del terreno a los Movimientos en Masa (Bogotá, D.C.). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (República de Colombia), Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 1-28.*

MAE-MAGAP. (2015). *Protocolo metodológico para la elaboración del Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013-2014, escala 1:100.000.* Obtenido de Sistema Nacional de Información: <http://app.sni.gob.ec/sni->

link/sni/Portal%20SNI%202014/USO%20DE%20LA%20TIERRA/03-  
ANEXO\_2\_LEVANTAMIENTO%20DE%20PUNTOS%20DE%20CAMPO.pdf

Merino, L., & Ormaza, W. (2017 in press). Proyectos Geológicos. *Unpublished*, 1-18.

Municipio de Distrito Metropolitano de Quito. (s.f.). *Territorio, hábital y vivienda*. Recuperado el 28 de 01 de 2017, de Indicadores y estadísticas: <http://www.quito.gob.ec/index.php/quito-por-temas/territorio-habitat-y-vivienda>

Municipio del DMQ. (2015). *ATLAS de Amenazas Naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Segunda Edición.

Náquira Bazán, M. V. (2009). Susceptibilidad de Remociones en Masa en la Costa de Fiordos cercanos a Hornopirén, X Región. *Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Santiago, Chile*, 1-212.

Neo-plan Cía. Ltda. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Pomasqui 2015-2019*. Quito.

Pavlopoulos, K., Evelpidou, N., & Vassilopoulos, A. (2009). Mapping Geomorphological Environments. *Springer*, 1-247.

Pavón, N., & Garzón, O. (2014). Evaluación y Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza/Peligro por Fenómenos de Remoción en Masa en el Canton Pallatanga, escala 1:50.000. *Tesis de Grado, Repositorio UCE, Quito, Ecuador*, 1-209.

Peltre. (1989). Quebradas y riesgos naturales en Quito, período 1900-1988. . *Estudios de Geografía, vol. II Colegio de Geógrafos del Ecuador, Corporación Editorial Nacional*, 91.

*pro.arcgis.com*. (Febrero de 2017). Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm>

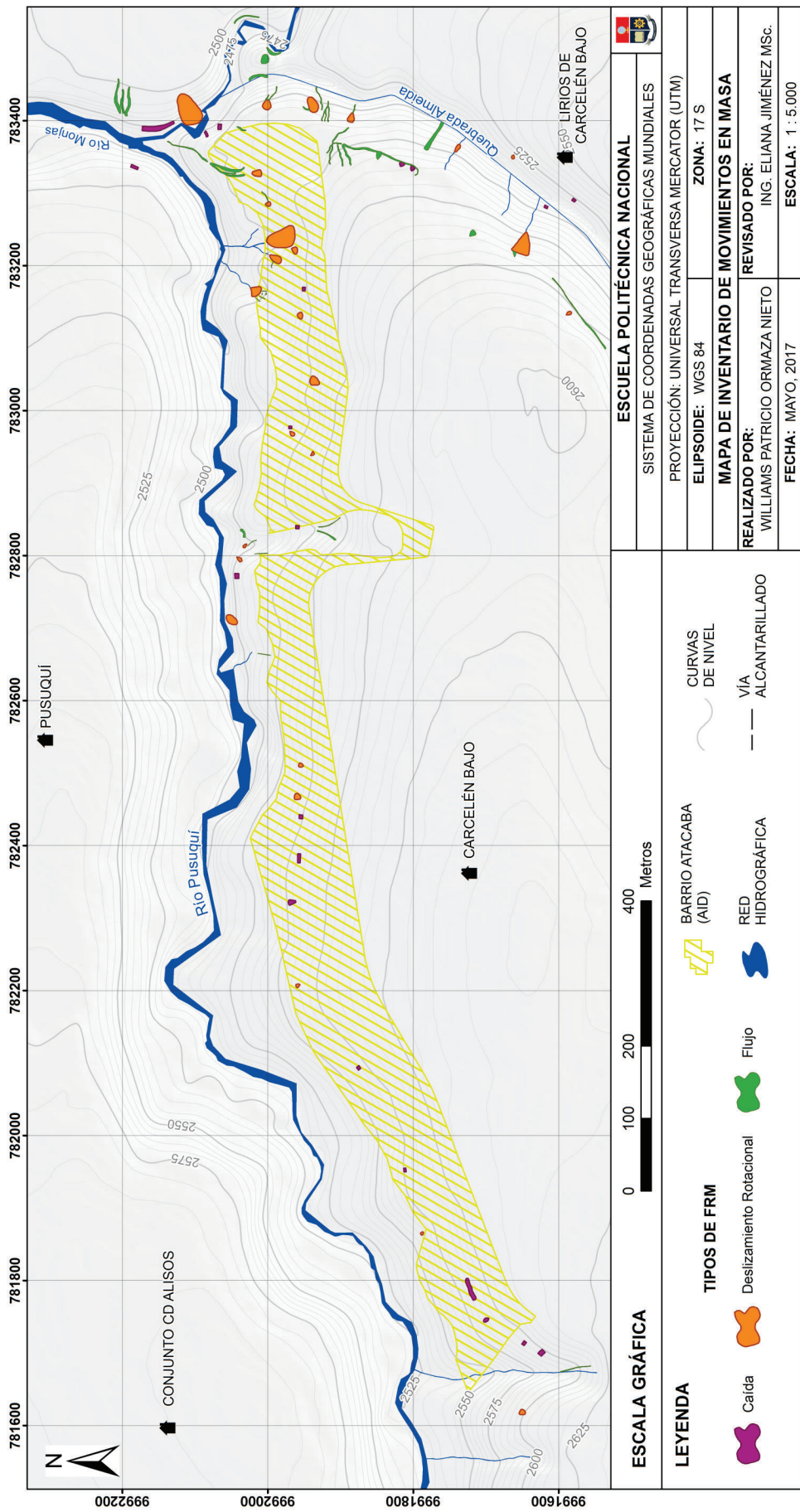
Procel Guerra, S. T. (2008). Modelación del Acuífero Pusuquí-San Antonio de Pichincha. *Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniera Geóloga, Universidad Plitécnica Nacional, Quito, Ecuador*, 228.



- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Canadá: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Ranasinghe, A., Munasinghe, D., Dammalage, T., & Puswewala, U. (2016). Landslide prediction using Remote Sensing and Gis - a case study of Koslanda, Sri Lanka. *Asian Association on Remote Sensing*, 1-10. Obtenido de [http://a-a-r-s.org/acrs/administrator/components/com\\_jresearch/files/publications/Ab%200180.pdf](http://a-a-r-s.org/acrs/administrator/components/com_jresearch/files/publications/Ab%200180.pdf)
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. *Coleccion guías y manuales*, 1-182.
- Suarez. (2009). Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. En J. Suarez, *Deslizamientos: Análisis Geotécnico Tomo I* (págs. 1-56). Bucaramanga, Colombia: [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co).
- Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J., & Mora, H. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America. *Journal South America Easth Science*, 157-171.
- Van Westen, C. (2000). The Modelling Of Landslide Hazards Using Gis. *Surveys in Geophysics, Volume 21*, 241–255.
- Villagomez, D. (2003). Evolución Geológica Plio-Cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (Zona de Quito-Guayabamba-San Antonio). *Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Plitécnica Nacional, Quito, Ecuador*, 1-147.
- Winkler, W., Villagomez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, S., & Egüez, A. (2005). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences* 19, 5-19.

