



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

## MASTER EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y GEOINFORMACIÓN

### SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA PARROQUIA POMASQUI - ECUADOR

**Elaborado por:**

NORMA VANESA CHIQUÍN CAMACHO

(norchica@topo.upv.es)

**Tutor:**

JORGE ABEL RECIO RECIO

(jrecio@cgf.upv.es)

Valencia, España

Julio 2017



## Índice de Contenido

<b>CAPITULO I</b>	<b>9</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Antecedentes</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Justificación</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Área de Estudio</b>	<b>11</b>
1.3.1 Descripción de la zona de estudio	11
1.3.2 Ubicación Geográfica	12
<b>1.4 Objetivos</b>	<b>12</b>
1.4.1 Objetivo general	12
1.4.2 Objetivos específicos	13
<b>CAPITULO II</b>	<b>14</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Movimientos en masa</b>	<b>14</b>
Deslizamientos	14
- Deslizamiento rotacional	14
- Deslizamiento traslacional	15
Caídas	16
<b>2.2 Método Mora-Vahrson</b>	<b>17</b>
2.2.1 Información preliminar o secundaria	17
2.2.2 Metodología de Mora-Vahrson	18
2.2.3 Metodología de Mora-Vahrson modificada aplicada	19
2.2.4 Cuantificación de la amenaza	20
2.2.5 Factor pendiente (Sm)	21
2.2.6 Factor litológico (Sl)	22
2.2.7 Factor cobertura vegetal (Sc)	23
2.2.8 Factor de disparo por precipitaciones (Tp)	24
2.2.9 Factor de disparo por sismos (Ts)	24
2.2.10 Determinación del Grado de amenaza (H)	25
<b>CAPITULO III</b>	<b>26</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Información base</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Factor pendiente (Sm)</b>	<b>26</b>
3.2.1 Mapa de pendientes.	27



<b>3.3</b>	<b>Factor litológico (SI)</b>	<b>29</b>
3.3.1	Mapa de Geomorfología	29
<b>3.4</b>	<b>Factor cobertura vegetal (Sc)</b>	<b>33</b>
3.4.1	Mapa de cobertura vegetal.	34
<b>3.5</b>	<b>Grado de susceptibilidad para movimientos en masa</b>	<b>36</b>
<b>3.6</b>	<b>Factor de disparo por precipitaciones (Tp)</b>	<b>38</b>
3.6.1	Mapa de Precipitaciones	39
<b>3.7</b>	<b>Factor de disparo por sismos (Ts)</b>	<b>45</b>
3.7.1	Mapa de Sismos	45
<b>3.8</b>	<b>Determinación del Grado de amenaza (H)</b>	<b>49</b>
3.8.1	Grado de Amenaza de Deslizamientos	50
3.8.2	Grado de Amenaza de Caídas	52
<b>CAPITULO IV</b>		<b>57</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>Determinación del Grado de Amenaza (H)</b>	<b>57</b>
4.1.1	Grado de Amenaza de Deslizamientos	57
	Amenaza de Deslizamientos – Muy Baja	57
	Amenaza de Deslizamientos – Baja	59
	Amenaza de Deslizamientos – Media	60
	Amenaza de Deslizamientos – Alta	61
	Amenaza de Deslizamientos – Muy Alta	62
4.1.2	Grado de Amenaza de Caídas	63
	Amenaza de Caídas – Muy Baja	63
	Amenaza de Caídas – Baja	65
	Amenaza de Caídas – Media	66
	Amenaza de Caídas – Alta	67
	Amenaza de Caídas – Muy Alta	68
<b>CAPITULO V</b>		<b>69</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>69</b>
<b>CAPITULO VI</b>		<b>71</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>71</b>



## Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1.1. Ubicación geográfica parroquia Pomasqui</i>	12
<i>Ilustración 2.1. Deslizamiento rotacional</i>	15
<i>Ilustración 2.2. Deslizamiento traslacional</i>	16
<i>Ilustración 2.3. Mecanismos de desprendimiento y colapso</i>	17
<i>Ilustración 2.4. Factores condicionantes y detonantes considerados en el modelo</i>	20
<i>Ilustración 3.1. Representación de pendientes</i>	28
<i>Ilustración 3.2. Ponderación factor pendientes – Deslizamientos</i>	28
<i>Ilustración 3.3. Ponderación factor pendientes – Caídas</i>	29
<i>Ilustración 3.4. Fotointerpretación de Geomorfología</i>	30
<i>Ilustración 3.5. Ponderación factor litológico – Deslizamientos</i>	32
<i>Ilustración 3.6. Ponderación factor litológico – Caídas</i>	33
<i>Ilustración 3.7. Cobertura Vegetal Parroquia Pomasqui</i>	35
<i>Ilustración 3.8. Ponderación factor Cobertura Vegetal</i>	36
<i>Ilustración 3.9. Susceptibilidad a Deslizamientos</i>	37
<i>Ilustración 3.10. Susceptibilidad a Caídas</i>	38
<i>Ilustración 3.11. Histograma - Precipitación máxima en 24 horas</i>	41
<i>Ilustración 3.12. Flujograma que indica el mecanismo para elegir el método de interpolación</i>	42
<i>Ilustración 3.13. Interpolación de Precipitaciones</i>	43
<i>Ilustración 3.14. Interpolación de Precipitaciones Reclasificado</i>	44
<i>Ilustración 3.15. Precipitaciones Reclasificado de Pomasqui</i>	44
<i>Ilustración 3.16. Histograma – Sismos</i>	46
<i>Ilustración 3.17. Interpolación de Sismos</i>	47
<i>Ilustración 3.18. Interpolación de Sismos Reclasificado</i>	48
<i>Ilustración 3.19. Sismos Reclasificado de Pomasqui</i>	48
<i>Ilustración 3.20. Amenaza de Deslizamientos</i>	50
<i>Ilustración 3.21. Parámetros reclasificación de amenaza de Deslizamientos</i>	51
<i>Ilustración 3.22. Amenaza de Deslizamientos Reclasificado</i>	52
<i>Ilustración 3.23. Amenaza de Caídas</i>	52
<i>Ilustración 3.24. Parámetros reclasificación de amenaza de Caídas</i>	53
<i>Ilustración 3.25. Amenaza de Caídas Reclasificado</i>	54
<i>Ilustración 3.26. Resumen de los factores condicionantes y de disparo - Deslizamientos</i>	55
<i>Ilustración 3.27. Resumen de los factores condicionantes y de disparo - Caídas</i>	56
<i>Ilustración 4.1. Amenaza de deslizamientos – Muy Baja</i>	57
<i>Ilustración 4.2. Amenaza de deslizamientos – Muy Baja</i>	58
<i>Ilustración 4.3. Amenaza de deslizamientos – Baja</i>	59
<i>Ilustración 4.4. Amenaza de deslizamientos – Media</i>	60
<i>Ilustración 4.5. Amenaza de deslizamientos – Alta</i>	61
<i>Ilustración 4.6. Amenaza de deslizamientos – Muy Alta</i>	62
<i>Ilustración 4.7. Amenaza de caídas – Muy Baja</i>	63
<i>Ilustración 4.8. Amenaza de caídas – Muy Baja</i>	64
<i>Ilustración 4.9. Amenaza de caídas - Baja</i>	65
<i>Ilustración 4.10. Amenaza de caídas – Media</i>	66
<i>Ilustración 4.11. Amenaza de caídas - Alta</i>	67
<i>Ilustración 4.12. Amenaza de caídas – Muy Alta</i>	68



## Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1. Categorización de pendiente</i>	21
<i>Tabla 2.2. Categorías del factor litológico</i>	22
<i>Tabla 2.3. Categorías del factor de cobertura vegetal</i>	23
<i>Tabla 2.4. Categorización del factor disparo por precipitaciones</i>	24
<i>Tabla 2.5. Categorización del factor disparo por sismicidad</i>	25
<i>Tabla 2.6. Calificativo del grado de amenaza para la ocurrencia de deslizamientos y caídas</i>	25
<i>Tabla 3.1. Ponderación – Factor pendiente (SM)</i>	27
<i>Tabla 3.2. Ponderación – Factor litológico (SL)</i>	29
<i>Tabla 3.3. Diseño campos geodatabase - Morfología</i>	31
<i>Tabla 3.4. Ejemplos de ponderaciones del parámetro cobertura vegetal (Sc)</i>	33
<i>Tabla 3.5. Categorización del factor disparo por precipitaciones</i>	38
<i>Tabla 3.6. Estaciones meteorológicas</i>	39
<i>Tabla 3.7. Pruebas de normalidad - Precipitación máxima en 24 horas</i>	41
<i>Tabla 3.8. Categorización del factor disparo por sismicidad</i>	45
<i>Tabla 3.9. Pruebas de normalidad - Sismos</i>	46
<i>Tabla 3.10. Clasificación de Amenaza</i>	49



## RESUMEN

Ecuador por su ubicación geográfica posee alta actividad sísmica y volcánica, según la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) y la oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), entre 1970 y 2010 la cantidad de personas fallecidas y desaparecidas por evento deslizamientos y caídas ocupan la mayor cantidad de afectados con un valor aproximado de 1200, seguido de inundaciones con 600 víctimas.

