

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y PETRÓLEOS**

**UNIDAD DE TITULACIÓN**

**ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR FENÓMENOS DE  
REMOCIÓN EN MASA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE  
QUITO (DMQ)**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERAS  
GEÓLOGAS**

**MYRIAM ANDREA PULLAS FUERTES**

myriam.pullas@epn.edu.ec

**MARÍA VICTORIA ROBALINO ROBALINO**

victoria11robalino@hotmail.com

**Directora: Dra. Isabel Carolina Bernal Carrera**

isabel.bernal@epn.edu.ec

**Quito, Agosto 2018**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Nosotros, María Victoria Robalino Robalino y Myriam Andrea Pullas Fuertes, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

María Victoria Robalino Robalino

---

Myriam Andrea Pullas Fuertes

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por María Victoria Robalino Robalino y Myriam Andrea Pullas Fuertes bajo mi supervisión.

---

Dra. Isabel Carolina Bernal Carrera

DIRECTORA DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

Para empezar agradezco a Dios que me permitió despertar cada día con la certeza de alcanzar mis anhelados sueños y haber fortalecido en este largo camino.

Infinito amor, apoyo, constancia y sacrificio es lo que a mis padres puedo agradecer, pues han sido mi ejemplo de lucha y superación. A mi madre Marianela por ser quien con sus cuidados, consejos, regaños y amor supo guiar mi camino pero ante todo quiero expresar mi gratitud eterna a mi padre Edwin que con su trabajo agotador me ha provisto de todo lo necesario durante todos estos años siempre creyendo, alentando y confiando en que jamás yo habría de defraudarlo.

A mis hermanos Andrea y Pedro a los cuales amo y se que tuvieron que soportar muchas veces mi mal genio después de largas jornadas de estudio, espero poder ser un buen ejemplo a seguir para ustedes. A mis abuelitos, ñañito y mis tías por sus muestras de apoyo incondicional.

A la Ingeniera Eliana Jiménez por compartir sus conocimientos y su tiempo para la realización de este proyecto de titulación.

A la Dirección de Gestión de Riesgos del DMQ por proporcionarnos la información para la realización de este trabajo.

A mi amiga y compañera de tesis Andrea por su constante apoyo y tolerancia durante este arduo camino que hoy llega a su culminación, no importa a donde se dirijan nuestros caminos la gratitud y nuestra amistad será eterna.

Por los gratos momentos vividos durante mi etapa universitaria a la mis amigos Dario, Eve, Shir, Daysi, Daya, Paúl, Josué, Gabriel, Alexis, Juan Andrés, Santy, Ángel, Pao y Ofe que entre risas, cervezas, comidas, salidas de campo y demás, se convirtieron en mi segunda familia, brindandome su amistad sincera y desinteresada, fueron un gran apoyo para mí para poder lograr esta meta.

A la Escuela Politécnica Nacional por formarme como profesional y ser humano, a mis profesores de Geología por compartirme sus conocimientos académicos y consejos.

Victoria Robalino

## AGRADECIMIENTOS

Una tesis no sólo es fruto del esfuerzo personal, sino que necesita de la ayuda de muchas personas, tanto en lo profesional como en lo personal. Con estas líneas quisiera mostrar mi más sincero agradecimiento a todas ellas.

A la Ingeniera Eliana Jiménez por su gran ayuda y colaboración en cada momento de consulta en este trabajo de titulación.

A la Dirección de Gestión de Riesgos del Distrito Metropolitano de Quito por facilitar la información necesaria para este trabajo de titulación.

A mi Madre, gracias por el gran amor, por el apoyo ilimitado e incondicional, por tener esa fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos y por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla.

A mi hermana Daniela, pues ella sentó en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación.

A mi familia, sin ustedes no hubiera llegado tan lejos. Gracias por tanto amor recibido todos estos años.

A ti, mi motivación e inspiración, te agradezco por creer en mí, por escucharme y darme fuerzas cuando más lo necesitaba. Gracias por existir en mi vida.

A Victoria, mi amiga y compañera de Tesis, gracias por aquellas tardes de estudio, risas y ocurrencias, estos 6 años a tu lado han sido los mejores.

A mi mejor amiga, Cris, por compartir conmigo no sólo mis momentos felices, sino también los más desastrosos, vergonzosos y tristes.

A mis amigos, su apoyo y cariño hicieron mi experiencia en la Universidad algo inolvidable.

*Andrea Pullas Fuertes*

## DEDICATORIA

*A mis padres Edwin y Marianela*

*A mis hermanos Andrea y Pedro*

*Victoria Robalino*

## DEDICATORIA

*A María Emilia, mi luz y mis ganas de salir adelante.  
Aunque todavía no sabes leer, un día vas a aprender,  
y sabrás que este trabajo es para ti y por ti.*

*Andrea Pullas Fuertes*

# CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XV</b>
<b>1 CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	3
1.3 Justificación .....	6
1.3.1 Justificación teórica.....	6
1.3.2 Justificación metodológica.....	7
1.3.4 Justificación práctica .....	8
1.4 Hipótesis.....	8
1.5 Objetivo general.....	9
1.6 Objetivos específicos.....	9
1.7 Alcance .....	9
<b>2 CAPITULO II: CONCEPTOS GENERALES</b> .....	<b>10</b>
2.1 Amenaza.....	10
2.1.1 Amenazas naturales .....	10
2.1.2 Amenaza geológica .....	10
2.1.3 Fenómenos de Remoción en Masa .....	10
2.2 Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa .....	13
2.3 Tipos de mapas de zonificación.....	13
2.3.1 Mapa de zonificación de susceptibilidad por FRM.....	13
2.4 Metodología para la elaboración de mapas de susceptibilidad por FRM.....	14
2.4.1 Método heurístico.....	15
2.4.2 Método Geomorfológico.....	15

2.4.3 Método de Ponderación de Parámetros.....	15
2.4.4 Método de Mora y Vahrson .....	15
2.4.5 Método Estadístico .....	16
2.4.6 Método de La Matriz (Jiménez, Perálvarez).....	17
2.5 Localización .....	17
2.5.1 Accesibilidad.....	18
2.6 Aspectos socioeconómicos .....	19
2.6.1 Crecimiento de la Población.....	19
2.6.2 Servicios básicos.....	20
2.7 Aspectos Físicos.....	22
2.7.1 Clima.....	22
2.7.2 Hidrografía.....	23
2.7.3 Suelo.....	23
2.8 Geomorfología .....	23
2.9 Geología Regional.....	26
2.9.1 El Valle Interandino .....	26
2.10 Geología Local .....	27
Formación Pisque.....	29
Formación San Miguel.....	29
Formación Guayllabamba .....	29
Formación Chiche.....	30
Formación Machangara .....	30
Formación Mojanda Fuya- Fuya.....	30
Formación Cangahua.....	31
Depósitos Holocénicos .....	31
Depósitos “La Carolina”.....	31
<b>3 CAPITULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>33</b>
3.1 Método de La Matriz (Jiménez Perálvarez).....	33
Delimitación del Área de Estudio .....	35
3.2 Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa.....	36
3.3 Geología .....	40
3.4 Modelo Digital de Elevación.....	46

3.4.1	Altur.....	47
3.4.2	Orientación de la Ladera (Aspect).....	49
3.4.3	Pendiente .....	51
3.4.4	Combinación de los Factores determinantes (Combine).....	53
3.4.5	Tabulación de toda la Información (Tabulate).....	53
<b>4</b>	<b>CAPITULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
4.1	Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa (M1).....	57
4.2	Geología .....	58
4.3	Modelo Digital de Elevación (DEM).....	61
4.3.1	Altura.....	61
4.3.2	Mapa de Orientación de la Ladera (Aspect).....	62
4.3.3	Pendiente .....	63
4.4	Combinación de los factores determinantes .....	64
4.5	Tabulación de la Información (Tabulate) (M2).....	65
<b>5</b>	<b>CAPITULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
5.1	Análisis de los Resultados en función de las combinaciones.....	72
5.2	Áreas más representativas según rango susceptibilidad y pendiente .....	73
5.2.1	Susceptibilidad Moderada .....	73
5.2.2	Susceptibilidad Alta.....	74
5.2.3	Susceptibilidad Muy Alta.....	74
5.3	Validación de los Resultados.....	75
5.4	Porcentaje total de FRM agrupados en cada rango de susceptibilidad.....	75
	Porcentaje del área de cada rango de susceptibilidad en relación al área total de estudio. ....	77
5.5	Análisis de los niveles de Susceptibilidad por FRM.....	78
5.5.1	Relación del Mapa de Susceptibilidad con las fallas geológicas del DMQ.....	80
5.5.2	Comparación del Mapa de Susceptibilidad realizado con el Mapa de Susceptibilidad de FUNEPSA.....	81
<b>6</b>	<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
6.1	Conclusiones.....	85
6.2	Recomendaciones .....	87
	<b>Bibliografía:.....</b>	<b>88</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>92</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Desarrollo humano en DMQ. Fuente (Documentos del Municipio de Quito realizado por el Ing. Diego Chamba).....	3
<b>Figura 1.2</b> A) Deslizamiento en la Quebrada Calicanto debido a los rellenos. B) Deslizamiento en la cuenca del Río Monjas .....	5
<b>Figura 2.1</b> Diagrama explicativo de las diferentes metodologías que pueden ser empleadas para realizar un mapa de Susceptibilidad. Modificado de (Mendoza Ramírez & Aristizábal, 2017).....	14
<b>Figura 2.2</b> Representación esquemática del proceso en un SIG del Método Estadístico Univariado. Fuente: (Suarez, 2009) .....	16
<b>Figura 2.3</b> Mapa de ubicación del DMQ. (Fuente: Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos Municipio, 2016).....	18
<b>Figura 3.1</b> Determinación de la Susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante el Método de la Matriz (tomado de Jiménez Peralvárez., 2012).....	34
<b>Figura 3.2</b> Diagrama de flujo de la metodología.....	35
<b>Figura 3.3</b> Área de Estudio .....	36
<b>Figura 3.4</b> Bases de datos de FRM en el DMQ.....	38
<b>Figura 3.5</b> Representación de los FRM (puntos y polígonos).....	39
<b>Figura 3.6</b> Polígonos de FRM a utilizarse.....	40
<b>Figura 3.7</b> Geología del DMQ. Modificado del Mapa Geológico de FUNEPSA (2015) y SIGAGRO (2015) .....	41
<b>Figura 3.8</b> Ubicación de la herramienta “Polygon to Raster”.....	46
<b>Figura 3.9</b> Modelo de Altura Digital del Distrito Metropolitano de Quito.....	47
<b>Figura 3.10</b> Reclasificación del DEM.....	48
<b>Figura 3.11</b> Obtención del parámetro Aspect a partir del DEM usando el GIS. ....	49
<b>Figura 3.12</b> Determinación del Orientación de la ladera reclasificada.....	50
<b>Figura 3.13</b> Obtención del parámetro Slope a partir del DEM usando el GIS. ....	51
<b>Figura 3.14</b> Obtención del mapa de pendientes a través de la herramienta “Reclasify” ..	52
<b>Figura 3.15</b> Aplicación de la herramienta “Combine” .....	53

<b>Figura 3.16</b> Obtención de la Susceptibilidad Dividiendo el VALOR_2 para el AREA y multiplicado por 100.....	54
<b>Figura 3.17</b> Herramienta “Join” utilizada en el método.....	55
<b>Figura 4.1</b> Tabla de atributos de la capa de Inventario de FRM.....	57
<b>Figura 4.2</b> Mapa de Inventario de FRM .....	58
<b>Figura 4.3</b> Asignación de valores enteros a cada litología .....	59
<b>Figura 4.4</b> Litología del DMQ en formato Raster.....	60
<b>Figura 4.5</b> Mapa de altura es formato Raster .....	61
<b>Figura 4.6</b> Mapa de orientación de la ladera.....	62
<b>Figura 4.7</b> Mapa de pendiente reclasificado .....	63
<b>Figura 4.8</b> Mapa generado por la herramienta “Combine”.....	64
<b>Figura 4.9</b> Combinación de los factores tomados en cuenta para la aplicación del Método .....	65
<b>Figura 4.10</b> “Tabulate” donde se puede observar la susceptibilidad de manera numérica. ....	66
<b>Figura 4.11</b> Unión “Join” del Raster Combine con la tabla Tabulate para poder representar la susceptibilidad de una manera gráfica. ....	67
<b>Figura 4.12</b> Mapa de susceptibilidad.....	68
<b>Figura 5.1</b> Filtrado de la información según su nivel de susceptibilidad.....	73
<b>Figura 5.2</b> FRM contabilizados en las tres zonas susceptibles. ....	76
<b>Figura 5.3</b> Porcentajes de FRM totales en el área de estudio .....	77
<b>Figura 5.4</b> Representación gráfica de FRM y otros FRM en las Administraciones Zonales .....	80
<b>Figura 5.5</b> Representación de Fallas geológicas en el DMQ (Alvarado, 2012) y el Mapa de Susceptibilidad.....	81
<b>Figura 5.6</b> . a) Mapa de zonificación de la Susceptibilidad realizado con el Método de la Matriz, b) Mapa de zonificación de la Susceptibilidad realizado por FUNEPSA 2015.....	82

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Características Urbanas de DMQ Fuente: INEC. Censos de Población y Vivienda. Años 1950 - 2010.....	2
<b>Tabla 2.1</b> Resumen de la clasificación de los FRM.....	11
<b>Tabla 3.1</b> Agrupación de unidades Litológicas de acuerdo a su génesis y sus características geomecánicas .....	44
<b>Tabla 3.2</b> Rangos de alturas utilizados .....	48
<b>Tabla 3.3</b> Rangos de valores utilizados en la Orientación de la Ladera .....	49
<b>Tabla 3.4</b> Valores de pendientes .....	52
<b>Tabla 3.5</b> Valores de Susceptibilidad.....	56
<b>Tabla 5.1</b> Número de combinaciones según la susceptibilidad.....	72
<b>Tabla 5.2</b> Combinaciones que predominan en la Susceptibilidad Media (3) .....	74
<b>Tabla 5.3</b> Combinaciones que predominan en la Susceptibilidad Alta (4) .....	74
<b>Tabla 5.4</b> Combinaciones que predominan en la Susceptibilidad Muy Alta (5).....	75
<b>Tabla 5.5</b> Puntos de FRM en cada susceptibilidad .....	76
<b>Tabla 5.6</b> Porcentaje de área de cada rango de susceptibilidad .....	78

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Tabla de correlación con el mapa de susceptibilidad por FRM.....	93
Anexo II Tabla de correlación con el mapa de susceptibilidad por FRM.....	95
Anexo III Mapa de Inventario FRM del área de estudio .....	98
Anexo IV. Mapa Litológico .....	99
Anexo V Mapa de Pendientes del área de Estudio .....	100
Anexo VI Mapa de orientación del área de estudio .....	101
Anexo VII Mapa de alturas del área de estudio.....	102
Anexo IX Mapa de zonificación de la susceptibilidad y fallas del DMQ.....	104
Anexo X Mapa de Susceptibilidad e inventario de FRM .....	105
Anexo XI Mapa de zonificación de la Susceptibilidad, Inventario de FRM y fallas presentes en el DMQ.....	106
Anexo XII Mapa de susceptibilidad y Deslizamientos de la base de datos .....	107
Anexo XIII Mapa de susceptibilidad y otros FRM de la base de datos.....	108

## Resumen

En el presente estudio, se realizó el mapa de susceptibilidad por FRM, a escala 1:10.000 en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), mediante la aplicación del Método de la Matriz Jiménez Perálvarez, éste se fundamenta en un análisis estadístico bivariado de los factores determinantes característicos de las laderas de la zona de estudio como son: litología y el mapa de inventario de Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) donde se ubican las zonas inestables; y por otro lado factores determinantes derivados del modelo de terreno DEM: Altura, ángulo de la pendiente y orientación de las laderas. Este método se desarrolla a través de una aplicación SIG en la cual se realizó la correlación de la cartografía de los factores mencionados.

Finalmente con el mapa de susceptibilidad por FRM se obtuvo un porcentaje 35.01% del área total que se encuentran en una susceptibilidad Media, Alta y Muy Alta así mostrando las zonas más propensas a la ocurrencia de FRM. Este mapa permite delimitar las zonas más propensas a la generación de Fenómenos de Remoción en Masa, para plantear alternativas de prevención y mitigación que contribuirán en el mejoramiento de la calidad de vida de la población del Distrito Metropolitano de Quito, a través de mecanismos de planificación territorial.

**Palabras clave:** *Susceptibilidad, DMQ, Fenómenos de Remoción en Masa, Zonificación*

## Abstract

In the present study, the FRM susceptibility map is made, at a scale of 1: 10,000 in the Distrito Metropolitano de Quito, through the application of the Jiménez Perálvarez Matrix Method, which is based on a bivariate statistical analysis of the characteristic determining factors from the slopes of the study area such as: lithology and the Mass Removal Phenomena (FRM) Inventory Map where the unstable areas are located; and determining factors derived from the terrain model DEM: height, angle of the slope and orientation of the slopes. This method is developed through a GIS application in which the correlation of the mapping of the aforementioned factors is performed.

Finally with the map of susceptibility for FRM there obtained a percentage 35.01% of the total area that are in an Average, High and Very high like that susceptibility showing the zones most inclined to FRM's occurrence. This map allows to delimit the zones most inclined to the generation of Phenomena of Removal in Mass, to raise alternatives of prevention and mitigation that they will contribute in the improvement of the quality of life of the population of the Metropolitan District of Quito, across mechanisms of territorial planning

**Keywords:** Susceptibility, DMQ, Mass Removal Phenomena, Zoning

# CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) por estar asentado en una cuenca alargada en las faldas del volcán Pichincha es proclive a sufrir inundaciones en las partes bajas de poca pendiente y aluviones o flujos acelerados en las partes de altas pendientes. El DMQ posee un área mayor a las 423,000 Ha. y un área consolidada de aprox. 33,400 Ha y está conformada por 32 parroquias urbanas y 33 rurales gestionadas en 11 zonas administrativas.

La topografía del DMQ, ha sido decisiva en cuanto a su crecimiento urbano, pues impuso una ocupación alargada en las zonas planas y luego sucesivamente en las laderas con un relleno simultáneo de las quebradas. Esta ocupación no ha estado necesariamente ligada a una planificación territorial, manejo adecuado de las quebradas y de la zona de laderas, lo que ha provocado que fenómenos naturales generen accidentes morfo climáticos que han provocado muertes y graves daños materiales.

La investigación realizada por Peltre, 1989, es un estudio detallado de los accidentes morfo climáticos recogidos en la prensa, y que fueron de importancia para la ciudad, por ello es importante señalar que los Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) o Movimientos en Masa (MM) registrados están circunscritos al crecimiento urbano. Los deslizamientos y hundimientos registrados en este período se circunscriben a la zona urbana y se han generado por la acción antrópica: deforestación y construcción de viviendas en de laderas con fuertes pendientes y filos de quebradas, rellenos anti técnicos de quebradas, excavación inadecuada de los taludes de caminos y canteras. Aunque los deslizamientos que se registran en la periferia de la ciudad no están relacionados a causas antrópicas, se han producido en zonas de laderas con fuerte pendiente, como lo señala la investigación.

Los mayores problemas del sitio urbano están directamente relacionados con el reemplazo del sistema natural de drenaje de las quebradas por una red de alcantarillas para evacuar las crecidas de las precipitaciones más intensas del clima ecuatorial de altura. Es así que se debe recomendar que se mantenga los cursos de quebradas y

cauces naturales abierto, tal como la actualización del Plan Maestro integrado de Agua Potable y Alcantarillado (EPMAPS, 2010) y Peltre, 1989 reiteran en sus estudios; como experiencia en el sur de la ciudad existe un mejor drenaje de aguas lluvias relativamente.

El DMQ, en un período de 450 años (1535-1983) creció 100 veces de 1km<sup>2</sup> a 100km<sup>2</sup>. En la actualidad el Distrito Metropolitano de Quito que agrupa las zonas de los valles tiene una superficie de 423 000 Ha es decir 4230km<sup>2</sup> y la mancha urbana hasta el 2015 cubre un área de 4270km<sup>2</sup>, es decir en los últimos 35 años ha crecido cuatro veces, lo que ha llevado a un cambio drástico de la morfología de las laderas del DMQ. Tabla 1.1 y Figura 1.1

En el periodo de 1900 hasta 2016 se han registrado más de mil eventos de FRM, en función de los datos registrados por el COE- DMQ, así como de la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos del Municipio del DMQ. Con estos antecedentes, el contar con una herramienta de planificación del territorio a través de la zonificación de la susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa en el DMQ, es importante como un aporte para conocer los factores inciden en la generación de FRM.

Tabla 0.1 Características Urbanas de DMQ Fuente: INEC. Censos de Población y Vivienda. Años 1950 - 2010

Año	Población	
	DMQ	QUITO
1950	319.221	209.232
1962	510.286	354.746
1974	782.651	599.828
1982	1 116.035	922.556
1990	1 409.845	1 100.847
2001	1 893.641	1 449.349
2010	2 239.191	1 619.146

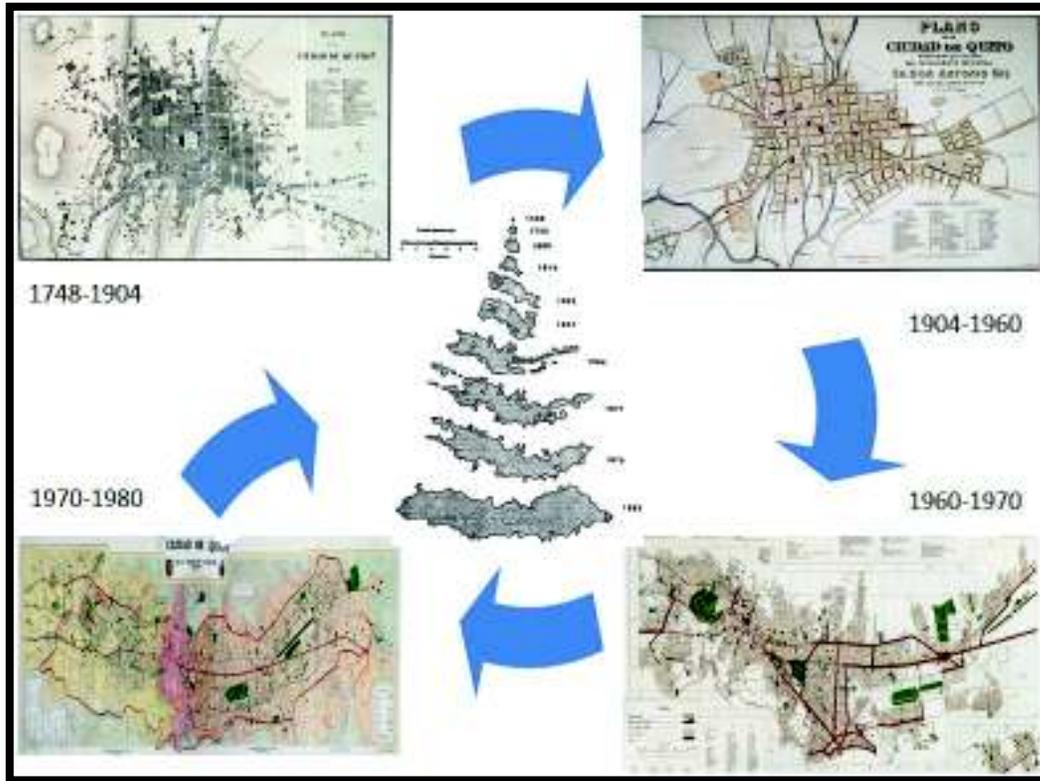


Figura 0.1 Desarrollo humano en DMQ. Fuente (Documentos del Municipio de Quito realizado por el Ing. Diego Chamba)

## 1.2 Planteamiento del problema

Algunos de los procesos geodinámicos externos naturales que ocurren en la superficie terrestre son los Fenómenos de Remoción en Masa, muchos de ellos han sido influenciados por la actividad antrópica. Ecuador posee diversas características geográfica, geológica y climática, éstas se encuentran relacionadas con distintos factores tales como el tipo de material, la morfología, la sismicidad, el Fenómeno de El Niño y el uso de las zonas montañosas, los Fenómenos de Remoción en Masa siempre han estado presentes. (Eras M. , 2014)

Estos FRM han provocado grandes pérdidas económicas, sociales y humanas. Entre los años 1980 a 1990, el promedio anual de víctimas mortales por FRM en la Región Andina fue alrededor de cincuenta y más de cien viviendas sufrieron daño parcial o total (Pazos & Vinuesa, 1990). En la zona del volcán El Reventador se generaron Movimientos en Masa

a partir del terremoto de 1987, causaron daños en las redes viales entre Quito y Lago Agrio y Baeza – Lago Agrio, aislando cerca de 75000 habitantes, además de la rotura de la tubería del Oleoducto Trans-Ecuatoriano, lo que causo una gran pérdida de ingresos para el país que se estimó que fue aproximadamente 800 millones de dólares (Hall, Estudios de Geografía, 2000), esto provocó una recesión económica para el país los siguientes 5 años. (Eras M. , 2014)

Otro suceso que afectó al país fue el deslizamiento-represamiento de la Josefina, que ocurrió el 29 de marzo de 1993 en el borde oriental de la cuenca de Cuenca. La masa movida formó una presa natural taponando los cauces de los ríos Paute y Jadán, formando un embalse de alrededor de 20 millones de metros cúbicos. (Plaza, 1996).El deslizamiento fue provocado principalmente por causas naturales tales como las fuertes lluvias y los rasgos geomorfológicos, también hubo otras causas como las artificiales que fue la explotación de material en el pie de la ladera sin un control adecuado, esto provocó que se inundara cultivos, casas, la central termoeléctrica, la vía que enlaza Cuenca con otros poblados además el acceso de la central Hidroeléctrica Paute.

El (DMQ) está ubicado en la Provincia de Pichincha, situado en la zona norte de la Cordillera de los Andes, misma que atraviesa el Ecuador de Norte a Sur. Su nombre se deriva de su cabecera cantonal, la ciudad de San Francisco de Quito y se divide en 11 administraciones zonales. Quito en la actualidad se ha convertido en una ciudad moderna, teniendo un crecimiento exponencial de la población. Según el Censo de Población y Vivienda del 2010, el DMQ tiene casi 400.000 habitantes más que en el 2001 lo que representa una tasa de crecimiento de 2,18%. Los 2'239.191 habitantes de Quito representan el 86,9% de la población de la provincia de Pichincha y el 15.5% de la población total del país. Se estima que para el año 2022, la población del DMQ será de casi 2,8 millones de habitantes en el DMQ, de los cuales el 68,7% residirá en el área urbana.

El crecimiento exponencial de la población ha traído un drástico cambio en la morfología de las laderas que rodean la ciudad y las redes naturales de drenaje, con la finalidad de expandir los asentamientos urbanos, en la actualidad este problema es la principal causa que se produzcan Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) (Peltre, 1989). En este sentido, los estudios de zonificación con el uso de nuevas metodologías, permitirán determinar con mayor precisión las zonas más sensibles a la ocurrencia de FRM.

Al terminar el presente estudio se conseguirá un Mapa de Susceptibilidad por FRM a escala 1:10.000 a través de la metodología de Jiménez Perálvarez con la combinación del factor Geológico, Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa (IFRM) y Modelo del Terreno (DEM), en un área de 1325.68 Km<sup>2</sup> del cantón Quito. Este mapa permitirá determinar con mayor precisión las zonas donde pueden generarse FRM y que puedan afectar a la población, el cual favorecerá a que el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito pueda tomar las decisiones necesarias para resguardar a la población que está expuesta a los FRM. Figura 1.2



Figura 0.2 A) Deslizamiento en la Quebrada Calicanto debido a los rellenos. B) Deslizamiento en la cuenca del Río Monjas

## **1.3 Justificación**

### **1.3.1 Justificación teórica**

La ingeniería Geológica es considerada como una ciencia aplicada al estudio y solución de varios problemas causados por la interacción entre la geología y las actividades humanas, esta ingeniería tiene como fin la evolución, prevención y mitigación de los riesgos geológicos. Los FRM ya se han provocado por la dinámica del planeta Tierra en el medio geológico, cambio natural del relieve y también desencadenados por la actividad humana, lo que ha causado grandes pérdidas económicas, sociales y víctimas humanas. (Abad Cárdenas, 2006).

Los FRM producidos en el DMQ son provocados por los siguientes factores desencadenantes: sismos, lluvias, erosión fluvial al pie de la ladera y especialmente la actividad antrópica como construcciones de urbanizaciones, carreteras, explotación minera e irrigación (Pazos & Vinueza, 1990). Según (Plaza, 1998), otros factores importantes son la litología y fracturación de los terrenos, el tipo de suelo, la pendiente de las laderas, y frecuentemente la deforestación, quema de maleza, así como las excavaciones, rellenos anti-técnicos, la ocupación y mal uso de laderas por presión social en los centros poblados.

Los FRM han sido identificados principalmente en zonas que tienen pendientes mayores al 25%, que constituyen las laderas del Complejo Volcánico Pichincha al oeste de la ciudad y en el sector oriental, formado por las lomas Lumbisí, La Bota-Batán, Puengasí y Bellavista, que se encuentran en la cota de 2.900 msnm, en las riberas o rellenos de la red natural de drenaje y en algunas partes del subsuelo de la ciudad, conformado por depósitos lacustres y niveles freáticos superficiales.

En el DMQ los Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) han llegado a ser muy recurrentes, no solo a los factores antes mencionados, sino también 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, acentuado,

acelerando y generando la aparición de nuevas amenazas (Córdova & y Vallejo, 2012) lo que se ha convertido en un problema de crecimiento urbano mal controlado y en una fuente de amenazas para la población asentada en las riberas y laderas de estas quebradas.

En el DMQ, la construcción de infraestructuras en las laderas se la hace sin considerar estudios técnicos que tomen en cuenta las características geodinámicas, como: el tipo de rocas, la geomorfología, los aspectos geo mecánicos, los sistemas de drenaje, la escorrentía, los procesos de erosión y transporte de los sedimentos de estas zonas, lo que genera niveles altos de exposición a Fenómenos de Remoción en Masa. Adicionalmente, la mala gestión de los recursos naturales, la degradación del medio ambiente, la falta de adecuados servicios ha complicado la problemática volviéndola difícil de manejar, en muchos casos varias de las viviendas ubicadas en estas zonas no cuentan con planos aprobados por el Municipio de Quito, creando así una vulnerabilidad estructural, medio ambiental y social.

### **1.3.2 Justificación metodológica**

Varios autores han desarrollado diversas metodologías para evaluar cuáles son los principales procesos que generan los Fenómenos de Remoción en Masa, algunos de ellos asociados a cambios climáticos, usando para ello diversas herramientas. Las metodologías antes mencionadas pueden ser aplicadas a zonas con determinadas condiciones geomorfológicas, geológicas, geotécnicas, climáticas, etc.

De acuerdo a (Fell R. , Corominas, Bonnard, Cascini, Leroi, & Savage, 2008) los métodos de evaluación de la susceptibilidad pueden variar según; el propósito de la zonificación (información, planificación, pre-diseño, diseño), el nivel de zonificación (básico, intermedio y a detalle) y la escala de zonificación. Usando estas metodologías para zonificar la susceptibilidad por FRM se puede delimitar zonas más sensibles a la ocurrencia de este tipo de fenómenos.

Para la obtención del Mapa de Zonificación de Susceptibilidad por FRM en el Distrito Metropolitano de Quito se requiere de la recopilación de información de los FRM ocurridos desde el año de 1900 hasta el año 2016 que permitirá su ajuste y calibración a través de un Mapa de Inventario de FRM (IFRM), así como también se requiere de los mapas con las características geológicas, de pendientes, y de aspecto, facilitados por el

Municipio de Quito, mismos que se procesaran a través del Método de la Matriz (Jiménez Perálvarez J. , 2012), ésta herramienta ofrece un procedimiento automático para realizar un análisis, cartografía y posterior validación de la susceptibilidad a los FRM.

En general, el Método de la Matriz (Jiménez Perálvarez, 2012), explica la distribución espacial de los FRM. Una vez el mapa de susceptibilidad está elaborado y validado, es posible hacer una selección más precisa de las zonas más apropiados para la ubicación o trazado de proyectos constructivos o de ingeniería, o áreas donde serían necesarios estudios a detalle. A pesar de todo, es crucial enfatizar la influencia de una adecuada aproximación ingenieril-geológica, así como un reconocimiento de campo y de foto-interpretación, con el objetivo de compilar la información básica para la prevención de los efectos de los FRM: el Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa (IFRM), las capas temáticas relacionadas con los factores determinantes y también la información disponible acerca de los factores desencadenantes de los movimientos.

#### **1.3.4 Justificación práctica**

La Escuela Politécnica Nacional del Ecuador y por ende la Facultad de Geología y Petróleos mantiene un convenio marco de cooperación interinstitucional con el Municipio del DMQ bajo la coordinación de la Secretaria General de Seguridad, con el fin de desarrollar proyectos de investigación científica en todas las áreas de conocimiento que aporten a la resolución de problemas en la ciudad. En este sentido contar con un mapa de susceptibilidad de FRM del DMQ a una escala adecuada facilitará la toma de decisiones en el ordenamiento territorial, así como también se podrá observar cuales zonas de la ciudad son los más afectados por este tipo de FRM, reduciendo así pérdidas humanas y estructurales.

El Mapa de Susceptibilidad puede ayudar para determinar la mitigación de la amenaza (estabilidad de taludes y quebradas, estudios de los suelos), determinar zonas donde se requiere realizar estudios a mayor detalle, así como también permite la identificación de las zonas o barrios más susceptibles a las diferentes amenazas que aquejan a la ciudad, para así mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Quito, reducir pérdidas económicas y estructurales y reguardar la integridad física.

### **1.4 Hipótesis**

La Zonificación de la Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), a través de la aplicación del Método de la Matriz, permitirá determinar las zonas más sensibles a FRM con una alta correlación con el inventario de Fenómenos de Remoción en Masa (IFRM) levantado.

## **1.5 Objetivo general**

Realizar la Zonificación de la Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa a escala 1:10.000, utilizando el Método de La Matriz (Jiménez Perálvarez J. , 2012) en el Distrito Metropolitano de Quito.

## **1.6 Objetivos específicos**

- Recopilar de la información de los Fenómenos de Remoción en Masa históricos que se han producido en DMQ desde el año 1900 hasta el año 2016 para crear una base de datos.
- Generar el Mapa de Inventario de los Fenómenos de Remoción en Masa con la información recopilada, estudios de foto interpretación y salidas de campo.
- Actualizar los mapas geológicos, de pendientes, aspecto y altura con la información de DMQ y los estudios de campo específicos realizados en diversos barrios de alta exposición a movimientos en Masa.
- Procesar los mapas a través del Método La Matriz (Jiménez Perálvarez ,2012), para obtener el mapa de zonificación y susceptibilidad.
- Calibrar los resultados del mapa de zonificación con el mapa de inventario y trabajo de campo.

## **1.7 Alcance**

Al terminar el presente estudio se conseguirá un mapa de susceptibilidad por FRM a escala 1:10.000 a través de la metodología de Jiménez Perálvarez con la combinación del factor geológico, inventario de Fenómenos de Remoción en Masa (IFRM) y Modelo Digital del Terreno. Este mapa contribuirá a que el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito pueda tomar las decisiones necesarias para resguardar a la población que está expuesta a los FRM.

## **CAPITULO II: CONCEPTOS GENERALES**

### **2.1 Amenaza**

Se define como amenaza a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de origen natural potencialmente dañino, que afecta a un lugar determinado, de una cierta magnitud y en un periodo de tiempo determinado. (Municipio del DMQ, 2015).