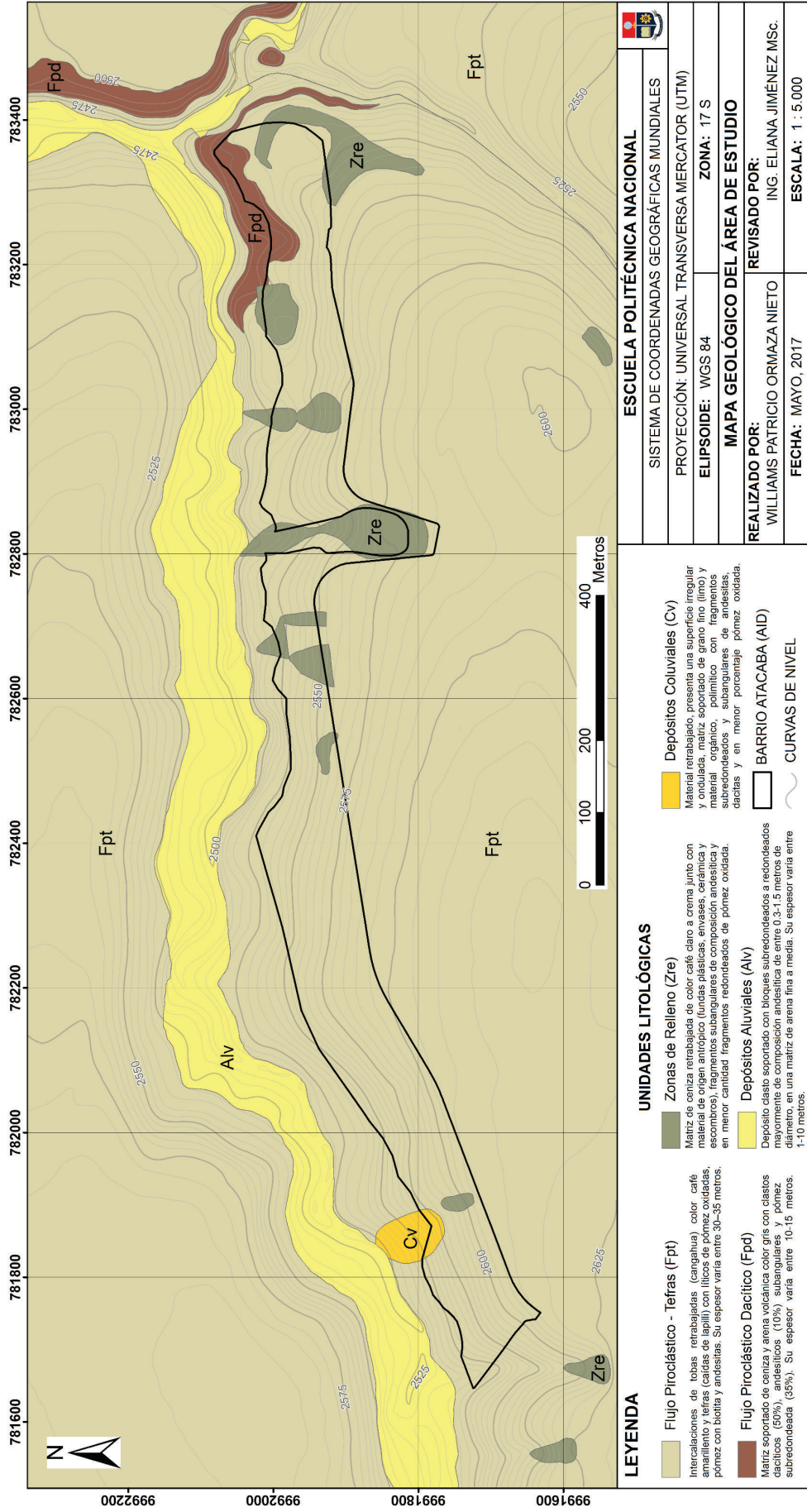
## **ANEXOS**

Anexo I. Mapa de Inventario de Movimientos en Masa



<b>ESCALA GRÁFICA</b> 	<b>ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL</b> SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES	
	PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR (UTM)	
<b>LEYENDA</b> <b>TIPOS DE FRM</b> Deslizamiento Rotacional Calda BARRIO ATACABA (AID) RED HIDROGRÁFICA Flujo CURVAS DE NIVEL VÍA ALCANTARILLADO	ELIPSOIDE: WGS 84	ZONA: 17 S
	<b>MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA</b> REALIZADO POR: WILLIAMS PATRICIO ORMAZA NIETO REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc. FECHA: MAYO, 2017 ESCALA: 1 : 5.000	

## Anexo II. Mapa Geológico del Área de Estudio



### LEYENDA

- Flujo Piroclástico - Tefras (Fpt)**  
Intercalaciones de tobas retrabajadas (cangahua) color café amarillento y leñas (caídas de lapilli) con hilos de pómez oxidada, pómez con bloca y andesitas. Su espesor varía entre 30-35 metros.
- Flujo Piroclástico Dacítico (Fpd)**  
Matriz soportado de ceniza y arena volcánica color gris con cascios dacíticos (50%), andesíticos (10%) subangulares y pómez subredondeada (35%). Su espesor varía entre 10-15 metros.