La constitución de la República del Ecuador, en la sección novena, Gestión del riesgo, el artículo 389, indica que “El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.”

Con estos antecedentes se decide elaborar el siguiente trabajo de fin de master con la finalidad de identificar y difundir la susceptibilidad a deslizamientos de la parroquia Pomasqui, Ecuador, Suramérica.

Considerando que el Estado ha invertido en la adquisición de fotografías aéreas (año 2010) a una escala 1: 30 000 y distintas instituciones públicas como el IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano), INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico), INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) e IGEPN (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional) han generado geoinformación, es imperativo utilizar la información generada a manera de insumos para estudios en diversas temáticas.

La mayoría de metodologías eficaces resultan ser muy costosas y requieren personal especializado además de equipamiento de laboratorio para su implementación. A manera de investigación se aplica la metodología de Mora-Vahrson modificada la cual consiste en la ponderación de parámetros condicionantes y desencadenantes para los movimientos en masa, debido a las variaciones existentes en relación al lugar donde se



generó dicha metodología; es así que se considera como base los factores predominantes como: pendiente, litología, cobertura vegetal, sismicidad e intensidad de lluvias, lo cual permitió representar e identificar mediante el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra las zonas vulnerables a este evento.

### **PALABRAS CLAVE**

Deslizamiento de tierra, Mora-Vahrson, Amenaza, SIG



## ABSTRACT

Ecuador by its geographical location has high seismic and volcanic activity, according to Secretariat of Risk Management (SGR) and the United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), between 1970 and 2010 landslides occupy the main cause of deaths and missing persons with 1200 affected people followed by flooding with 600 victims

The 389th article of the ninth section of the Ecuadorian Constitution indicate that “The State will protect people, masses, and nature from the negative effects of natural or anthropic disasters, the recovery and refurbish of the social, economic and environment conditions, with the aim of minimize the vulnerability condition”

With this background, it is decided to elaborate the following master's work with the purpose of identifying and disseminating the susceptibility to landslides in the parish of Pomasqui located in Ecuador, South America.

Considering that Ecuadorian State has invested in the acquisition of aerial photographs (year 2010) at 1: 30 000 scale, and different public institutions as IEE, INIGEMM, INAMHI and IGEPN, have generated geoinformation, it is imperative to use this information generated as inputs for studies in a wide range of topics.

Most effective methodologies are very expensive and require specialized personnel as well as laboratory equipment for its implementation. The modified Mora-Vahrson methodology is applied by way of research and consisted in redefining the balance of constraints and triggers for landslides parameters due to the variations in relation to the place where the methodology was generated; thus, is kept fixed as the predominant factors: slope, lithology, vegetation cover, and rainfall intensity seismicity, which allowed to represent and identify, through the map of susceptibility to landslides, areas vulnerable to this event.

## KEYWORDS

Landslide, Mora-Vahrson, Threat, GIS



## CAPITULO I

### SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA PARROQUIA

#### POMASQUI – ECUADOR

### 1. Introducción

#### 1.1 Antecedentes

Ecuador se ubica en una de las zonas de más alta complejidad tectónica, en el punto de encuentro de las placas de Nazca y Sudamericana siendo parte del denominado cinturón de fuego del Pacífico, con varios volcanes en su mayoría activos, además el roce de estas placas tectónicas provoca una permanente actividad sísmica.

El país por sus condiciones geomorfológicas y el efecto de la actividad humana es propenso a procesos de deslizamientos, avalanchas de lodo, erosión y caídas, cuando se producen episodios climáticos de intensas lluvias. Las actividades antrópicas pueden originar procesos de movimientos en masa particularmente cuando se construyen obras de infraestructura de gran magnitud sin tomar en consideración las propiedades físicas y mecánicas del suelo y subsuelo.

De acuerdo a los registros históricos el Ecuador está marcado por una serie de eventos catastróficos, siendo los movimientos en masa uno de los eventos que han causado graves consecuencias además de pérdidas económicas e impactos negativos sociales y políticos, resultando particularmente vulnerables aquellas poblaciones situadas en



áreas rurales y con más bajo nivel escolar, donde se pueden mencionar: deslizamiento de La Josefina en el año 1993 afectando el Río Paute y sus consecuencias fueron 50 personas fallecidas y 147 millones de dólares en daños directos; deslizamiento Quebrada Huangu en el año 2001 cerca de la Vía Papallacta – Baeza con consecuencias de 26 muertos, rotura del poliducto, derrame de petróleo, obstrucción de la carretera y daños ambientales.

Según datos del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en la época invernal de octubre del 2015 a mayo del 2016 se registraron 300 episodios generados por fuertes aguaceros, 137 inundaciones, 104 movimientos en masa, el colapso de 44 estructuras y diez episodios de vientos fuertes.

Los movimientos en masa generalmente se producen en épocas lluviosas o a causa de un sismo, es así que dependiendo de su magnitud destruye todo lo que a su paso encuentra, Ecuador es un país montañoso y al recibir una gran cantidad de agua la tierra se ablanda y se desprende formando flujos de lodo que se precipitan pendiente abajo.

Además, que algunas personas contribuyen a que ocurran estos movimientos en masa, cuando construyen con materiales pesados sobre terrenos débiles o cuando realizan excavaciones desestabilizando las laderas, otro factor causante de deslizamientos y caídas es la deforestación ya que el suelo queda desprotegido.

El presente trabajo propone aplicar una metodología sencilla y de bajo costo, que permita identificar zonas susceptibles a inestabilidad de terrenos, con el fin de mostrar su aplicabilidad y eficacia.

## 1.2 Justificación

Los movimientos de tierra que han ocurrido en Ecuador por factores condicionantes y detonantes, son considerados en la actualidad una tarea de gran interés para la educación ambiental y además fundamental para la gestión de riesgos en donde se identifican amenazas, factores de vulnerabilidad y posibles áreas afectadas en caso de



producirse un evento adverso, por lo cual son considerados un elemento de suma importancia en las tareas del Ordenamiento Territorial.

Las principales amenazas de origen natural presentes en la parroquia, se relacionan con la probabilidad de ocurrencia de eventos: sísmicos, fenómenos volcánicos (ceniza, flujos piroclásticos), deslizamientos y caídas.

La parroquia Pomasqui presenta susceptibilidad: extrema en zonas de mínima superficie ubicadas al norte de la cabecera parroquial; susceptibilidad moderada: en la zona de mayor superficie que se encuentra en todo el sector noroeste y una susceptibilidad baja que se encuentra de manera inmediata alrededor del límite urbano de Pomasqui. (PDOT Pomasqui, 2012-2025).

Se consideró realizar esta disertación de la parroquia Pomasqui, ya que no cuenta con estudios sobre riesgo de desastre por lo que se precisa identificar los posibles niveles de riesgo ante deslizamientos y caídas para poder plantear propuestas y lineamientos que reduzcan los mismos. La importancia del estudio del riesgo de desastre radica en que es posible plantear alternativas para mejorar la gestión del territorio. En consecuencia, los resultados esperados pueden ser de utilidad tanto para los moradores como para las autoridades del sector, porque ofrecen soluciones que pueden evitar daños materiales y pérdidas humanas.

### 1.3 Área de Estudio

#### 1.3.1 Descripción de la zona de estudio

La parroquia Pomasqui está muy cerca de Quito siendo la que mayor influencia urbana ha recibido, sin embargo, de lo cual mantiene su identidad y expresiones culturales.

Está ubicada a una altura de 2350 msnm, tiene 23,16 km<sup>2</sup> de extensión.

Su clima varía entre 14 °C - 17 °C y ha reportado una pluviosidad comprendida entre 300 a 1.100mm. Se trata de una región semiárida, con un clima primaveral. (PDOT Pomasqui, 2012-2025).

### 1.3.2 Ubicación Geográfica

La parroquia Pomasqui se encuentra situada al norte de la ciudad de Quito y sus límites los constituyen al norte con San Antonio de Pichincha, al sur con Cotacollao y Carcelén, al este con Calderón y al oeste con Cotacollao y Calacalí. Su ubicación se muestra en la ilustración 1.1.