#### **2.1.1 Amenazas naturales**

Es la probabilidad de manifestación de un fenómeno de origen natural, como puede ser: una erupción volcánica, un terremoto, un tsunami o un huracán, su origen está asociado a procesos naturales de modificación y transformación del ambiente y la Tierra. Las amenazas naturales puede ser clasificadas de acuerdo con sus orígenes terrestres o atmosféricos, teniendo así: amenazas geomorfológicas, geológicas, hidrometeorológicas, climatológicas, oceánicas y bióticas. (FUNEPSA CÍA. LTDA, 2015).

#### **2.1.2 Amenaza geológica**

Son fenómenos o procesos terrestres internos (endógenos) y externos (exógenos), mismos que pueden causar daños materiales, degradación ambiental o pérdida de vida. Las amenazas geológicas internas se clasifican en tsunamis, terremotos, fallas geológicas, actividad y emisiones volcánicas; y las amenazas geológicas externas son los Movimientos en Masa (caída de roca, flujos, licuefacción, deslizamientos, avalanchas, colapsos superficiales, subsidencias y suelos expansivos). (Ormaza, 2017)

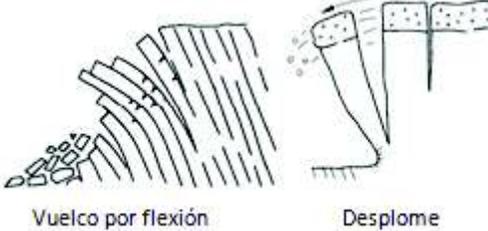
#### **2.1.3 Fenómenos de Remoción en Masa**

Fenómenos de Remoción en Masa o Movimientos en Masa son procesos de transporte de un volumen de material constituido por suelo, roca, escombros o una combinación de estos, que se desplazan a través de una superficie inclinada como puede ser una ladera o un talud, controlados fundamentalmente por acción de la gravedad (Cruden, 1991).

## Clasificación de los FRM

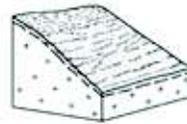
La clasificación de los Fenómenos de Remoción en Masa se considera tomando en cuenta diversos factores, como lo son: mecanismo de ruptura, características geológicas, geotécnicas, geomorfológicas, tipo de material, velocidades, vegetación, clima, actividad Antrópica, etc.

Tabla 1.1 Resumen de la clasificación de los FRM

<b>CLASIFICACIÓN DE LOS FRM</b>	
<p><b>Desprendimientos o caídas (falls)</b></p> <p>La caída es un tipo de Fenómenos de Remoción en Masa en donde uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. La principal causa de este tipo de fenómenos es por la gravedad, el material desciende a través del aire por caída. Es muy común que al impactar contra la superficie del terreno, la masa caída se rompa varios fragmentos. (Corominas, (s.f).)</p>	 <p>Desprendimiento      Colapso</p>
<p><b>Vuelcos (Topples)</b></p> <p>Este tipo de movimiento consiste en un giro hacia delante de uno o varios bloques de suelo o roca alrededor de un eje situado fuera de su centro de gravedad. Existen dos procesos para el mecanismo de rotura: vuelco por flexión y desplome. (Goodman &amp; Bray, 1976)</p>	 <p>Vuelco por flexión      Desplome</p>
<p><b>Expansiones Laterales (Lateral Spreads)</b></p> <p>Fracturación y extensión de material compacto debido a la licuefacción de material adyacente. El desplazamiento lateral provoca fracturación de capas de recubrimiento separándose en grandes bloques en los cuales pueden ingresar material arcilloso. (Merino, 2018)</p>	 <p>Por fluencia y extracción de material subyacente</p> <p>Por licuefacción</p>

## Flujos (Flows)

Los flujos son movimientos continuos de masas de suelo, similar a un líquido viscoso, por esta característica la masa movida no conserva la forma del material desplazado en su movimiento descendente, esto depende del tipo de material (cohesivo o granular), contenido de agua, movilidad y evolución del movimiento; adoptando a menudo, morfologías lobuladas en materiales cohesivos o formando conos de deyección en materiales granulares. (Corominas, (s.f).)



Reptación



Solifluxión



Colada de tierra



Corriente de derrubios



Golpe de arena



Avalancha de derrubios

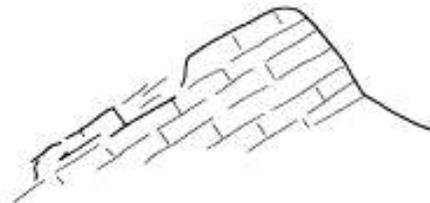
## Deslizamientos rotacionales (rotational slides, slumps)

Es un movimiento lateral abajo de una masa de suelo o roca, presenta una rotura que se produce a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Este tipo de movimientos se generan principalmente en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados. Se caracterizan por que el material de cabecera se encuentra en contra pendiente con la ladera. Este tipo de deslizamientos, una vez que se han generado, son propensos a una reactivación. (Corominas, (s.f).)



## Deslizamientos traslacionales (translational slides)

La Masa de terreno se desplaza a lo largo de una superficie de rotura plana o suavemente ondulada. Este tipo de deslizamiento está controlado por las fracturas de las rocas y la resistencia de los materiales. Debido a las características de la superficie de rotura los deslizamientos traslacionales deslizan más rápido que los rotacionales. (Corominas, (s.f).)



## **2.2 Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa**

La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones locales del mismo para que pueda ocurrir un FRM (Municipio del DMQ, 2015)

La susceptibilidad por FRM es una valoración cualitativa y cuantitativa del volumen, la clasificación y distribución de los FRM que existen o que pueden ocurrir en una determinada zona. (Eras M. , 2014)

Generalmente se espera que los FRM ocurran en zonas sensibles, pero en el análisis de la susceptibilidad, no se considera el periodo de retorno ni la frecuencia con la que ocurran este tipo de fenómenos. La susceptibilidad incluye los Fenómenos de Remoción en Masa que tienen su origen dentro o fuera del área de estudio, también puede incluir una descripción de la intensidad y velocidad de los movimientos existentes o de los movimientos potenciales. (Eras M. , 2014)

## **2.3 Tipos de mapas de zonificación**

### **2.3.1 Mapa de zonificación de susceptibilidad por FRM**

Brabb desarrolló los primeros mapas de susceptibilidad por FRM en la ciudad de San Mateo, California, para la USGS en el año de 1979. Este tipo de mapas representan principalmente la distribución espacial, la clasificación y el área o volumen de los FRM que pueden estar presentes en la zona de interés. Para la elaboración de estos mapas generalmente se incluye el inventario histórico de FRM y una valoración de las zonas que podrían presentar FRM (Abril, 2011)

Los mapas de susceptibilidad por FRM identifican áreas donde potencialmente se pueden generar tales procesos, también considera factores condicionantes como son: pendientes del terreno, geomorfología, geología y uso y ocupación actual del suelo, elaborados a partir del trabajo de campo, compilación de eventos históricos e interpretación de fotografías aéreas; clasifica la estabilidad relativa del área de estudio en categorías que van desde estable a inestable y muestran donde hay o no, condiciones para la ocurrencia de FRM. (Suarez, 2009) (Pavón & Garzón, 2014). El mapa de zonificación de

susceptibilidad por FRM no considera el periodo de ocurrencia de estos y puede no incluir información general de la velocidad e intensidad o de la distancia de viaje de los FRM existentes o potenciales. (Abril, 2011)

Este tipo de mapas no pueden predecir cuándo ocurrirán los procesos analizados. Los valores de susceptibilidad obtenidos no se los debe considerar como valores absolutos, sino más bien, como valores referenciales.

## 2.4 Metodología para la elaboración de mapas de susceptibilidad por FRM

Existen varias metodologías utilizadas para la evaluación de la susceptibilidad por FRM, generalmente la mayoría de ellas se basa en la determinación de factores que influyen en la generación de los FRM. De acuerdo a (Fell, Corominas, Bonnard, Cascini, Leroi, & Savage, 2008) estos métodos 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).

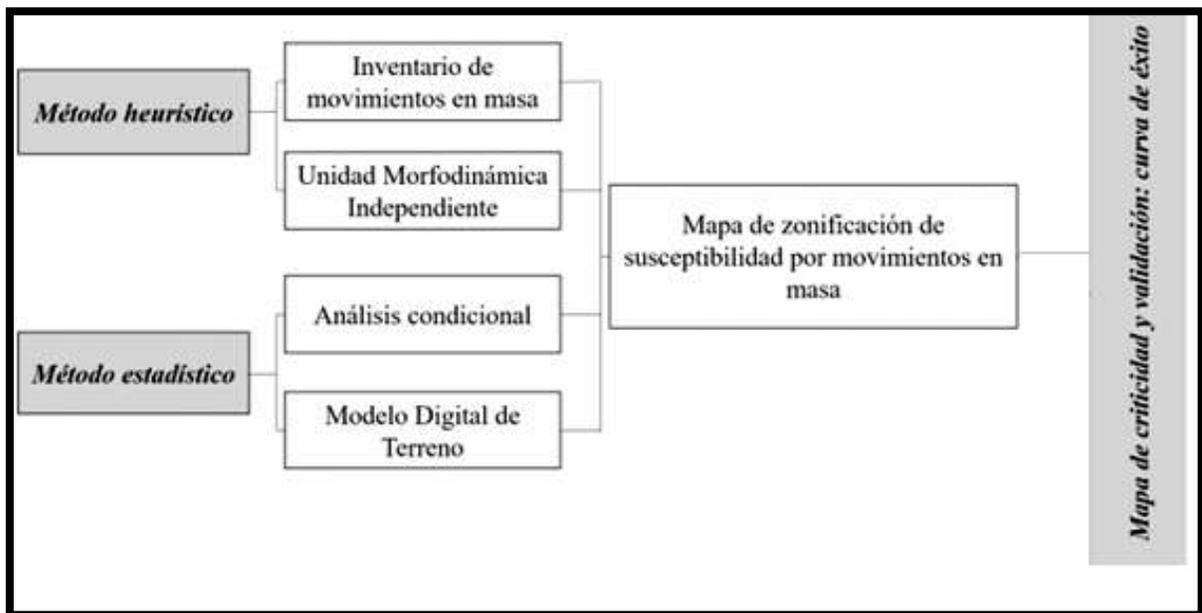


Figura 1.1 Diagrama explicativo de las diferentes metodologías que pueden ser empleadas para realizar un mapa de Susceptibilidad. Modificado de (Mendoza Ramírez & Aristizábal, 2017)

### **2.4.1 Método heurístico**

Este método se basa en el estudio conceptual de los procesos de ocurrencia de Movimientos en Masa, el análisis por parte de profesionales con experiencia es necesario, ellos son quienes se encargan de definir las reglas, criterios de estabilidad y evolución de los FRM (Suarez, 2009), sin embargo, es importante mencionar que las reglas de decisión y valoración son complicadas de evaluar y varían de un lugar a otro.

### **2.4.2 Método Geomorfológico**

Para poder emplear este método de una manera adecuada un geomorfológico, experto en los procesos superficiales y morfología es quien desarrolla el mapa de susceptibilidad en base a imágenes satelitales, ortofotografías y visitas al área de estudio con el objetivo de identificar las zonas que podrían ser afectadas por FRM en un futuro (Chung & Fabbri, 2003).

### **2.4.3 Método de Ponderación de Parámetros**

Este método requiere de un experto familiarizado con el área de estudio, el mismo que se encarga de identificar y escoger los parámetros principales causantes de la generación de FRM, posteriormente se asigna una valoración subjetiva de acuerdo a su importancia, para así poder combinarlos utilizando un algoritmo diseñado (Eras M. , 2014).

### **2.4.4 Método de Mora y Vahrson**

El método de Mora y Vahrson toma en cuenta la relación de tres factores intrínsecos: el relieve relativo, la litológica y la humedad del suelo. Adicionalmente, se considera dos factores externos relacionados con el evento, que son la precipitación y la actividad sísmica. Combinando todos los factores antes mencionados se determina el nivel de susceptibilidad a FRM de las laderas o taludes (Suarez, 2009). Este método es utilizado para clasificar la amenaza por Movimientos en Masa en áreas tropicales con una alta actividad sísmica.

## 2.4.5 Método Estadístico

Los métodos estadísticos aplicados al estudio de susceptibilidad por FRM son empleados cuando se tiene abundante información cualitativa y cuantitativa, la elaboración de estos mapas puede ser muy laboriosa debido a que la recolección de información requiere de un esfuerzo prolongado. (Ormaza, 2017)

En este método se utilizan factores de inestabilidad, como son: uso de suelo, precipitación, cobertura vegetal, ángulo de la pendiente, etc. Una vez obtenidos estos factores se realiza una matriz en donde las filas y las columnas representan estas variables, posteriormente se asigna valores de ponderación asignados por un experto en el tema. La suma de los puntajes de todas las variables da como resultado un mapa de valor numérico y se obtiene la susceptibilidad relativa.

El método estadístico más utilizado en la zonificación por FRM es el método Estadístico Univariado ya que la importancia de los factores pueden ser analizados individualmente (Suarez, 2009). En la siguiente figura se observa una representación esquemática del proceso que se realiza en un SIG del método Estadístico Univariado.

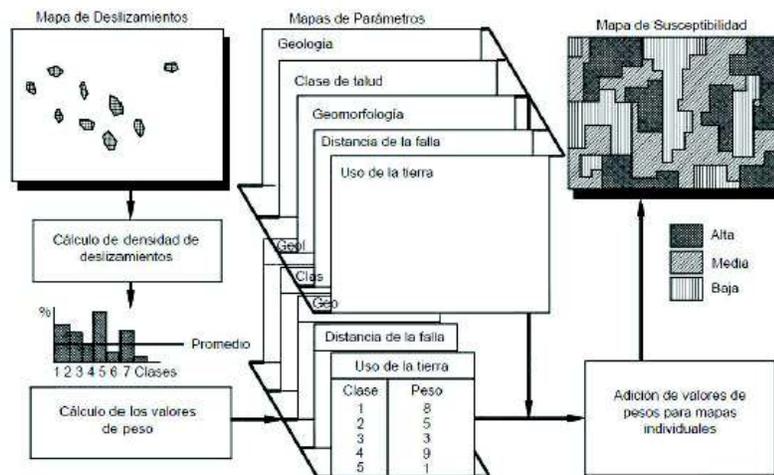


Figura 1.2 Representación esquemática del proceso en un SIG del Método Estadístico Univariado. Fuente: (Suarez, 2009)

#### **2.4.6 Método de La Matriz (Jiménez, Perálvarez)**

En el Método de la Matriz se utiliza una herramienta que ofrece un procedimiento de manera automática para la cartografía, análisis y validación de la susceptibilidad a los FRM. Gracias a esta herramienta se puede reducir el tiempo empleado entre el desarrollo de aplicaciones SIG para la estimación de la susceptibilidad a los Fenómenos de Remoción en Masa y su validación.

Una vez elaborado y validado el mapa de susceptibilidad, es posible hacer una selección rápida de los terrenos más adecuados para la ubicación de proyectos de ingeniería, o para la selección de áreas donde serían necesarios estudios más a detalle. A pesar de todo, es necesario realizar buenos trabajos de reconocimiento de campo y de fotointerpretación, con el objetivo de recopilar la información básica para la prevención de los efectos de los FRM, los datos necesarios para aplicar el método son: el Inventario de Movimientos en Masa, las capas temáticas relacionadas con los factores determinantes y la información disponible acerca a los factores desencadenantes de los fenómenos (Jiménez Perálvarez J. , 2012).

### **2.5 Localización**

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se encuentra en la Provincia de Pichincha, está situado en la zona norte de la Cordillera de los Andes, ésta atraviesa el Ecuador de Norte a Sur (Figura 2.3). El DMQ posee una superficie de 423,000 Ha., de las cuales 42.689,39 Has (10,09%) corresponden a la mancha urbana del Distrito y 380.311,82 Has (89,91%) pertenecen a las zonas rurales que contienen áreas agrícolas, áreas de preservación natural y bosques protectores. El DMQ, se encuentra localizado entre las coordenadas geográficas 0° 58' 53" latitud norte y 0° 41' 37" latitud sur, y entre 77° 58' 53" longitud este y 79° 3' 27" longitud oeste; Sus límites son: al norte, con la Provincia de Imbabura; al sur, con los cantones Rumiñahui y Mejía; al este, con los cantones Pedro Moncayo, Cayambe y la Provincia de Napo; al oeste con los cantones San Miguel de los Bancos, Pedro Vicente Maldonado y la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Municipio del DMQ, 2015)

Gracias a su particular posición geográfica y a la conformación biofísica del territorio irregular, el Distrito Metropolitano de Quito cuenta con una variedad de climas y

microclimas con rangos altitudinales que van desde los 490 msnm, en las parroquias del subtrópico como Pacto, hasta los 4.950 msnm, en la cima del Sincholagua. El DMQ está localizado en un territorio lleno de contrastes, con una riqueza ecológica y paisajística únicas en la región.

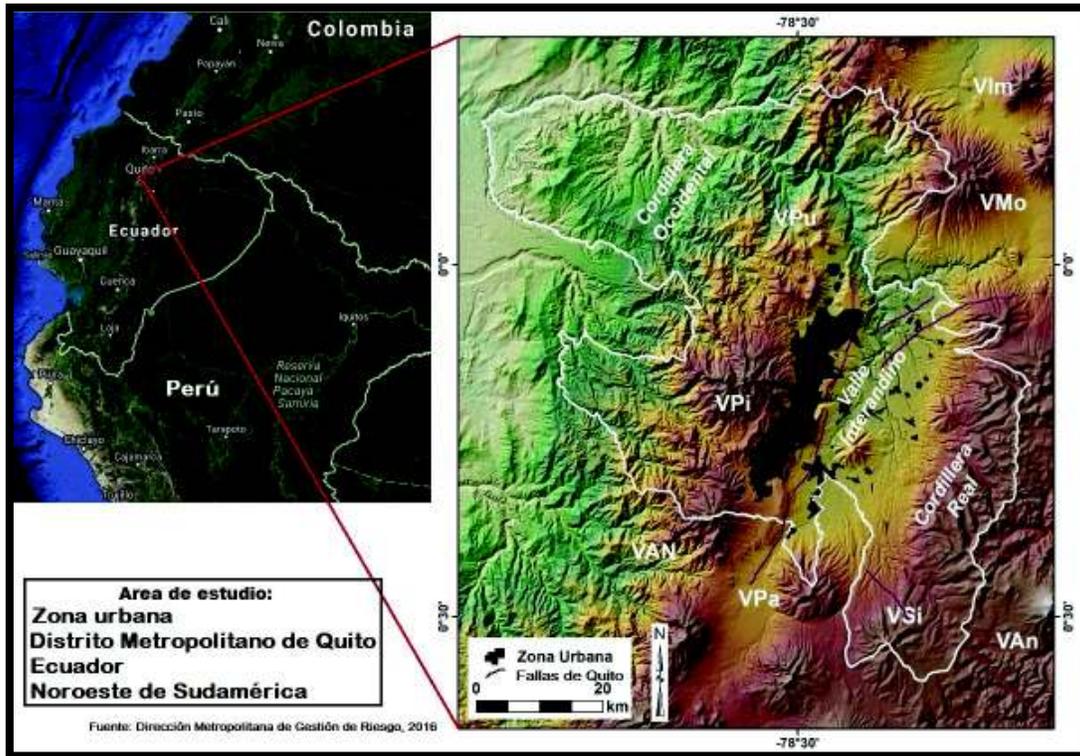


Figura 1.3 Mapa de ubicación del DMQ. (Fuente: Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos Municipio, 2016)

### 2.5.1 Accesibilidad

El DMQ tiene como acceso principal a la vía Panamericana E35, que comunica a la ciudad al norte con Otavalo, Ibarra, Tulcán y el sur de Colombia; al noroeste se comunica con Esmeraldas y su puerto a través de la carretera Calacalí-La Independencia; al oriente con la troncal amazónica y las provincias de Sucumbíos, Napo y Orellana; hacia el sur con la sierra centro y la costa con sus puertos de mayor escala (Guayaquil, Manta). La Ruta Viva y Vía Collas conectan el nororiente del DMQ y el futuro NAIQ con la ciudad de Quito. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011)

## 2.6 Aspectos socioeconómicos

Según los análisis realizados por el Instituto de la Ciudad “Quito-Capital hacia una Ciudad-Región, particularidades y desafíos, visión desde el censo económico, de población y vivienda del 2010”, el Índice de Pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) del Distrito Metropolitano de Quito es de 16.3% en comparación con los valores de Cuenca 27.5% y Guayaquil 36.6%. En cuanto a los datos de pobreza por NBI-DMQ, el 29.7% de los hogares se encuentra en situación de pobreza, mientras que solo el 7% presenta una situación de pobreza extrema.

El DMQ tiene el mayor nivel de instrucción en el país, con el 23% de las personas con instrucción superior (estudios universitarios). Con respecto a las parroquias con el mayor porcentaje de pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) se encuentran los hogares que se sitúan principalmente al occidente (Pacto, Gualea, Nanegal, Nono, Lloa) y algunas parroquias de la delegación Norcentral (San José de Minas, Atahualpa y Puéllaro). Les siguen las parroquias orientales alrededor del Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito, a excepción de Puembo, así como las parroquias La Merced, Píntag, Guangopolo y Amaguaña, en donde el NBI se encuentra entre el 24% y 48%. (Figura 2.6). Distrito Metropolitano de Quito. 2012. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011) (Yates, 2013)

### 2.6.1 Crecimiento de la Población

INDICADOR	TOTAL DISTRITO		QUITO URBANO <sup>4</sup>		QUITO RURAL <sup>5</sup>	
	2010	2001	2010	2001	2010	2001
Censo						
Población	2'239.191	1'842.201	1'619.146	1'411.595	620.045	430.606
• Hombres	1'088.811	893.716	783.616	675.576	305.195	218.140
• Mujeres	1'150.380	948.485	835.530	725.128	314.850	223.357
Población proyectada al año 2011	2'305.475		1'658.809		646.666	
Población proyectada al año 2022	2'787.040		1'914.410		872.630	
Tasa de crecimiento (%) 2001-2010	2.2	2.6	1.5	2.2	4.1	4.8
Hogares Pobres (%)	12.8	22.2	11.2	19.9	17.3	30.1
Hogares en Extrema Pobreza (%)	2.3	8.2	1.7	5.9	4.1	15.3
Población pobre	360.399		236.698		123.701	
Población en extrema pobreza	71.040		39.518		31.522	

Figura 2.4 Indicadores de población 2001-2010. DMQ. Fuente: Censos de Población y Vivienda, INEC. 2010

Según el Censo de Población y Vivienda del 2010, el DMQ tiene casi 400.000 habitantes más que en el año 2001. Los 2'239.191 habitantes de Quito representan el 86,9% de los habitantes de la provincia de Pichincha y el 15.5% de la población total del país. Se estima que para el año 2022, la población del Distrito Metropolitano será de casi 2,8 millones de habitantes en el DMQ, de los cuales el 68,7% ocupará el área urbana. (Municipio del DMQ, 2015)

## **2.6.2 Servicios básicos**

- **Agua potable**

Los principales sistemas de abastecimiento de agua que sirven a más del 70% de la población del DMQ, son cuatro: La Mica-Quito Sur, Papallacta, Puengasí, y El Placer, existen otros sistemas dispersos, que abastecen principalmente a parroquias rurales y sectores en proceso de consolidación urbana. Las fuentes de agua potable del Distrito, actualmente, provienen de las cuencas de los ríos que nacen en los páramos circundantes de los volcanes Antisana y Cotopaxi (Sistemas Papallacta, Mica-Quito-Sur y Pita). El sistema de distribución está constituido por 340 tanques y 5.340 Km. de redes. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011)

- **Alcantarillado**

El sistema de alcantarillado recoge y conduce las aguas residuales y aguas lluvias, estas aguas se descargan en los ríos y quebradas sin ningún tipo de tratamiento, uno de los principales problemas son las altas velocidades que estas aguas alcanzan, debido a las fuertes pendientes y a la topografía característica de la ciudad, afectando a las infraestructuras de alcantarillado, generando contaminación, erosión de laderas, socavación de ríos, inestabilidad de terrenos, también provocan daños a las viviendas y carreteras localizadas hacia las laderas (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011).

- **Energía Eléctrica**

La mayor parte de la energía eléctrica que necesita la ciudad se genera fuera del territorio del distrito, el 79% de la demanda proviene de la hidroeléctrica Paute, Termo Esmeraldas

y Electro-Guayas, el 21% restante es producido por un conjunto de pequeñas centrales hidráulicas y térmicas localizadas dentro del DMQ bajo el control de la Empresa Eléctrica Quito o concesionadas a otras, como la EPMAPS o Termo-Pichincha (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011).

La cobertura de energía eléctrica en el DMQ, según el Censo de Población y Vivienda 2010, es del 99,4% del total de viviendas. Por otro lado, el consumo de energía tiene una tendencia creciente, pues el total de energía eléctrica consumida se incrementó en 1087,1 gigavatios hora entre los años 2000 y 2009. El consumo total de energía eléctrica registrado en el año 2009 fue de 3066,4 GWh (EEQ, 2009). Las fuentes de producción de energía existentes que operan dentro del DMQ tienen poca capacidad de oferta y no producen suficiente energía eléctrica en relación a la demanda de la población actual, lo que genera dependencia a otras regiones del país.

- **Educación**

De acuerdo al Censo del 2010, la población del Distrito Metropolitano de Quito, la tasa de escolaridad en educación básica es del 91.4% y cae drásticamente al 60.4% en el bachillerato. A nivel territorial, los promedios más bajos de escolaridad se localizan en parroquias rurales como Nono, Gualea, Pacto, Nanegal, Perucho, San José de Minas y Puéllaro. En cuanto al nivel de instrucción, el 27.7% de la población tiene estudios de primaria, el 24.5% tiene secundaria, el 22.5% cuenta con estudios superiores y el 2.4% con estudios de postgrado. Un 22.9% tiene otro nivel de instrucción no establecido. Según el Censo 2010 el índice de analfabetismo a nivel nacional se sitúa en el 5.99%, mientras que en el DMQ corresponde al 2.71%. La población analfabeta corresponde sobre todo a mujeres pobres, afro descendientes e indígenas. A nivel territorial, al analfabetismo se concentra en el sector rural, en las zonas noroccidentales y nor-central del Distrito. Según información del Censo del año 2010, el analfabetismo digital de personas mayores de 10 años en el DMQ se sitúa en un 29.8%, la mayoría corresponde a la población adulta (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011).

## 2.7 Aspectos Físicos

### 2.7.1 Clima

Gracias a la amplia variación altitudinal del DMQ (500 - 4 800 m.s.n.m.), este corresponde a una zona ecuatorial templada, con 75 % de humedad relativa y una temperatura promedio de 14,78°C (PNUMA, 2011). La influencia de los vientos alisos provoca precipitaciones casi todo el año. Sin embargo, la variación es marcada, ya que hay zonas con precipitaciones inferiores a los 400 mm/año; y, otras zonas con precipitaciones mayores a los 4 500 mm/año. En las cumbres la mayor parte del año pasan cubiertas de nieve; en los páramos el clima es frío; en los valles tienen climas entre el temperado y el subtropical. A pesar de la diversidad de climas puede establecerse una temperatura media que oscila entre 13° y 16°C.

El elemento meteorológico más relevante del clima en el DMQ es la precipitación; la intensidad y periodicidad de la misma está condicionada por el comportamiento de los patrones meteorológicos locales (Municipio del DMQ, 2015). Las precipitaciones máximas se dan al sur de la ciudad y van decreciendo hacia el norte, siendo su gradiente norte - sur, aproximadamente de 21mm/km, las intensidades máximas están alrededor de 43mm/h, y se tienen precipitaciones en promedio 172 días/año.

El régimen de las lluvias tiene las características de clima ecuatorial pero con una forma de distribución e intensidad diferentes, geográficamente y en el tiempo. Se distinguen tres zonas:

- Zona Seca Interandina: Comprende los valles bajos de San Antonio de Pichincha, Calderón, Guayllabamba entre 1.500 – 2.800 msnm, con períodos de lluvias de septiembre a noviembre; menos lluviosos de diciembre hasta abril; y, período seco de mayo a agosto, etapa en la cual la lluvia es nula y las temperaturas son altas. El promedio anual de precipitaciones es de 554 mm.
- Zona Interandina: Con alturas entre 2.400 – 3.100 msnm; las características orográficas juegan un papel importante y decisivo en la distribución y magnitud de las lluvias. Comprende las zonas de: Cumbayá, Tumbaco, Puembo, Pifo, Yaruquí, El Quinche, Checa, Calacalí, Nayón, Zámbiza, Lloa y la ciudad de Quito. Tiene un período lluvioso de octubre hasta abril y seco de mayo a septiembre. Su promedio anual de precipitaciones es de 960 mm.

- Zona Lluviosa Interandina: Comprende las zonas de Pintag y la Cordillera Occidental (Nono, Nanegal, Nanegalito y Pacto); el período lluvioso es de septiembre hasta abril y la época seca entre mayo y agosto. El promedio anual de precipitaciones es de 1.400 mm (Municipio del DMQ, 2015).

### **2.7.2 Hidrografía**

Las condiciones geomorfológicas hacen que el DMQ forme parte de dos sistemas hidrográficos: (I) Guayllabamba – Esmeraldas; y, (II) Río Napo – Amazonas. La mayor parte del territorio del DMQ forma parte del primer sistema hidrográfico, el cual está compuesto por 13 microcuencas: San Pedro, Pita, Machángara, Pachijal, Intag, Chiche, Guambi, Urvia, Guayllabamba, Monjas, Alambi, Mindo, Coyago. En el caso del segundo sistema hidrográfico, este último proviene de importantes reservas naturales que se encuentran en Papallacta, Mica, Quito sur y Salve Faccha, las mismas que se nutren de nevados como el Antisana y Cotopaxi (PNUMA, 2011).

### **2.7.3 Suelo**

Al estar Quito rodeada de volcanes, es lógico pensar que los suelos de la cuenca de la ciudad tienen ese origen el mismo que se inició en el Pleistoceno medio (El Pleistoceno es una época que empieza hace 2.5 Ma). Básicamente el suelo del Distrito Metropolitano de Quito está conformado por depósitos de Cangahua, ceniza volcánica, depósitos aluviales y suelos lacustres (Aguilar, 2013). Suelos negros, limosos limo-arenosos, derivados de materiales piroclásticos, con menos de 3% de arcilla, con presencia de arena muy fina.

## **2.8 Geomorfología**

El área del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), está localizada en la unidad geomorfológica denominada Depresión Interandina o Valle Interandino (VI), cuyo límite Norte es el nudo constituido por los volcanes Mojanda y Cusín, mientras que su límite Sur es el nudo constituido por los volcanes Rumiñahui, Pasochoa, Cotopaxi e Illiniza. El valle interandino central, en su segmento septentrional, abarca varias cuencas intramontañosas: Chota, Quito-Guayllabamba, Latacunga-Ambato y Alausí-Riobamba, poseen un relleno sedimentario del mioceno tardío hasta el holoceno.

La Cuenca de Quito-Guayllabamba, es una depresión tectónica, de dirección N-S, tiene alrededor de 30Km de longitud y aproximadamente 5Kmd de ancho, morfológicamente está conformado por dos sub-cuencas: la centro norte y la del sur, separadas por el rio Machángara y el Panecillo.

La formación de la cuenca de Quito-Guayllabamba, está directamente relacionado a la presencia de un sistema de fallas inversas activas, asociadas a una depositación sin-tectónica, cuya expresión morfológica es una serie de bloques o lomas alargadas en dirección N-NE, que actualmente constituyen el borde de la cuenca o limite este de la ciudad. Estas estructuras tectónicas están divididas en cuatro segmentos principales desde norte hacia el sur: lomas de Carcelén-Las Orquídeas, San Isidro del Inca, Monteserrin, Bellavista y Cerro Auqui-San Miguel de Collacoto

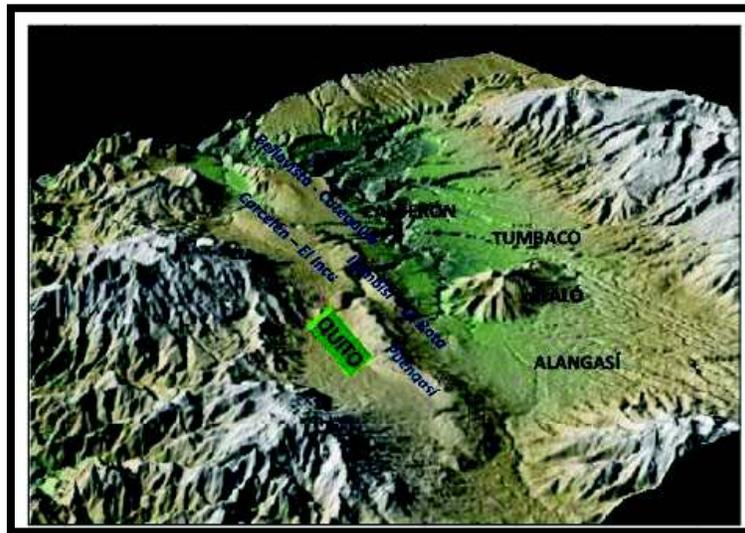


Figura 1.5 Imagen digital del DMQ. Fuente: (Alvarado, 2012)

Las divisiones morfo-estructurales del DMQ, es producto de la combinación de factores tectónicos, volcánicos y erosivos, por lo que es posible diferenciar, al menos cinco divisiones que serán descritas desde el Oeste hacia el Este:

- La parte baja de la Vertiente Oriental de la Cordillera Occidental
- La Zona de piedemonte
- La Paleo-laguna de Quito - Pomásqui
- El Levantamiento Tectónico de Quito

- La Plataforma de Calderón – Guangopolo – Amaguaña

El relieve del DMQ es muy heterogéneo existiendo formas casi planas de (0 - 5%) hasta relieves montañosos con pendientes mayores al 70%. Se han identificado variadas geoformas, entre las que se destacan:

- Las colinas de mediana altitud que abarcan más del 8% del área y que se localizan hacia las partes periféricas del DMQ.
- Relieves estructurales, que caracterizan geoformas como: i) gargantas de valles encañonados, ii) relieves montañosos, iii) valles interandino, iv) valles encañonados, y, v) zonas deprimidas, que abarca en conjunto poca extensión. Cubren más del 9% del área de estudio.
- Relieves exógenos entre los que se destacan las superficies de aplanamiento y las zonas con nieve, localizadas en los cráteres de los principales volcanes que se encuentran en el DMQ. Abarcan más del 3% del DMQ.
- Vertientes de diferente forma como las cóncavas, convexas y las de forma irregular que alcanzan más del 25% de la superficie estudiada (que son las predominantes) y se localizan aledañas al área urbana de la ciudad de Quito, así como en el sector sur oriental de lo mismo.
- Zonas fluviales que caracterizan las tradicionales geoformas como los conos de deyección las terrazas bajas, terrazas colgadas y terrazas indiferenciadas, presentes en los ríos de las áreas bajas del sector noroccidental del cantón y cubren poca extensión ya que no superan el 2% del área.
- Relieve montañoso que se caracteriza por ser de forma escarpada y el relieve montañoso propiamente dicho que son las geoformas más significativas del DMQ ya que abarcan más del 43% del área

El resto del área contiene formaciones especiales como los afloramientos rocosos, zonas coluviales (talud de derrubios), los cuerpos de agua y el área urbana lo cual representa el 8% del DMQ (Valdavieso, 2005).