### UNIDADES LITOLÓGICAS

- Zonas de Relleno (Zre)**  
Matriz de ceniza retrabajada de color café claro a crema junto con material de origen anticlinal (lunadas plásticas, envases, cerámica y escombros), fragmentos subangulares de composición andesítica y en menor cantidad fragmentos redondeados de pómez oxidada.
- Depósitos Aluviales (Alv)**  
Depósito clasto soportado con bloques subredondeados a redondeados mayormente de composición andesítica de entre 0.3-1.5 metros de diámetro, en una matriz de arena fina a media. Su espesor varía entre 1-10 metros.
- Depósitos Coluviales (Cv)**  
Material retrabajado, presenta una superficie irregular y ondulada, matriz soportado de grano fino (limo) y material orgánico, polimítico con fragmentos subredondeados y subangulares de andesitas, dacitas y en menor porcentaje pómez oxidada.

- BARRIO ATACABA (AID)**
- CURVAS DE NIVEL**

### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES

PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR (UTM)

ELIPSOIDE: WGS 84

ZONA: 17 S

MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

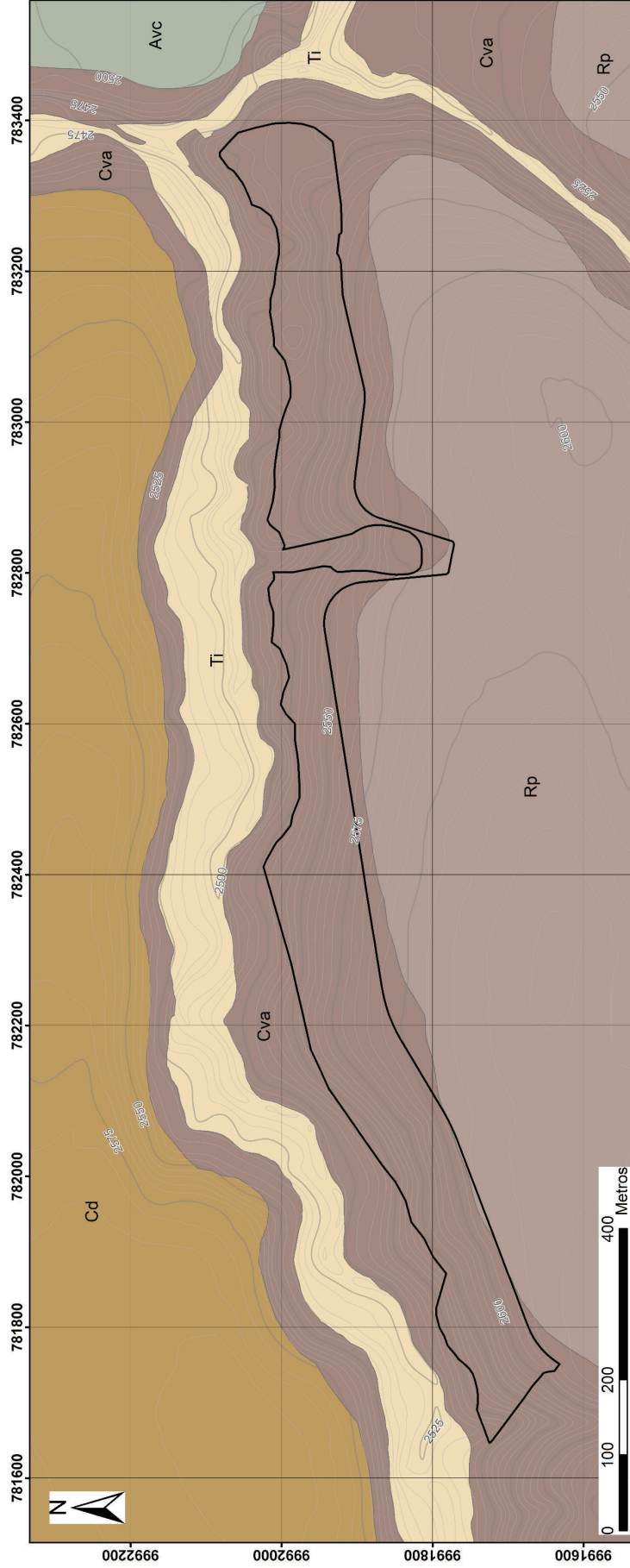
REALIZADO POR: WILLIAMS PATRICIO ORMAZA NIETO

REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ MSC.