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA

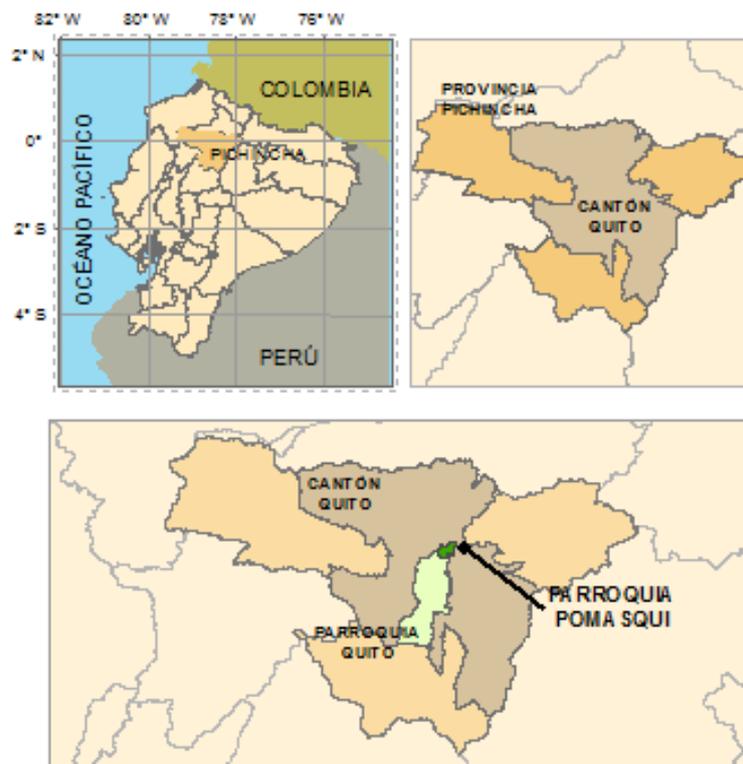


Ilustración 1.1. Ubicación geográfica parroquia Pomasqui

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Determinar los niveles de amenaza ante posibles movimientos de masa (deslizamientos y caídas) de la parroquia Pomasqui utilizando técnicas de SIG y fotointerpretación con la metodología de Mora-Vahrson modificada.



### 1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar y sectorizar el nivel de amenaza de los movimientos en masa (deslizamientos y caídas) de la parroquia Pomasqui.
- Analizar la susceptibilidad para deslizamientos y caídas.
- Analizar los factores de disparo para el fenómeno de movimientos en masa (deslizamientos y caídas).
- Obtener el mapa de amenazas de movimientos en masa (deslizamientos y caídas) de la parroquia Pomasqui.



## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Movimientos en masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan la superficie de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta, la hidrósfera y la atmósfera (Varnes, 1978).

#### Deslizamientos

Es un desplazamiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, cuyo movimiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante; se clasifica según la forma del plano de deslizamiento: rotacionales y traslacionales (Varnes, 1978).

- *Deslizamiento rotacional* se da donde la superficie de ruptura es curva, la masa rota hacia atrás alrededor de un eje paralelo a la ladera. Este tipo de mecanismo es característico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos

intensamente fracturados. En materiales arcillosos, especialmente si hay presencia de agua.

Los deslizamientos rotacionales, una vez producidos, son susceptibles de reactivación. El movimiento tiende a estabilizarse por disminución del momento de giro y aumento del momento estabilizador.

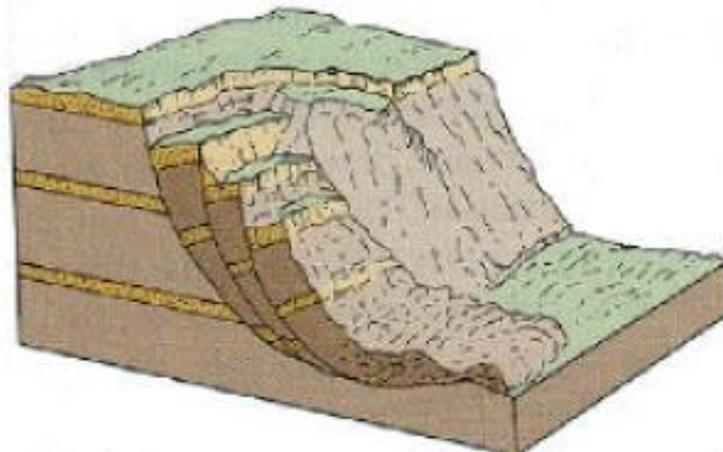
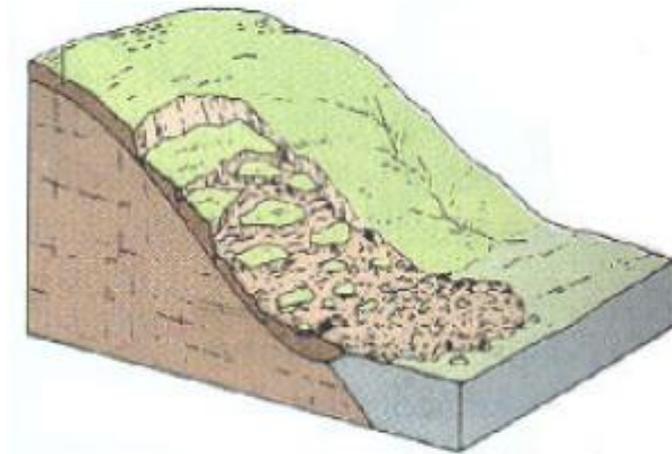


Ilustración 2.1. Deslizamiento rotacional (Skinner & Porter, 1992)

- *Deslizamiento traslacional* se da cuando la superficie de ruptura es más o menos plana o ondulada y la masa se mueve paralela a la superficie del terreno. Los componentes de la masa desplazada se mueven a la misma velocidad y siguen trayectorias paralelas. A medida que un deslizamiento traslacional progresa puede romperse, en particular si aumenta la velocidad. Entonces, la masa disgregada deviene un flujo.



*Ilustración 2.2. Deslizamiento traslacional (Skinner & Porter, 1992)*

## Caídas

Todas las caídas se inician con un desprendimiento de suelo o roca de una ladera muy empinada, a lo largo de una superficie en la que poco o ningún desplazamiento cortante se desarrolla. El material desciende en caída libre, saltando o rodando, el movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996).

Solo cuando la masa desplazada es socavada, las caídas son precedidas por pequeños deslizamientos o movimientos de basculamiento que separan el material de la masa no perturbada (Cruden & Varnes, 1996).

Socavamiento ocurre típicamente en suelos cohesivos o rocas al pie de escarpes que sufren el ataque de las olas o debido a la erosión de márgenes de ríos.

Las caídas con una trayectoria básicamente vertical de abrigos desarrollados en acantilados por la socavación efectuada por un río, el oleaje o la meteorización y disgregación de las rocas a su pie son consideradas colapsos (García Yagüe y García Álvarez, 1988). El material caído, una vez desparramado por la ladera, no suele experimentar nuevos movimientos. Cuando las caídas son frecuentes, los bloques se acumulan al pie de los escarpes rocosos formando canchales que ocasionalmente experimentan roturas y originan corrientes de derrubios (Van Steijn et al. 1988). El área fuente de desprendimientos es de difícil acceso.

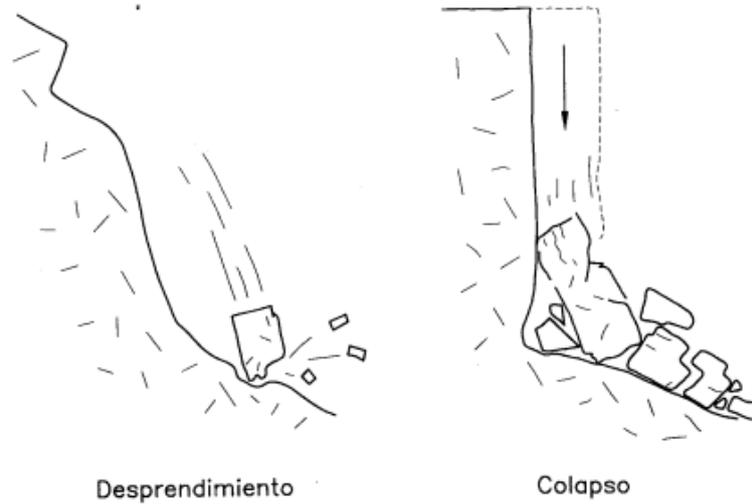


Ilustración 2.3. Mecanismos de desprendimiento y colapso (Corominas y García Yagüe, 1997)

## 2.2 Método Mora-Vahrson

La metodología utilizada consiste en la ponderación de parámetros condicionantes y desencadenantes para los tipos de movimientos en masa.

### 2.2.1 Información preliminar o secundaria

Es necesaria la recopilación de información preliminar que permita tener una base sustentable para la elaboración del presente estudio, la información a utilizarse es la siguiente:

- Cartografía base a escala 1:50 000 (IGM)
- Mapa de uso y cobertura de suelo escala 1:25 000 (IEE-MAGAP)
- Informe de sismos de la zona en estudio (IGE-PN)
- Registro de precipitaciones e intensidad de lluvia (INAMHI)
- Ortofotomosaico (SIGTIERRAS)
- Mapa Geológico (INIGEM)

## 2.2.2 Metodología de Mora-Vahrson

Dentro de la metodología se aplica la combinación de factores condicionantes y desencadenantes, los mismos que se obtienen de la observación y medición de indicadores morfodinámicos y su distribución espacio-temporal.