## **2.9 Geología Regional**

Al borde noroeste de Sudamérica tiene una compleja evolución geodinámica debido a la interacción entre las placas de Nazca, Sudamérica, el Caribe y el Bloque NorAndino (NAB). La Geodinámica del Ecuador está controlada por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, mismas que se derivan de la fragmentación de la placa de Farallón. Se estima que este proceso comenzó en el Oligoceno Tardío (Gutscher, Malavieille, Lallemand, & Collot, 1999), dicha subducción tiene una dirección N83°E (Kendrick, y otros, 2003), y tiene una velocidad entre 55-58 mm/año (Trenkamp, Kellogg, & Y Mora, 2002)

Existen varios estudios de la Geología del Ecuador; tradicionalmente se había dividido en tres ambientes geológicos, estos son: Costa, Sierra y Oriente; no obstante en la actualidad se acepta que el país está conformado por ocho terrenos fisiográficos (Ordoñez, 2012) los cuales son: Cordillera Real, La Zona Sub-Andina, Bloque Amotape – Tahuín, Cuenca Oriente, Costa, Cordillera Occidental, Cuenca Alamor- Lancones y el Valle Interandino cada uno de ellos con características geológicas particulares y limitados por mega-estructuras tectónicas que fueron originados por complejos procesos de colisión/acreción de terrenos alóctonos contra el continente sudamericano (Litherland, Aspend, & Jemielita, 1994). Para el área de estudio se tomará en cuenta la geología del el Valle Interandino.

### **2.9.1 El Valle Interandino**

Se trata de una depresión tectónica en compresión que está limitada por fallas que coinciden con los límites estructurales de ambas cordilleras (Occidental y Real) y que representan ramales de los sistemas de fallas inversas Peltetec y Pallatanga-Pujilí, respectivamente (Lavenue, Noblet, Bonhomme, Egüez, Dugas, & Vivier, 1992). Estructuralmente el Valle Interandino es alargado en sentido NNE-SSW, tiene 300 km de longitud y 25 km de ancho. La depresión se extiende desde el valle del Chota al Norte hasta Alausí al Sur y probablemente empezó a formarse desde el Mio-Plioceno. El basamento del Valle Interandino puede ser tectónicamente complejo, involucrando tanto rocas de la Cordillera Occidental como de la Cordillera Real (Egüez & Aspend, 1993).

El valle Interandino presenta tres segmentos: Valle Interandino Norte, Valle Interandino Central (Quito-Guayllabamba), delimitado al Norte por los volcanes Mojanda y Cusín y al sur por los volcanes Rumiñahui, Pasocha e Iliniza y el tercer segmento correspondiente al Valle Interandino Sur. El Valle Interandino empezó a formarse en el Mioceno Tardío – Plioceno (Winkler, 2002). Tiene como basamento la Formación Pallatanga o posiblemente el Melange Peltetec, compuestos por gabros indiferenciados, rocas sedimentarias indiferenciadas, lavas y escorias basálticas

El basamento del Valle Interandino Central comprende de lavas basales de la Formación Pisque, conformadas por lavas andesíticas y brechas que por su edad posiblemente están relacionadas con los volcanes Pambamarca, Cubilche, Chilcaloma y Casitagua. Estos depósitos están sobreyacidos discordantemente por tobas intercaladas con lahares y con flujos piroclásticos, sedimentos aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres correspondientes a las formaciones Pisque y San Miguel. La Secuencia superior consiste de depósitos volcánicos, lahares, flujos, hiperconcentrados y depósitos fluviales, que corresponden a las Formaciones Guayllabamba, Mojanda y Cangahua (Villagomez, 2003). Cubriendo el Valle Interandino se halla la Fm. Cangahua como un manto de ceniza volcánica retrabajada, la cual está sobre los depósitos más antiguos (Beate, Hammersley, DePaolo, & Deino, 2006).

## **2.10 Geología Local**

La ciudad de Quito y más concretamente la zona urbanizada del Distrito Metropolitano de Quito se halla morfológicamente sobre el Valle Interandino. Esta estructura geomorfológica involucra varias cuencas en el país (Chota, Quito-Guayllabamba, Latacunga- Ambato, Alausí-Riobamba), con un relleno sedimentario de edad Mioceno Tardío hasta Holoceno, que muestran evidencias que durante las etapas iniciales de la formación de las cuencas, ocurrió una extensión local (Villagomez, 2003).

El mismo autor describe la cuenca de Quito-Guayllabamba como depósitos volcánicos y volcano-clásticos. El relleno sedimentario puede ser dividido en dos grandes secuencias separadas por una discordancia mayor. La secuencia inferior consiste de lavas, tobas, lahares, sedimentos aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres que corresponden a las Formaciones Pisque y San Miguel. La secuencia superior consiste de depósitos

volcánicos primarios, lahares y depósitos fluviales que corresponden a las Formaciones Guayllabamba, Chiche, Machángara, Mojanda y Cangahua.

Estas últimas unidades se formaron por la actividad volcánica de los centros de emisión que rodean la ciudad como son el Rucu y Guagua Pichincha, Casitahua, Pululahua, Antisana, Mojanda – Fuya Fuya, Ninahuilca, entre otros volcanes que han tenido actividad en los últimos miles de años.

La cuenca Quito-San Antonio-Guayllabamba yace sobre rocas del basamento Cretácico, parte del bloque Pallatanga; no obstante parecen existir pocas evidencias que apoyen esta teoría; debido en gran parte a que los volcanes de la zona norte de Quito han sido poco estudiados (como el Casitahua), por ello no se ha podido establecer con certeza el basamento de la secuencia.

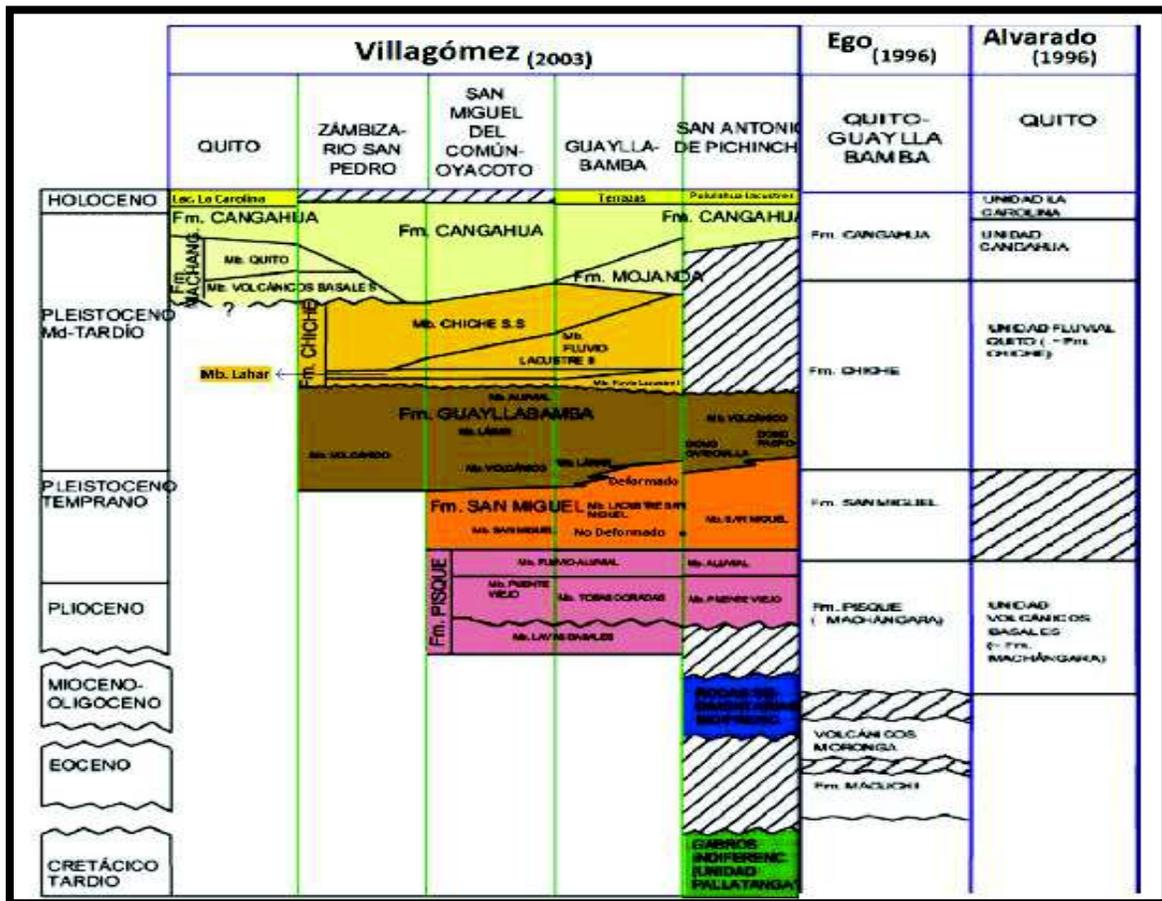


Figura 1.6 Secuencia estratigráfica. Se considera principalmente (Villagómez, 2003), se toma en cuenta también (Alvarado, 1996); Ego y Sebrier (1996)

## **Formación Pisque**

Esta Formación se encuentra en la base de la cuenca, formada por lavas y brechas andesíticas sobreyacidas por depósitos volcano-clásticos y volcano sedimentarios, esta relación entre las lavas y las brechas con los depósitos volcano-clásticos/sedimentarios no es clara, ya que el contacto que las separa es transicional (Samaniego, Robin, Chazot, Bourdon, & J, 2009).

(Lavenu, 1994) Propone que estas lavas y brechas pueden ser solo facies más proximales de los volcano-clastos y volcano-sedimentos. Esta Formación tiene una edad del Plioceno-Pleistoceno.

## **Formación San Miguel**

La Fm. San Miguel está caracterizada como secuencias ricas en material volcánico, formadas en ambientes deltaicos y lacustres, que progradan al este (Villagómez, 2003). Su parte superior ha sido fuertemente deformada, por movimientos y desplazamientos gravitacionales, sin sedimentarios originados como respuesta a la carga ejercida por flujos laharíticos más jóvenes de la Fm. Guayllabamba (Samaniego, A, Hibsich, Villagómez, & Segovia, 1994). La Formación San Miguel tiene una edad de Plioceno-Pleistoceno.

## **Formación Guayllabamba**

A la sobreyacente Fm. Guayllabamba se la ha asociado con un periodo de intensa actividad volcánica y tectónica (Villagomez, 2003). Hacia el sur-este (zona de Quito) esta formación está caracterizada como una secuencia de depósitos volcánicos primarios (lava, flujos, piroclásticos), mientras que al norte (zona de Guayllabamba) principalmente está compuesta de flujos laharíticos, que rellenaron el lago existente-Fm. San Miguel (Villagomez, 2003). Trabajos anteriores del mismo Villagómez asocian los domos de Catequilla y Pacpo con la Fm. Guayllabamba intruyendo los depósitos lacustres San Miguel; pero no hay evidencias estratigráficas claras.

Principalmente, en base a correlaciones con edades radiométricas, de 1620±16 ka y 980±13 ka, obtenidas por (Barberi, Coltelli, Ferrara, Innocenti, & Navarro, 1988) en el Complejo Volcánico Pichincha, se ha asignado un periodo para esta formación entre 1,0 y 1,6 Ma, es decir en el Pleistoceno

## **Formación Chiche**

La Sobre-yacente Fm. Chiche fue depositada en un periodo de relativa calma (Villagómez, 2003) y está caracterizada por depósitos lacustres y fluviales de baja energía, acompañados de depósitos laháríticos. Solo se la observa en Quito y Guayllabamba (Lavenu, Baudino, & F, 1996). En base a una datación fósil propone una edad de 500 ka para el tope de esta Formación.

## **Formación Machangara**

Esta Formación es más joven que la Fm. Chiche y está limitada solo a la cuenca de Quito (Villagomez, 2003). (Alvarado, 1996), la subdivide en dos unidades: Unidad Volcánicos Basales y Unidad Fluvial Quito.

El Mb. Volcánicos Basales, es un paquete de volcánicos primarios que incluyen depósitos de avalanchas, flujos piroclásticos, lavas andesíticas, caída de ceniza, pómez y menormente se encuentra material retrabajado. La fuente está limitada al Complejo Volcánico Pichincha y tiene espesores variantes entre 70 a 100m (Villagomez, 2003). El Mb. Quito consiste principalmente de depósitos volcánicos (lahares intercalados con ceniza y menormente arenas fluviales poco consolidadas). Hacia las lomas que bordean el este de Quito, los depósitos muestran una granoestratigrafía decreciente que está ligada al levantamiento del borde oriental de la cuenca. Hacia el borde Oeste de Quito, las facies son de cono aluvial y hacia el centro de la cuenca de Quito, se han perforado pozos (e.g. Jipijapa, la Y, Aeropuerto) que indican que posiblemente este miembro consiste también de facies lacustres y palustres (Alvarado, 1996); Jiménez y Alvarado, 2001). En este miembro existe cambio latitudinal de facies y espesores variando entre 45 y 300 m (Villagomez, 2003).

## **Formación Mojanda Fuya- Fuya**

La Fm. Mojanda está caracterizada principalmente como una secuencia de piroclastos retrabajados en ambiente fluvial y eólico (Villagomez, 2003), intercalados con dos potentes depósitos de caídas plinianas. Los piroclastos de esta Formación han sido principalmente relacionados con el Complejo Volcánico Mojanda Fuya-Fuya. Esta Formación pertenece al Pleistoceno Superior.

## **Formación Cangahua**

La Fm. Cangahua se encuentra ampliamente distribuida a lo largo del Valle Interandino y está caracterizada como un depósito limo-arenoso de color marrón, formado de piroclastos, la mayoría retrabajados, junto con suelos volcánicos incipientes. (Hall & Beate, 1991) Reportan altos contenidos de vidrio y minerales volcánicos y un elevado contenido de SiO<sub>2</sub>, por lo que se sugiere que su fuente fueron volcanes con erupciones dacíticas – riolíticas. (Vera & López, 1986) Han propuesto un periodo entre 120 ka y 10 ka para esta formación; (Hall & Mothes, 2001) presentan edades radiométricas para depósitos piroclásticos dentro de la Cangahua entre 260 ka y 10 ka, es decir que pertenece al Pleistoceno Superior- Holoceno.

## **Depósitos Holocénicos**

Sobre-yaciendo la Fm. Cangahua, en la zona de Quito, se presentan los depósitos La Carolina, caracterizados como secuencias de arenas, limos y arcillas intercaladas con piroclastos y depositados en ambientes palustres, lacustres y fluviales (Alvarado, Evolución geológico cuaternaria y paleosismicidad de la Cuenca Quito(Ecuador), 1996).Una edad de 6.000 años AP es presentada por Alvarado hacia la base de estos depósitos. En la zona de San Antonio de Pichincha se han reportado igualmente la presencia de depósitos lacustres, compuestos principalmente por cenizas intercaladas con lignito, el cual fue datado en 6.750 años AP. (Samaniego, A, Hibsich, Villagómez, & Segovia, 1994). Reporta igualmente depósitos lacustres en la actual depresión de Guayllabamba, posiblemente contemporáneos a los observados en Quito y San Antonio. Hacia el norte se pueden observar los depósitos volcánicos asociados a las erupciones del Complejo Volcánico Pululahua, cuya actividad está concentrada entre 165 ka y 2.240 a AP (Andrade, 2002) por lo que actualmente se lo considera como potencialmente activo.

## **Depósitos “La Carolina”**

Hacia los depocentros de las subcuencas norte y sur, consta de sedimentos caracterizados por paquetes de limos, arcillas, arenas medias a gruesas, intercalados con cenizas y caídas de pómez (Jiménez y Alvarado, 2001). Los ambientes de depositación varían principalmente entre fluviales, lacustres y palustres, en donde se ven suelos orgánicos. También se ve presencia de depósitos fluviales con canales poco profundos y

flujos de lodo. Dentro de la depresión Guayllabamba se encuentran terrazas de tipo fluvio-lacustre, que consisten de arenas y limos intercalados con cenizas. A pesar de que se les divide, estos sedimentos se correlacionan con el tiempo de depositación de los lacustres "La Carolina" (Alvarado, 1996).

## CAPITULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para realizar el Mapa de Susceptibilidad por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se utilizará el Método de la Matriz Jiménez Perálvarez, tomando en cuenta la tesis doctoral de Jorge David Jiménez Perálvarez realizada en el año de 2012 aplicada en el área de Granada (España). Las herramientas presentadas en este Método ofrecen un práctico procedimiento para el análisis, cartografía, una posterior validación y una estimación de la susceptibilidad a los Fenómenos de Remoción en Masa (Jiménez Perálvarez J. D., 2012).

### 3.1 Método de La Matriz (Jiménez Perálvarez)

El Método de la Matriz se basa en el análisis estadístico bivariado, ya que toma dos aspectos reales de la zona de estudio que son el inventario de FRM y la litología propia del terreno, y esto acompañado del DEM, a su vez, se basa en el análisis cruzado de mapas de factores determinantes es decir la litología, pendiente, orientación de la ladera y la altura obtenidos del DEM, como se muestra en el diagrama de flujo Figura 3.2.

Una vez obtenida y recolectada la información requerida el método de La Matriz se basa en la computación de tres matrices :

- La Matriz uno (M1) esta compuesta por las áreas afectadas y no afectadas por FRM.
- La Matriz dos (M2) se obtiene mediante la combinación de los factores determinantes sacados del DEM, es decir la pendiente, la orientación de la ladera y la altura, junto a la litología del terreno.
- La Matriz tres o matriz de susceptibilidad (M3) es la tabulación de la información de la matriz M1 y M2 , realizando la división de M1 para M2 , el resultado de esta operación nos da valor del porcentaje de probabilidad de que suceda un Fenómeno de Remoción en Masa, al tener este valor podemos clasificar en 5 niveles de susceptibilidad desde una susceptibilidad Baja hasta una susceptibilidad Muy Alta.Figura 3.1

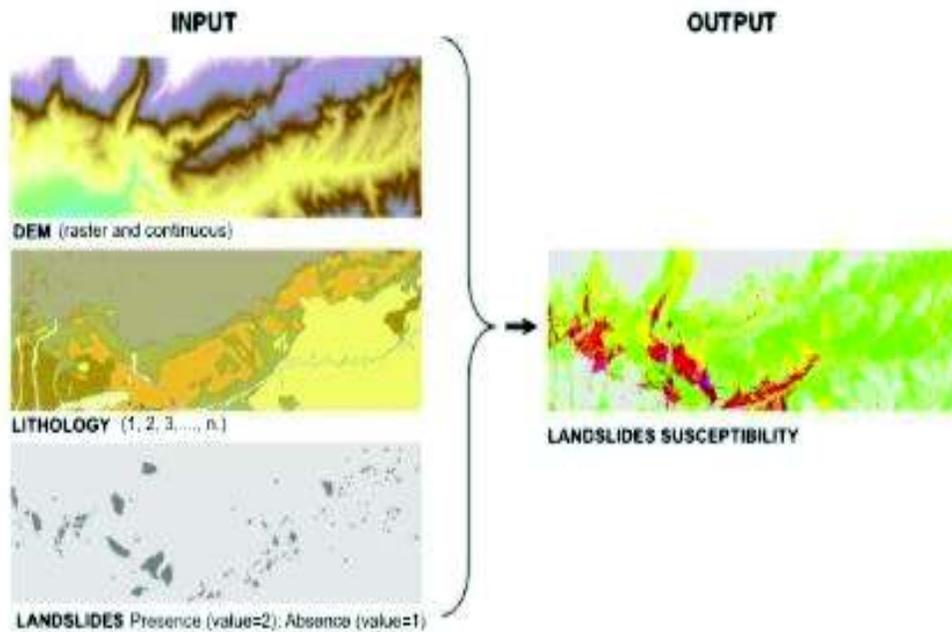
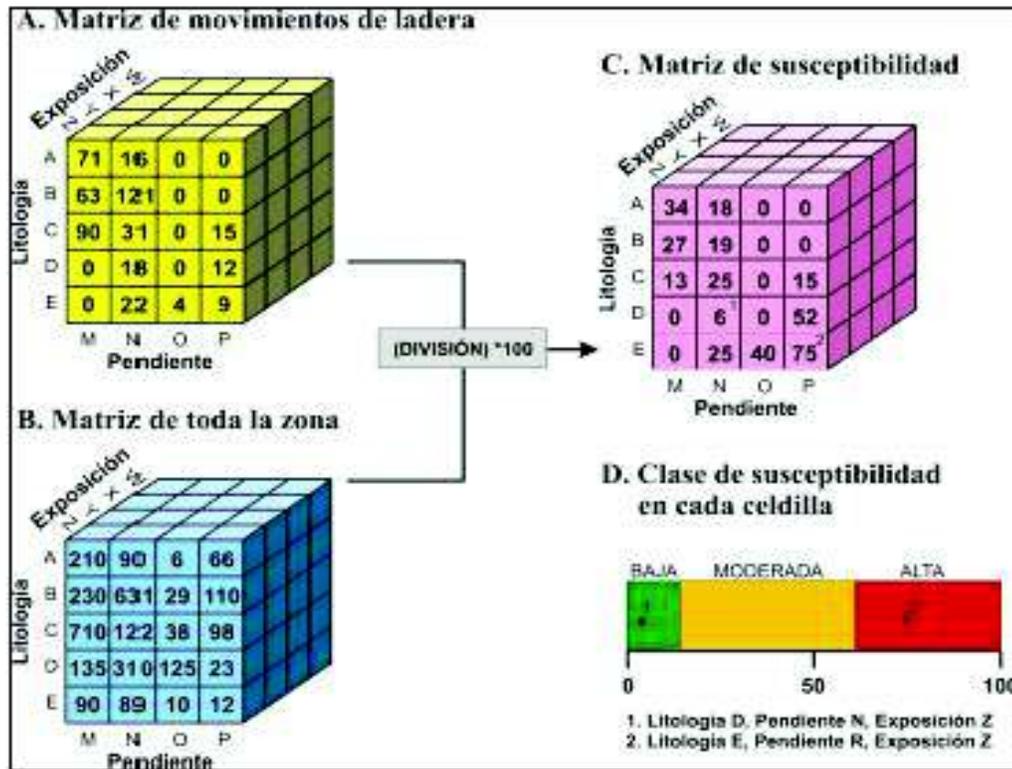


Figura 3.1 Determinación de la Susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante el Método de la Matriz (tomado de Jiménez Peralvarez., 2012).

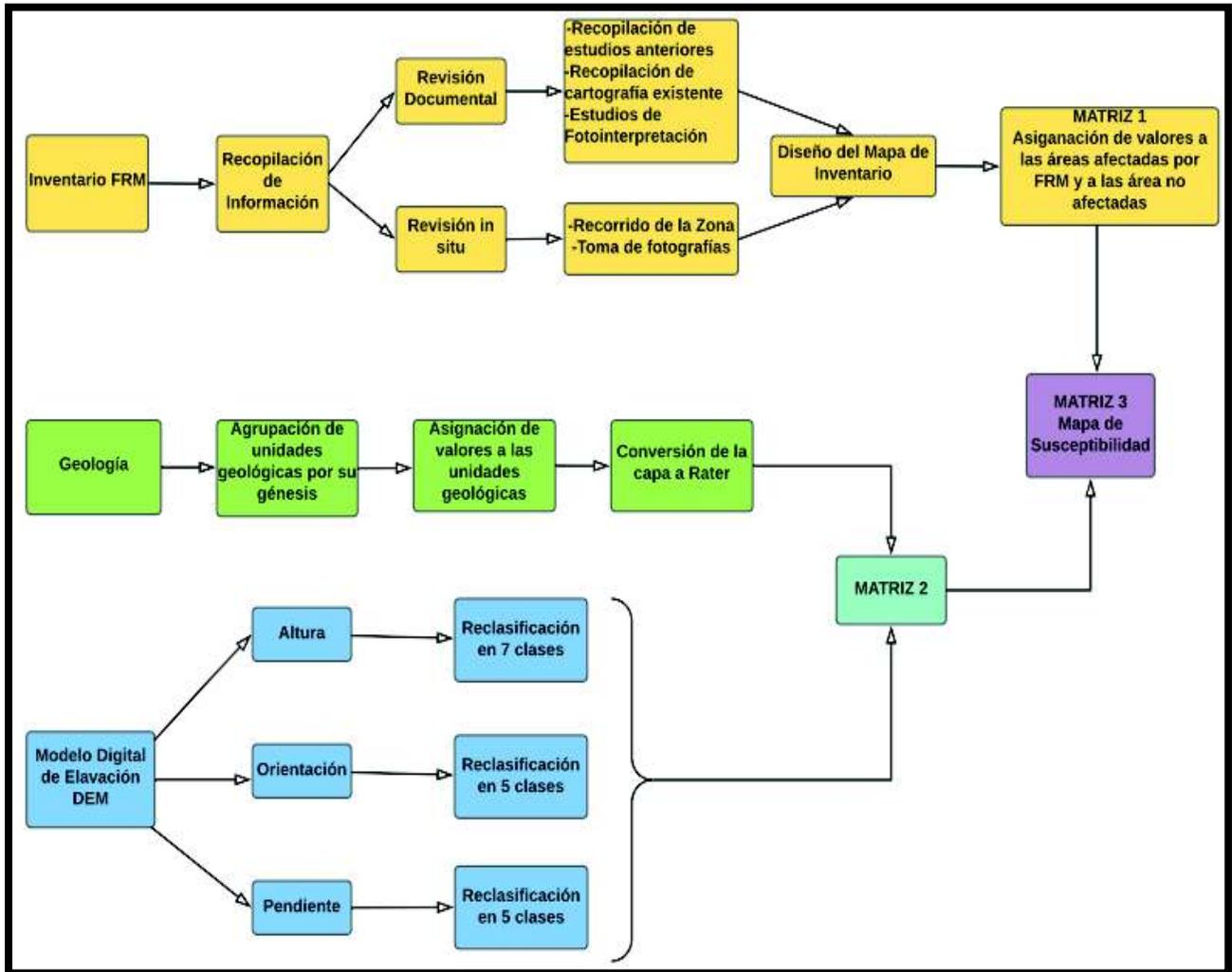


Figura 3.2 Diagrama de flujo de la metodología.

### Delimitación del Área de Estudio

Para aplicar la metodología se requiere de la preparación de los mapas-base en los cuales se van a dibujar e interpretar los datos. En este caso se delimitó el área de estudio de acuerdo a las áreas urbanizadas y a través de cuencas hidrográficas. El área de interés limita hacia el norte con: San José de Minas; al sur con: Tambillo y Sangolqui; al este con: cantones Pedro Moncayo, Cayambe y Provincia de Napo y al oeste con las faldas del Volcán Pichincha, la zona de estudio posee un área total de 1325.68 Km<sup>2</sup>.

Figura 3.3

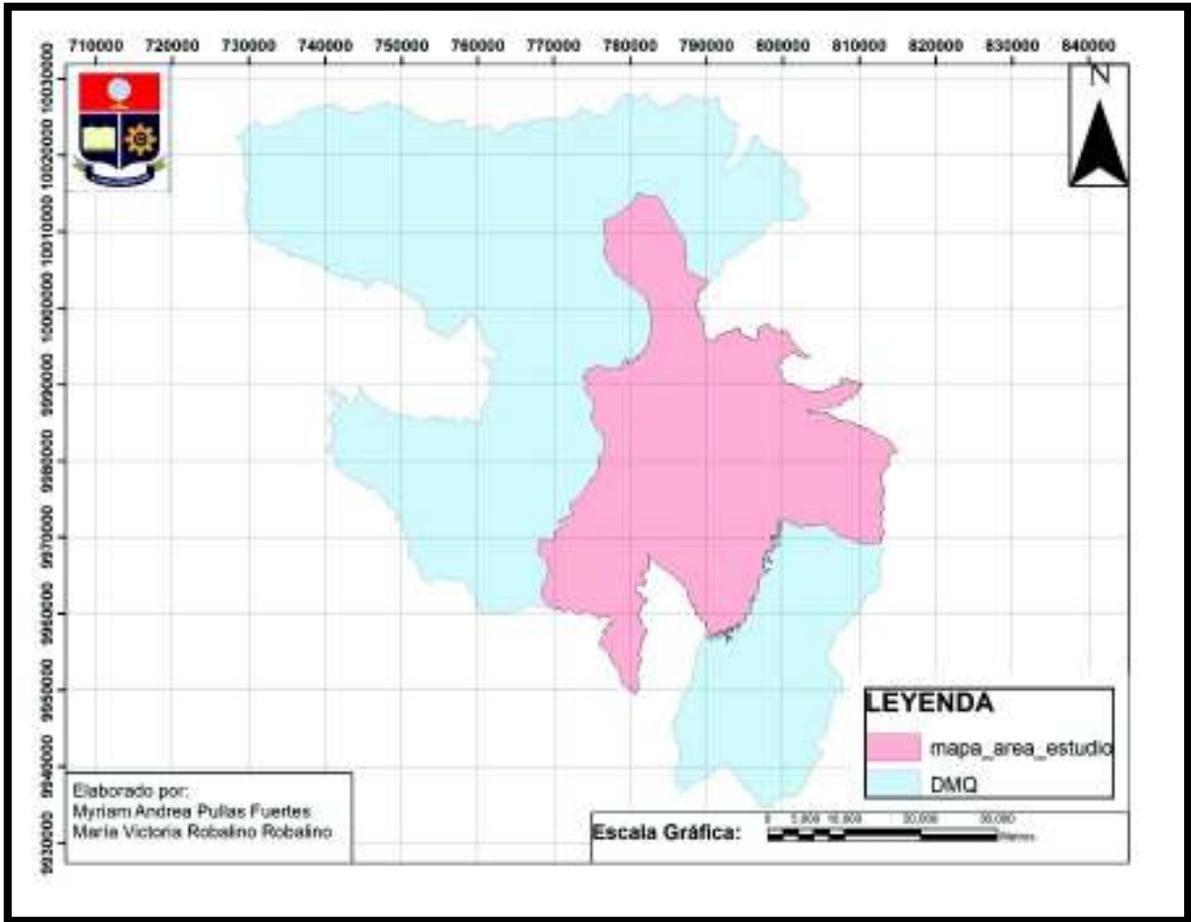


Figura 3.3 Área de Estudio

### 3.2 Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa

En algunos países se han elaborado Inventarios de Fenómenos de Remoción en Masa en bases de datos con una gran cantidad de información recopilada. Esta información es muy útil cuando el movimiento a analizar ya se encuentra inventariado o aparece referenciado un fenómeno cercano. Generalmente, el Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa incluye la localización, fecha de ocurrencia, geometría, material de los taludes, elementos activadores, etc. (Abramson, Lee, Sharma, & Boyce, 2002).

Al adoptar un enfoque estadístico probabilístico, el inventario de Fenómenos de Remoción en Masa es el primer paso en cualquier proyecto de mapeo de estos movimientos, destinado a proporcionar una evaluación de susceptibilidad, peligro o riesgo. Es quizás el conjunto más importante de datos en todo el proceso de evaluación y tiene una gran influencia en la calidad de los resultados finales (Jiménez Perálvarez J. , 2012).

La base de datos con la cual se trabaja en este estudio se obtuvo de datos facilitados por el Municipio de Quito, foto-interpretación, investigación bibliográfica y salidas de campo para verificar las diferentes topologías, los datos obtenidos se encuentran entre los años 1900 a 2016, obteniendo así 1400 datos; 964 datos obtenidos del COE-DMQ; 221 pertenecientes al libro de Quebrada y Riesgos Naturales en Quito (Peltre 1988), período 1900-1988; 54 datos del Informe Final de la Consultoría para la Elaboración del Plan de Gestión Integral de Riesgos de la Cuenca del Río Monjas; 99 pertenecientes al Informe Final de La Actualización de la Zonificación por Amenaza de Deslizamiento en el DMQ, 50 datos del Informe Final de Fotointerpretación para la identificación de Fenómenos de Inestabilidad de Terreno y Movimientos en Masa relevantes en el DMQ, y finalmente 12 datos determinados mediante fotointerpretación. Como se muestra en el la Figura3.4

De los 1400 Fenómenos de Remoción en Masa, se los puede clasificar en: 845 deslizamientos de tierra, en donde se encuentran deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, y 555 consisten en otros FRM, en los que se encuentran: hundimientos, flujos de lodo, colapsos, derrumbes, caída de rocas y aluviones. También se cuenta con varios polígonos de deslizamientos en formato .shape localizados en el área de estudio, estos datos fueron facilitados por la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos la mayoría de estos polígonos es de consultoría de Fotointerpretación para la identificación de fenómenos de inestabilidad de terreno y movimientos en masa relevantes en el DMQ, que se realizó en el año 2014, este contiene polígonos de macro deslizamientos y deslizamientos de una área menor.