FECHA: MAYO, 2017 ESCALA: 1 : 5.000

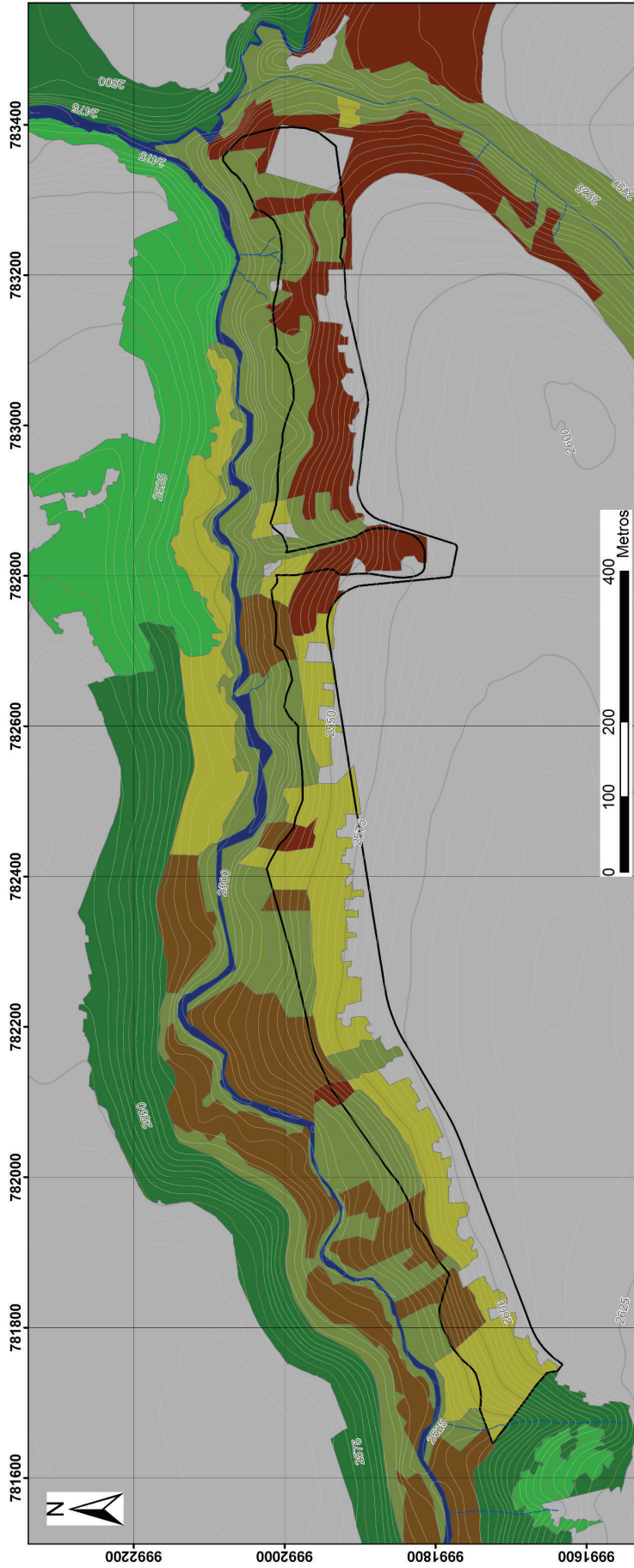


Anexo III. Mapa Geomorfológico del Área de Estudio



UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
	<b>Conos de deyección y derrubios recientes (Cp)</b> Conglomerados aluvionales meteorizados, lahares y flujos de lodo indiferenciados, conos de deyección, conos de derrubios recientes localmente con huellas de divagación, superficies onduladas casi horizontales con pendientes entre 3°-14°.		<b>SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES</b>
	<b>Aluviones y depósitos tipo caída (Avc)</b> Flujos piroclásticos indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitahua y Pichincha. Cornisas y vertientes abruptas; laderas y cañones o gargantas profundas de las quebradas y ríos, vertientes rectilíneas de fuerte pendiente >35°.		<b>PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR (UTM)</b>
	<b>Terrazas Intermedias (TI)</b> Niveles de terrazas intermedias e indiferenciadas con pendientes suaves 1°-2° y desniveles de entre 0-5 metros. Presenta cistacos subredondeados a redondeados de diferente composición.		<b>ELIPSOIDE: WGS 84</b>