La combinación de los factores se realiza considerando que los movimientos en masa (deslizamientos y caídas) ocurren cuando en una ladera compuesta por una litología determinada con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos) (Mora, R. et al., 1993). Bajo estas condiciones, los externos y dinámicos, como son la sismicidad y las lluvias intensas (elementos activos) actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio, la mayoría de las veces precario, que se mantiene en la ladera (Mora, R. et al., 1993).

Es así como se considera que el grado de susceptibilidad al deslizamiento es producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo (Mora, R. et al., 1993).

$$H = (Sr \times Sh \times Sl) \times (Ts + Tp)$$

donde:

*H*: Grado de amenaza

*Sr*: Factor relieve relativo

*Sh*: Factor humedad del suelo

*Sl*: Factor litología

*Ts*: Factor de disparos por sismos

*Tp*: Factor de disparos por precipitaciones

Esta metodología por si misma resulta aplicable a países en vías de desarrollo, debido a que requieren pocas variables morfodinámicas y su aplicación es relativamente sencilla, incluye los factores más significativos desde el punto de vista de la inestabilidad de laderas, se basa en parámetros que puedan determinarse de manera ágil y económica.

Los mapas generados con esta metodología pueden ser utilizados como insumos en la toma de decisiones para los procesos de planificación del uso del terreno, planificación

urbana y de líneas vitales (Mora, R. et al., 1993), evaluaciones de amenazas por deslizamientos y en planes de gestión de riesgo.

La metodología no sustituye a los estudios geotécnicos de campo y laboratorio, necesarios para el diseño y concepción de las obras civiles y sus complementos de protección y mitigación correspondientes, y que tampoco es capaz de pronosticar el tipo de deslizamiento que podría presentarse (Mora, R. et al., 1993).

### 2.2.3 Metodología de Mora-Vahrson modificada aplicada

Los factores condicionantes y detonantes considerados para el análisis de susceptibilidad de deslizamientos y caídas se presentan en la siguiente fórmula:

$$H = S \times FC$$

$$S = (Sm \times Sc \times Sl)$$

$$FC = (Ts + Tp)$$

$$H = (Sm \times Sc \times Sl) \times (Ts + Tp)$$

donde:

*H*: Grado de amenaza de las unidades geomorfológicas

*S*: Grado de susceptibilidad

*FC*: Factores detonantes

*Sm*: Factor pendiente

*Sc*: Factor cobertura vegetal

*Sl*: Factor litología

*Ts*: Factor de disparo por sismos

*Tp*: Factor de disparo por precipitaciones

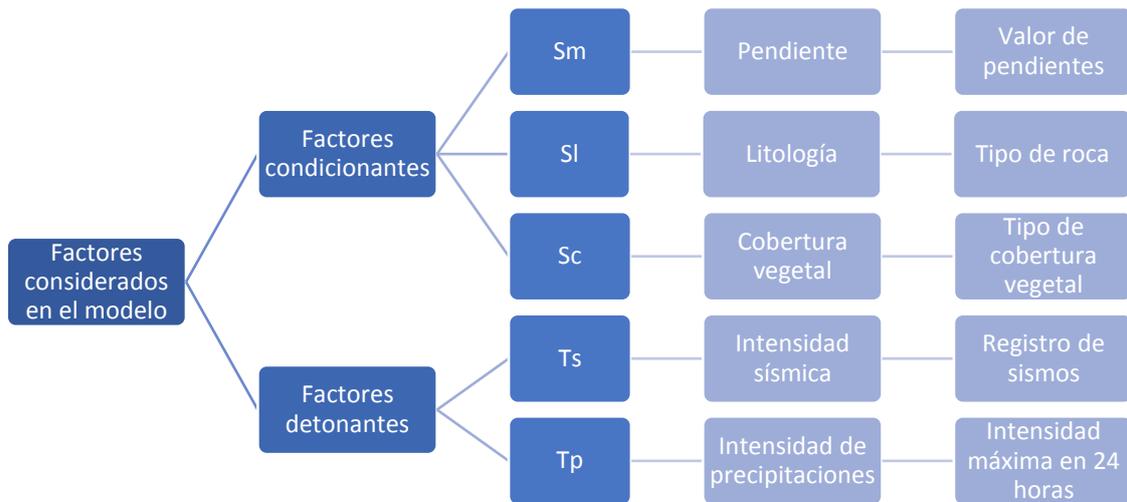


Ilustración 2.4. Factores condicionantes y detonantes considerados en el modelo

## 2.2.4 Cuantificación de la amenaza

Para la cuantificación de amenaza se utilizó la metodología correspondiente a la Metodología de Mora-Vahrson modificada, incluyendo adaptaciones de acuerdo a la información preliminar disponible para la generación del modelo.

Para su aplicación se considera dos tipos de movimiento en masa: deslizamientos y caídas; donde los factores de susceptibilidad y disparo son tratados de manera independiente.

Cabe recalcar que para deslizamientos y caídas solo se ponderan los factores condicionantes, más no los factores detonantes ya que su ponderación será la misma para ambos casos.

Los valores de ponderación para cada parámetro guardan relación con las clases determinadas durante el transcurso del proyecto. Se realiza las operaciones entre factores condicionantes para la ocurrencia de movimientos en masa por tipo de movimiento.

Posteriormente, se relaciona los factores detonantes para la categorización de la amenaza por movimientos en masa.

## Análisis de susceptibilidad

Para establecer el grado de susceptibilidad, se analizan los siguientes factores:

- Factores condicionantes:
  - Sm Factor pendiente
  - Sl Factor litológico
  - Sc Factor cobertura vegetal
- Factores de disparo:
  - Tp Precipitaciones
  - Ts Sismos

### 2.2.5 Factor pendiente (Sm)

Correspondiente a las características morfométricas de las unidades geomorfológicas, en la cual se consideran las clases de pendientes de acuerdo a la clasificación utilizada en la fotointerpretación geomorfológica.

Tabla 2.1. Categorización de pendiente

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

Fuente: Mora, R. et al., 1993

## 2.2.6 Factor litológico (SI)

Los tipos de suelo y roca juegan un papel predominante en el comportamiento dinámico de las laderas.

La litología se considera como un factor de susceptibilidad importante para la ocurrencia del fenómeno de remoción en masa. Se refiere a la composición de las unidades geomorfológicas en cuanto a su sustrato rocoso y a los depósitos superficiales. Es un factor determinante para la identificación de la amenaza por movimientos en masa, por lo que es necesario describir lo más específico posible (Mora, R. et al., 1993). Se tomará en cuenta la categorización realizada por la metodología de Mora-Vahrson.

Tabla 2.2. Categorías del factor litológico

Valor del parámetro	Litología	Características físicomecánicas típicas
1	Aluviones: gruesos, permeables, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeables. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo	Sanos con poco o ninguna meteorización, resistencia al corte: elevada, fisuras sanas sin rellenos.
2	Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático a profundidades intermedias.	Resistencia al corte: media a elevada, fracturas cizallables.
3	Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas. Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos	Resistencia al corte: moderada a media, fracturación importante.
4	Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros	Resistencia al corte: moderada a baja.
5	Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, se incluyen las categorías 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos muy elevados.	Resistencia al corte: muy baja, materiales blandos con muchos finos.

Fuente: Salazar, 1991

Un aporte importante en la definición de este parámetro lo realiza Mora-Vahrson al incluir las descripciones de los macizos rocosos y la evaluación de la propiedad geotécnica de los suelos, para lo cual incorpora cuadros para obtener la valoración de los parámetros (Mora, R. et al., 1993).

### 2.2.7 Factor cobertura vegetal ( $S_c$ )

La experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (Suárez, 1998). La vegetación con mayor densidad de follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. En hierbas y pastos la densidad y volumen del follaje actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía. Para el control de erosión se determina que árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos (Suárez, 1998). La cobertura vegetal se ha categorizado por los siguientes grupos:

Tabla 2.3. Categorías del factor de cobertura vegetal

Categoría	Calificativo	Descripción
Bosques Cultivos permanentes Manglares	Alta cobertura	<b>Bosque:</b> Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural, que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos. <b>Cultivos:</b> Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, y ofrece durante éste periodo varias cosechas.
Vegetación arbustiva Vegetación herbácea Páramos Cultivos semipermanentes Cultivos anuales Agropecuario mixto	Baja cobertura	<b>Vegetación Arbustiva:</b> Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas cuya estructura no cumple con la definición de bosque. <b>Vegetación Herbácea:</b> Vegetación dominante constituida por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección. Vegetación desarrollada en abruptos o sobre cangagua. <b>Páramo:</b> Incluye ecosistemas de páramo denso y en distintas etapas de recuperación después de disturbios antrópicos. <b>Cultivo Semipermanente:</b> Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo dura entre uno y tres años. <b>Cultivo Anual:</b> Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año. <b>Agropecuario mixto:</b> Comprende las tierras usadas para diferente clase de cultivos donde se uso está caracterizado por variedad de productos

Sin cobertura Zonas erosionadas Proceso de erosión	Sin cobertura	Áreas con poca o ninguna cobertura vegetal. Incluye playas, desiertos, gravas, salina industrial, salina natural, afloramientos rocosos y áreas erosionadas por procesos naturales o de origen antrópico
Infraestructura	Mediana cobertura (antrópica)	Establecimiento de un grupo de personas en un área determinada, incluyendo la infraestructura civil que lo complementa.