Para aplicar el Método de la Matriz Jiménez Perálvarez el Inventario de FRM necesita estar conformada por polígonos en formato .shape, estos fueron obtenidos de información tomada de: fotointerpretación para la identificación de fenómenos de inestabilidad de terreno y Movimientos de Remoción en Masa relevantes en el Distrito Metropolitano de Quito, y la consultoría para la elaboración del Plan de Gestión Integral de Riesgos de la Cuenca del Río Monjas. Para este inventario también se utilizó la base de datos anteriormente mencionada, que representan solamente la ubicación de la ocurrencia de FRM entre el periodo establecido, dibujando polígonos alrededor de los puntos donde la densidad de estos es mayor, obteniendo así más áreas de zonas inestables. Figura 3.5

N°	Código	UTM		Lugar	Fecha	Tipo de Movimiento
		X	Y			
1	Da-Ch-01	774385	9975573	Barrio: Protección Chilibulo, Nueva Aurora, La Libertad	40 - 12 y 2 años	Deslizamiento Activo
2	Da-Ji-01	785137	9994811	Barrio: Jipijapa - Protección Jipijapa	17 años	Deslizamiento y Flujo
3	Dp-Qu-01	776890	9968532	Barrio: Quitumbe - La Argelia	Sin registro	Deslizamiento y Erosión
4	Dp-Cn-01	776365	9967516	Barrio: La Ferroviaria Alta	>20 años	Deslizamiento potencial y Erosión
5	Dp-Cn-02	777504	9969505	Barrio: Conocoto - Santa Teresita Alta	13 años	Deslizamiento
6	Dr-It-01	781026	9978547	Barrio: Guápulo, sector Gonzales Suarez	Sin registro	Deslizamiento
7	DP-Pe-01	778919	9974864	Barrio: Protección Itchimbia- Bolivar Rodriguez	Sin registro	Deslizamiento y Erosión
8	Fa-It-01	778956	9974976	Barrio: Itchimbia - Paluco	Sin registro	Deslizamiento Potencial y Flujo
9	Dp-Pe-03	778830	9974796	Barrio: Puengasi - Bolivar Rodriguez	Sin registro	Deslizamiento Potencial
10	Dp-It-02	778956	9974976	Barrio: Itchimbia, Paluco	Sin registro	Deslizamiento y Flujo

Figura 3.4 Bases de datos de FRM en el DMQ

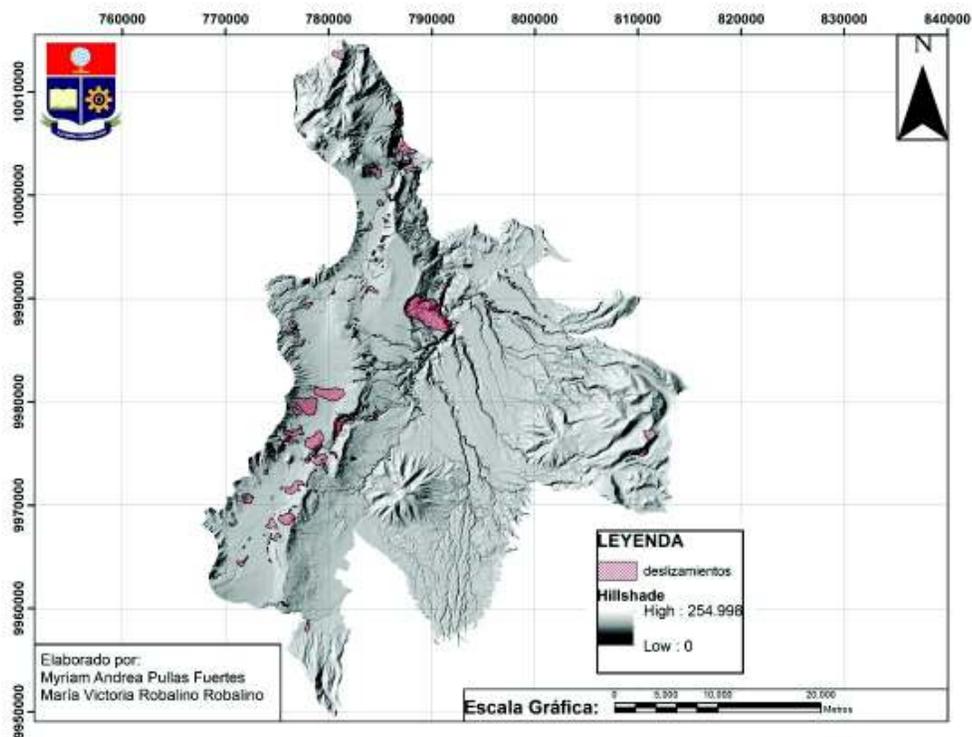


Figura 3.5 Representación de los polígonos proporcionados

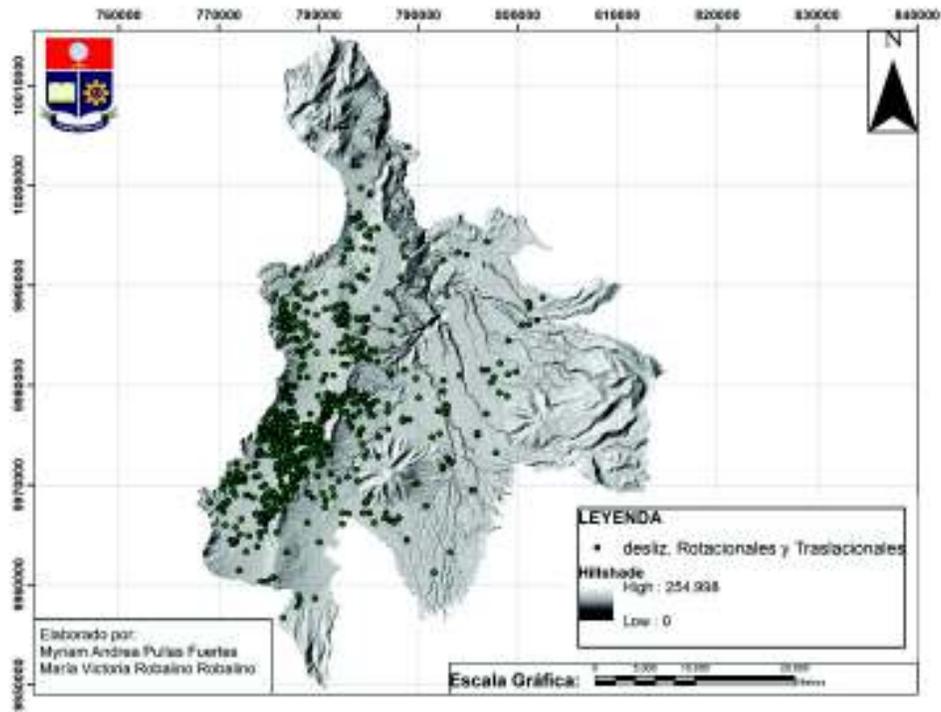


Figura 3.6 Representación de los Deslizamientos de la base de datos

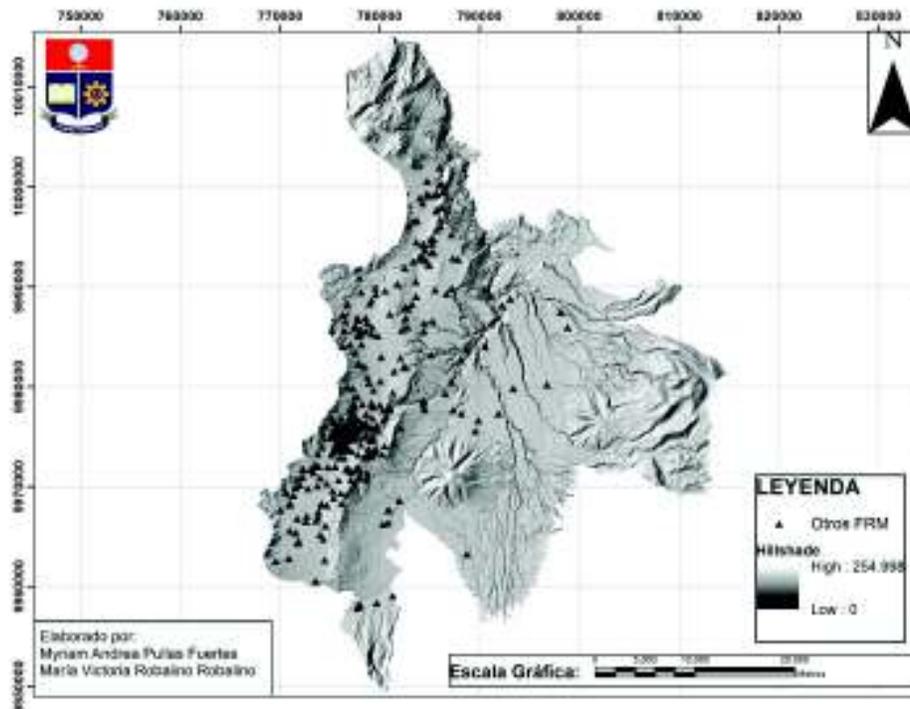


Figura 3.7 Representación de los demás FRM de la base de datos

Una vez dibujados todos los polígonos de zonas inestables, Figura 3.6, es necesario unir estos en una sola capa con el área de estudio. Asignando valor de 1 al área de estudio que no posee FRM, y un valor de 2 a los polígonos dibujados. Hay que destacar que los deslizamientos no deben estar sobrepuestos en el polígono general, caso contrario al insertar los datos en el GIS, esto produce un problema.

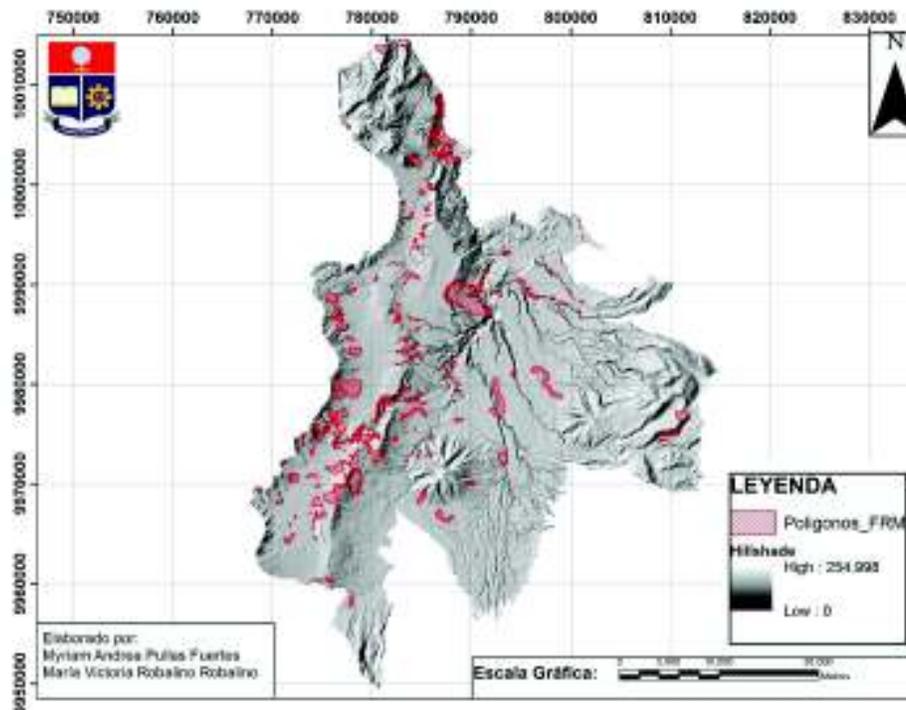


Figura 3.8 Polígonos de FRM a utilizarse

El inventario definitivo de FRM se realizó a una escala de 1: 10,000, en el cual se obtuvo 339 polígonos. Los deslizamientos menores a 250m<sup>2</sup> no se toman en cuenta debido a la poca magnitud de los mismos.

### 3.3 Geología

El mapa Litológico es una capa vectorial que muestra una clasificación de unidades Litológicas. El mapa Geológico utilizado en el Método de la Matriz es una combinación de las unidades geológicas del Mapa de FUNEPSA (2015) y las unidades lagunares del Mapa de SIGAGRO, teniendo así 46 unidades geológicas. Figura 3.7

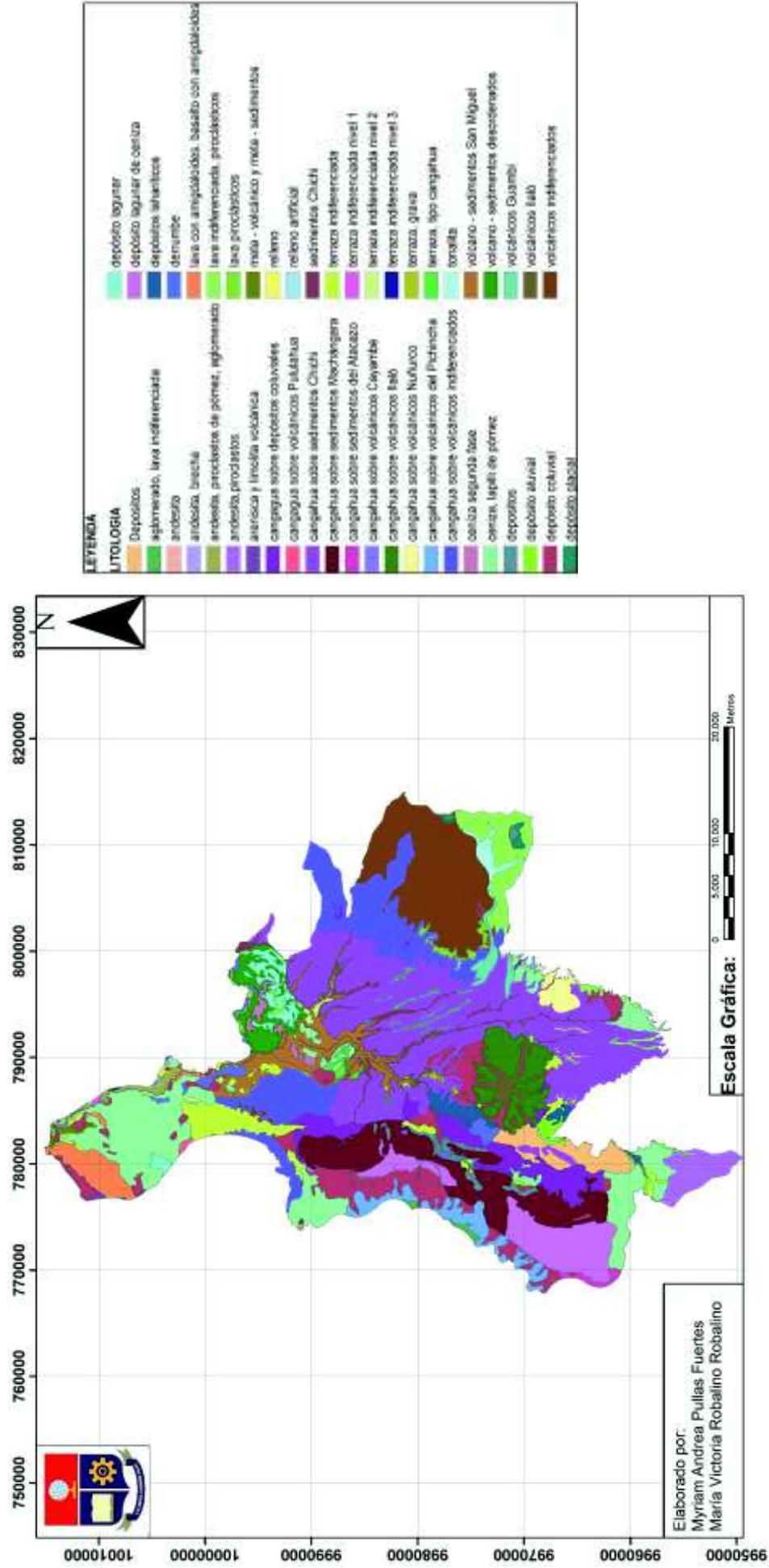


Figura 3.9 Geología del DMQ. Modificado del Mapa Geológico de FUNEPSA (2015) y SIGAGRO (2015)

De acuerdo a (Avilés, 2013) , se puede realizar una clasificación litológica de Quito en base a características geomecánicas, tomando en cuenta las siguientes anotaciones.

**ZONA I:** Zona Excelente, presenta excelentes condiciones del suelo para construcción, no se detectó la presencia de niveles freáticos, litológicamente corresponde a cangahuas, coluviales, aluviales, y zonas donde afloran las unidades de basamento como: Unidad Volcánica Atacazo, Unidad Volcánica Pichincha, y Volcánicos Indiferenciados. Se consideran en su totalidad muy favorables para la construcción de viviendas, presentan buena a excelente capacidad portante, plasticidad baja a nula, bajo contenido de humedad, su excavación es fácil con maquinaria liviana; la estabilidad es buena y no hay evidencias actuales de zonas inestables en las laderas.

Litológicamente en esta zona se encontró materiales, como: Coluviales; conformados por materiales de diversos tamaños, con predominio de matriz compuesta por arena limosa de tamaño fino a grueso incluyendo grava y cantos rodados. Cangahua; Afloran en la mayor parte del área de estudio, ya que se encuentra recubriendo de forma periclinal, corresponde a una toba areno limosa de color marrón semi compacta, con menor cantidad de arcilla con presencia de pómez, existen intercalaciones de capas de grava, arena y arcilla de espesores de hasta 2 m. Depósitos Glaciales y Fluvio-glaciales: se encuentran ubicados en las faldas norte y este del Volcán Atacazo. Unidad Volcánica Indiferenciada: depósitos de lodo semi-consolidados y flujos piroclásticos no diferenciables, que podrían pertenecer tanto a los productos volcánicos del Atacazo como del Complejo Pichincha, así como cenizas, pómez y lapilli.

**ZONA II:** Zona Buena, presenta buenas condiciones del suelo para construcción, no se detectó la presencia de niveles freáticos, presenta la misma litología que la Zona I. Se consideran materiales de buena competencia como soporte para cimentaciones; en su totalidad favorables para la construcción de viviendas, presentan buena capacidad portante, pendientes moderadas a abruptas.

Litológicamente esta zona está compuesta por: Cangahua; Toba areno limosa de color marrón semi compacta, con menor cantidad de arcilla con presencia de pómez, existen intercalaciones de capas de grava, arena y arcilla de espesores de hasta 2 m. Cangahua sobre Unidad Volcánica Atacazo, Cangahua sobre Unidad Volcánica Pichincha. Unidad Volcánica Indiferenciada, Ceniza y pómez sobre Volcano Sedimentos Machángara

**ZONA III:** Zona Regular, litológicamente presenta suelos depositados en ambientes fluvio lacustres, de composición heterogénea y cangahuas, Se consideran materiales de regular competencia como soporte para cimentaciones, baja a media humedad y plasticidad, capacidad portante regular a buena, niveles freáticos no detectados.

Litológicamente comprenden las unidades de cobertura: Cubeta de Relleno Fluvio lacustre de Quito, Conos de Deyección, Cangahua, toba areno limosa de color marrón semi compacta, con menor cantidad de arcilla con presencia de pómez, existen intercalaciones de capas de grava, arena y arcilla de espesores de hasta 2 m y materiales de origen antrópico. Se determinó la existencia de dos tipos de rellenos de origen antrópico: a) Relleno de mejoramiento realizado para la ejecución de obras como construcción de vías, rellenos de quebradas en sectores de embaulamientos y b) botaderos con escombros, basura, residuos de materiales de construcción.

**ZONA IV:** Zona Mala, estos suelos litológicamente se encuentran depositados en ambientes fluvio lacustres y pertenecen a secuencias de limos-arenosos y en zonas de rellenos, tienen problemas de poca capacidad portante, humedad media a elevada, plasticidad baja a media, niveles freáticos superficiales. Se consideran materiales de mala competencia como soporte para cimentaciones.

Litológicamente comprenden las siguientes unidades de cobertura: Cubeta de Relleno Fluvio lacustre de Quito, Conos de Deyección, Cangahua, toba areno limosa de color marrón semi compacta, con menor cantidad de arcilla con presencia de pómez, existen intercalaciones de capas de grava, arena y arcilla de espesores de hasta 2 m y Materiales de origen antrópico.

**ZONA V** Zona Muy Mala, estos suelos litológicamente se encuentran depositados en ambientes fluvio lacustres y pertenecen a secuencias de limos-arenosos, zonas de rellenos, zonas pantanosas con abundante contenido de materia orgánica y turbas, presentan una resistencia baja a la penetración, tienen problemas de poca capacidad portante, humedad elevada, plasticidad baja a media, niveles freáticos superficiales. Se consideran materiales de pésima competencia como soporte para cimentaciones.

En esta zona se encuentra presente dos unidades de cobertura Cubeta de Relleno Fluvio lacustre de Quito y Materiales de origen antrópico.

La metodología requiere de una simplificación a un máximo de 12 unidades litológicas ya que al combinar los diferentes factores determinantes para la obtención del mapa de susceptibilidad hay un gran número de probabilidades de combinaciones, generando así un trabajo tedioso y laborioso en la interpretación de los datos adquiridos. Por dicho motivo se debe agrupar las diferentes litologías del Distrito Metropolitano de Quito, utilizando una caracterización en función de su génesis.

De acuerdo a la información encontrada se clasificó las diferentes litologías del DMQ en 8 unidades. El método requiere que cada unidad litológica se encuentre enumerada sin importar sus características intrínsecas. Tabla 3.1

Tabla 3.1 Agrupación de unidades Litológicas de acuerdo a su génesis y sus características geomecánicas

VALOR	NOMBRE	UNIDADES
1	Depósitos	Depósito aluvial
		Depósito coluvial
		Depósito glacial
		Derrumbe
		Conglomerados-coluviales
		Coluviales
		Coluviales FRM
		Deposito laharíticos
		Lahares Cotopaxi
2	Fm. Chiche	Formación Chiche
3	Volcánicos, Andesitas, Lavas	Volcánicos Guambi
		Volcánicos Ilaló:
		Volcánicos Indiferenciados
		Volcano - sedimentos San Miguel
		Volcano - sedimentos desordenados
		Ceniza, lapilli de pómez
		Ceniza segunda fase
		Flujos piroclásticos del Pululahua: igual que el Pichincha
		Lahares-volcánicos indiferenciados
		Volcánicos Casitahua
		Meta - volcánico y meta – sedimentos
		Andesita, piroclastos de pómez, aglomerado
		Arenisca y limolita volcánica
		Andesita

		Andesita, brecha
		Andesita, piroclastos
		Tonalita
		Lava con amigdaloides, basalto con amigdaloides
		Lava indiferenciada, piroclásticos
		Lava piroclásticos
		Aglomerado, lava indiferenciada
4	Depósitos Lagunares	Depósito lagunar, laguna de Quito
		Depósito lagunar de ceniza
5	Fm. San Miguel, Fm. Pisque, Fm. Guayllabamba	Fm. San Miguel, Fm. Pisque, Fm. Guayllabamba
6	Cangahuas	Cangahua sobre sedimentos Chichi
		Cangahua sobre volcánicos Nuñurco
		Cangahua sobre depósitos Coluviales
		Cangahua sobre volcánicos Pululahua
		Cangahua sobre sedimentos del Atacazo
		Cangahua sobre volcánicos Ilaló
		Cangahua sobre sedimentos Machángara
		Cangahua sobre volcánicos indiferenciados
		Cangahua sobre volcánicos del Pichincha
		Cangahua sobre volcánicos Cayambe
		Fm. Cangahua
7	Rellenos	Relleno artificial
		Relleno
8	Terrazas	Terraza indiferenciada
		Terraza indiferenciada nivel 1
		Terraza indiferenciada nivel 2
		Terraza indiferenciada nivel 3
		Terraza, tipo Cangahua
		Terraza, grava
		Terrazas aluviales

El método aplicado requiere que la capa geológica ya editada anteriormente, sea transformada en un archivo raster, usando la herramienta del ArcToolbox "Polígono a Raster". Figura 3.8

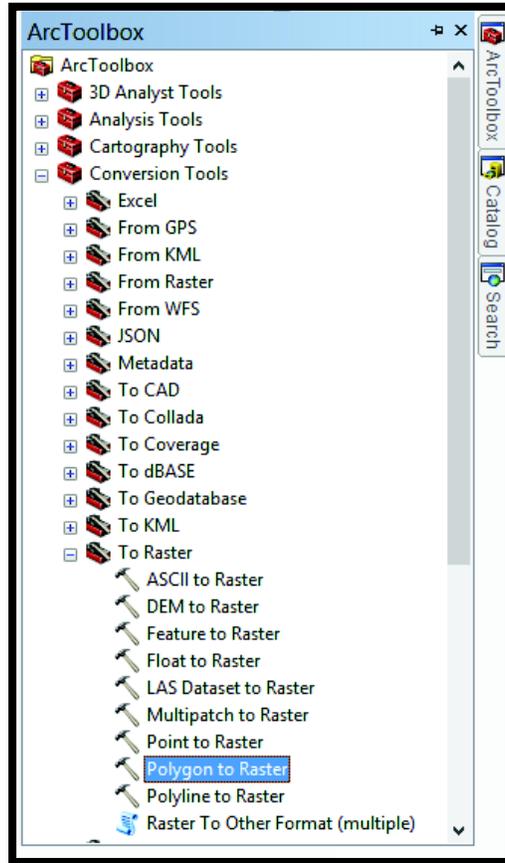


Figura 3.10 Ubicación de la herramienta “Polygon to Raster”

### 3.4 Modelo Digital de Elevación

Un Modelo Digital de Terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Existen diferentes técnicas para determinar los DEM a partir de datos vectoriales (IDW, Kriging, etc.), el DEM utilizado en el presente trabajo de titulación fue suministrado por el Municipio de Quito, mismo que cuenta con un pixel de resolución de 5x5m.

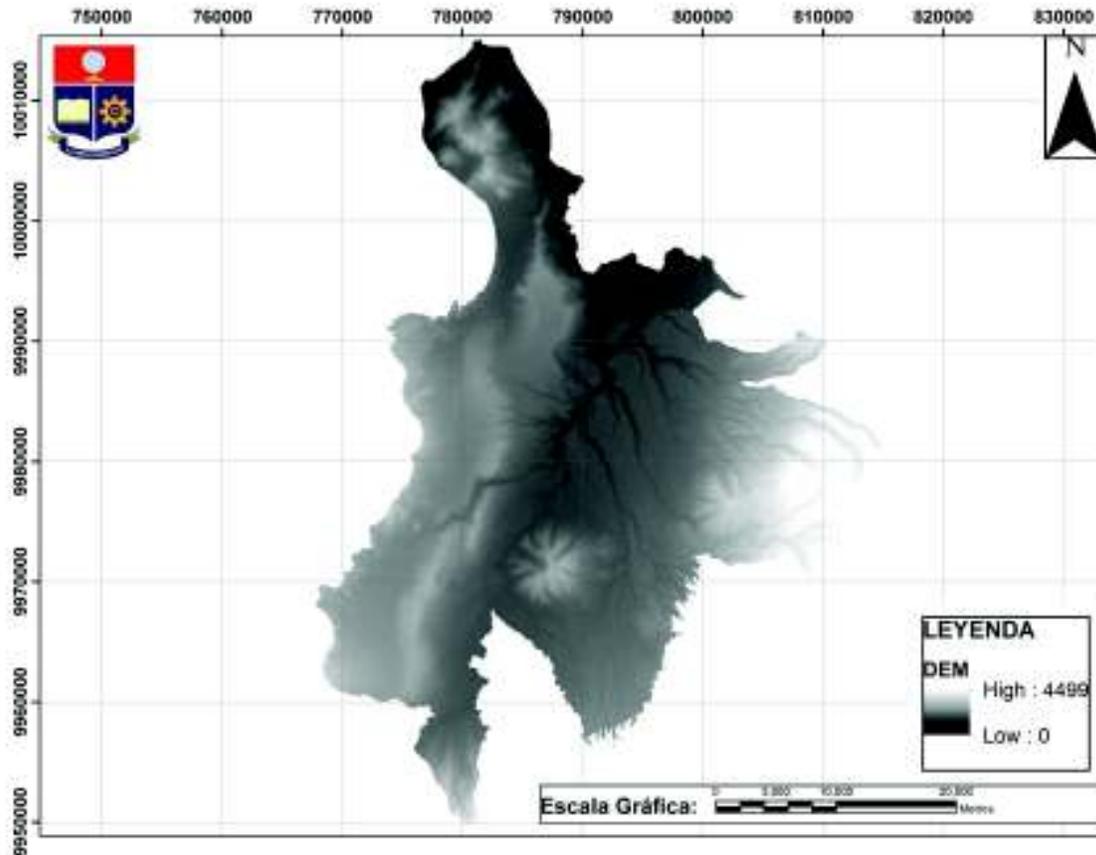


Figura 3.11 Modelo de Altura Digital del Distrito Metropolitano de Quito

Usando las herramientas del ArcToolbox y con ayuda del DEM se obtienen tres aspectos digitales de terreno que son los factores determinantes: altura, ángulo de pendiente y orientación de la pendiente (mediante las herramientas de geo-procesamiento de ArcGIS "Reclassify", "Slope" y "Aspect"). Los factores determinantes se reclasificaron, y se generalizaron por clases, con el fin de obtener una tabla de atributos más simple para el procesamiento de los datos. Estas herramientas de ArcGIS funcionan en un formato ráster, necesario para el análisis espacial.

### 3.4.1 Altura

Para realizar el mapa de alturas a partir del DEM se utiliza la herramienta del SIG "Reclassify", y se lo reclasifica en 7 intervalos iguales por el método de Natural Breaks. Los valores definidos de alturas se representan en la tabla 3.2

Tabla 3.2 Rangos de alturas utilizados

Altura msnm	
1	0-2099
2	2099-2438
3	2438- 2689
4	2689- 2947
5	2947-3304
6	3304-3793
7	3793-4499

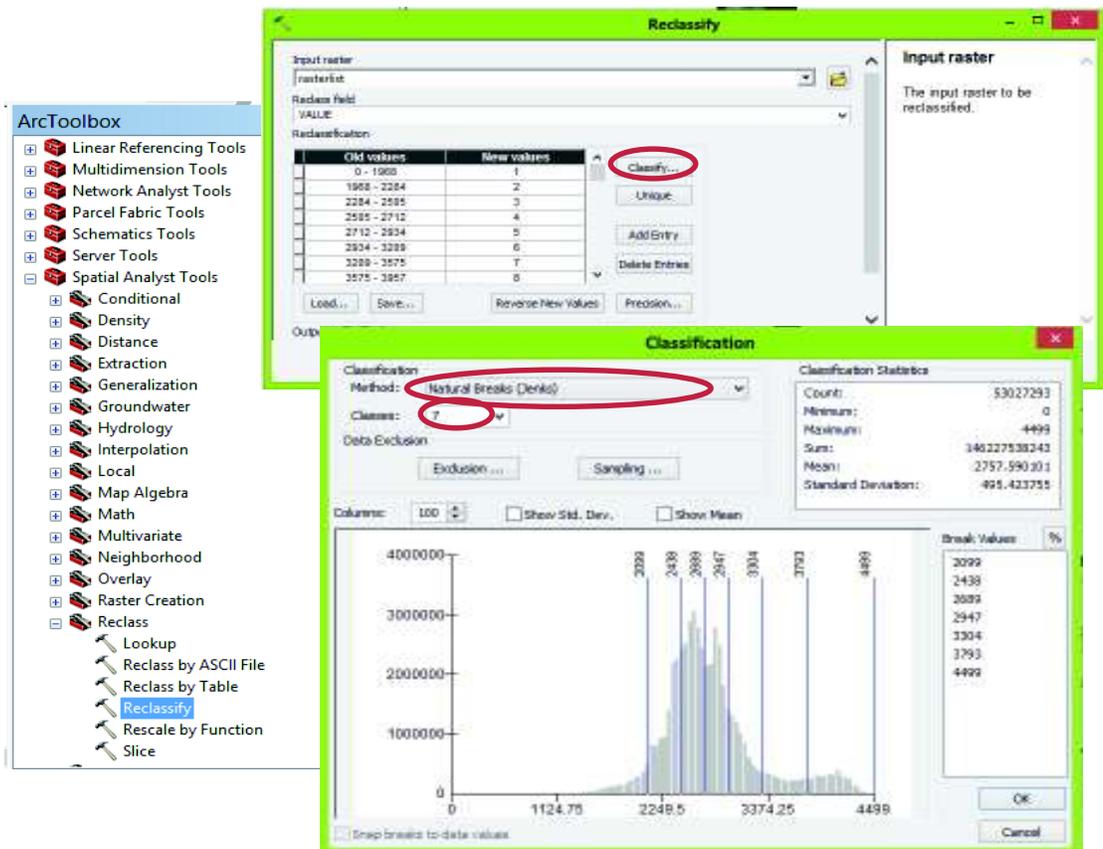


Figura 3.12 Reclasificación del DEM

### 3.4.2 Orientación de la Ladera (Aspect)

Un mapa de aspecto muestra simultáneamente el aspecto (dirección) y el grado (inclinación) de la ladera para un terreno (u otra superficie continua). (Buckley, 2008). Para la elaboración del parámetro Aspect se utilizó la herramienta “aspect” del GIS.

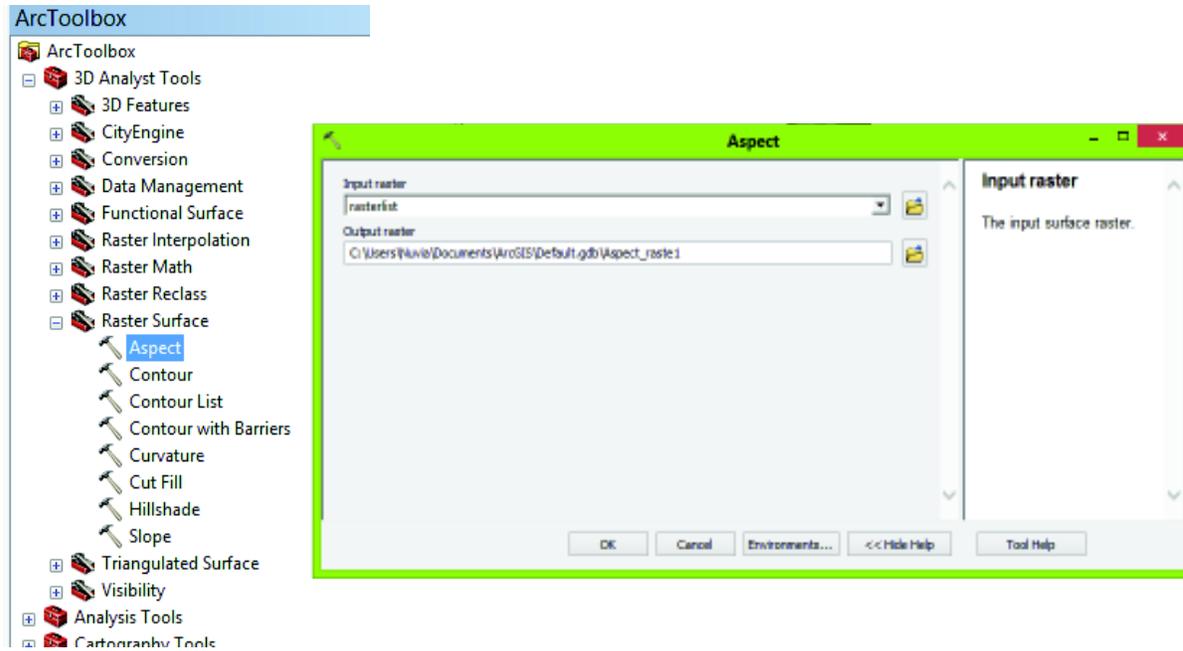


Figura 3.63 Obtención del parámetro Aspect a partir del DEM usando el GIS.

Para generar el mapa definitivo del Aspect que se utilizará en el método, se reclasifica el parámetro en 6 clases, usando la herramienta “Reclassify”, por el método de Natural Breaks. La tabla 3.3 muestra las orientaciones desde 0° a 360°. Los valores de -1° a 1° representan los terrenos planos, a partir del grado 1° hasta el 360° representan a los cuatro cuadrantes; Norte, Este, Sur, Oeste, respectivamente. Una vez que la orientación llega al máximo de 360 grados este vuelve a coincidir con el norte, motivo por el cual se debe realizar este cambio al momento de clasificar los valores.

Tabla 3.3 Rangos de valores utilizados en la Orientación de la Ladera

Orientación de la Ladera	
-1° – 1°	Terreno plano
1° – 45°	N
45° – 135°	E
135° – 225°	S
225° – 315°	O
315° - 360°	N

**ArcToolbox**

- + Schematics Tools
- + Server Tools
- Spatial Analyst Tools
  - + Conditional
  - + Density
  - + Distance
  - + Extraction
  - + Generalization
  - + Groundwater
  - + Hydrology
  - + Interpolation
  - + Local
  - + Map Algebra
  - + Math
  - + Multivariate
  - + Neighborhood
  - + Overlay
  - + Raster Creation
  - Reclass
    - Lookup
    - Reclass by ASCII File
    - Reclass by Table
    - Reclassify
    - Rescale by Function
    - Slire

**Reclassify**

Input raster: aspect

Reclass field: Value

Reclassification:

Old values	New values
-1 - 1	Terreno plano
1 - 45	N
45 - 135	E
135 - 225	S
225 - 315	O
315 - 360	N
NoData	NoData

Buttons: Load... Save... Reverse New Values Precision... Classify... Update Add Entry Delete (X) Other

**Reclassification**

A remap table that defines how the values will be reclassified.

- Old values - The ranges of values of cells in the input raster. Acceptable settings are a single value, a range of values, a string, or NoData. A list of single values can be specified by separating each with a semicolon (;). A

**Classification**

Classification Method: Natural Breaks (Jenks)

Classes: 6

Data Exclusion: Exclusion... Sampling...

Columns: 100  Show Std. Dev.  Show Mean

Break Values: -1, 89.853096, 118.072487, 165.123199, 246.0513, 301.081270, 359.986481

**Classification Statistics**

Count: 53027293

Minimum: -1

Maximum: 359.986481

Sum: 8290407903.485...

Mean: 154.450457

Standard Deviation: 115.380867

Snap breaks to data values

Buttons: OK Cancel

Figura 3.14 Determinación del Orientación de la ladera reclasificada.