	<b>Rampas de Piedemonte (Rp)</b> Flujos piroclásticos indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitahua y Pichincha. Rampas de piedemonte; a manera de extensos espaciamientos de cenizas volcánicas; superficies estructurales de ladera con plana a moderada como niveles escalonados por la tectónica local, con pendientes entre 22-36°.		<b>ZONA: 17 S</b>
	<b>Cornisas y vertientes abruptas (Cva)</b> Flujos piroclásticos indiferenciados de los volcanes Pululahua, Casitahua y Pichincha. Cornisas y vertientes abruptas; laderas y cañones o gargantas profundas de las quebradas y ríos, vertientes rectilíneas de fuerte pendiente >35°.		<b>MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>
	<b>BARRIO ATACABA (AID)</b>		<b>REALIZADO POR:</b> WILLIAMS PATRICIO ORMAZA NIETO
			<b>REVISADO POR:</b> ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.
			<b>FECHA:</b> MAYO, 2017
			<b>ESCALA:</b> 1 : 5.000

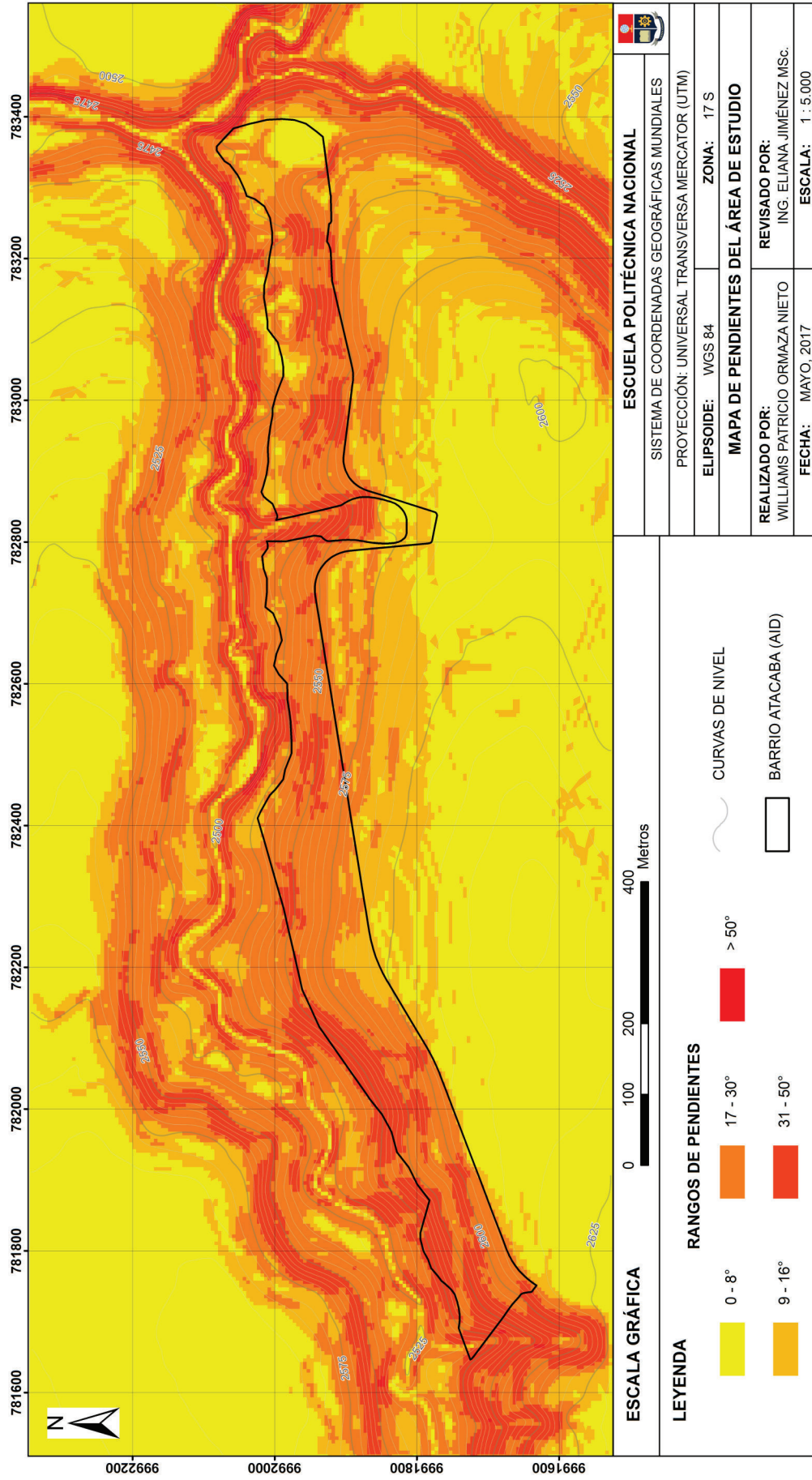
Anexo IV. Mapa de Cobertura y Uso de Suelo del Área de Estudio