Fuente: IEE, 2015

## 2.2.8 Factor de disparo por precipitaciones ( $T_p$ )

Dentro de la metodología escogida, se considera a la intensidad de precipitación como factor de disparo. El Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INHAMI), a partir de la aplicación de la metodología de Mora–Vahrson y con base a los registros de estaciones meteorológicas determinó que a nivel nacional existe una precipitación máxima en 24 horas de 245 mm para un periodo de retorno de 100 años, a partir de este valor se presentó el cuadro para calificar el factor detonante para precipitaciones.

Tabla 2.4. Categorización del factor disparo por precipitaciones

Precipitación máximas 24 horas	Calificativo
< 100	Muy bajo
100 - 150	Bajo
150 - 200	Mediano
200 - 250	Alto
> 250	Muy alto

Fuente: Mora, R. et al., 1993

## 2.2.9 Factor de disparo por sismos ( $T_s$ )

Los movimientos en masa producidos por actividad sísmica se dan por su intensidad. Para la categorización de este factor de disparo (tabla 2.5) se basó en el cuadro comparativo entre la intensidad y la magnitud de los sismos de Mora-Vahrson (1993).

Considerando los efectos que tiene la magnitud de los sismos en la superficie se deberá seguir la siguiente ponderación para el factor de disparo por sismos.

Tabla 2.5. Categorización del factor disparo por sismicidad

Rangos Magnitud Richter	Calificativo
< 3,5	Nulo
3,5 - 4,4	Muy bajo
4,5 - 5,9	Bajo
6,0 - 6,9	Mediano
7,0 - 7,9	Alto
> 8,0	Muy alto

Fuente: IEE, 2015

### 2.2.10 Determinación del Grado de amenaza (H)

Una vez establecidos las ponderaciones de cada factor y sus respectivos coeficientes, se procede a determinar el valor y grado de amenaza para los procesos de deslizamientos y caídas.

El grado de amenaza se lo obtuvo en valores del uno al cinco, los cuales se agruparon para calificar el grado de amenaza en muy bajo, bajo, moderada, alto y muy alto.

Tabla 2.6. Calificativo del grado de amenaza para la ocurrencia de deslizamientos y caídas

Calificativo de amenaza
Muy Bajo
Bajo
Moderado
Alto
Muy Alto

Fuente: IEE, 2015



## CAPITULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Información base

Para la elaboración de los mapas se utilizó la siguiente información:

- Cartografía base a escala 1:50 000 (IGM)
- Mapa de uso y cobertura de suelo escala 1:25 000 (IEE-MAGAP)
- Informe de sismos de la zona en estudio (IGE-PN)
- Registro de precipitaciones e intensidad de lluvia (INAMHI)
- Ortofotomosaico (SIGTIERRAS)
- Mapa Geológico (INIGEM)

#### 3.2 Factor pendiente (Sm)

La ponderación para deslizamientos se basa en la premisa que a mayor pendiente es mayor la probabilidad de que ocurra un deslizamiento (Mora, R., 2004).

Dentro de la ponderación para deslizamientos se consideran las pendientes >12%, las pendientes con valores inferiores a éste serán consideradas como una susceptibilidad nula, mientras que para caídas se consideran a partir de pendientes >40% (PMA, 2007)

Tabla 3.1. Ponderación – Factor pendiente (SM)

Rangos (%)	Ponderación	
	Deslizamientos (SM)	Caídas (SM_C)
0 - 12	0	0
12 - 25	1	0
25 - 40	2	0
40 - 70	3	1
70 -100	4	2
100 - 150	5	3
150 - 200	5	4
>200	5	5

Calificativo susceptibilidad  
Nulo = 0 ; Muy bajo = 1 ; Bajo = 2 ; Moderado = 3 ; Alto = 4 ; Muy Alto = 5

Fuente: IEE, 2015

### 3.2.1 Mapa de pendientes.

A partir del MDE (Modelo de elevación) con tamaño de celda 5x5m se creó el mapa de pendientes, utilizando la herramienta SLOPE. Donde para cada celda, esta herramienta calcula la tasa máxima de cambio del valor de esa celda a sus vecinos. Básicamente, el cambio máximo en la elevación sobre la distancia entre la celda y sus ocho vecinos identifica el descenso cuesta abajo más empinado desde la celda.

Las pendientes más empinadas están sombreadas en grises en el ráster de pendiente de salida.

Esta herramienta se encuentra en ArcToolBox en: Arctoolbox > spatial analyst tools > surface > slope.

Para emplearlo con la metodología, las unidades de medida de los datos de salida de la pendiente serán en porcentaje.

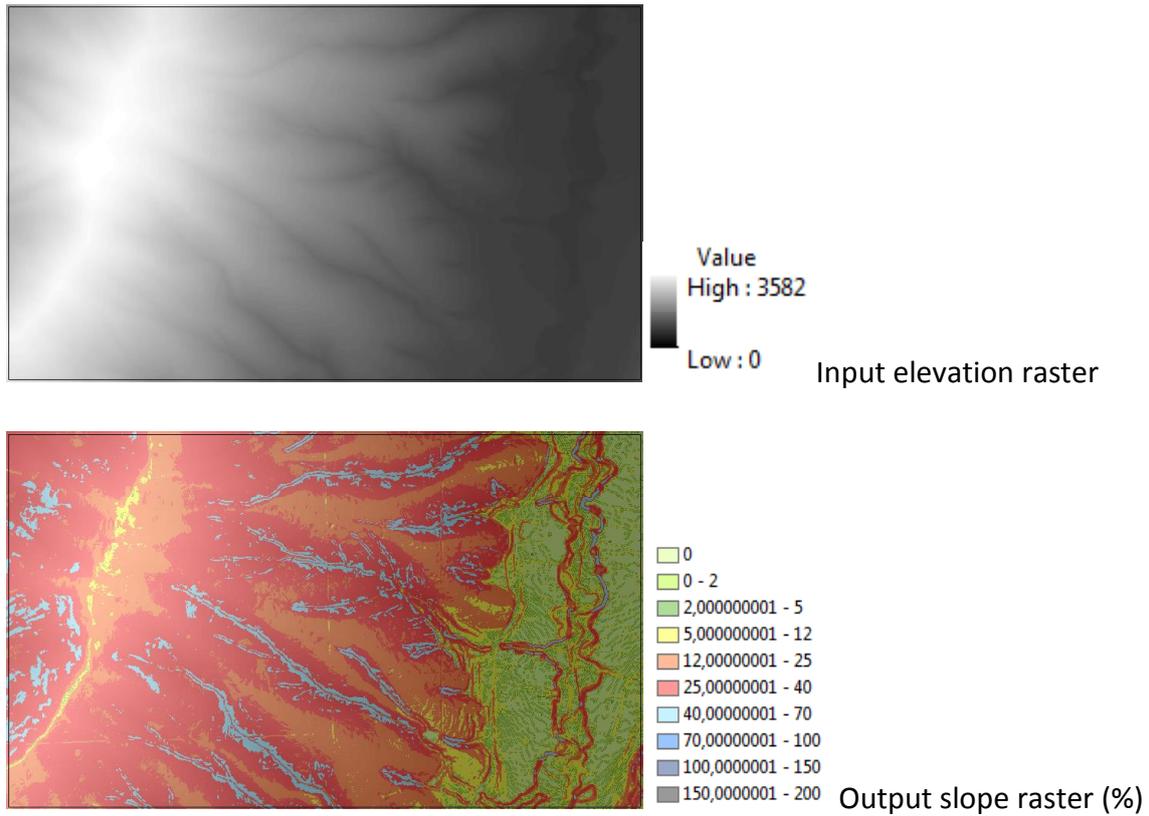


Ilustración 3.1. Representación de pendientes

Para clasificarlo y ponderarlo dentro de los parámetros propuestos por la metodología se usó la herramienta RECLASSIFY

Esta herramienta se encuentra en ArcToolBox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify

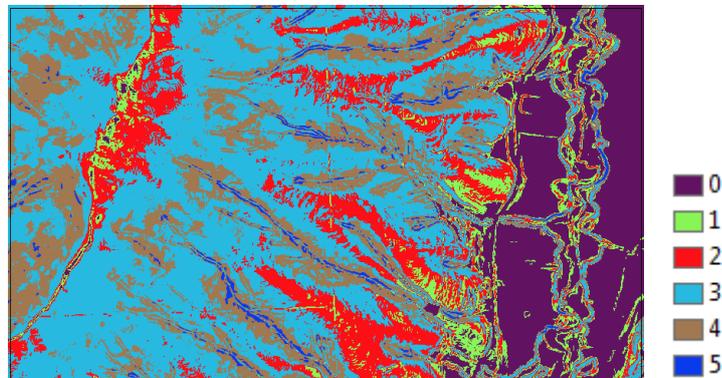


Ilustración 3.2. Ponderación factor pendientes – Deslizamientos

Se realizó el mismo procedimiento para la reclasificación para caídas con diferente ponderación.