### 3.4.3 Pendiente

La pendiente se puede medir en grados desde la horizontal o la pendiente porcentual (que es el aumento dividido por la carrera, multiplicado por 100). Una pendiente de 45 grados equivale a una pendiente del 100%. A medida que el ángulo de la pendiente se aproxima a la vertical (90°), la pendiente porcentual se aproxima al infinito. Para realizar el mapa de pendientes se utilizó la herramienta “Slope” del ArcToolbox. Figura 3.13

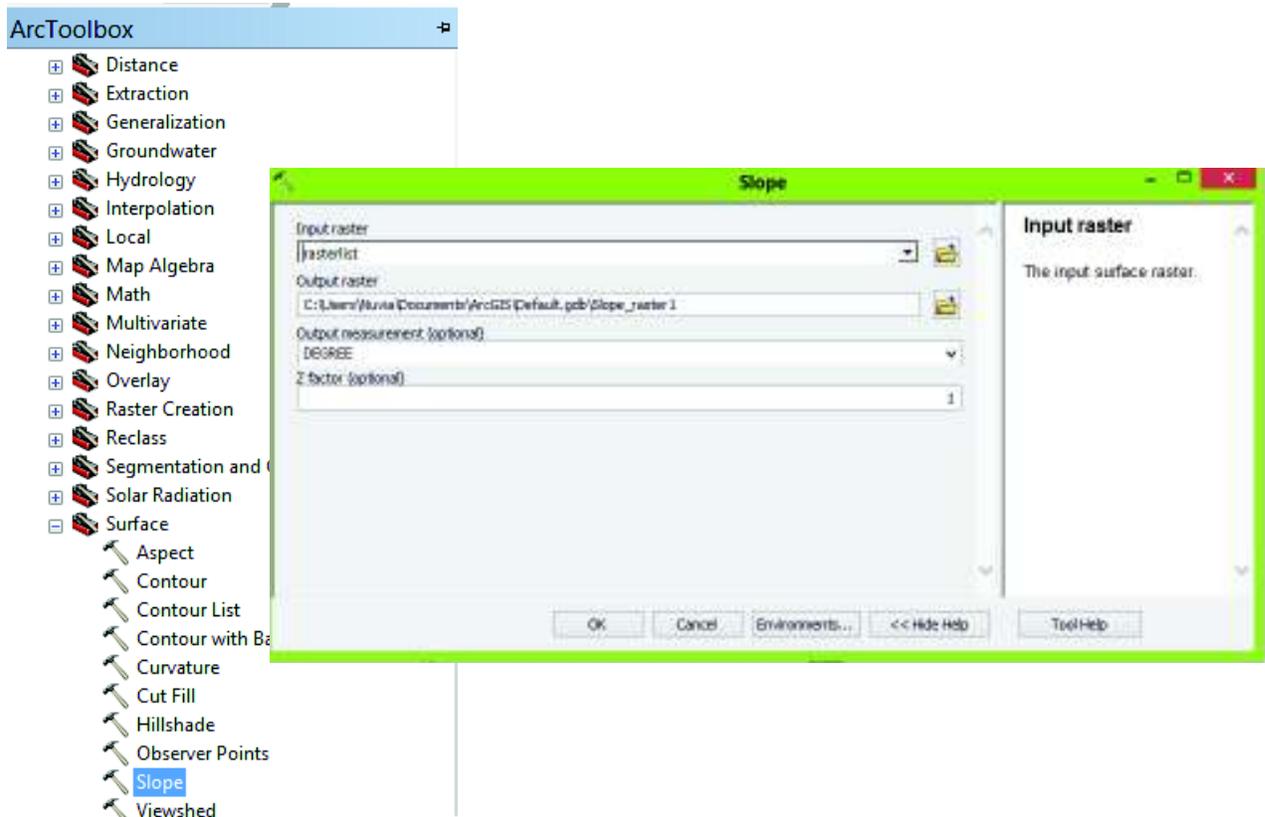


Figura 3.15 Obtención del parámetro Slope a partir del DEM usando el GIS.

Para generar el mapa definitivo de la pendiente que se utilizará en el Método de la Matriz Jiménez Perálvarez, se utiliza el parámetro “Slope” antes generado y se lo reclasifica en 5 rangos por el método de Natural Breaks. Así se tendrán valores de pendientes en los siguientes rangos. Tabla 3.4, Figura 3.14.

Tabla 3.4 Valores de pendientes

Pendiente	
1	0° - 8°
2	8° - 16°
3	16°-30°
4	30°-42°
5	42°-90°

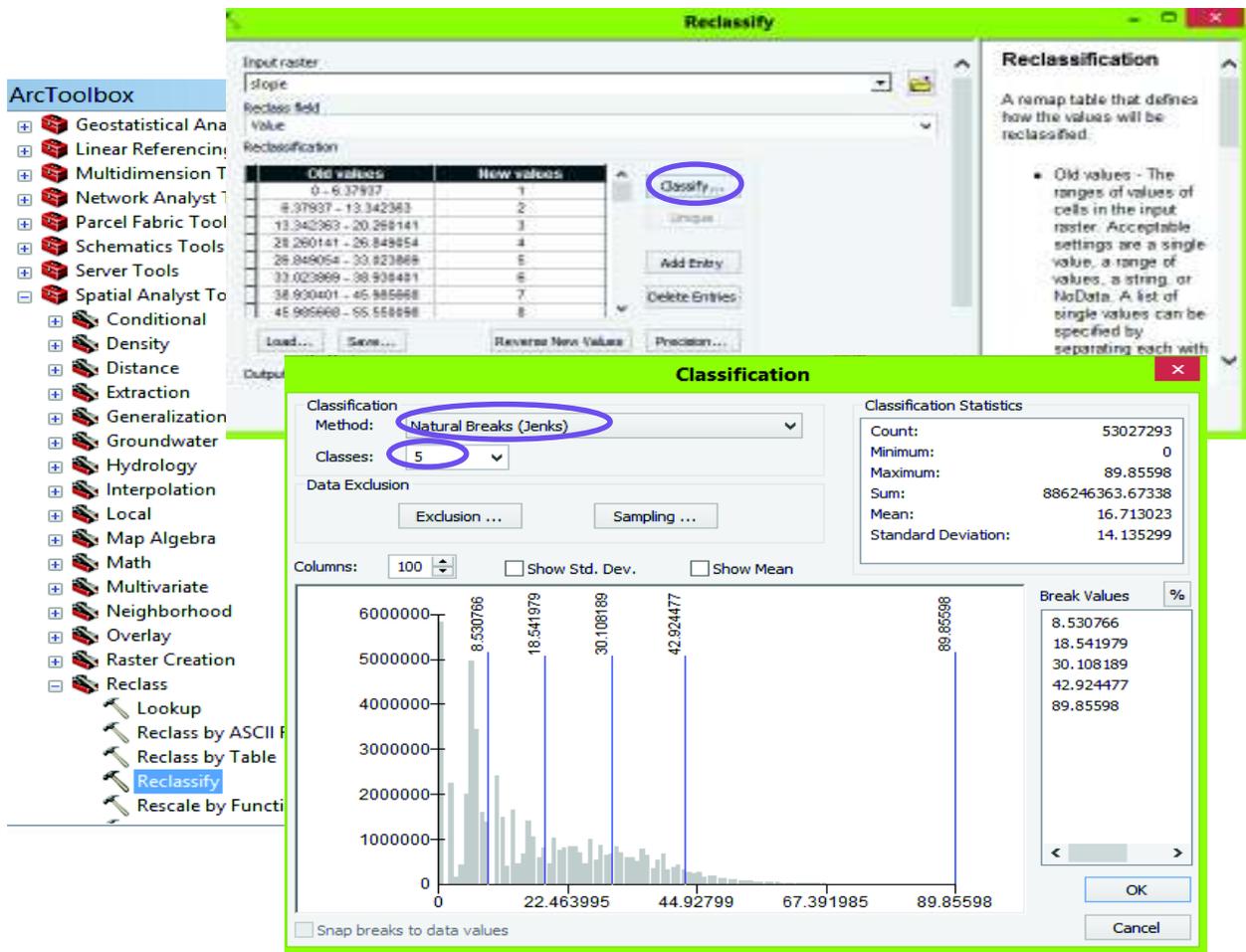


Figura 3.16 Obtención del mapa de pendientes a través de la herramienta "Reclassify"

### 3.4.4 Combinación de los Factores determinantes (Combine)

Siguiendo el proceso de aplicación del Método de la Matriz, se combinan los parámetros anteriores (Altura, Slope reclasificado, Aspect Reclasificado y el raster de la Geología), usando la herramienta “Combine” del ArcToolbox, Figura 3.15

Obteniendo así un nuevo archivo raster, donde se observan 994 combinaciones de parámetros que pueden desencadenar un FRM.

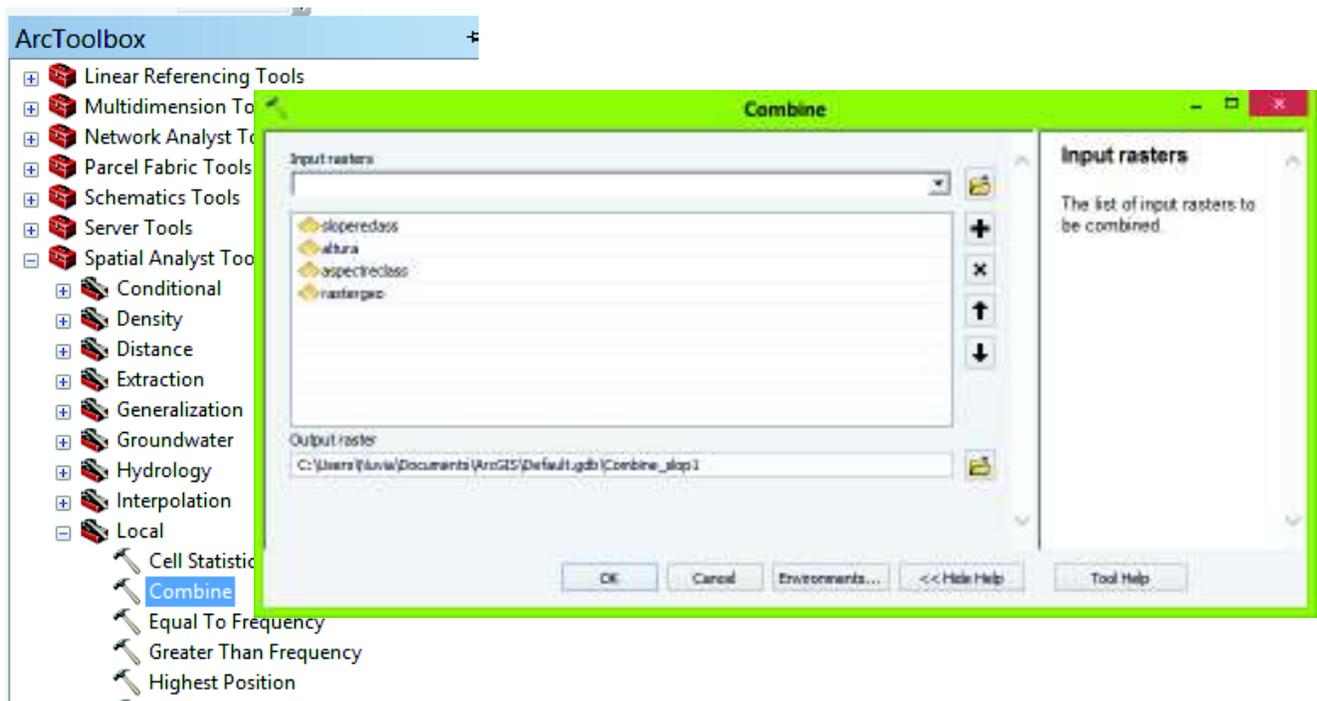


Figura 3.17 Aplicación de la herramienta “Combine”

### 3.4.5 Tabulación de toda la Información (Tabulate)

Al utilizar la herramienta “Tabulate Area” usando el raster “Combine” realizado anteriormente y la capa de Inventario de FRM en formato shape, se obtiene una tabla donde se generan los valores: (VALOR\_1) que representa las áreas no afectadas por FRM y (VALOR\_2) que representa las áreas afectadas por FRM. A esta tabla se le añade una nueva columna cuyo nombre será “AREA”, en esta columna se procede a hacer clic

derecho y al seleccionar “Field Calculator” y se sumará los valores antes mencionados .Figura 3.16

$$\text{ÁREA} = (\text{VALOR}_1 + \text{VALOR}_2)$$

Se adjunta una nueva columna llamada SUSCEP, que representa el porcentaje de susceptibilidad por FRM; esta se obtiene al hacer clic derecho seleccionando “Field Calculator” y se inserta la siguiente operación:

$$\text{SUSCEP} = \frac{\text{VALOR}_2}{\text{ÁREA}} * 100$$

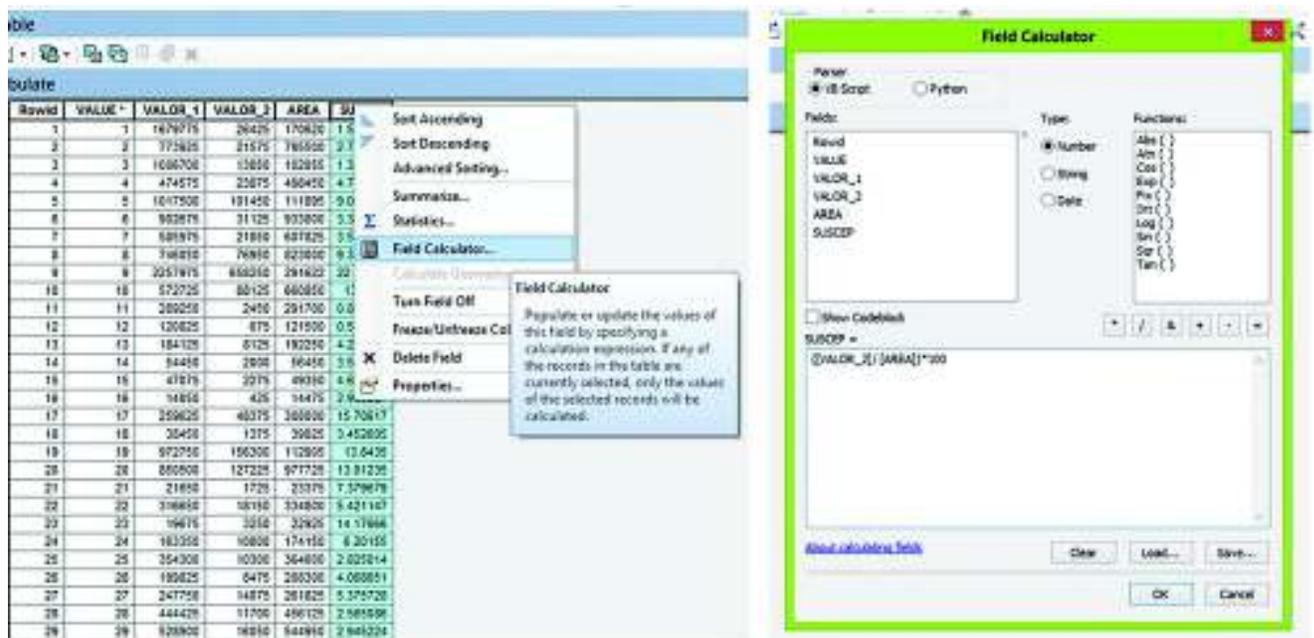


Figura 3.18 Obtención de la Susceptibilidad Dividiendo el VALOR\_2 para el AREA y multiplicado por 100.

Los valores de susceptibilidad mostrada en la tabla “Tabulate” no se pueden representar de una manera gráfica, por lo cual se usa la herramienta “Join” con el raster de COMBINE y la Tabla “Tabulate” mediante el campo VALUE Figura 3.17

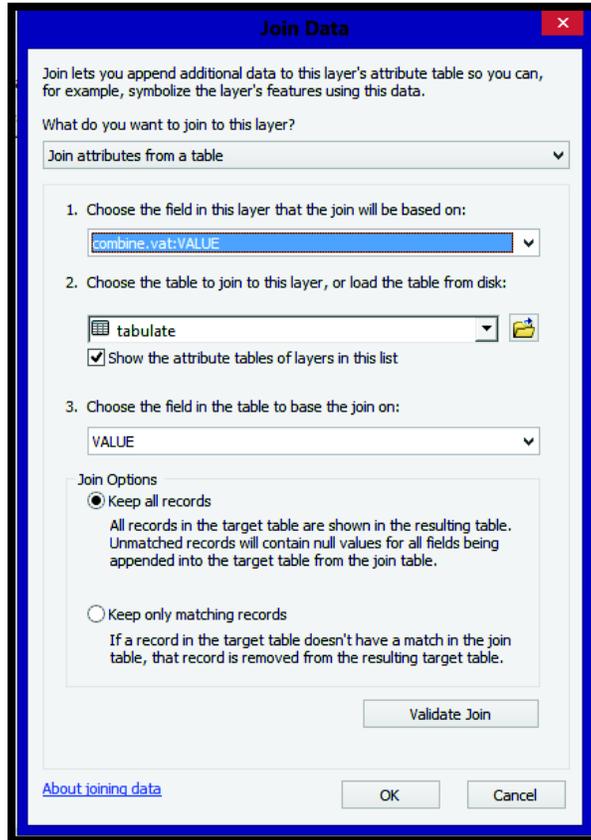


Figura 3.19 Herramienta “Join” utilizada en el método

Una vez unidas las dos tablas, ya se pueden observar todos los datos en conjunto, en la columna “SUCEP” se muestran los valores de susceptibilidad que varían entre 0 y 100 en cada combinación de clases de factores determinantes. Se añade una nueva columna, “SUSC”, donde se realizó una reclasificación (redondeada al número entero más cercano) (Jiménez Perálvarez J. , 2012). De esta manera, los rangos de susceptibilidad se clasificaron y se pueden visualizar mediante 5 niveles de susceptibilidad (Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta) encontrados en las áreas circundantes (Irigaray, Movimientos de Lade4ra: Inventario, Análisis y Cartografía de la Susceptibilidad Mediante un Sistema de Información Geográfica. Aplicación a las zonas de Colmenar (Málaga), Rute (Córdoba) y Montefrío (Granada), 1995), utilizando el método de Natural Breaks. De esta manera, los rangos de susceptibilidad son:

-Muy baja susceptibilidad: el área afectada en una combinación dada de factores determinantes se extiende entre 0 y 1%.

-Baja susceptibilidad: el área afectada en una combinación dada de factores determinantes se extiende entre 1 y 5%.

-Susceptibilidad moderada: el área afectada en una combinación dada de factores determinantes se extiende entre 5 y 15%.

-Alta susceptibilidad: el área afectada en una combinación dada de factores determinantes se extiende entre 15 y 25%.

-Muy alta susceptibilidad: el área afectada en una combinación dada de factores determinantes se extiende por encima del 25%.

Tabla 3.5 Valores de Susceptibilidad

<b>Combinación dada de factores %</b>	<b>Valor</b>	<b>Susceptibilidad</b>
0 – 1	1	Muy Baja
1 - 5.	2	Baja
5 - 15.	3	Media
15 -25.	4	Alta
> 25.	5	Muy Alta

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 1.1 Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa (M1)

En el Inventario de FRM se obtuvo como resultado 339 polígonos Figura 4.2, en la primera fila de la tabla de atributos se observa el polígono que representa el área de estudio que no se encuentra afectada por FRM y se le asigna un “Valor” de 1; los demás polígonos presentes en esta tabla poseen un “Valor” de 2, mismos que representan las áreas que están afectadas por FRM. Figura 4.1. La suma de todas las “Áreas” nos da como resultado el área total de estudio, en donde se determinó que los FRM se encuentran afectando al 4.19 % del área total de interés.

FID	Shape *	id	poligono	Valor	Area
339	Polygon	0	Poligono	1	1272827198.78
0	Polygon	265	Poligono	2	69086.106087
1	Polygon	264	Poligono	2	279.926315
2	Polygon	263	Poligono	2	20797.702772
3	Polygon	130	Poligono	2	4330.42606
4	Polygon	1	Poligono	2	9307.353268
5	Polygon	166	Poligono	2	6511.892339
6	Polygon	33	Poligono	2	19533.675341
7	Polygon	32	Poligono	2	7209.591238
8	Polygon	165	Poligono	2	4480.992831
9	Polygon	260	Poligono	2	9655.035221
10	Polygon	179	Poligono	2	86159.699059
11	Polygon	258	Poligono	2	7482.472388
12	Polygon	30	Poligono	2	35126.361421
13	Polygon	38	Poligono	2	24633.882537
14	Polygon	256	Poligono	2	32553.254257
15	Polygon	173	Poligono	2	22504.567468
16	Polygon	157	Poligono	2	19141.973156
17	Polygon	254	Poligono	2	1428.838427
18	Polygon	149	Poligono	2	42800.074603
19	Polygon	253	Poligono	2	24545.157454
20	Polygon	252	Poligono	2	16872.962967
21	Polygon	251	Poligono	2	18446.449818
22	Polygon	250	Poligono	2	3091.094985
23	Polygon	249	Poligono	2	15722.438058
24	Polygon	248	Poligono	2	2006.906827

Figura 4.1 Tabla de atributos de la capa de Inventario de FRM

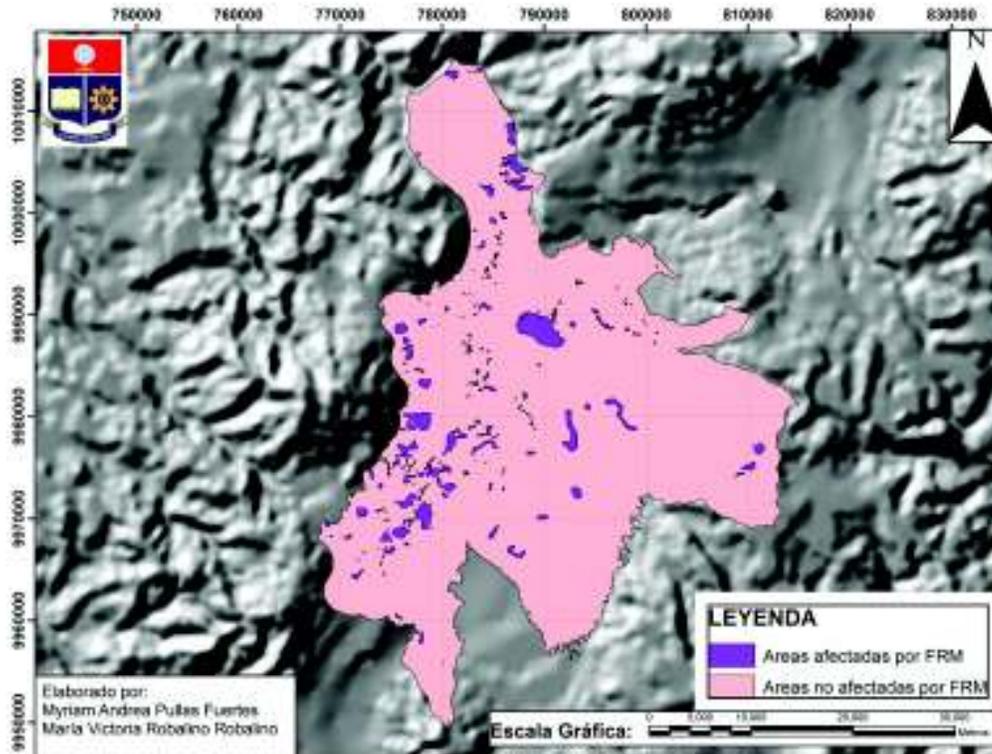


Figura 4.2 Mapa de Inventario de FRM

Se observa que hay una gran concentración de deslizamientos hacia la zona céntrica de la ciudad de Quito y hacia las laderas del volcán Pichincha. Las zonas menos afectadas por FRM son: el Parque Nacional Antisana y Alangasí. Los deslizamientos se alinean al levantamiento tectónico de Quito que se encuentran directamente relacionados con la actividad del sistema de fallas inversas de Quito y se localizan paralelos al escarpe, separando la mancha urbana de los valles. Una característica muy notable es que las áreas donde no se presentan estos fenómenos están poco o nada pobladas.

## 4.1 Geología

El relleno sedimentario de la serie Quito-San Antonio-Guayllabamba puede ser dividido en dos grandes secuencias separadas por una discordancia mayor. La secuencia inferior consiste de lavas, tobas, lahares, sedimentos aluviales, fluviales, deltaicos y lacustres que corresponden a: Fm. Pisque (que incluye los miembros: Lavas Basales, Puente Viejo, Tobas Doradas, Aluvial y Fluvio Aluvial) y Fm. San Miguel (que incluye los miembros: San Miguel y Lacustre San Miguel). La secuencia superior consiste de depósitos volcánicos

primarios, lahares y depósitos fluviales, que corresponden a: Fm. Guayllabamba (que incluye los miembros: Lahar, Domos, Volcánico y Aluvial), Fm. Chiche (que incluye los miembros: Fluvio-Lacustre I, Lahar, Fluvio Lacustre II, Chiche s.s), Fm. Machángara (que incluye los miembros: Volcánicos Basales, Quito), Fm. Mojanda, Fm. Cangahua y Depósitos La Carolina (Villagómez, 2003).

De acuerdo a la génesis y características geomecánicas, la litología del DMQ se dividió en 8 unidades. Figura 4.3

Rowid	VALUE	COUNT	LITOLOGIA
0	1	6438110	Depositos
1	2	1244003	sedimentos Chiche
2	3	1533859	Volcanicos
3	4	3539635	Deposito Lagunar
4	5	1752769	Sedimentos San Miguel
5	6	2268838	Cangagua
6	7	17445	relleno
7	8	1965624	Terrazas

Figura 4.3 Asignación de valores enteros a cada litología

En la tabla de atributos se puede observar que la litología definida como Volcánicos tiene un "VALUE" de 3, consta de 1533859 pixeles "COUNT" en la zona de estudio, es decir que abarca 38,346.47 km<sup>2</sup>.

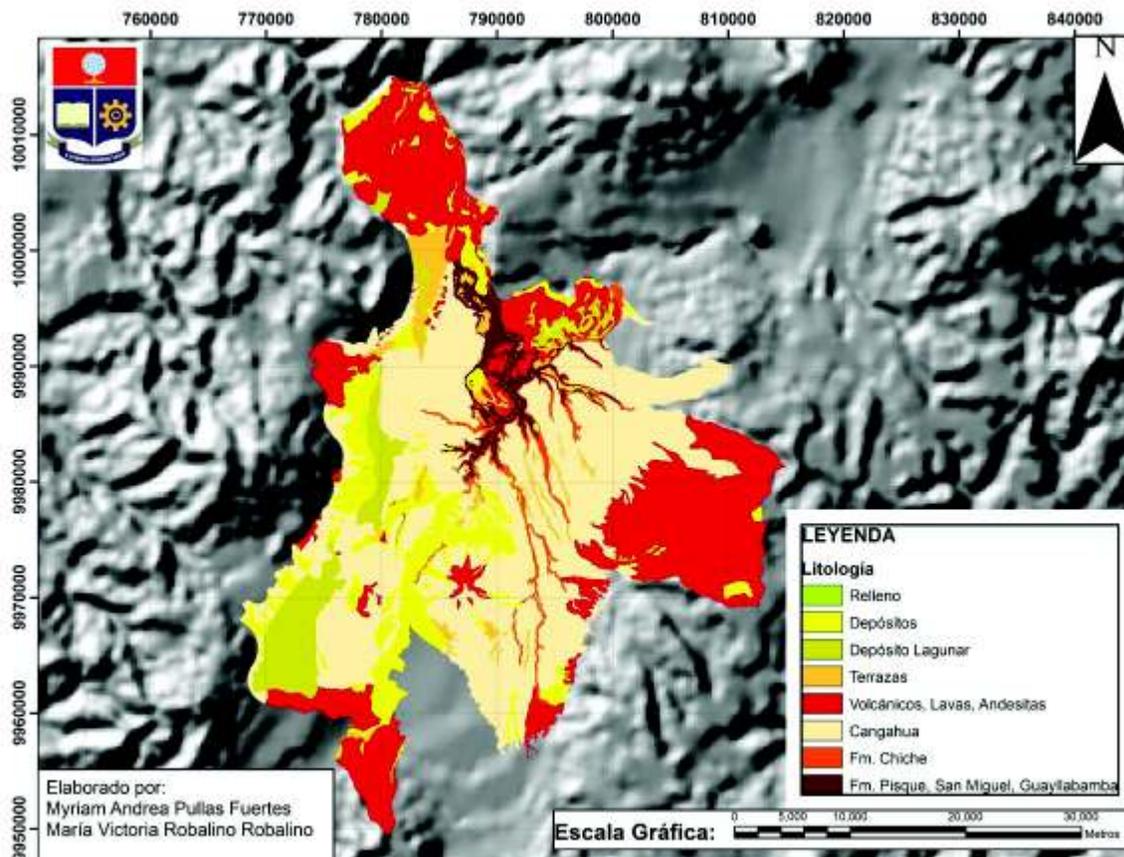


Figura 4.4 Litología del DMQ en formato Raster.

Hacia las zonas del centro de Quito se observa que predomina la presencia de rellenos, depósitos lagunares y la Formación Cangagua. Además los principales aportes volcánicos son atribuidos a los diferentes puntos de emisión que se encuentran en el DMQ, es decir el complejo del Rucu Pichincha, Ilaló, Atacazo, Ninahuilca, Pululahua, Mojanda, Fuya Fuya.

Los principales Depósitos Lagunares presentes en el Mapa Geológico se encuentran en las sub – cuencas: centro – norte y sur de Quito, separadas por el río Machángara y el domo El Panecillo. Estas Sub-cuencas constan de sedimentos caracterizados por paquetes de limos, arcillas, arenas medias a gruesas, intercalados con cenizas y caídas de pómez (Jimenez & Alvarado, 2001). Los ambientes de depositación varían principalmente entre fluviales, lacustres y palustres, en donde se ven suelos orgánicos. También se ve presencia de depósitos fluviales con canales poco profundos y flujos de lodo.

## 4.2 Modelo Digital de Elevación (DEM)

### 4.2.1 Altura

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) está caracterizada por ser una cuenca alargada de dirección N-S. Tiene una altura promedio de 2800m y está ubicada sobre un sistema sísmico y volcánico activo (Alvarado et al., 2014).

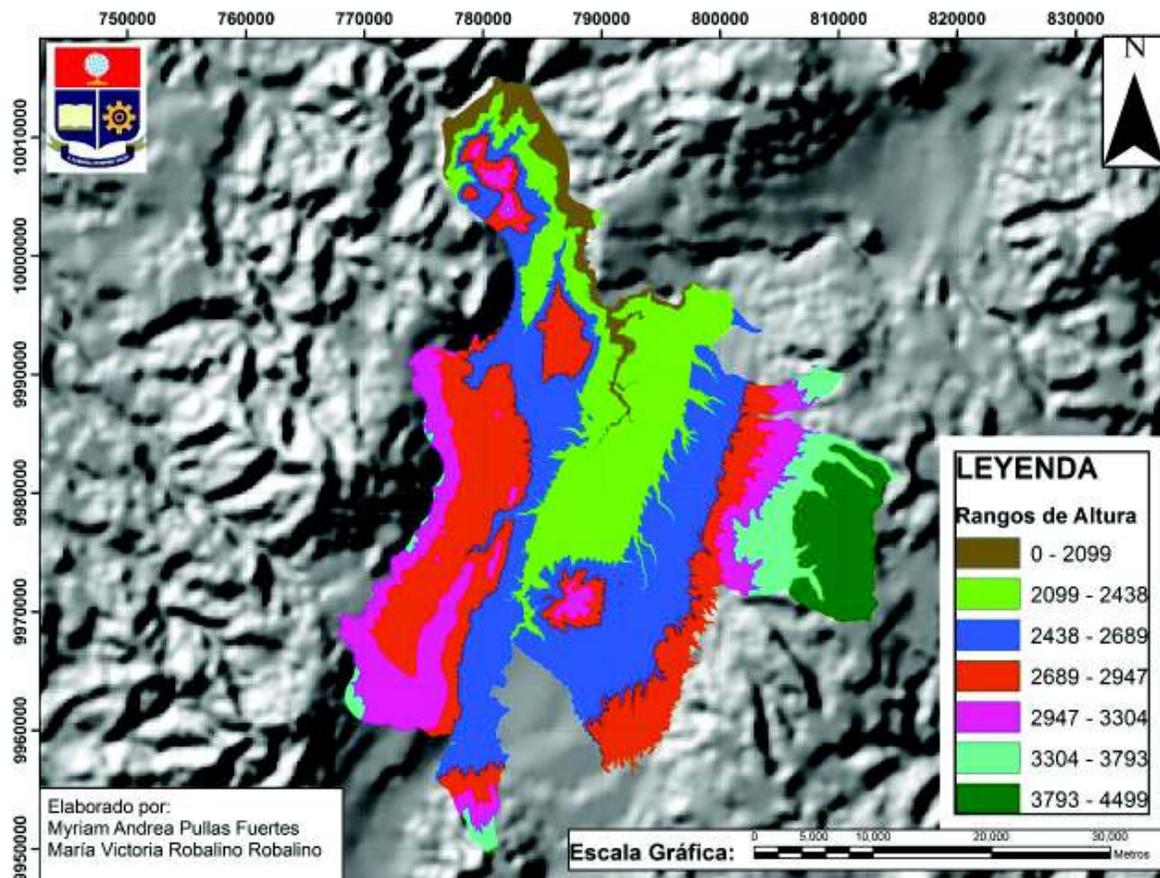


Figura 4.5 Mapa de altura es formato Raster

Las menores alturas presentes en el área de interés están entre los rangos de 0-2438msnm, mismos que se encuentran hacia la parte Norte y Nor-Este del DMQ, estas alturas representan la cuenca del río Guayllabamba, por otro lado las alturas con mayor valor están entre los rangos de 2947 – 4499msnm y corresponden a las estribaciones bajas de la Cordillera Occidental, que es una franja longitudinal, formada por las vertientes

de los volcanes Pululahua, Casitahua y Pichincha en el Oeste, y a la zona de piedemonte: Ocupa una franja situada entre 3000-3400 msnm, está caracterizada por depósitos coluvio-aluviales y conos de deyección ubicados a la salida de las principales quebradas que partieron de las vertientes bajas de la Cordillera y atraviesan la ciudad en sentido Oeste-Este.(FUENPSA 2015).

#### 4.2.2 Mapa de Orientación de la Ladera (Aspect)

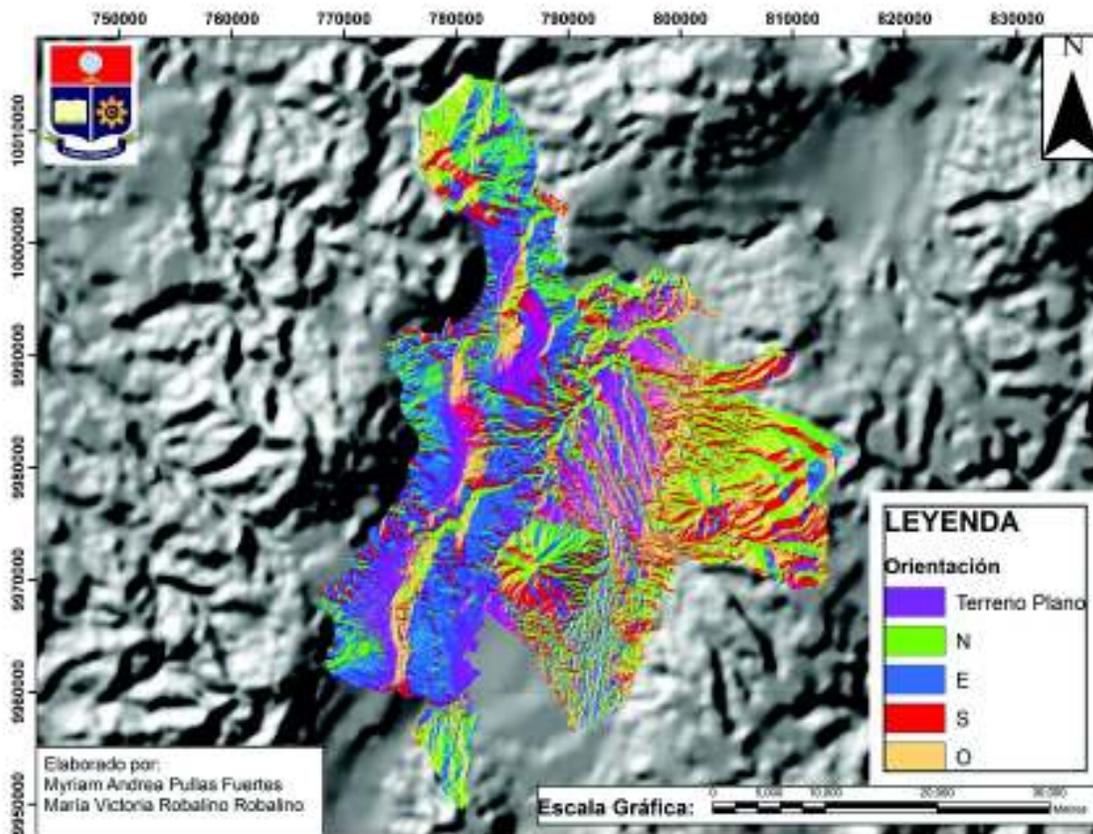


Figura 4.6 Mapa de orientación de la ladera.