<p><b>LEYENDA</b></p> <p><b>Vegetación arbustiva</b> Áreas naturales caracterizadas por su heterogeneidad forestal y su capacidad estructural, protectoras de suelo, agua, flora y fauna</p> <p><b>Bosque plantado</b> Masa arbórea establecida antropómicamente con una o más especies forestales.</p> <p><b>Bosque intervenido</b> Formación boscosa con un nivel de intervención mayor al 40%, especialmente por la tala de muchas especies maderables.</p>		<p><b>UNIDADES DE COBERTURA Y USO DEL SUELO</b></p> <p><b>Cultivo anual</b> Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, comerciales, industriales, pudiendo ser cosechados una o más veces al año</p> <p><b>Pasto cultivado</b> Vegetación herbácea dominada por gramíneas introducidas, utilizadas con fines pecuarios</p> <p><b>Área en proceso de erosión</b> Áreas sin cobertura vegetal, erosionadas por procesos naturales o de origen antrópico</p>	
		<p><b>Área poblada</b> Asentamientos humanos y la infraestructura que lo complementa</p> <p><b>Cuerpo de agua</b> Área que se encuentre cubierta o saturada de agua estática o en movimiento, natural o artificial</p> <p><b>BARRIO ATACABA (AID)</b></p> <p><b>CURVAS DE NIVEL</b></p>	
<p><b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b></p>			
<p>SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES</p>			
<p>PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR (UTM)</p>			
<p>ELIPSOIDE: WGS 84</p>		<p>ZONA: 17 S</p>	
<p><b>MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO</b></p>			
<p><b>REALIZADO POR:</b> WILLIAMS PATRICIO ORMAZA NIETO</p>		<p><b>REVISADO POR:</b> ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.</p>	
<p><b>FECHA:</b> MAYO, 2017</p>		<p><b>ESCALA:</b> 1 : 5.000</p>	