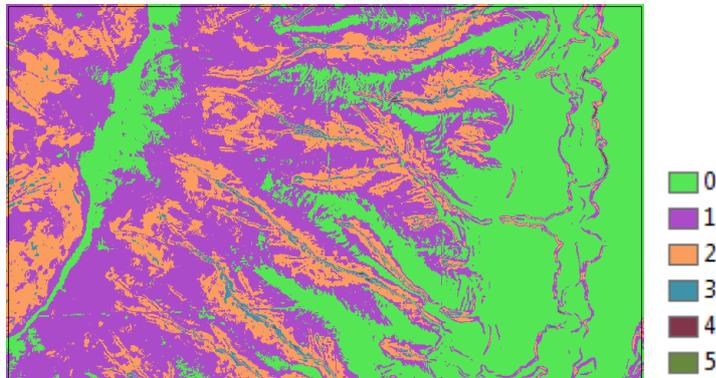


Ilustración 3.3. Ponderación factor pendientes – Caídas

### 3.3 Factor litológico (SI)

Se ponderó el factor litológico de diferente manera para deslizamientos y caídas

Tabla 3.2. Ponderación – Factor litológico (SL)

Formación geológica	Litología	Ponderación	
		Deslizamientos (SL)	Caídas (SL_C)
Depósito Aluvial	Gravas, arenas en matriz areno-arcilloso	5	1
Depósito Coluvial	Arenas de grano medio a grueso, gravas y cantos subangulares a angulares	4	2
Formación Cangahua	Depósitos de toba volcánica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, pómez y lapilli	3	3

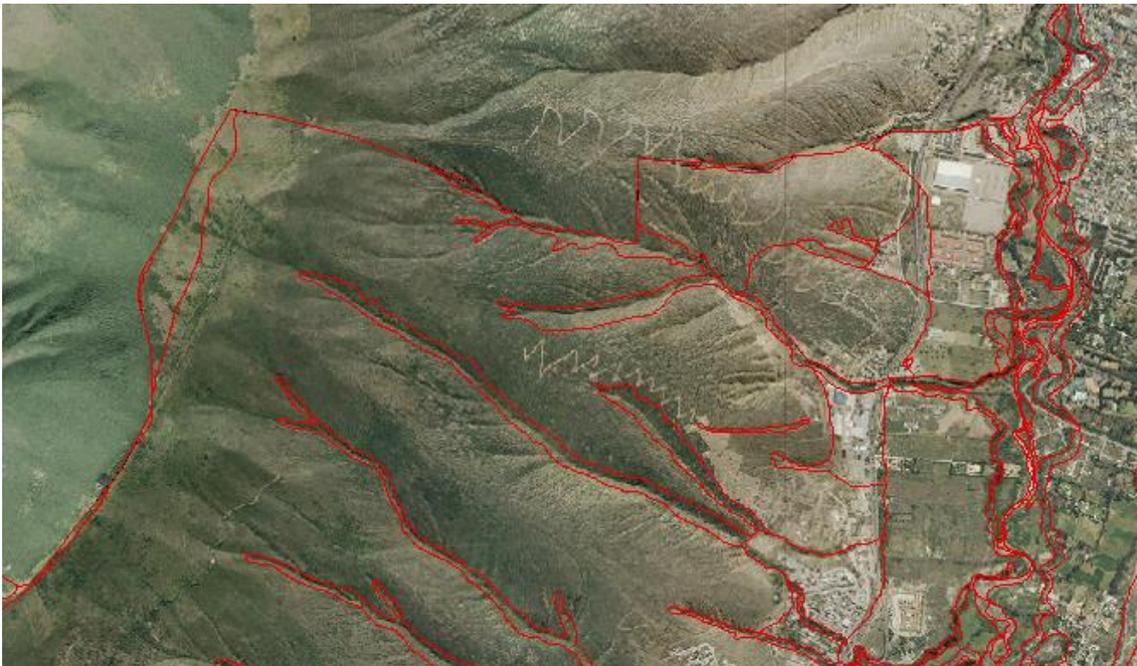
Calificativo susceptibilidad  
Nulo = 0 ; Muy bajo = 1 ; Bajo = 2 ; Moderado = 3 ; Alto = 4 ; Muy Alto = 5

Fuente: IEE, 2015

#### 3.3.1 Mapa de Geomorfología

A partir de las ortofotos se realizó fotointerpretación mediante la utilización de un SIG, tomando como material de referencia cartas geológicas, topográficas y el MDT, en las ortofotos se interpreta el tipo de geoforma en base a la simetría, colores, tonos, texturas, formas y se codifican las diferentes unidades, generando así una geodatabase.

Fotointerpretación digital Es la técnica que permite la obtención de información primaria, bajo la premisa de que los aspectos geológicos: tipo de roca, formaciones superficiales, tectónica; aspectos geomorfológicos: morfología, morfometría, morfodinámica; aspectos hidrográficos: densidad, forma del drenaje; uso del suelo; movimientos en masa; infraestructura, etc., son claramente identificables y susceptibles de ser analizados a través de la observación estereoscópica. La misma se fundamenta en conocimientos integrales que posibilitan un análisis sistémico de manera contextual. La finalidad es llegar al entendimiento de la existencia de cada unidad, sus características y su relación con las unidades que la rodean, ya que en el espacio geográfico todas las variables se interrelacionan en un sistema ordenado y coherente.



*Ilustración 3.4. Fotointerpretación de Geomorfología*

El proceso de fotointerpretación digital cubre los siguientes pasos:

- Estudio y definición de unidades ambientales, de acuerdo al libro y mapa “Los Paisajes Naturales del Ecuador” de A. Winckell (1997), que proveen un marco general para la interpretación ya que determina la variabilidad de las unidades geomorfológicas que pueden encontrarse en su interior, relacionadas con su

génesis, material parental y otras características, en base a un análisis sistémico. Adicionalmente se debe tener un conocimiento cabal de la litología, tectónica y evolución geológica general del área a estudiar.

- Demarcación de la red de drenaje: Es importante en las zonas de cambio del tipo de roca.
- Definición y caracterización de las unidades geomorfológicas: La asignación del tipo de roca a la unidad geomorfológica se basa en el patrón del drenaje, y en los datos geológicos secundarios recopilados.
- Ingreso de las variables a la geodatabase de manera simultánea a la interpretación digital.

La interpretación digital, realizada directamente en pantalla, debe cumplir los siguientes pasos:

- Digitalización a escala estándar mediante líneas que aparezcan suavizadas y tengan concordancia con el MDT y las curvas de nivel. Se debe tener en cuenta la red hidrográfica y demás elementos relevantes de la cartografía base.
- Enlace de las unidades geomorfológicas entre el aspecto gráfico con el alfanúmerico, codificación realizada simultáneamente a la fotointerpretación digital. Para tal fin, se utiliza la geodatabase según el diseño de la siguiente tabla.

Tabla 3.3. Diseño campos geodatabase - Morfología

OBJECTID	Pendiente	área
U_genet	R_pendient	AMENAZA
U_morfol	Geología	
Cod	Litología	

A partir de la hoja 84 – NW, con nombre EL QUINCHE del mapa geológico del Ecuador, escala 1:50 000, se localizó el área de estudio y se diferenció cada una de las formaciones y símbolos geológicos, además se obtuvo mayor información de la litología de la breve explicación de la geología en la misma hoja.

El levantamiento geológico fue realizado por el Dr. R. Bristow del Instituto de Ciencias Geológicas de Londres, Ing. K. Burgos de la Dirección General de Geología y Minas, en el año 1974.