En el mapa definitivo de orientación de la ladera que se utiliza para la generación del mapa de susceptibilidad se puede observar que la orientación que predomina es hacia el Norte y al Este debido al levantamiento tectónico por la actividad del sistema de fallas inversas de Quito.

### 4.2.3 Pendiente

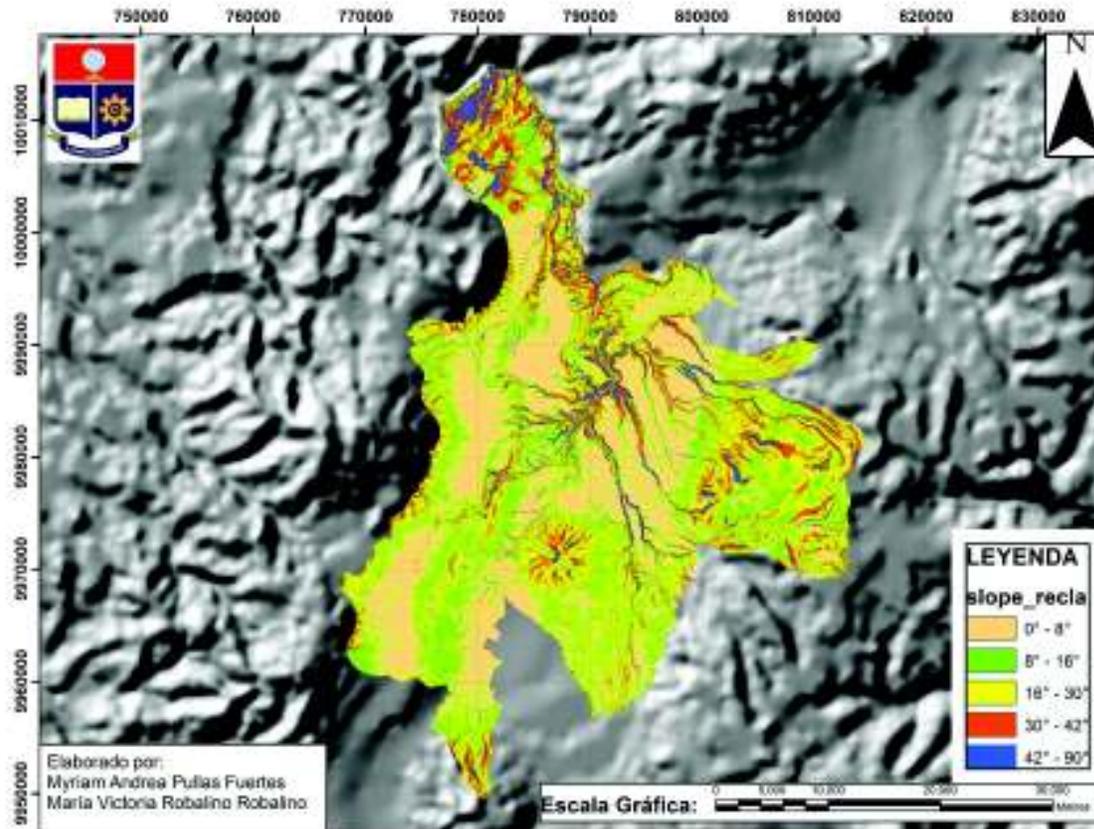


Figura 4.7 Mapa de pendiente reclasificado

Al clasificar las pendientes se obtuvo que la zona baja y plana donde se asienta la mayor parte de la población de Quito, se encuentra formada por un relleno de depósitos aluviales y lacustres, con pendientes bajas de entre 3°-12°. Las vertientes rectilíneas occidentales pertenecientes al complejo volcánico Pichincha son de cimas alargadas, de fuerte pendiente (en ocasiones >35°) y están sobre depósitos de rocas volcánicas cuaternarias. Las superficies de los conos de deyección son de mediana pendiente (2°-

15°) y es aquí donde se ubican la mayor parte de los barrios populares de la capital (FUNEPSA, 2015).

### 4.3 Combinación de los factores determinantes

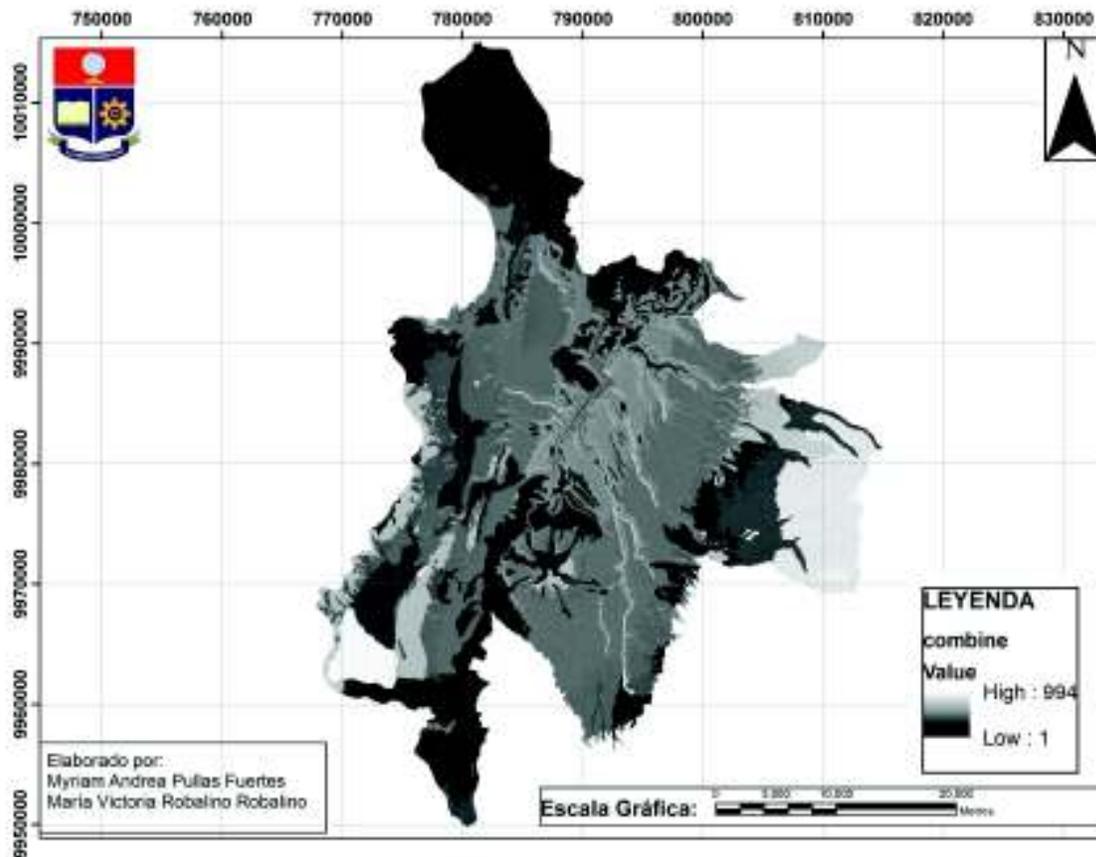


Figura 4.8 Mapa generado por la herramienta "Combine"

Combinación de Parámetros						
Rowid	VALUE	COUNT	ALTURARECLASS	ASPECTRECLASS	SLOPERECLASS	LITO_1
0	1	146494	1	5	4	3
1	2	99661	1	5	5	3
2	3	66392	1	5	3	3
3	4	31333	1	4	3	3
4	5	78283	1	3	3	3
5	6	58099	1	3	2	3
6	7	40605	1	5	2	3
7	8	53339	1	4	4	3
8	9	183568	1	3	4	3
9	10	41184	1	4	5	3
10	11	38223	1	2	1	3
11	12	28255	1	3	1	3
12	13	12549	1	4	1	3
13	14	63951	1	2	3	3
14	15	22510	1	4	2	3
15	16	141836	1	2	4	3
16	17	93224	1	2	5	3
17	18	18051	1	5	1	3
18	19	1795	1	1	5	3
19	20	70503	1	2	2	3
20	21	28415	1	1	1	3
21	22	3712	1	1	3	3
22	23	9916	1	1	2	3
23	24	5362	1	1	4	3
24	25	89356	1	3	5	3
25	26	46765	1	5	4	1
26	27	28826	1	5	5	1
27	28	22558	1	5	3	1
28	29	16024	1	5	2	1
29	30	45041	1	2	3	1
30	31	27734	1	2	2	1

Figura 4.9 Combinación de los factores tomados en cuenta para la aplicación del Método

Al generar el raster “Combine” se pueden observar 994 combinaciones entre litología, aspecto, pendiente y altura. La combinación número 7, posee pixeles de 5X5m con un valor (VALUE) de 53339, y una combinación de factores de: geología (3= volcánicos), altura (1= 0-2099 msnm), orientación de la ladera (4= hacia el sur) y una pendiente de (4=40-42°).

#### 4.4 Tabulación de la Información (Tabulate) (M2)

La herramienta tabulate representa la susceptibilidad en forma de una tabla.

Rowid	VALUE *	VALOR_1	VALOR_2	AREA	SUS
1	1	3433400	228950	366235	6.251451
2	2	2267325	224200	249152	8.998505
3	3	1494675	165125	165980	9.948488
4	4	700400	82925	783325	10.58628
5	5	1746450	210625	195707	10.76223
6	6	1329500	122975	145247	8.466583
7	7	878500	136625	101512	13.45893
8	8	1186650	146825	133347	11.0107
9	9	3772525	816675	458920	17.79559
10	10	880125	149475	102960	14.51777
11	11	892850	62725	955575	6.564111
12	12	642350	64025	706375	9.063883
13	13	259500	54225	313725	17.28425
14	14	1446375	152400	159877	9.532298
15	15	477875	84875	562750	15.08219
16	16	3185475	360425	354590	10.16456
17	17	2044150	286450	233060	12.29083
18	18	354350	96925	451275	21.47803
19	19	39900	4975	44875	11.08635
20	20	1654925	107650	176257	6.107542
21	21	609550	100825	710375	14.19321
22	22	83825	8975	92800	9.671336
23	23	233275	14625	247900	5.899556
24	24	120800	13250	134050	9.884372
25	25	1841175	392725	223390	17.58024
26	26	1125000	44175	116912	3.77419

Figura 4.10 “Tabulate” donde se puede observar la susceptibilidad de manera numérica.

En la combinación número 7 de la matriz de la tabulación de la información, se observa un (VALOR\_1), que corresponde a las áreas no afectadas por FRM. con un valor de 878500 pixeles de 5X5m, y un (VALOR\_2), que indica las áreas afectadas por FRM con un valor de 136625 pixeles de 5X5m, al sumar estos valores se tiene un “AREA” total de 101512 pixeles de 5X5m, y a dividir el (VALOR\_2) para el “AREA” y multiplicar por 100 se llega al valor de 13.45893, este valor ya es el valor de susceptibilidad para esa combinación de factores. En este caso específico se tiene una susceptibilidad Media.

De la totalidad de combinaciones se tiene:

Tabla 4.1 Número de combinaciones de cada valor de susceptibilidad presenta

Número de combinaciones	Porcentaje %	Valor	Susceptibilidad
341	34.31	1	Muy baja
305	30.68	2	Baja
244	24.55	3	Moderada
69	6.94	4	Alta
35	3.52	5	Muy alta
994	100		

combine	combine.va	combine.va	combine.val	combine.val.A	combine.val.S	combine.v	combine.val	tabulate:Rows	tabulate:VALOR	tabulate:VALOR	tabulate:VAL	tabulate:AREA	tabulate:SQ
0	1	145494	1	3	4	3	3	1	3433400	220950	3662350	6.251451	
1	2	39661	1	3	3	3	3	2	2287205	224200	2491525	8.998505	
2	3	86392	1	5	3	3	3	3	1494675	165125	1639600	9.943488	
3	4	31335	1	4	3	3	3	4	700400	82925	793325	10.59620	
4	5	76280	1	3	3	3	3	5	1788450	219625	1987075	10.762213	
5	6	58099	1	3	2	3	3	6	1329500	122975	1452475	8.460583	
6	7	48605	1	5	2	3	3	7	878500	138025	1015125	13.45893	
7	8	53339	1	4	4	3	3	8	1106850	146825	1333475	11.01021	
8	9	183688	1	3	4	3	4	9	3772425	818675	4580200	17.79558	
9	10	41194	1	4	5	3	3	10	500125	149475	1029600	14.51777	
10	11	36223	1	2	3	3	3	11	392850	82725	955575	6.564111	
11	12	28216	1	3	3	3	3	12	642350	64025	706375	9.063883	
12	13	12549	1	4	3	3	4	13	259500	54225	313725	17.28425	
13	14	83951	1	2	3	3	3	14	1446375	152400	1598775	9.532290	
14	15	22510	1	4	2	3	4	15	477375	84875	562750	15.08219	
15	16	141536	1	2	4	3	3	16	3185475	360425	3545900	10.16456	
16	17	93224	1	2	5	3	3	17	2944150	298450	2330600	12.29083	
17	18	10051	1	5	5	3	4	18	254350	96025	481275	21.47803	
18	19	1795	1	1	5	3	3	19	39900	49175	44875	11.08635	
19	20	30503	1	2	2	3	3	20	1654925	107850	1762575	6.107542	
20	21	28415	1	3	5	3	3	21	409550	108025	710375	14.19321	
21	22	3712	1	1	3	3	3	22	83625	59175	92800	9.871356	
22	23	9956	1	1	2	3	3	23	232275	14625	247900	5.899596	
23	24	5262	1	1	4	3	3	24	120800	13250	134050	9.884372	
24	25	89256	1	3	5	3	4	25	1841175	392725	2233900	17.58024	
25	26	all null	1	5	4	1	5	26	1195000	48114	1146814	7.77819	

Figura 4.11 Unión “Join” del Raster Combine con la tabla Tabulate para poder representar la susceptibilidad de una manera gráfica.

Finalmente se utiliza la herramienta “Join”, para así unir los datos generados en las tablas “Tabulate” y “Combine”, aquí se puede observar las combinación de los factores determinantes: **geología**, **altura**, **orientación** y **pendiente**, así como también se puede ver el valor de **los pixeles que presentan FRM**, el **valor de los pixeles que no poseen FRM**, su **suma** y la **susceptibilidad** que se presenta en cada combinación de factores. Para generar los valores presentes en la columna **Susc**, se utilizó la tabla 3.5 del capítulo

3, donde se clasifica la susceptibilidad obtenida en 5 grupos, Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta.

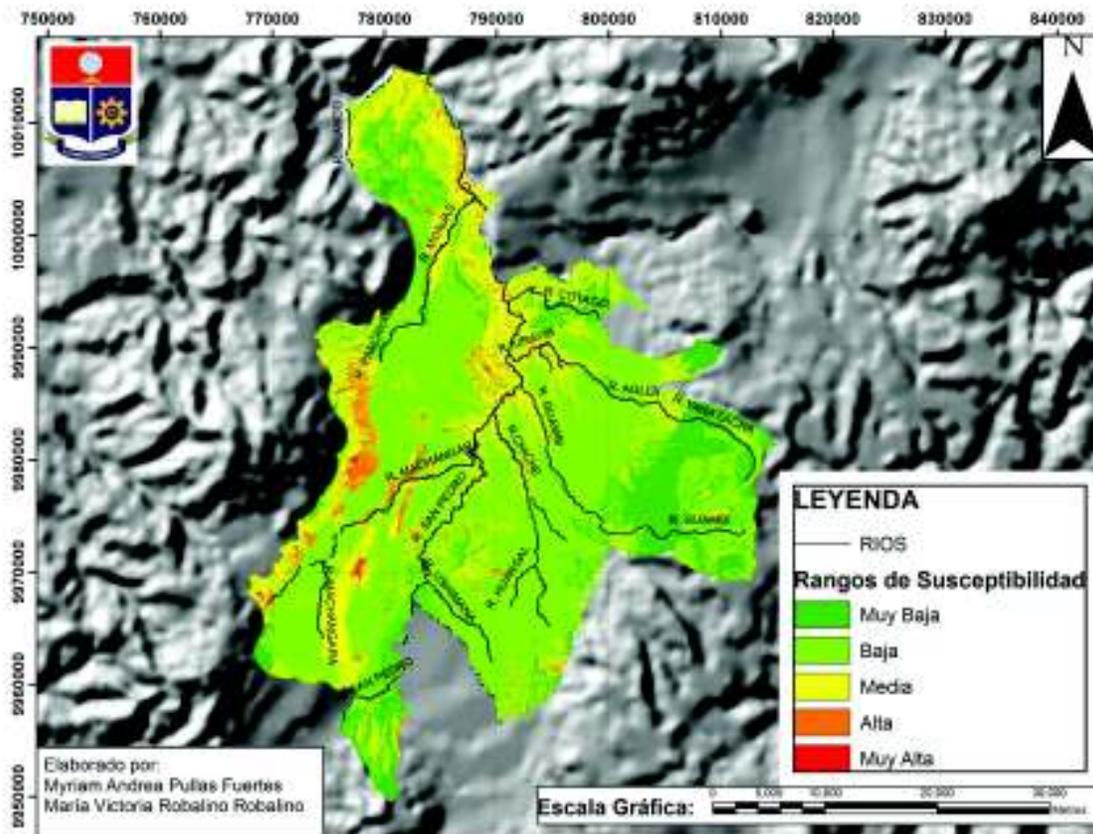


Figura 4.12 Mapa de susceptibilidad

La susceptibilidad expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno, es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos (Suarez., 2009). Hay que tomar en cuenta que la susceptibilidad no especifica el momento en el cual se va a generar un FRM y tampoco predice el tipo de FRM que se va a desencadenar. El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos. Los niveles de susceptibilidad Baja y Muy Baja representan el 75.0391% del área total de la superficie estudiada. Si también se agrega susceptibilidad Media, este porcentaje aumenta a 95.6788%. Estos valores indican

que los mapas obtenidos por el Método de la Matriz no son conservadores, más bien limitan las zonas de máxima susceptibilidad solo a áreas relativamente pequeñas.

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

Un mapa de susceptibilidad a FRM ofrece una vista espacial de las zonas más propensas a presentar inestabilidad, en función de las condiciones propias que presentan las laderas (Suárez, 2008). La estimación de la susceptibilidad se basa en la correlación de factores intrínsecos, es decir, propios de las laderas de la zona que contribuyen en la formación de Fenómenos de Remoción en Masa. Es así como los mapas de susceptibilidad, se realizan a partir de la relación de datos litológicos, topográficos, geomorfológicos, geo hidrológicos, vegetación, usos de suelos, etc, establecida por la metodología utilizada. La utilidad de los mapas de susceptibilidad por FRM radica en su aporte a la planificación del territorio para determinar las zonas más apropiadas para las construcciones de viviendas e infraestructura, así como para delinear medidas de mitigación en zonas de alta susceptibilidad en las cuales ya existen asentamientos urbanos.

El Método de La Matriz, utilizado en este estudio técnico, desarrollado por el profesor Jorge Jiménez Perálvarez en 2012 para la cartografía de susceptibilidad de movimientos de ladera en la Vertiente Meridional de Sierra Nevada (Granada, España) se fundamenta en un análisis estadístico bivariado de los factores determinantes característicos de las laderas de la zona de estudio como son la litología y el mapa de inventario de FRM donde se ubican las zonas inestables; y por otro lado factores determinantes derivados del modelo de terreno DEM: Altura, ángulo de la pendiente y orientación de las laderas. Este método se desarrolla a través de una aplicación SIG en la cual se realiza la correlación de la cartografía de los factores mencionados.

Los factores determinantes deben ser previamente seleccionados, en función de las características geológicas y de inestabilidad de la zona de estudio, sin embargo en este estudio se utilizan los mismos factores determinantes usados en el Método de la Matriz que son: la litología, las propiedades morfológicas y morfométricas del terreno y el inventario de FRM; los cuales constituyen los tres elementos usados en los métodos de elaboración de la cartografía de zonificación de la susceptibilidad por FRM (Suárez, 2009).

La litología de cada zona es un factor determinante, ya que las características geológicas de las rocas también controlan el comportamiento mecánico de la pendiente. Para fines de investigación, (Jiménez Perálvarez, 2012) recomendó la agrupación de unidades de

suelo y roca en "complejos litológicos" de acuerdo con su génesis, lo cual es válido para los trabajos de zonificación de la susceptibilidad.

La capa de Litología utilizada para la aplicación del Método de La Matriz se clasificó en 8 unidades las cuales fueron agrupadas de acuerdo a su génesis y características geomecánicas similares: Depósitos(1); Fm. Chiche(2); Volcánicos (3); Depósitos Lagunar (4); Fm. San Miguel, Fm. Pisque, Fm. Guayllabamba (5); Cangahua(6); Relleno (7); Terrazas (8); las cuatro formaciones descritas corresponden a rocas del basamento de la cuenca.

El modelo digital de elevación o DEM con sus siglas en inglés, utilizado en este estudio tiene celdas o tamaño de píxel de 5x5m y permitió obtener un mapa de susceptibilidad a escala grande 1:10.000 para el Distrito Metropolitano de Quito, la cual permite delinear medidas de prevención y mitigación en el territorio (Suárez, 2008). En relación a los tres factores determinantes derivados del DEM, en la zona de estudio se puede observar una altura promedio de 2800m.

Con un rango de elevaciones entre 2099m y 4499m. Existe una clara conexión entre la elevación y las unidades litológicas, de manera que las alturas más bajas se presentan en la Cuenca del Río Guayllabamba hacia el noroeste, mientras que alturas mayores se encuentran hacia el este hacia la faldas de la Cordillera Oriental de los Andes, también hacia el oeste en la faldas del Complejo Volcánico Pichincha del área de estudio.

La pendiente es uno de los elementos más comunes en el análisis cuantitativo de susceptibilidad a Fenómenos de Remoción de Masa (FRM) y se utiliza en varios métodos de zonificación desde Brabb et al. (1972) hasta (Chacón, Irigaray, Fernández, & El Hamdouni, 2006). Se seleccionaron cinco intervalos: 0-8° (suave); 8-16° (bastante empinado); 16-30° (pronunciado); 30-42° (muy empinado); y 42-90° (extremadamente empinado). Los FRM de las laderas del Complejo Volcánico Pichincha se formaron generalmente en pendientes altas terminando su movimiento en pendientes suaves con depósitos hacia las quebradas que se encuentran en esta zona. Los FRM presentes en la cuenca de Quito se encuentran en un rango de pendientes desde suaves a empinadas.

La orientación de las laderas mide la dirección magnética,  $\pm 45^\circ$  y el grado de inclinación para un terreno, este factor también está relacionado indirectamente con los FRM ya que puede mostrar una coincidencia entre el buzamiento de las unidades lito-estratigráficas

con el de la ladera y la mayor ocurrencia de zonas inestables. Para simplificar el análisis, el mapa de orientación fue reclasificado en: terreno plano y en las cuatro direcciones de la brújula (N-E-S-O). En la zona de estudio, la orientación predominante es hacia el Este que corresponden a las laderas del Pichincha y las zonas del levantamiento tectónico por el sistema de fallas inversas que separa la Cuenca de Quito de la zona de los valles y morfológicamente estos bloques se presentan como una serie de lomas alineadas y valles estructurales con laderas orientadas hacia el Este.

## 5.1 Análisis de los Resultados en función de las combinaciones

El mapa de susceptibilidad final, está asociado a la matriz M3 que se calcula dividiendo la matriz M1 (área de cada combinación afectada por FRM) y la matriz M2 (área total de cada combinación de los factores determinantes) y multiplicando por 100 para obtener los valores en porcentajes. El resultado final de las combinaciones de susceptibilidad muestran que el 64,98% del área total tiene Susceptibilidad Muy Baja y Baja, el 24,54% presenta Susceptibilidad Media, 6.94% Alta y 3.52% Muy Alta. Como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 5.1 Número de combinaciones según la susceptibilidad.

Susceptibilidad	Nivel de susceptibilidad	Cantidad de combinaciones	Porcentaje %
Muy Baja	1	341	34.2052
Baja	2	305	30.7847
Media	3	244	24.547
Alta	4	69	6.9416
Muy Alta	5	35	3.5211
	TOTAL	994	100%

Con el objetivo de aportar a una mejor comprensión de los factores que inciden para la generación de Fenómenos de Remoción en Masa se realiza un análisis de las combinaciones predominantes de los factores determinantes asociados a niveles de Susceptibilidad Media, Alta y Muy Alta, para obtener las combinaciones donde existen mayor niveles de susceptibilidad se filtró la información de la tabla de atributos seleccionando el atributo SUS igual a 3, 4 y 5 que corresponde a una susceptibilidad

Media, Alta y Muy Alta, respectivamente, como se muestra en Figura 5.1, las tablas del conteo de las combinaciones se encuentran en el Anexo N°1.

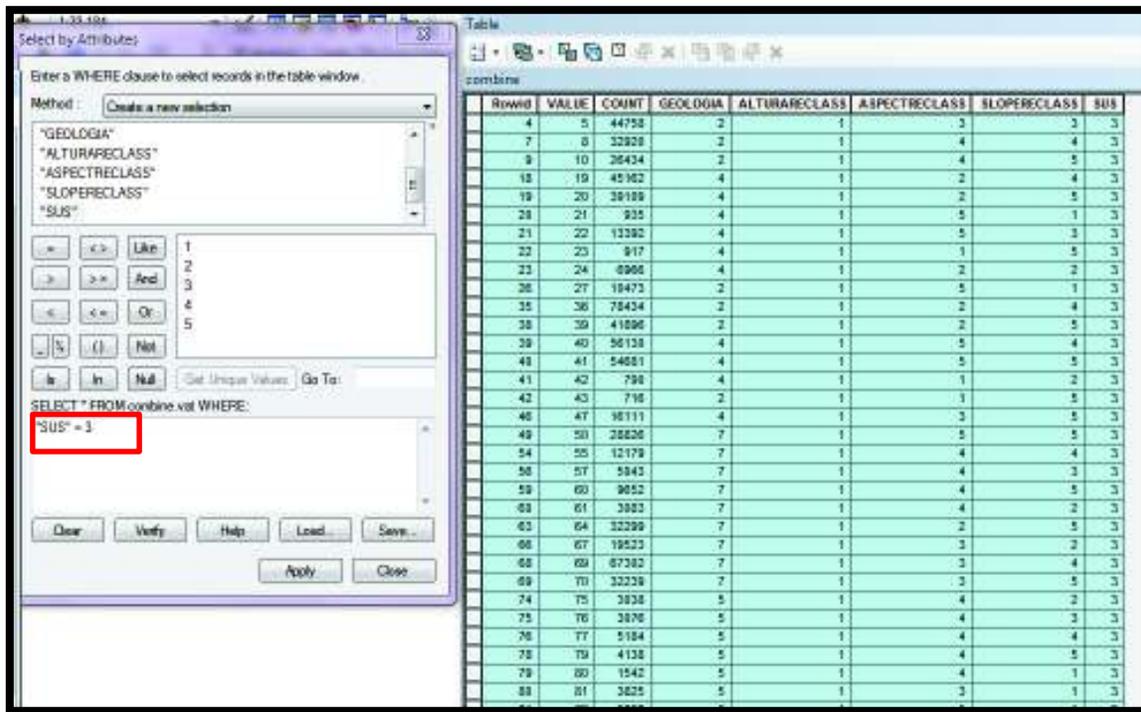


Figura 5.1 Filtrado de la información según su nivel de susceptibilidad

## 5.2 Áreas más representativas según rango susceptibilidad y pendiente

### 5.2.1 Susceptibilidad Media

La litología que cubre esta susceptibilidad son los Depósitos Volcánicos y cangahua a alturas desde 0 a 3304 msnm con una orientación hacia Este y en pendientes desde bajas a muy altas, esta susceptibilidad se presenta en una gran parte de las parroquias que pertenecen a la Administración Zonal de Tumbaco y La Delicia

Tabla 5.2 Combinaciones que predominan en la Susceptibilidad Media (3)

Susceptibilidad Moderada (3)						
Área de cobertura	Porcentaje	Litología	Altura	Orientación	Pendiente	Administraciones Zonales
16.20 km <sup>2</sup>	29.38%	Volcánicos	2947- 3304	O3: Este	0-8°	Los Chillos, Quitumbe, Tumbaco y La Delicia
27.92km <sup>2</sup>	37.53%	Cangahua	2947- 3304	O2: Norte y O5: Oeste	8-16°	Quitumbe, El Norte y Tumbaco
19.34km <sup>2</sup>	37.68%	Volcánicos	0-2099	O4:Sur	16- 30°	La Delicia y Tumbaco
23.43 km <sup>2</sup>	39.90%	Fm Guayllabamba, San Miguel, Fm Pisque	0-2438	O3: Este y O4: Sur	30-42°	Tumbaco
10.65 km <sup>2</sup>	30.76%	Cangahua	2689-2947	O3: Este	42-90°	Norte y Tumbaco

### 5.2.2 Susceptibilidad Alta

Las combinaciones de parámetros de la Susceptibilidad Alta se muestra en la Tabla 5.3, se observa que la altura predominante de 2689 – 2947 msnm en todo el rango de pendientes, la litología que cubre esta zona susceptible son depósitos. La Susceptibilidad Alta se concentra de igual manera que la susceptibilidad moderada en la Administración Zonal de Norte, La Delicia, Centro y Quitumbe.

Tabla 5.3 Combinaciones que predominan en la Susceptibilidad Alta (4)

Susceptibilidad Alta (4)						
Area de cobertura	Porcentaje	Litología	Altura	Orientación	Pendiente	Administraciones Zonales
10.74 km <sup>2</sup>	78.02%	Depósitos	2689 a 3304	O4:Sur	0-8°	Norte
11.12 km <sup>2</sup>	79.23%	Depósitos	2689-2947	O3: Este y O4: Sur	8-16°	Norte, Centro y Quitumbe
5.74km <sup>2</sup>	70.60%	Depósitos	2438-2947	O3: Este y O4: Sur	16- 30°	Centro y Los Chillos
4.59km <sup>2</sup>	37.33%	Depósitos	0-2099	O3: Este	30-42°	La Delicia y Calderón
2.26 km <sup>2</sup>	53.07%	Depósitos	0-2438	O1: y O3: Este	42-90°	La Delicia

### 5.2.3 Susceptibilidad Muy Alta

La susceptibilidad muy alta se encuentra en alturas entre 0-3304 msnm , con una litología predominante de Depósitos de diferentes procedencias y también de Depósito Lagunares en pendientes menores, la orientación predominante es hacia el Este, como se muestra en la Tabla 5.4. Esta susceptibilidad se enfoca especialmente en las Administraciones

Norte, Calderón, Tumbaco, Eloy Alfaro y Quitumbe estas áreas no son tan grandes debido a que este rango de susceptibilidad posee una área pequeña.

Tabla 5.4 Combinaciones que predominan en la Susceptibilidad Muy Alta (5)

Susceptibilidad Muy Alta (5)						
Área de cobertura	Porcentaje	Litología	Altura	Orientación	Pendiente	Administraciones Zonales
1.61 km <sup>2</sup>	34.88%	Depósitos	2947-3304	O4: Sur	0-8°	Norte y Quitumbe
0.55 km <sup>2</sup>	66.99%	Terrazas	2689-2947	O2: Norte	8-16°	Calderón
0.07 km <sup>2</sup>	86.72%	Depósito Lagunar	0- 2099	O3: Este	16- 30°	Tumbaco
1.03 km <sup>2</sup>	94.37%	Depósitos	2947-3304	O5: Oeste	30-42°	Eloy Alfaro
0.40 km <sup>2</sup>	56.14%	Depósitos	2689- 2947	O3: Este	42-90°	Norte

### 5.3 Validación de los Resultados

De acuerdo a JTC- 1 (2008) en (Eras, 2014), para validar los resultados obtenidos se debe sobreponer el mapa de Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa (IFRM) al mapa de susceptibilidad del área de estudio. Este procedimiento tiene como objetivo verificar que el mayor número de FRM levantados en el inventario coincida con las áreas que presentan niveles altos y muy 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:

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

El rango de susceptibilidad Muy Alta presenta una cantidad de 44 FRM y representa el 3.14% del total, seguido por el rango de susceptibilidad Alta con 310 ocurrencias (22.14%). El rango de susceptibilidad Media presenta la mayor cantidad de movimientos con un número de 525 FRM (37.5%). La suma de todos los movimientos presentes en las susceptibilidades Muy Alta, Alta y Media representan un 62.78% de los 1400 FRM del Inventario de FRM como se presenta en la Figura 5.2 y Tabla 5.5. La agrupación de datos se muestra en el Anexo N°2

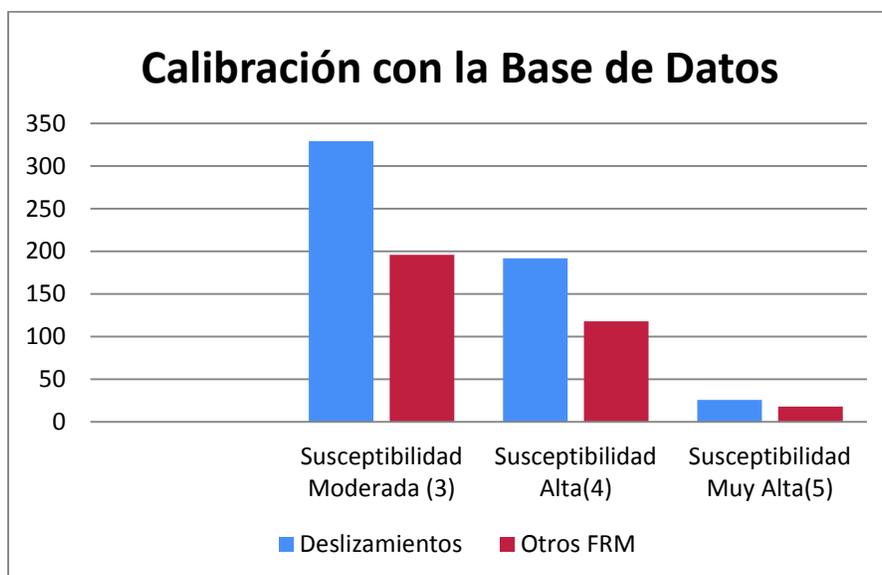


Figura 5.2 FRM contabilizados en las tres zonas susceptibles.