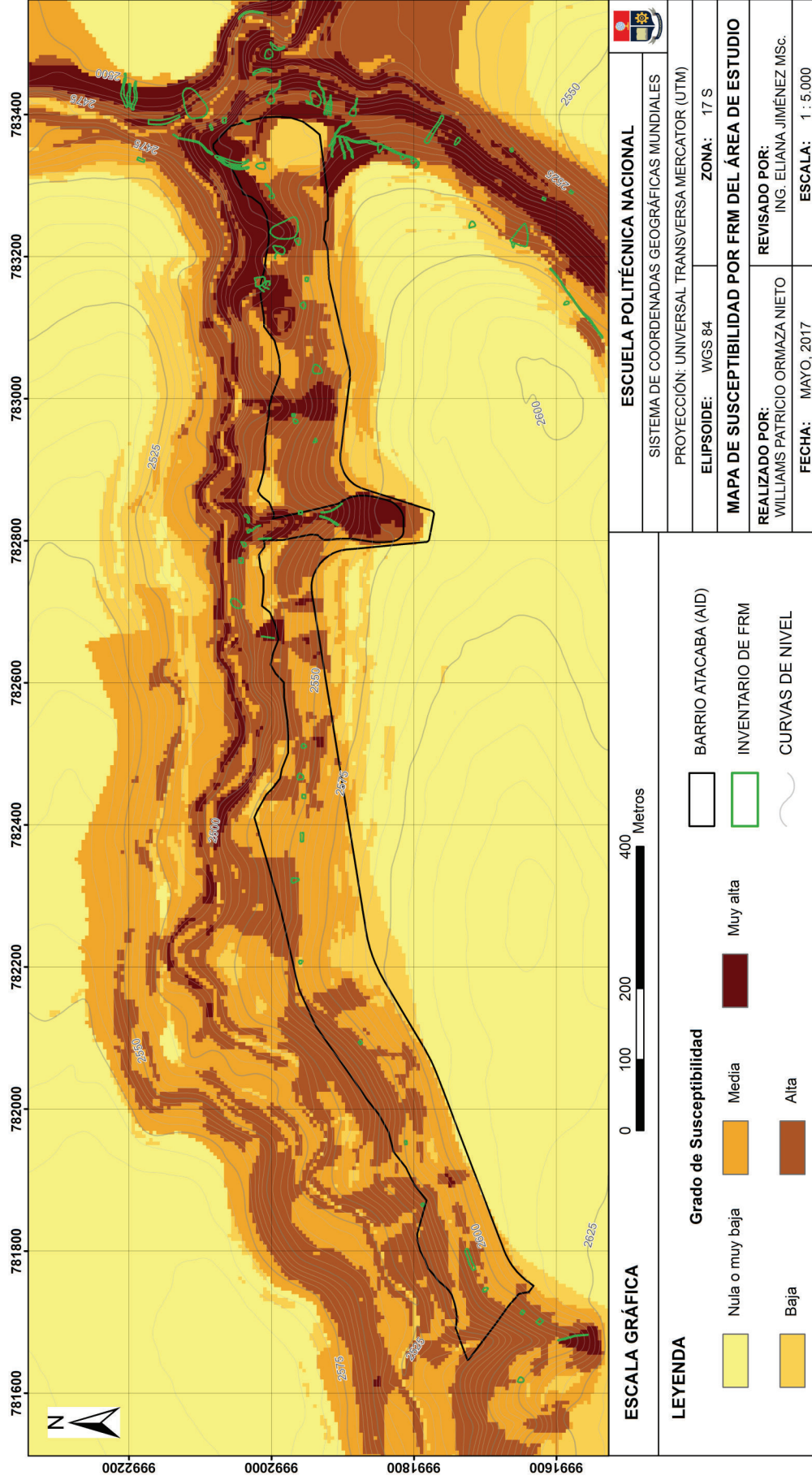
Anexo V. Mapa de Pendientes del Área de Estudio




<b>ESCALA GRÁFICA</b>		0 100 200 400 Metros	
<b>LEYENDA</b>		<b>RANGOS DE PENDIENTES</b>	
	0 - 8°		17 - 30°
	9 - 16°		31 - 50°
	> 50°		CURVAS DE NIVEL
	BARRIO ATACABA (AID)		
<b>ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL</b>		SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES	
PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR (UTM)		ELIPSOIDE: WGS 84 ZONA: 17 S	
<b>MAPA DE PENDIENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>		REALIZADO POR: WILLIAMS PATRICIO ORMAZA NIETO	
FECHA: MAYO, 2017		REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.	
ESCALA: 1 : 5.000			



Anexo VI. Mapa de Susceptibilidad por FRM del Área de Estudio



 <b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b>	
SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MUNDIALES	
PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSA MERCATOR (UTM)	
ELIPSOIDE: WGS 84	ZONA: 17 S
<b>MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR FRM DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	
REALIZADO POR: WILLIAMS PATRICIO ORMAZA NIETO	
REVISADO POR: ING. ELIANA JIMÉNEZ MSc.	
FECHA: MAYO, 2017	
ESCALA: 1 : 5.000	

Anexo VI. Mapa de Susceptibilidad por FRM del AID (Barrio Atacaba)