GEOMORFOLOGIA									
OBJEC	Cod	U genet	U morfol	Pendiente	R pendiente	Geología	Litología	area	
3	Vilv	VOLCANICO	Vertiente de llanura	Muy Fuerte	70 a 100 %	Formacion Cangahua	Depositos de toba volcanica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, p	39168,36	
4	Br	EROSIVO	Barranco	Media a Fuerte	25 a 40 %	Formacion Cangahua	Depositos de toba volcanica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, p	16843,35	
5	Br	EROSIVO	Barranco	Media a Fuerte	25 a 40 %	Formacion Cangahua	Depositos de toba volcanica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, p	8100,016	
6	Br	EROSIVO	Barranco	Muy Fuerte	70 a 100 %	Formacion Cangahua	Depositos de toba volcanica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, p	104596,4	
7	Br	EROSIVO	Barranco	Fuerte	40 a 70 %	Formacion Cangahua	Depositos de toba volcanica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, p	5942,797	
8	Et	DEPOSICIONAL	Escarpe de terraza	Muy Suave	2 a 5 %	Depositos aluviales	Gravas, arenas en matriz areno-arcilloso	3019,325	
9	Et	DEPOSICIONAL	Escarpe de terraza	Fuerte	40 a 70 %	Depositos aluviales	Gravas, arenas en matriz areno-arcilloso	11675,92	
12	Can	DENUDATIVO	Coluvion antiguo	Media	12 a 25 %	Depositos coluviales	Arenas de grano medio a grueso, gravas y cantos subangulares a angulares	4931,374	
15	Tm	DEPOSICIONAL	Terraza media	Muy Suave	2 a 5 %	Depositos aluviales	Gravas, arenas en matriz areno-arcilloso	30404,48	
17	Br	EROSIVO	Barranco	Fuerte	40 a 70 %	Formacion Cangahua	Depositos de toba volcanica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, p	96518,74	
18	Br	EROSIVO	Barranco	Fuerte	40 a 70 %	Formacion Cangahua	Depositos de toba volcanica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, p	453214,3	
21	Et	DEPOSICIONAL	Escarpe de terraza	Escarpada	100 a 150 %	Depositos aluviales	Gravas, arenas en matriz areno-arcilloso	4247,159	
22	Et	DEPOSICIONAL	Escarpe de terraza	Escarpada	100 a 150 %	Depositos aluviales	Gravas, arenas en matriz areno-arcilloso	83857,40	

Una vez definidas las unidades de litología se convirtió la clase de entidad shapefile a un dataset ráster

Esta herramienta se encuentra en ArcToolBox > Conversion Tools > To Raster > Feature to Raster

Para reclasificarlo dentro de los parámetros propuestos por la metodología se usó la herramienta RECLASSIFY

Esta herramienta se encuentra en ArcToolBox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify



Ilustración 3.5. Ponderación factor litológico – Deslizamientos

Se realizó el mismo procedimiento para la reclasificación para caídas con diferente ponderación, según la metodología.



Ilustración 3.6. Ponderación factor litológico – Caídas

### 3.4 Factor cobertura vegetal (Sc)

Para la generación del modelo, con la base de datos de uso y cobertura del suelo, se utiliza las mismas ponderaciones de cobertura vegetal para deslizamientos y caídas.

Tabla 3.4. Ejemplos de ponderaciones del parámetro cobertura vegetal (Sc)

Cobertura Vegetal			
Categoría	Cobertura	Uso	Ponderación SC
Plantación forestal	Eucalipto	Protección o producción	1
	Pino	Protección o producción	1
Vegetación arbustiva	Matorral húmedo medianamente alterado	Conservación y protección	3
	Matorral seco muy alterado	Conservación y protección	3
	Matorral seco poco alterado	Conservación y protección	3
Mosaico agropecuario	Misceláneo de frutales	Agropecuario mixto	3

Pastizal	Pasto cultivado	Pecuario	3
Vegetación herbácea	Vegetación herbácea seca poco alterada	Conservación y producción	3
Área poblada	Área en proceso de urbanización	Antrópico	4
	Centro poblado	Antrópico	4
Infraestructura antrópica	Complejo educacional	Antrópico	4
	Complejo industrial	Antrópico	4
	Complejo recreacional	Antrópico	4
	Granja avícola	Avícola	4
Cultivo	Maíz	Agrícola	4
Mosaico agropecuario	Misceláneo de ciclo corto	Agropecuario mixto	4
	Misceláneo de hortalizas	Agropecuario mixto	4
Infraestructura antrópica	Subestación eléctrica	Antrópico	4
Área poblada	Urbano	Antrópico	4
Vegetación herbácea	Vegetación herbácea seca medianamente alterada	Conservación y producción	4
	Vegetación herbácea seca muy alterada	Conservación y producción	4
Erial	Área en proceso de erosión	Tierras improductivas	5
	Área erosionada	Tierras improductivas	5

Fuente: IEE – MAGAP, 2015

### 3.4.1 Mapa de cobertura vegetal.

Del proyecto “GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1: 25 000”, elaborado en diciembre del año 2013, por el IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano), se tomó la cartografía de Cobertura y Uso de la Tierra del Distrito Metropolitano de Quito, Provincia de Pichincha, que fue realizada mediante la interpretación interdependiente sobre un mosaico de ortofotos e imágenes con fecha de toma de la información de los años de 2010-2011. A continuación, se explicará brevemente la metodología utilizada.

La estructura de datos preliminar (tabla de atributos) de la capa de Cobertura, Uso de la Tierra, parcelas, riego.

- Mejoramiento de Ortofotos. Las ortofotos, son sometidas a procesos de mejora, según la calidad de las mismas, con la finalidad de resaltar los colores, tonos, texturas y formas de los elementos de las diferentes coberturas.
- Interpretación Visual en Pantalla y Codificación. Las ortofotos se someten a interpretación visual en la pantalla de un computador, mediante la utilización de un GIS, en las ortofotos se interpreta la cobertura y uso de la tierra, se define el tamaño de parcelas, zonas bajo riego en base a la simetría, colores, tonos, texturas, formas y se codifican las diferentes unidades de acuerdo a la leyenda temática pre-establecida, obteniéndose como producto los mapas preliminares de Cobertura, Uso de la Tierra, tamaño de parcelas y riego.

A partir de este shapefile de Cobertura Vegetal, se localizó el área de estudio y se intersecó con el shapefile de geomorfología de elaboración propia con el fin de extraer las características de la cobertura vegetal y posteriormente aplicar el valor de ponderación correspondiente.

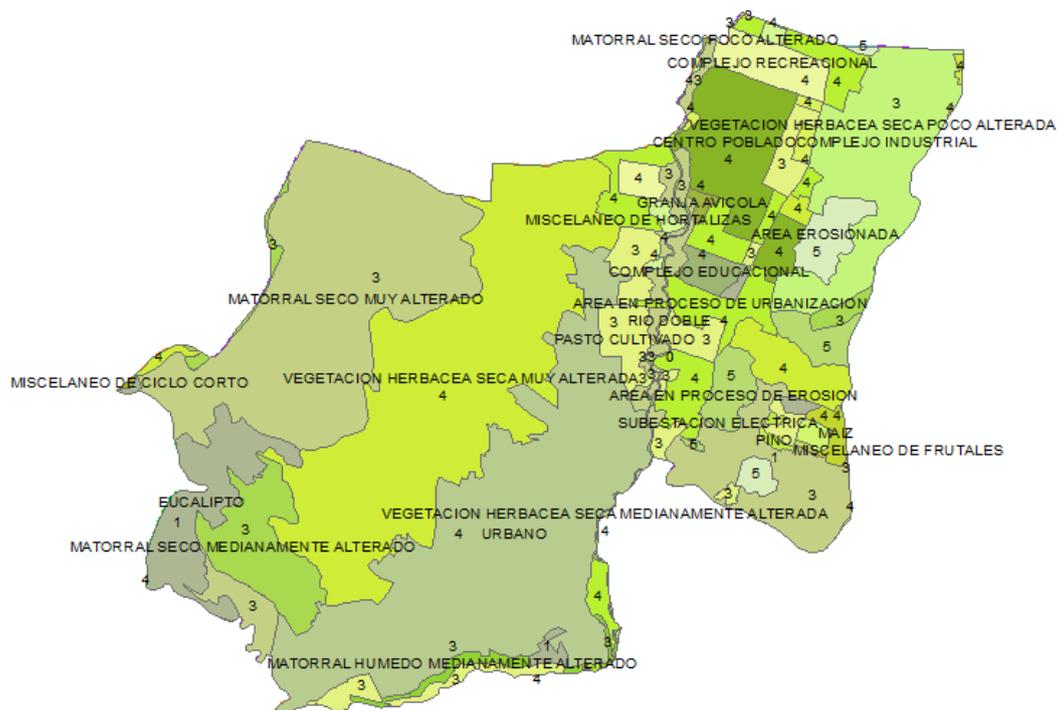


Ilustración 3.7. Cobertura Vegetal Parroquia Pomasqui

Una vez definidos los valores de acuerdo a la ponderación propuesta por la metodología, se convirtió la clase de entidad shapefile a un dataset ráster

Esta herramienta se encuentra en ArcToolBox > Conversion Tools > To Raster > Feature to Raster