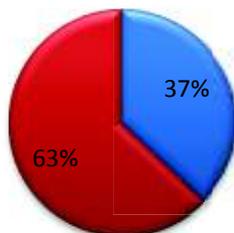
Tabla 5.5 Puntos de FRM en cada susceptibilidad

Inventario de FRM	Susceptibilidad Media (3)	Susceptibilidad Alta(4)	Susceptibilidad Muy Alta(5)	SUMA
<b>Deslizamientos</b>	329	192	26	547
<b>Otros FRM</b>	196	118	18	332
			<b>Total</b>	879

Para tener un buen modelo de un mapa susceptibilidad del área de estudio debe haber una correlación mínima del 60% en la calibración con el IFRM de acuerdo con (INIGEMM, 2013) , con este trabajo se puede corroborar la hipótesis planteada ya que el inventario de FRM se correlaciona en un 63% en las zonas más sensibles, es decir de susceptibilidad Media hasta Muy Alta, con lo cual se determina que el método de La Matriz (Jiménez Peralvarez) se ajusta adecuadamente a la zona de estudio como se muestra en la Figura 5.3

## Calibración del Mapa de Susceptibilidad por FRM

- FRM entre la Susceptibilidad Muy Baja a Baja
- FRM entre la Susceptibilidad Media - Muy Alta



Rangos de Susceptibilidad	N° Puntos en cada Susceptibilidad
FRM entre la Susceptibilidad Muy Baja a Baja	521
FRM entre la Susceptibilidad Media - Muy Alta	879
<b>TOTAL</b>	<b>1400</b>

Figura 5.3 Porcentajes de FRM totales en el área de estudio

### **Porcentaje del área de cada rango de susceptibilidad en relación al área total de estudio.**

Un total de 1324.397 km<sup>2</sup> constituyen el área del DMQ a estudiarse, donde la Susceptibilidad Muy Baja y Baja corresponden al 75.039% de la superficie total, la Susceptibilidad Media representa un 20.6397%, mientras que los rangos de Susceptibilidad Alta y Muy alta constituyen el 4.312%. Lo que nos indica que la Susceptibilidad más característica del DMQ es la susceptibilidad Baja, seguida de la Susceptibilidad Media. Las susceptibilidades Alta y Muy Alta son las que menor extensión poseen, teniendo así que la susceptibilidad Alta representa un 3.96% es decir 52.47 km<sup>2</sup> y la susceptibilidad Muy Alta representa un 0.34963%, es decir 4.63km<sup>2</sup> como se muestra en la Tabla 5.6

Tabla 5.6 Porcentaje de área de cada rango de susceptibilidad

Porcentaje de área de cada rango de susceptibilidad		
Área de estudio	1324.397 Km2	
Susceptibilidad	Área(km2)	Porcentaje
Muy Baja	195.07	14.72%
Baja	798.86	60.3191%
Moderada	273.35	20.6397%
Alta	52.47	3.9620%
Muy Alta	4.6306	0.34963%
<b>Total</b>	<b>1324.38</b>	<b>100.00%</b>

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

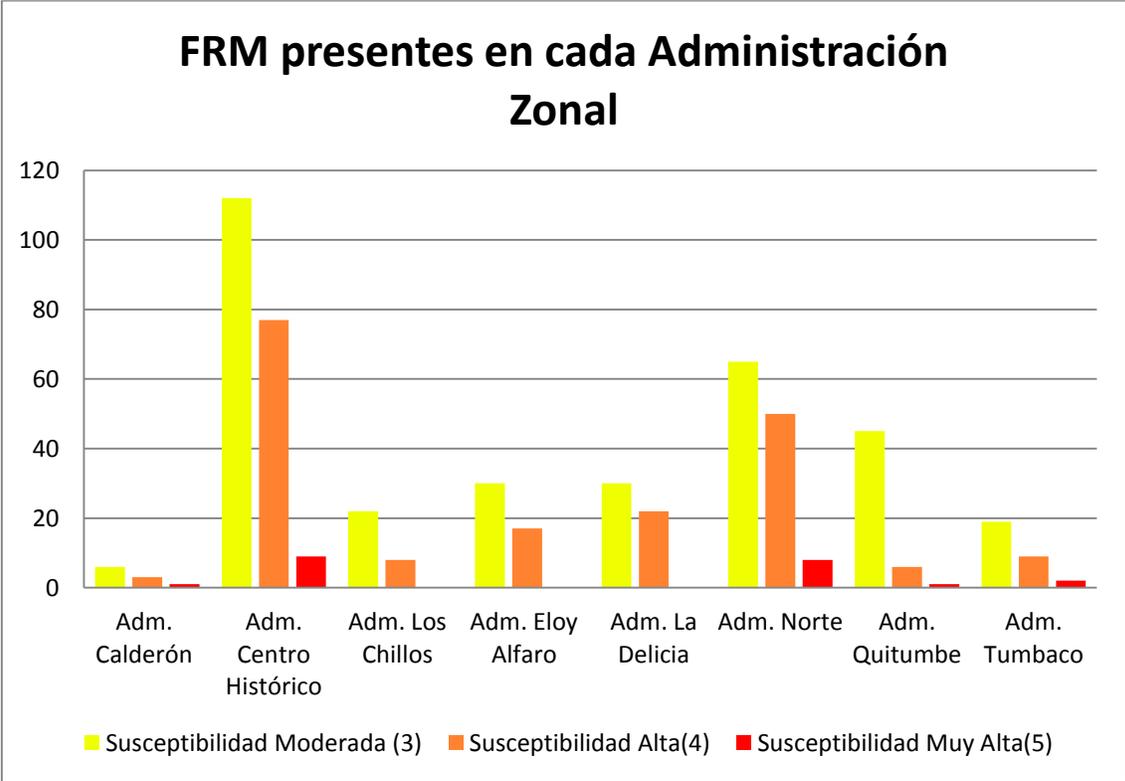
-El grado de susceptibilidad Muy Alta representa el 0.349% del área total de estudio, principalmente se encuentra en las laderas del Complejo Volcánico Pichincha. Se encuentra predominantemente en los depósitos, en terrazas y depósitos lagunares, en zonas donde las pendientes se encuentran entre 0 a 90°, las alturas predominantes donde podemos encontrar esta susceptibilidad son en alturas entre 0 a - 3304 y con una orientación de las laderas Este y Sur. Hay que destacar que estas zonas de Muy Alta Susceptibilidad se encuentran en las partes pobladas del DMQ, generando un riesgo latente para la ciudad. Con la calibración con la base de datos de FRM se obtuvo que Administraciones tienen mayor ocurrencia de FRM en susceptibilidad muy alta que son: El Centro Histórico y Norte, como se muestra la figura 5.4 y en el Anexo I.

-El grado de susceptibilidad Alta representa el 3.962% del área total, geográficamente se encuentra en las laderas del Complejo Volcánico Pichincha, hacia el drenaje del Volcán Ilaló y hacia el sistema de laderas Lumbisí-Puengasí-La Bota asociadas al plegamiento por el sistema de fallas inversas.. Se presenta predominantemente una litología de Depósitos, se encuentran presentes en todos los rangos de la pendiente, con una altura 0- 3004 msnm, su orientación de las laderas y litología hacia el Este. La base de datos muestra que los FRM con esta susceptibilidad se presenta en ciertas Administraciones Zonales como: Centro Histórico, Norte y la Delicia como se muestra en la figura 5.4 y Anexo II

-El grado de susceptibilidad Media representa el 20.639% del área de interés, geográficamente en las Laderas del Complejo Pichincha, en el centro de la cuenca de

hidrográfica del DMQ y en las laderas de los principales ríos que están en el área de estudio. Se encuentra predominantemente en Cangahua, Volcánicos y Fm. San Miguel, Pisque y Guayllabamba, se encuentra en todos los rangos de pendientes, en una altura que va de 0 – 3304 msnm y se presenta en todas las orientaciones, al corroborar con la base de datos de FRM hay una cantidad mayor de FRM en las Administraciones Zonales como: Centro Histórico, Norte y Quitumbe, como se muestra en la figura 5.4 y Anexo II

-El grado de susceptibilidad Baja y Muy Baja representa el 75.04% del área total de estudio, se encuentra principalmente en todas las unidades litológicas y se presentan en menor cantidad en Depósitos Lagunares, Volcánicos y en las Fm. San Miguel, Pisque y Guayllabamba, se presentan en pendientes bajas, también se puede encontrar esta susceptibilidad en casi todos los tipos de alturas y se observa que no existe una orientación predominante. Cabe mencionar que estas susceptibilidades se encuentran en zonas que no han sido afectadas por actividad antrópica. Sin embargo el 37% de información de la base datos de FRM se presentan en esta susceptibilidad, es decir, que en estas zonas si tenemos presencia de FRM.



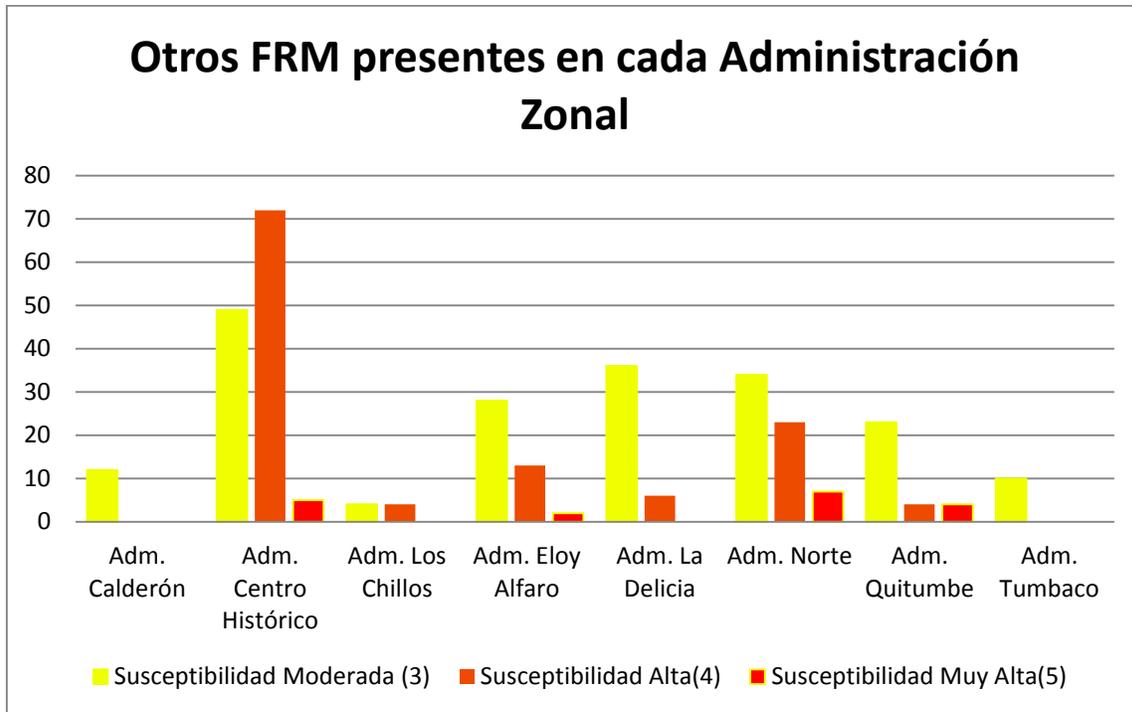


Figura 5.4 Representación gráfica de FRM y otros FRM en las Administraciones Zonales

#### 5.4.1 Relación del Mapa de Susceptibilidad con las fallas geológicas del DMQ

Las fallas presentes en Quito juegan un papel muy importante en los valores de susceptibilidad, la mayoría de ramales coinciden con zonas de Susceptibilidad Media a Muy Alta. Estas fallas coinciden con cambio de susceptibilidad en los valles y pueden ser las causantes de un aumento de estos valores. Se observa un ramal muy importante de la falla de Quito en las laderas Norte del Volcán Ilaló, esta fallas se orientan al este y caen a los valles donde tienen muchos FRM asociados a procesos gravitacionales.

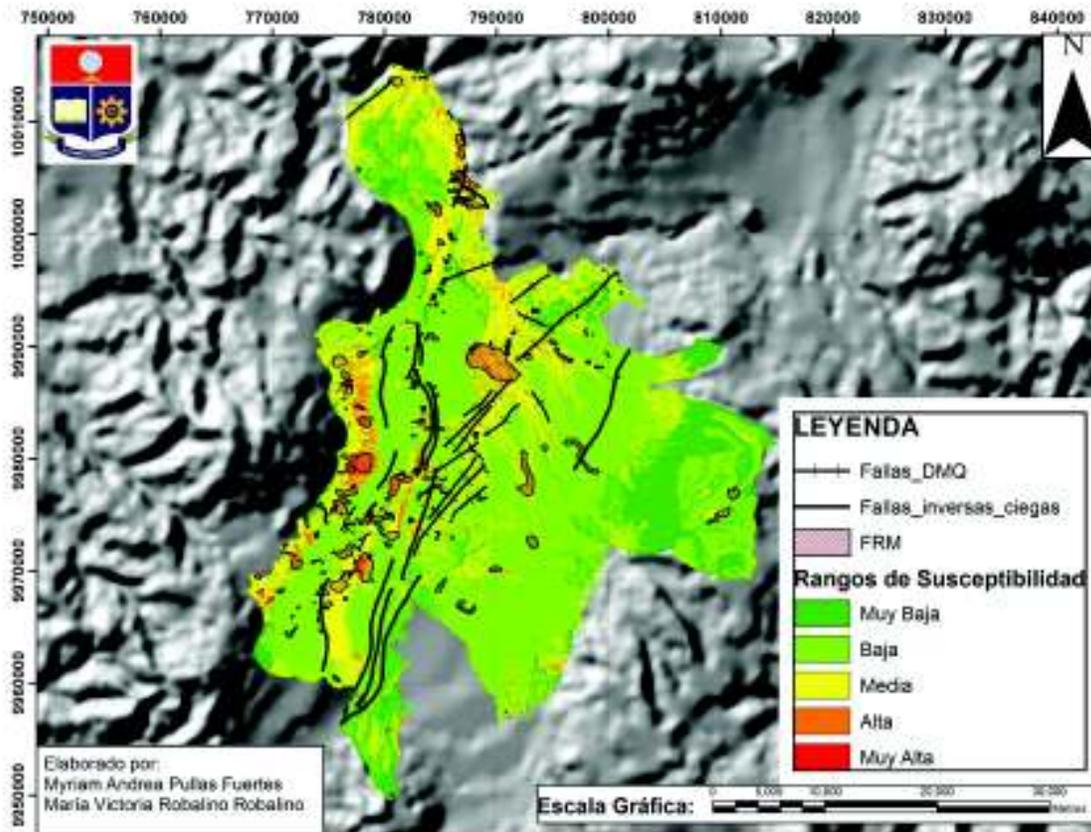


Figura 5.5 Representación de Fallas geológicas en el DMQ (Alvarado, 2012), Mapa de Susceptibilidad y FRM

#### 5.4.2 Comparación del Mapa de Susceptibilidad realizado con el Mapa de Susceptibilidad de FUNEPSA.

El mapa de susceptibilidad generado en el estudio de FUNEPSA 2015, utilizó el método de ponderación de parámetros de 6 factores (pendiente del terreno, litología, cobertura vegetal y uso del suelo, intensidades máximas de precipitación en 24 horas, FRM, sismicidad) y nos permite realizar una comparación con el mapa producto de este estudio través de las zonas de Media a Muy Alta Susceptibilidad. Es importante indicar que el mapa de este estudio tiene un área mayor, ya que se han incluido zonas urbanas ubicadas hacia los valles.

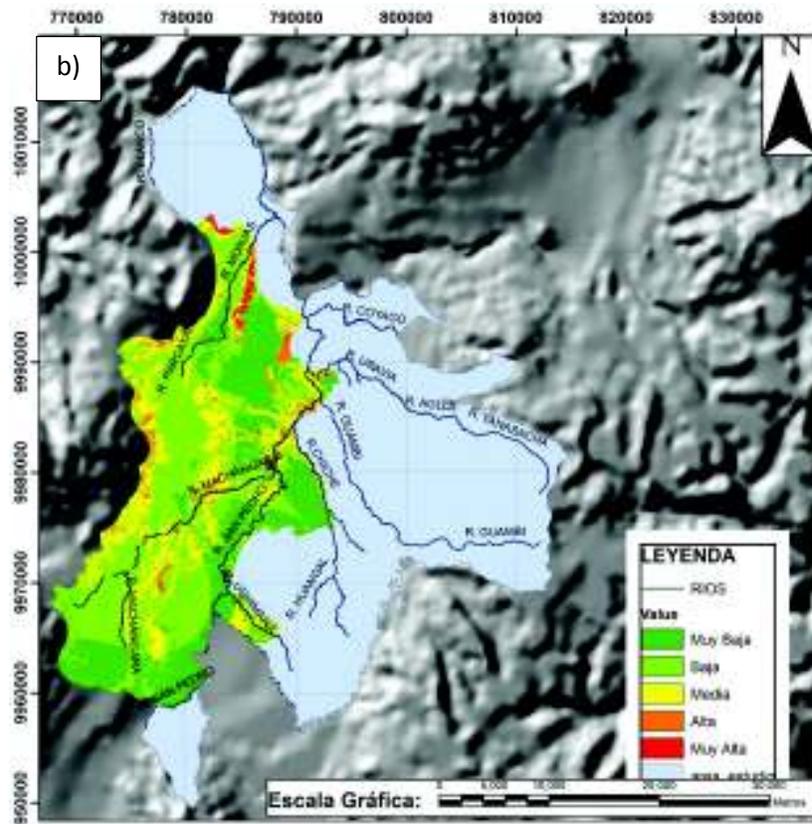
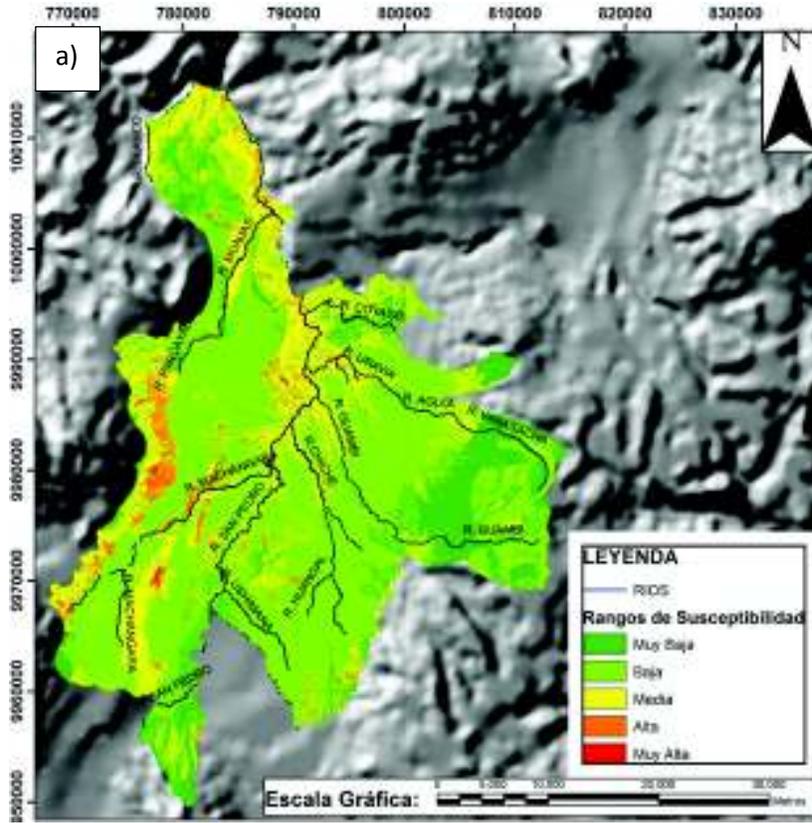


Figura 5.6 . a) Mapa de zonificación de la Susceptibilidad realizado con el Método de la Matriz, b) Mapa de zonificación de la Susceptibilidad realizado por FUNEPSA 2015

## **Zonas de Muy Alta Susceptibilidad**

-FUNEPSA

Esta susceptibilidad se encuentra principalmente en la zona de Guápulo acceso al nuevo aeropuerto, Catequilla, y vertientes occidentales Loma Jarata (hacia el oeste de la zona de Carapungo-Zabala). (FUNEPSA CÍA. LTDA, 2015)

-Método de la Matriz

La susceptibilidad Muy Alta se encuentra principalmente hacia las laderas del río Monjas, en la zona sur-este de Calderón, en las laderas del complejo volcánico Pichincha, en Iñaquito, en La ferroviaria, Nayón, en las laderas de los ríos San Pedro y Pusuqui.

En ambos mapas, esta zona no representa un área importante dentro del DMQ, hay que destacar que en estas áreas no se debe permitir la expansión urbana, ya que las medidas estructurales para reducir el nivel de exposición son muy costosas.

## **Zonas de susceptibilidad Alta**

Las zonas con alta susceptibilidad se representan con color naranja y son aquellas donde potencialmente pueden generarse deslizamientos o reactivarse antiguos eventos similares

-FUNEPSA

En la zona de estudio están terrenos con escarpes y pendiente fuerte; por ello en ocasiones se ven estas zonas alineadas con los versantes, como hacia al este de Calderón, faldas Orientales del Pichincha, loma del Catequilla, vertientes de los ríos Machangara, San Pedro y Guayllabamba. Hacia el centro de la ciudad zonas como la Guápulo, túnel Guayasamin, Paluco y Monjas, hacia el sur La Forestal. (FUNEPSA CÍA. LTDA, 2015)

-Método de la Matriz

Se encuentra predominantemente en la loma de Catequilla, laderas de los ríos Monjas, San Pedro, Machángara, Pusuqui, este de Calderón, en las laderas del complejo volcánico Pichincha, también se encuentran en las zonas de Iñaquito, Itchimbia, Jipijapa, La Libertad, La Ferroviaria, Amaguaña.

En los dos mapas de Susceptibilidad, ésta zona también se presentan en áreas pequeñas donde son importantes las medidas de control municipales para futuros asentamientos.

## **Zonas de Susceptibilidad Media**

Están representadas en color amarillo y son áreas donde potencialmente pueden generarse FRM por su pendiente entre 20 y 35, condiciones litológicas y el uso inapropiado del suelo y tratamiento de las aguas lluvias y aguas servidas.

### **-FUNEPSA**

Generalmente entran en las vertientes de las quebradas y zonas con pendiente media sobre suelos no muy compactados, las podemos encontrar en las faldas del Pichincha, Itchimbia, Monjas, ferroviaria, Argelia y parque metropolitano sur. (FUNEPSA CÍA. LTDA, 2015)

### **-Método de la Matriz**

Esta susceptibilidad se la puede encontrar en las laderas del complejo volcánico Pichincha, en centro de la ciudad como en La Concepción, Rumuipamba, Iñaquito, Mariscal Sucre, Al norte en Ponciano, al este de calderón, en las laderas de los ríos, Monjas, San Pedro, Machangara, y al sur en Solanda, Quitumbe La Ferroviaria, La Argelia, y en una menor proporción en Cumbayá, Tumbaco, Nayón, Zámiza.

En estas zonas se puede permitir el crecimiento urbano de la ciudad debiendo existir un adecuado alcantarillado, manejo de las aguas servidas y estudios específicos de suelo.

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- La topografía y la ubicación geográfica del Distrito Metropolitano de Quito, ha sido decisiva en cuanto a su crecimiento urbano, pues impuso una ocupación alargada en las zonas planas y luego sucesivamente en las laderas con un relleno simultáneo de las quebradas. Esta ocupación no ha estado necesariamente ligada a una planificación territorial, a un manejo adecuado de las quebradas y zonas de laderas, lo que ha provocado que fenómenos naturales generen accidentes morfo climáticos que han provocado pérdidas humanas y económicas.
- Los Mapas de Susceptibilidad a FRM son herramientas preventivas destinadas a minimizar los riesgos en las áreas amenazadas. El Mapa de Zonificación de Susceptibilidad por FRM no considera el periodo de ocurrencia, información general de la velocidad e intensidad o de la distancia de viaje de los FRM existentes o potenciales (Abril, 2011). La utilidad de los mapas de susceptibilidad a FRM radica en su aporte a la planificación del territorio para determinar las zonas más apropiadas para las construcciones de viviendas e infraestructura, así como para delinear medidas de mitigación en zonas de alta susceptibilidad en las cuales ya existen asentamientos urbanos.
- El Método de la Matriz se basa en el análisis estadísticos bivariados, ya que toma dos aspectos reales de la zona de estudio que son: el Inventario de FRM y la litología propia del terreno, esto acompañado del DEM, a su vez, se basa en el análisis cruzado de mapas de factores determinantes es decir la litología, pendiente, orientación de la ladera y la altura obtenidos del DEM.
- Los factores determinantes deben ser previamente seleccionados, en función de las características geológicas y de inestabilidad de la zona de estudio, sin embargo en este estudio se utilizan los mismos factores determinantes usados en el Método de la Matriz que son: la litología, las propiedades morfológicas y morfométricas del terreno y el inventario de FRM; los cuales constituyen los tres elementos usados en los métodos de elaboración de la cartografía de zonificación de la susceptibilidad por FRM.

- Con la correlación realizada tanto con la base de datos de FRM y el inventario se puede determinar que existe una gran concentración de FRM en la zona céntrica de la ciudad de Quito, cabe destacar que en esta zona está ubicada en pendientes muy bajas de 0 a 8° y una susceptibilidad baja, por ello la presencia de FRM se debe a un factor antrópico, ya que es una zona muy poblada del DMQ.
- Hacia las laderas del Complejo Volcánico Pichincha se presenta una susceptibilidad Alta y Muy Alta, que coincide con una correlación alta de la base de datos de FRM y del inventario de FRM.
- En el DMQ predomina la susceptibilidad Baja, en el futuro esta podría cambiar a moderada o media debido al crecimiento urbano, que se estima que para el año 2022 la población será de casi 2,8 millones de habitantes, de los cuales el 68,7% ocupará el área urbana y el 31,3% el área rural. La ocupación urbana sin una planificación del territorio provoca un cambio en la morfología del terreno que puede generar más zonas inestables.
- El mapa de susceptibilidad es una herramienta para hacer una selección simple y rápida de los terrenos más apropiados para el montaje de proyectos de construcción, planificación urbana e identificación de áreas donde se necesitarían estudios más detallados de suelo.
- La susceptibilidad por FRM y los factores determinantes involucrados en la inestabilidad difieren para cada tipo de movimiento, ya que estos mapas solamente consideran la totalidad de zonas inestables sin discriminar la tipología y tamaño.
- Una de las aportaciones novedosas de este trabajo ha sido el emplear el Método de La Matriz, el cual necesita de pocas variables (Mapa de Inventario de FRM, Litología, DEM) para obtener el Mapa de Susceptibilidad, éste método tiene una correlación con los FRM del 63%, por ello se puede decir que la metodología empleada es válida.

## 6.2 Recomendaciones

- Se debe preparar un mapa de susceptibilidad más detallado procesando por separado los FRM por tipologías, y utilizando como inventarios de entrada y validación solo los de cada grupo o tipología. En este documento, los datos básicos en el inventario son las áreas fuente relacionadas con cada FRM, esto es apropiado para mapas de escala detallados (1: 10,000 a 1: 25,000).
- Se recomienda realizar un análisis de otros factores determinantes que desencadenen FRM en el DMQ diferentes a lo que se tomaron en cuenta en este trabajo ya que podría ayudar a tener un mapa de susceptibilidad con mayor ajuste.
- El Municipio de Quito debería tomar en cuenta el mapa generado, como una herramienta para así poder planificar de una mejor manera el territorio, resguardar la integridad física de los habitantes y evitar pérdidas económicas.
- Las Administraciones Centro y Norte son las que tienen mayor presencia de FRM según la correlación con la base de datos, en estas zonas se recomienda realizar estudios a mayor detalle debido a que se encuentran en susceptibilidades de Media a Muy Alta.

## **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. *Unpublished*.
- Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. (2002). *Slope stability and stabilization methods*. New York: John Wiley & Soins, Inc.
- Abril, A. (2011). *Estudio e implementación de un modelo para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocha*. Cuenca, Ecuador.
- Aguilar, R. (2013). *Microzonificación Sísmica de Quito*. Quito-Ecuador .
- Alvarado, A. (1996). *Evolución geológico cuaternaria y paleosismicidad de la Cuenca Quito(Ecuador)*. Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional Quito.
- Andrade, D. (2002). *Estudio geovolcanico del Campo Volcánico Pululahua*. Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. 177pp.
- Avilés, L. (2013). *Caracterización geológica-geotécnica el sur de la ciudad de quito*. . Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., & Navarro, J. (1988). Plio-Quaternary volcanism in Ecuador. *Geological Magazine*, 125(1), 1-14.
- Beate, B., Hammersley, L., DePaolo, D., & Deino, A. (2006). La edad de la ignimbrita de Chalupas Prov. de Cotopaxi, Ecuador, y su importancia como marcador estratigráfico. *Resúmenes de las Sextas Jornadas en Ciencias de la Tierra*, 68-71.
- Buckley, A. (23 de Mayo de 2008). *Aspect-slope map*. Recuperado el mayo de 2018, de <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/mapping/aspect-slope-map/>
- Chacón, J., Irigaray, C., Fernández, T., & El Hamdouni, R. (2006). *Landslides in the main urban areas of the Granada province, Andalucía, Spain*. Andalucía, España: The Geological Society of London.
- Chung, C., & Fabbri, A. (2003). *Validation of Spacial Prediction Models for Lanslide Hazard Mapping*.
- Corominas, J. ( s.f.). *Tipo de Rotura en laderas y Taludes*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Cruden, D. (1991). A simple definition of a Landslide. *International Association of Engineering Geology. Boletin N43*.

- Egüez, A., & Aspend, J. (1993). *The Mesozoic- Cenozoic Evolution of the Ecuadorian Andes. Andean Godynamics*. Quito-Ecuador: Extenden Abstrac. ORSTOM, 179-181.
- Eras, M. (2014). *Determinación de zonas de Susceptibilidad a movmietnos en masa en el Ecuador, a escala 1:1'000.000, utilizando el Método de Ponderación de parametros*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional .
- 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. *Engeneering Geology* 102, 85-98.
- FUNEPSA CÍA. LTDA. (2015). *Actualización de la Zonificación por Amenaza de deslizamientos en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y GOBERNABILIDAD.
- Goodman, & Bray. (1976). Toppling of rocks slopes. *Proceedings Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slope*, (págs. 201-234).
- Gutscher, M., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Palnatery Science Letters*,v. 168, 225-270.
- Hall, M. (2000). *Estudios de Geografía*. Quito, Ecuador: Corporación Editorial Nacional.
- Hall, M., & Beate, B. (1991). El volcanismo Plio-Cuaternario en los Andes del Ecuador. El paisaje volcánico de la Sierra Ecuatoriana - Estudios de Geografía. *Corporación Editora Nacional, Quito- Ecuador*, 6-16.
- Hall, M., & Mothes, P. (2001). La Caldera Chacan, el centro riolítico más grande de los Andes Septentrionales. *Cuartas Jornadas en Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica Nacional - Quito*, 57-59.
- INIGEMM. (2013). *MEMORIA TÉCNICA, ENSAYOS METODOLÓGICOS PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD /AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA,ZONA DE RIOBAMBA*. Riobamaba, Ecuador: INIGEMM.
- Irigaray, C. (1995). *Movimientos de Lade4ra: Inventario, Análisis y Cartografía de la Susceptibilidad Mediante un Sistema de Información Geográfica. Aplicación a las zonas de Colmenar (Málaga), Rute (Córdoba) y Montefrío (Granada)*. España: Universidad de Granada.
- Irigaray, C. (2007). *Evaluation and validation of landslide Susceptibility maps obtained by a GIS Matrix Method*. España.
- Jiménez Perálvarez, J. D. (2012). *Movimientos de Ladera en la vertiente Meridional de Sierra Nevada(Granada, España): Indentificación, análisis y cartografía de susceptibilidad y peligrosidad mediante SIG*. España: Universidad de Granada.

- Jimenez, & Alvarado. (2001). *Geología del cuaternario de las áreas urbanas en el diistrito metropolitano de Quito*. Quito, Ecuador.
- Kendrick, E., Bevis, M., Smalley, R., Brooks, B., Barriga, R., Lauria, E., y otros. (2003). The Nazca-South America Euler vector and its rate of change. *Journal South America Earth Sc* 16, 125-131.
- Lavenu, A. (1994). La Neotectónica. Ejemplos en el Ecuador. *Estudios de Geografía 6: El contexto geológico del espacio físico ecuatoriano*, 5-30.
- Lavenu, A., Baudino, R., & F, E. (1996). Stratigraphie des depots Tertiaries et Quaternaries de la Depression Interandine d' Equateur (entre 0° el 2°15S). *Bull Inst. Fr.Etudes Andines* 25, 1-15.
- Lavenu, A., Noblet, C., Bonhomme, M., Egüez, A., Dugas, F., & Vivier, G. (1992). New K-Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism, and tectonics. *Journal of South American Earth Science, Vol 5*, 309-320.
- Litherland, M., Aspend, J., & Jemielita, R. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey (Vol 11)*, 147 pp.
- Merino, L. (2018). *Zonificación de la amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en el barrio Atacaba*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2011). *Plan de desarrollo 2012-2022*. Quito, Ecuador.
- Municipio del DMQ. (2015). *ATLAS de Amenazas Naturales y exposición de infraestructura del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Segunda Edición.
- Ordoñez, J. (2012). *Depósitos volcánicos del Plesitoceno Tradío en la cuenca de Ambato: Caracterización, distribución y origen*. Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Ormaza, W. (2017). *Zonificación de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el barrio Atacaba, Noroccidente de Quito*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Pavón, N., & Garzón, O. (2014). *Evaluación y Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza/Peligro por Fenómenos de Remoción en Masa en el Cantón Pallatanga, escala 1:50.000*. Quito, Ecuador.
- Pazos, V., & Vinuesa, W. (1990). *Contribución al estudio sobre los deslizamientos en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- 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.

- Peñañiel, L. (2009). *Geología y Analisis del recurso hídrico subterráneo de la Subcuenca del Sur de Quito*. Quito, Ecuador : Escuela Politécnica Nacional.
- Plaza, G. (1996). La amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos en la región andina del Ecuador. En *Séptimo Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas, Petróleos y Medio Ambiente*. (págs. 513-526). Quito, Ecuador: Trabajos técnicos: Tomo II. Colegio de Ingenieros Geólogos, Minas y Petróleos(CIGMYP).
- Plaza, G. (1998). *Deslizamientos, zonas expuestas en el Litoral, causas y efectos. Memorias del Seminario Taller: Los desastres naturales y la estrategia de desarrollo a largo plazo*. Guayaquil, Ecuador.
- PNUMA. (2011). *Perspectivas del Ambiente y cambio climático en el medio urbano: ECCO Distrito Metropolitano de Quito*. Quito- Ecuador. 364 p.
- Samaniego, P., A, É., Hibsich, C., Villagómez, R., & Segovia, M. (1994). Estratigrafía y tectónica de la Cuenca Guayllabamba . *Terceras Jornadas en Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica Nacional*, 49-50.
- Samaniego, P., Robin, C., Chazot, G., Bourdon, E., & J, C. (2009). Evolving metasomatic agent in the Northern Andean subduction zone, deduced from magma composition of the long-lived Pichincha volcanic complex(Ecuador). *Contrib Mineral Petrol* 160, 239-260.
- Suarez. (2009). *Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo*. Recuperado el 2018, de [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co): [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co)
- Trenkamp, R., Kellogg, J. F., & Y Mora, H. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America. *Journal South Easth Science*, 157-171.
- Valdavieso, J. M. (2005). *Propuesta para la gestión integral del suelo no urbanizable del Distrito Metropolitano de Quito: Informe final* . Quito-Ecuador, 1-299 p: FLACSO.
- Varnes, D. (1978). *Slope movements Types and processes*,. Washington D.C. : en Schuter R.L., y Krizek R.J.,.
- Vera, R., & Lopéz, R. (1986). El Origen de la Cangahua. *Paisajes Geográficos. CEPEIGE - Quito* 16, 21-27.
- Villagomez, D. (2003). *Ecolución Geológica Plio-Cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador( Zona de Quito- Guallabamba- San Antonio)*. Quito, Ecuador, 1-147: Escuela Politécnica Nacional .
- Yates, D. (2013). *Distrito Metropolitano de Quito: Análisis Integrado de Amenazas Relacionadas con el Cambio Climático, aspectos naturales y socioeconómicos*. Quito.

# **Anexos**

**Anexo I.** Tabla de correlación con el mapa de susceptibilidad por FRM

<b>Calibración del inventario de FRM con el mapa de Susceptibilidad del DMQ</b>					
<b>DESLIZAMIENTOS (Rotacional, Traslacional) puntos proyectados en toda la zona 845</b>					
<b>Administración</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Susceptibilidad Media (3)</b>	<b>Susceptibilidad Alta(4)</b>	<b>Susceptibilidad Muy Alta(5)</b>	<b>Suma de puntos</b>
Adm. Calderón	Calderón	3	2		5
	Llano Chico	3	1	1	5
Adm. Centro Histórico	San Juan	17	5	1	23
	La Libertad	30	8	1	39
	Centro histórico	6	5	5	16
	Itchimbia	35	29	2	66
	Puengasí	24	30		54
Adm. Los Chillos	Amaguaña	2	1		3
	Conocoto	15	3		18
	Guangopolo	2			2
	Alangasi	1	1		2
	La Merced	1	2		3
	Pintag	1	1		2
Adm. Eloy Alfaro	Chilibulo	3	3		6
	La Mena	5	5		5
	Solanda	1	1		2
	San Bartolo	2			2
	La Madgalena	3	1		4
	Chimbacalle	2	2		4
	La Ferroviaria	17	5	3	25
	La Argelia	2			2
Adm. La Delicia	San Antonio de Pichincha	2	2	1	5
	Pomásqui	4	2	1	7
	El Condado	15	8		23
	Cotocollao	4	4		8
	Ponceano	2	4		6
	Comité del Pueblo	2			2
	Carcelén	1	2		3
Adm. Norte	Cochapamba	20	10		30
	Concepción	5	2		7
	Rumipamba	2	3		5

	Belisario Quevedo	10	10	3	23
	Mariscal Sucre	2	1		3
	Iñaquito	4	10	1	15
	Nayón	4	3		
	Kennedy	3	3		
	San Isidro del Inca	3	1		
	Zambiza	2	2	3	7
	Jipijapa	10	5	1	16
Adm. Quitumbe	Chillogallo	10	3	1	14
	La Ecuatoria	5	3		8
	Guamaní	3			3
	Turubamba	3			3
	Quitumbe	24			24
Adm. Tumbaco	Cumbayá	6			6
	Tumbaco	4	3		7
	Puembo	3	3	2	
	Tababela	2			2
	Guayllabamba	4	3		7
				<b>TOTAL</b>	522

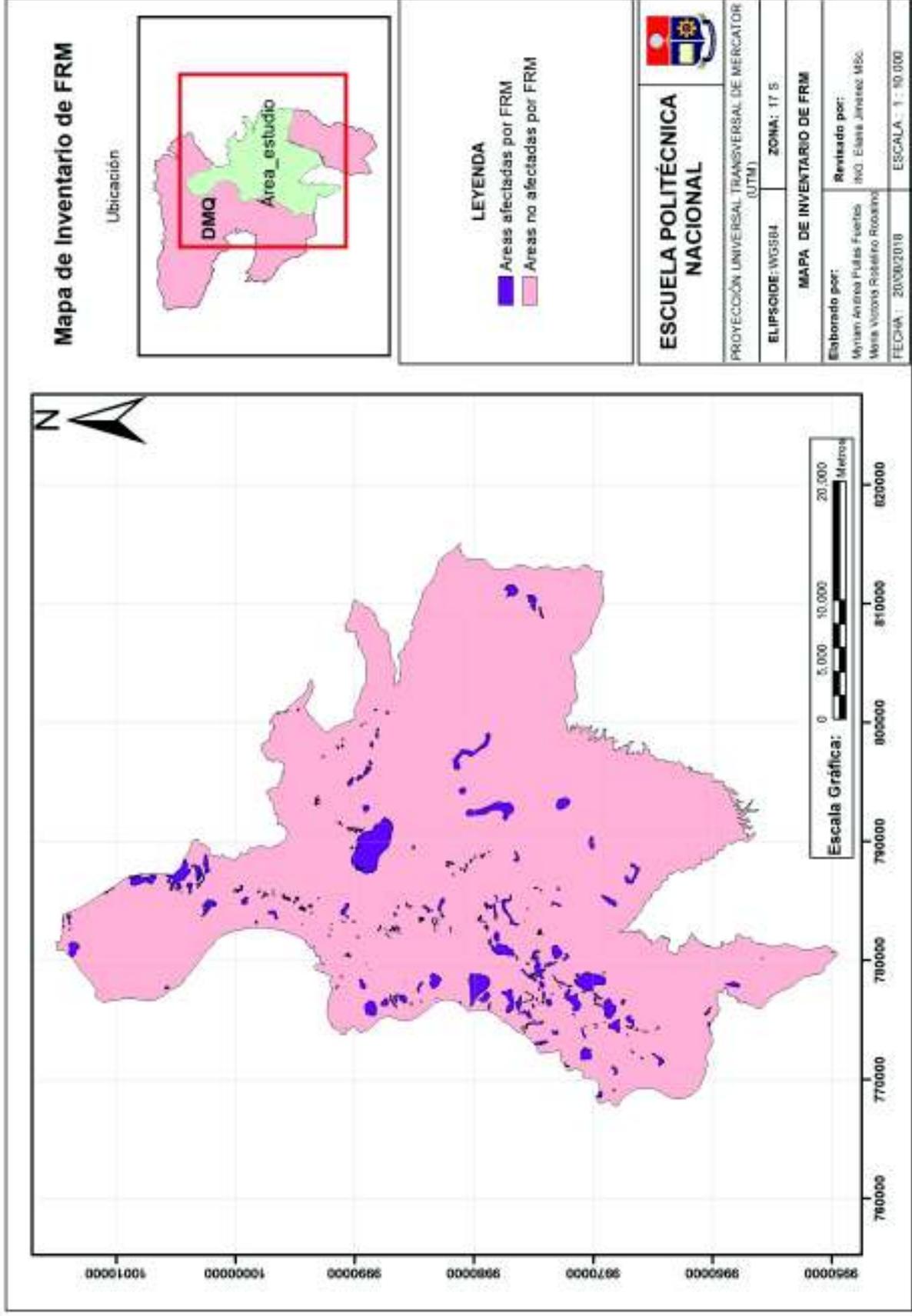
**Anexo II** Tabla de correlación con el mapa de susceptibilidad por FRM.

Calibración del inventario de FRM con el mapa de Susceptibilidad del DMQ					
OTROS MOVIMIENTOS puntos proyectados en toda la zona es 555					
Administración	Parroquia	Susceptibilidad Media (3)	Susceptibilidad Alta(4)	Susceptibilidad Muy Alta(5)	Suma de puntos
Adm. Calderón	Calderón	12			12
	Llano Chico				0
Adm. Centro Histórico	San Juan	10	19		29
	La Libertad	11	2	4	17
	Centro histórico	10	40		50
	Itchimbia	5	8	1	14
	Puengasí	13	3		16
Adm. Los Chillos	Amaguaña	2	2		4
	Conocoto	2	2		4
	Guangopolo				0
	Alangasi				0
	La Merced				0
	Pintag				0
Adm. Eloy Alfaro	Chilibulo	2			2
	La Mena	5	5		10
	Solanda	3			3
	San Bartolo	1			1
	La Madgalena	4			4
	Chimbacalle				0
	La Ferroviaria	7	3	2	12
	La Argelia	6	1		7
Adm. La Delicia	San Antonio de Pichincha	11	1		12
	Pomásqui	5			5
	El Condado	5	3		8
	Cotocollao	2	2		4
	Ponceano	10			10
	Comité del Pueblo	1			1
	Carcelén	2			2
Adm. Norte	Cochapamba	12	10	4	26
	Concepción	5	3		8
	Rumipamba	1	1		2
	Belisario Quevedo	2	6	3	11
	Mariscal Sucre	3	1		4

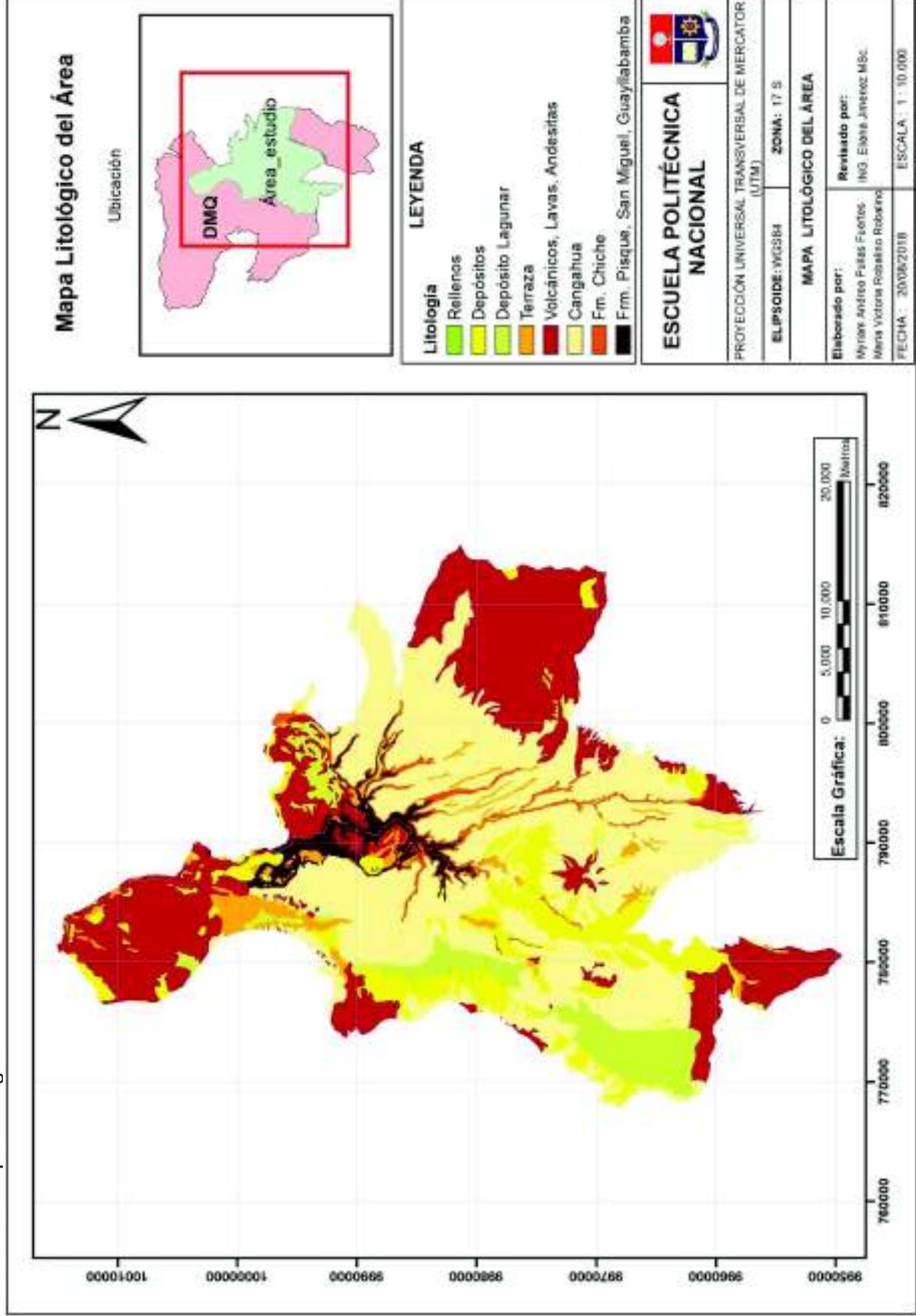
	Iñaquito	4			4
	Nayón	4			4
	Kennedy				
	San Isidro del Inca				
	Zambiza	2	1		3
	Jipijapa	1	1		2
Adm. Quitumbe	Chillogallo	5		2	7
	La Ecuatoria	1	2		3
	Guamaní	6	2	2	10
	Turubamba	4			4
	Quitumbe	7			7
Adm. Tumbaco	Cumbayá	4			4
	Tumbaco	1			1
	Puembo	2			2
	Tababela	3			3
	Guayllabamba				
				TOTAL	332

# MAPAS

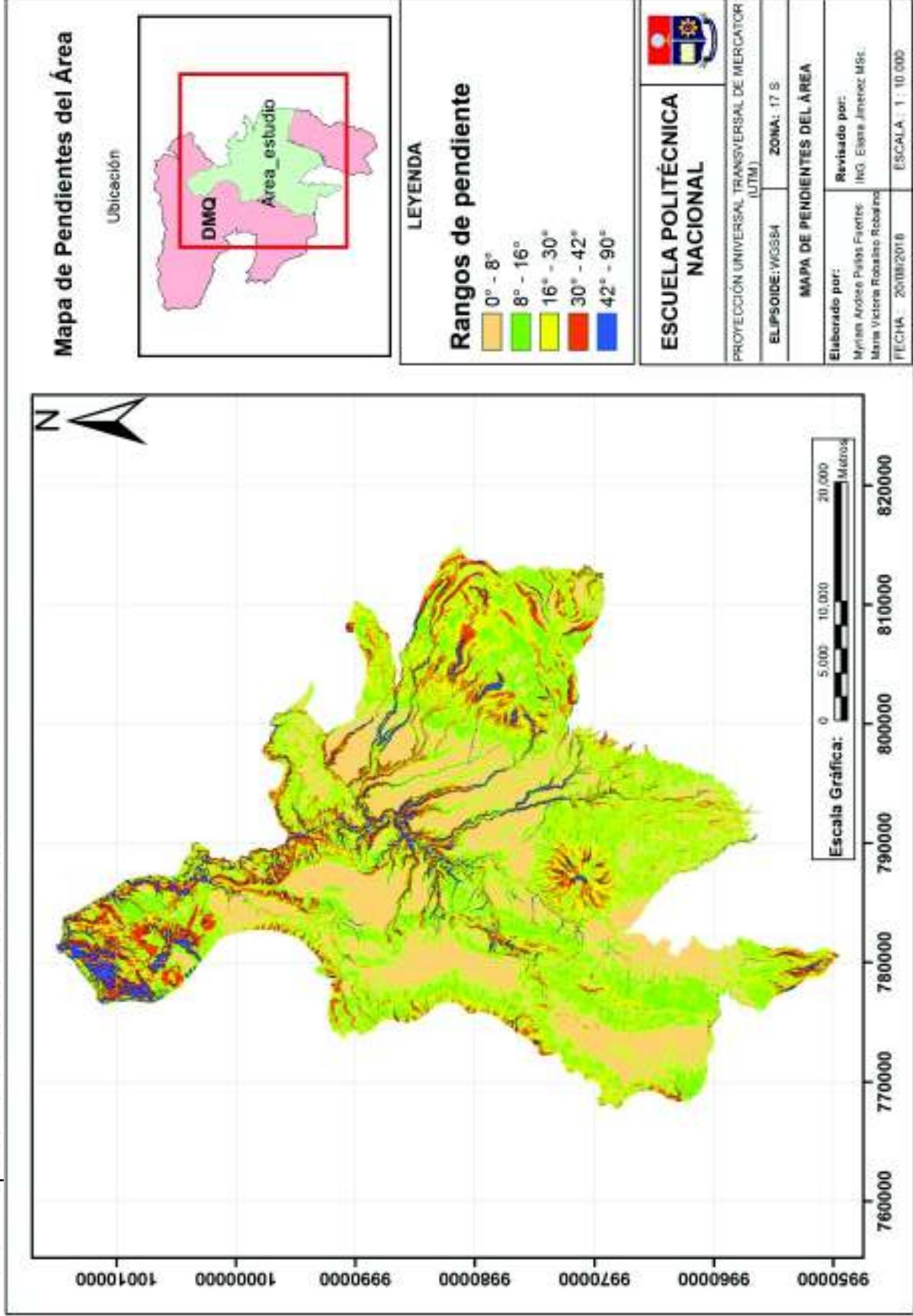
Anexo III Mapa de Inventario FRM del área de estudio



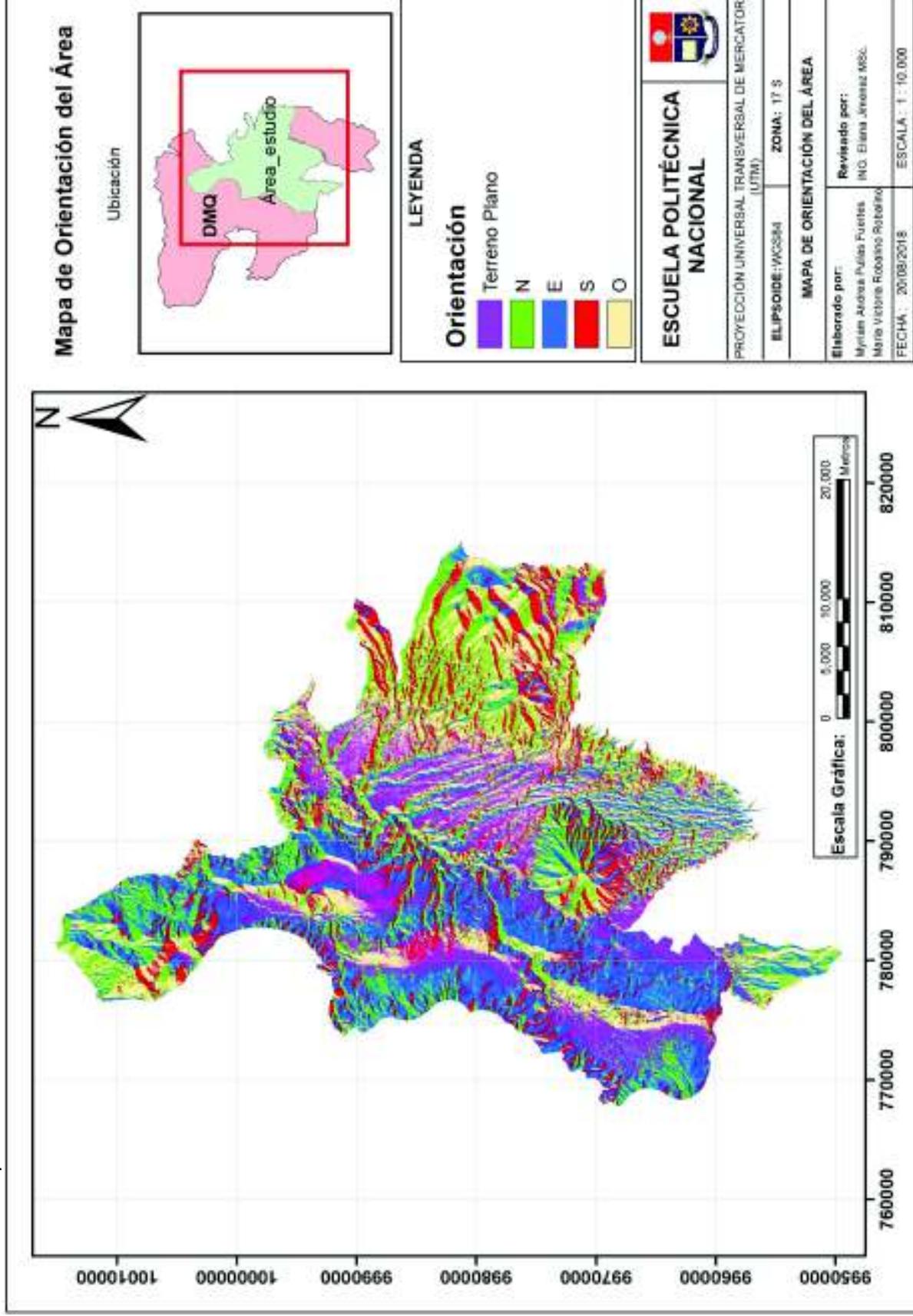
Anexo IV. Mapa Litológico



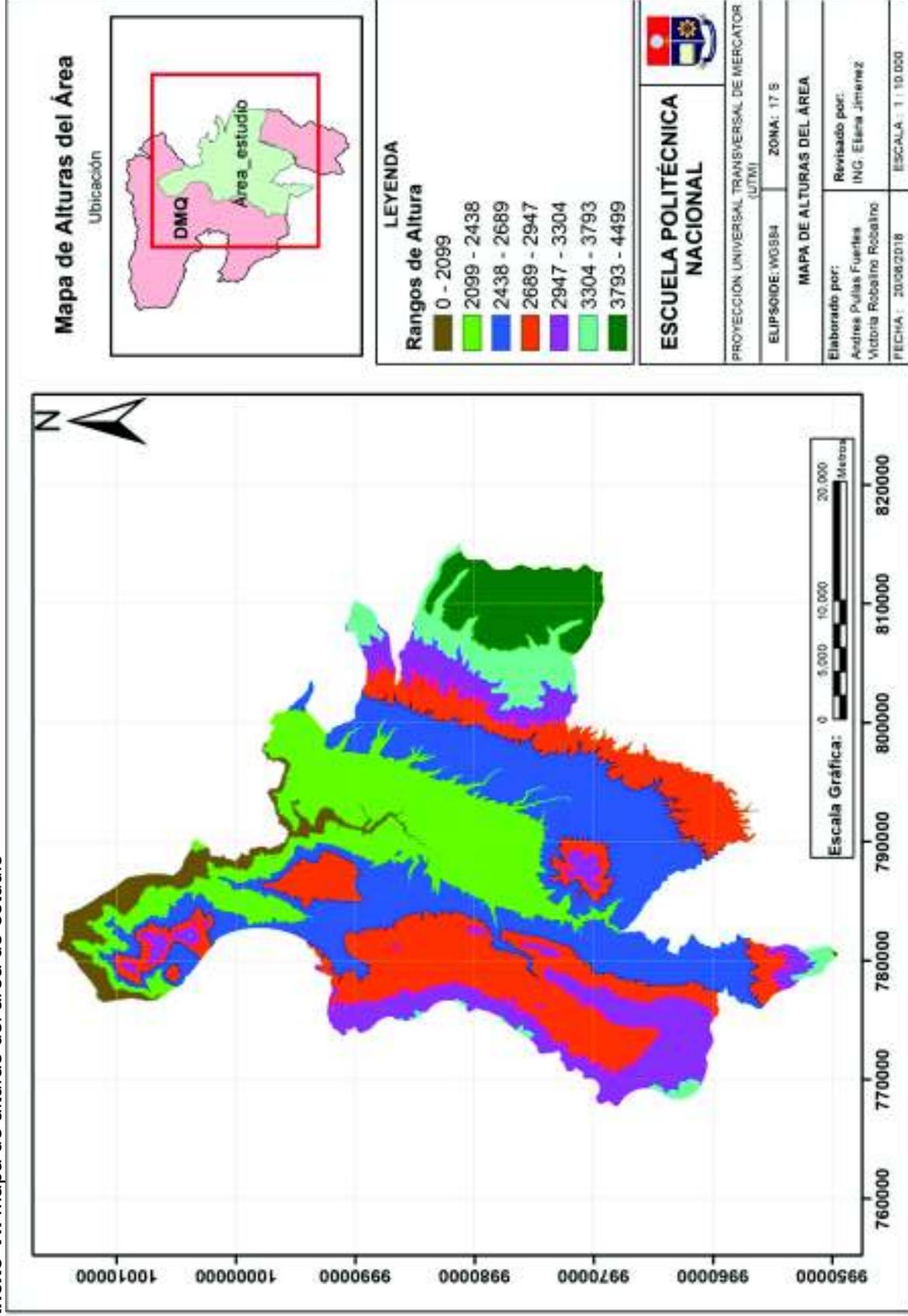
Anexo V Mapa de Pendientes del área de Estudio



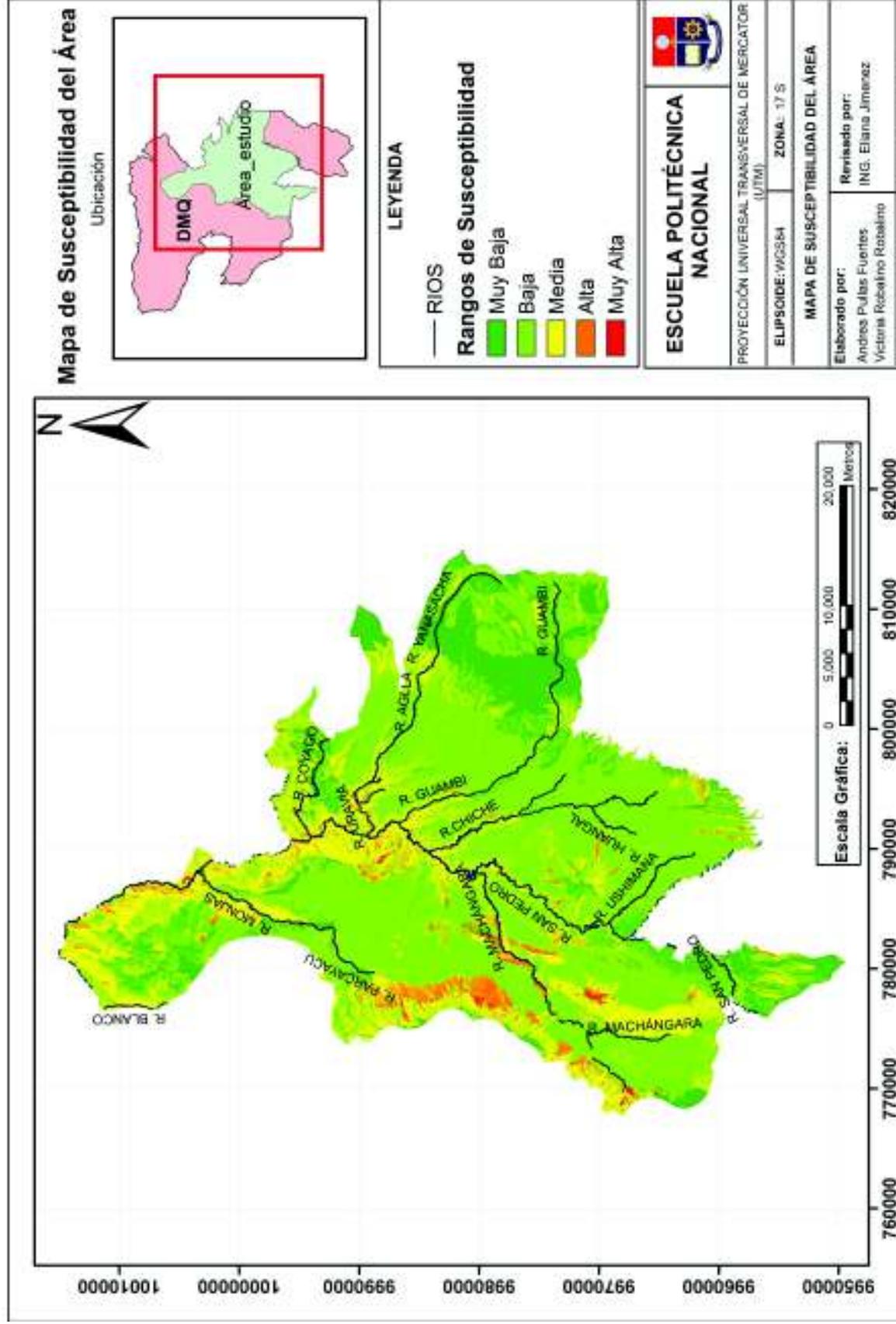
Anexo VI Mapa de orientación del área de estudio



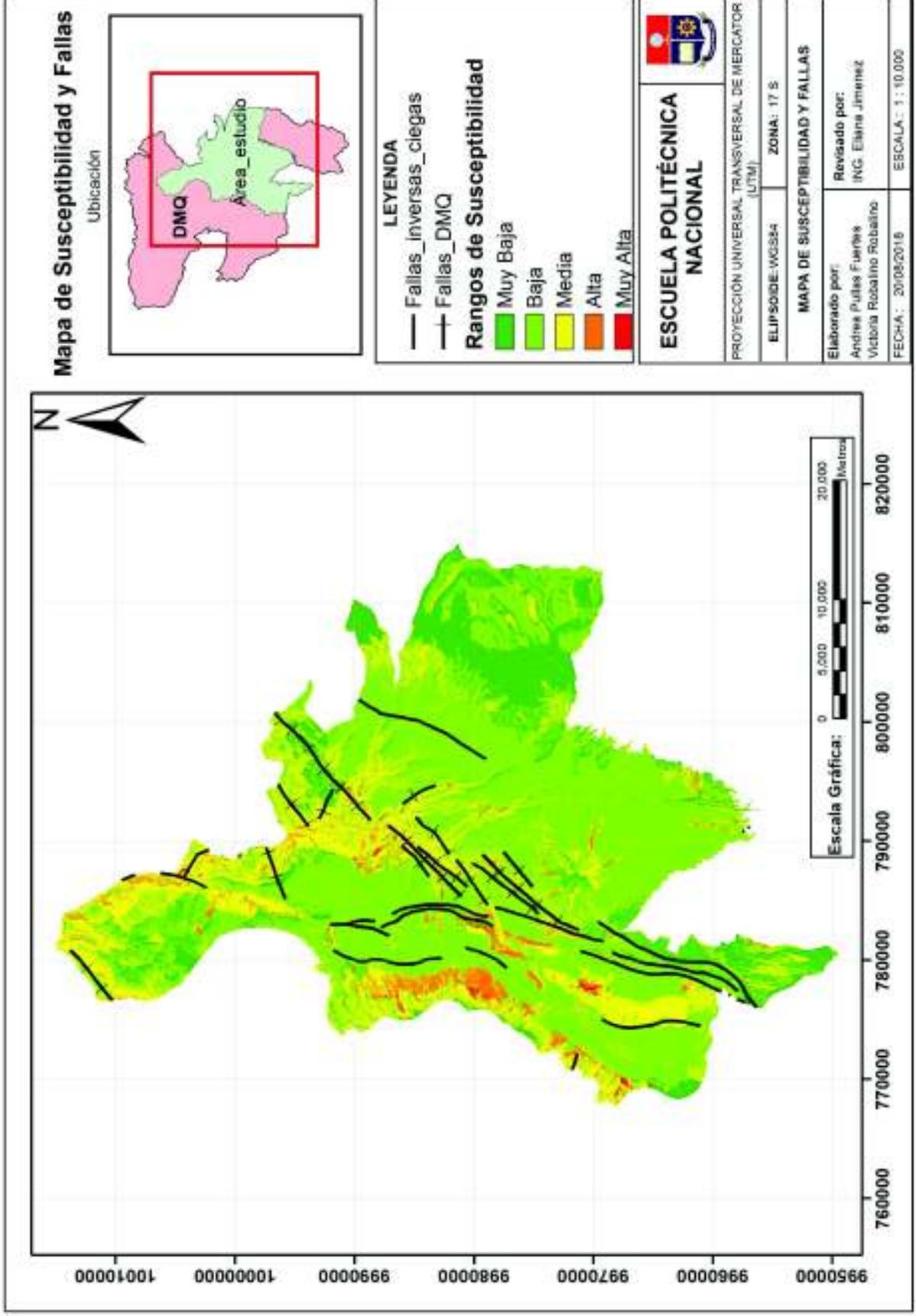
Anexo VII Mapa de alturas del área de estudio



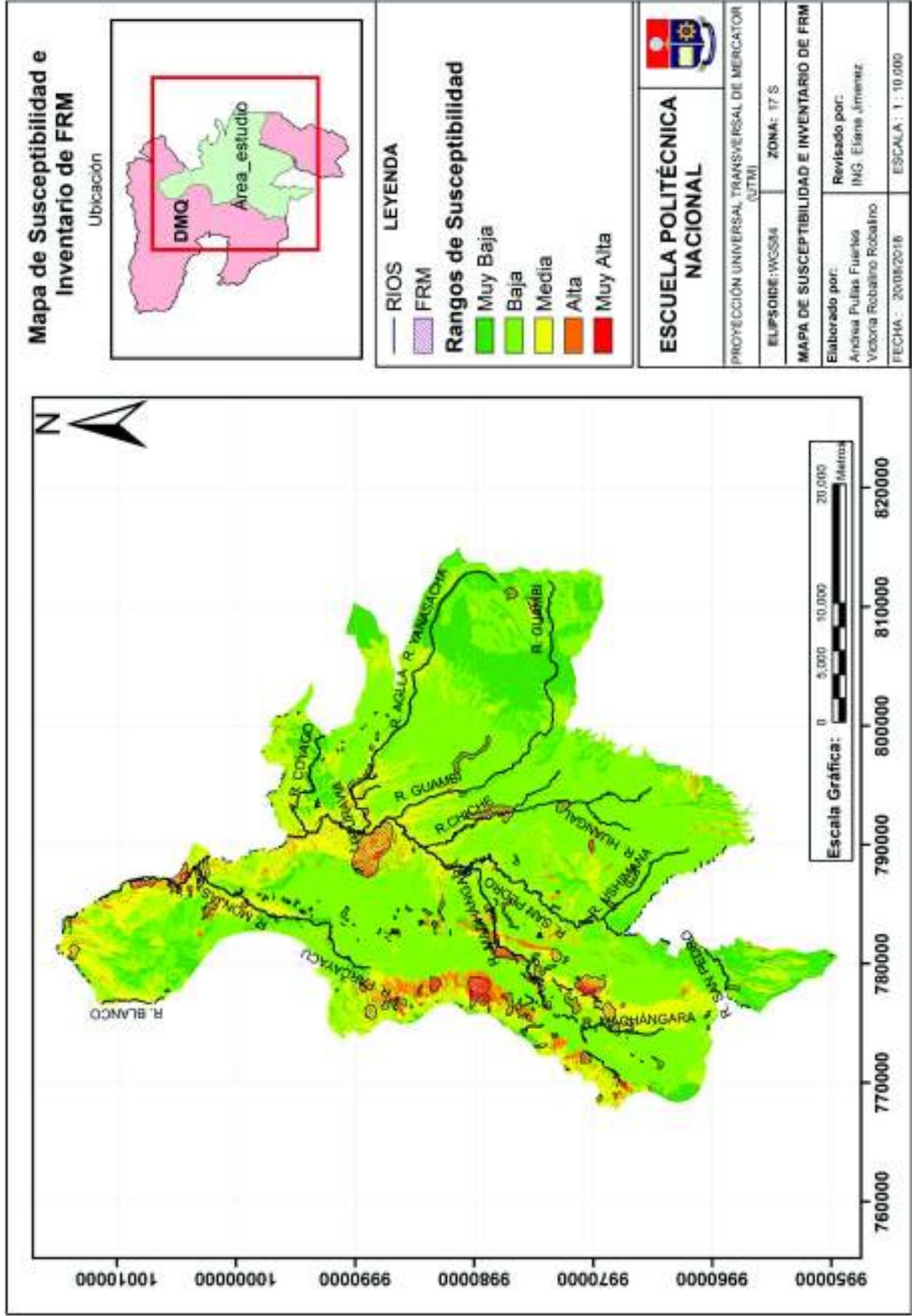
Anexo VIII Mapa de Susceptibilidad del área de estudio



Anexo IX Mapa de zonificación de la susceptibilidad y fallas del DMQ



Anexo X Mapa de Susceptibilidad e inventario de FRM



Anexo XI Mapa de zonificación de la Susceptibilidad, Inventario de FRM y fallas presentes en el DMQ