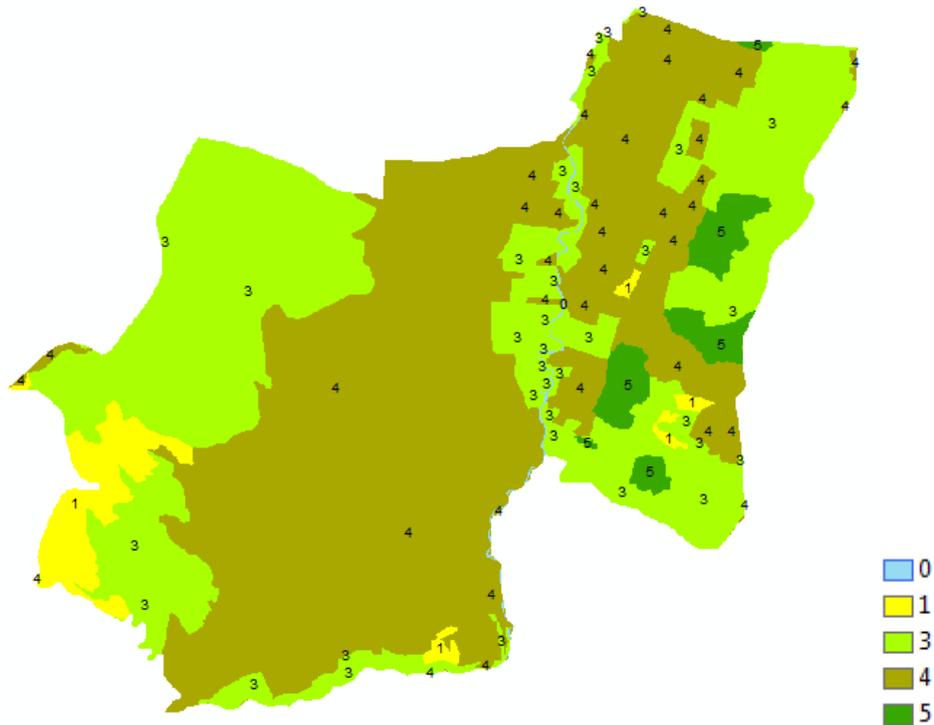


Ilustración 3.8. Ponderación factor Cobertura Vegetal

### 3.5 Grado de susceptibilidad para movimientos en masa

Se calcula el grado de susceptibilidad para movimientos en masa, utilizando los campos ponderados de cada factor condicionante, utilizando la siguiente fórmula:

$$S = S_m \times S_l \times S_c$$

Considerando que existen dos ponderaciones diferentes para Deslizamientos y Caídas, se realizaron las multiplicaciones independientemente.

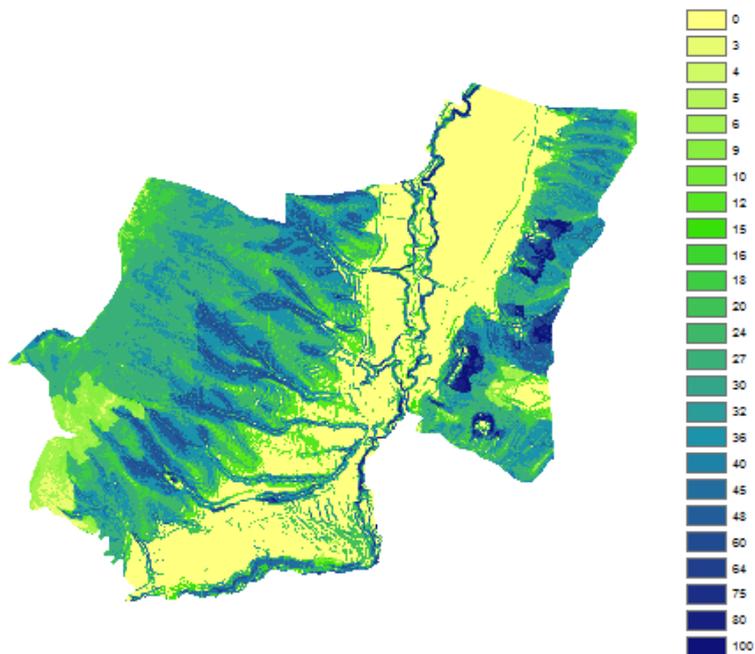
La fórmula de los factores detonantes para la ocurrencia de los movimientos en masa es la siguiente:

$$FC = T_s + T_p$$

Tomando en cuenta que para deslizamientos los valores máximos de los factores:

- Pendiente: 5
- Cobertura vegetal: 5
- Litología: 5

La respectiva multiplicación que corresponde a susceptibilidad de deslizamientos presentó como valores mínimos y máximos de 0 y 100 correspondientemente.



*Ilustración 3.9. Susceptibilidad a Deslizamientos*

Por otro lado, para caídas los valores máximos de los factores han sido:

- Pendiente: 5
- Cobertura vegetal: 5
- Litología: 3

La respectiva multiplicación que corresponde a susceptibilidad de caídas presentó como valores mínimos y máximos de 0 y 75 correspondientemente.

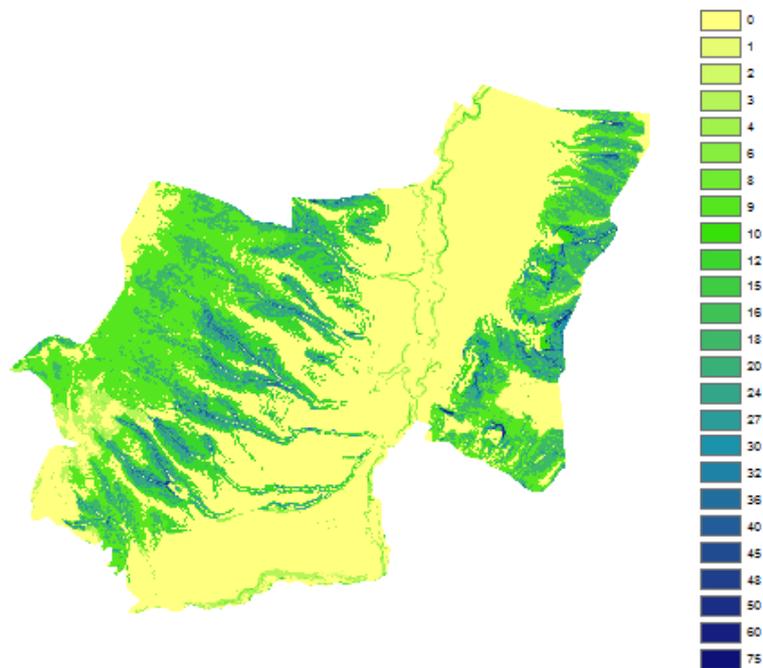


Ilustración 3.10. Susceptibilidad a Caídas

### 3.6 Factor de disparo por precipitaciones (Tp)

Dentro de la metodología escogida, se considera a la intensidad de precipitaciones como factor de disparo. El Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INHAMI), a partir de la aplicación de la metodología de Mora–Vahrson (1993) y con base a los registros de estaciones meteorológicas determinó que a nivel nacional existe una precipitación máxima en 24 horas de 245mm para un periodo de retorno de 100 años, a partir de este valor se presentó el cuadro para calificar el factor detonante para precipitaciones

Tabla 3.5. Categorización del factor disparo por precipitaciones

Precipitación máximas 24 horas, Tr 100 a (mm)	Calificativo	Ponderación
< 100	Muy bajo	1
100 - 150	Bajo	2
150 - 200	Mediano	3
200 - 250	Alto	4
> 250	Muy alto	5

Fuente: IEE, 2015

### 3.6.1 Mapa de Precipitaciones

De acuerdo a la metodología se requiere el mapa de precipitaciones de los valores máximos anuales para una duración de 24 horas.

Por lo cual se consideraron los registros de precipitación de las estaciones meteorológicas del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología), del periodo 1981 – 2010 y se delimitaron los datos dentro de la Subcuenca del Río Guayllabamba, considerando que existen ciertas limitaciones en lo que refiere a existencia y disponibilidad de información meteorológica en el área del estudio, con estos datos se creó una tabla en Excel, la misma que se importó en ArcMap.

Para el análisis de los 64 datos de precipitación se utilizó el software estadístico Statgraphics Centurion.

Tabla 3.6. Estaciones meteorológicas

No. Estación	Código	Estación	Este (m)	Norte (m)	Altura (m)	VALOR_MAX (mm)
1	M002	LA_TOLA	793124	9974615	2479	79,20
2	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	84,50
6	M009	LA_VICTORIA_INERHI	798621	9994129	2240	56,20
7	M022	TABACUNDO_H.MOJANDA	807571	10005688	2940	206,70
8	M023	OLMEDO-PICHINCHA	825692	10015691	3120	131,90
9	M024	QUITO_INAMHI-INNAQUITO	779647	9980274	2789	71,60
10	M046	PACHIJAL_MASHPI	730325	10017851	560	143,00
11	M054	QUITO-OBSERVATORIO	777903	9976198	2820	45,70
12	M055	QUITO_AEROPUERTO-DAC	779273	9984243	2811	76,20
13	M111	MALCHINGUI_INAMHI	796186	10006558	2840	61,70
14	M112	CONOCOTO	781176	9967384	2520	92,60
15	M113	UYUMBICHO	775507	9956852	2700	124,00
16	M114	TUMBACO	788222	9976295	2350	73,60
17	M115	SAN_ANTONIO_DE_PICHINCHA	785464	9999105	2430	47,80
18	M117	MACHACHI	770803	9943779	2910	42,90
19	M118	INIAP-SUPLEMENTARIA_PORCINOS	777651	9959418	2650	74,00
20	M120	COTOPAXI-MINITRAK	769381	9931195	3590	49,80
21	M121	EL_REFUGIO-COTOPAXI	785328	9927386	4570	61,30
22	M210	VINDOBONA	788069	9999016	2060	65,30



23	M211	LA_VINNA_DE_CHESPI	775294	10015404	1500	70,80
24	M213	LA_PERLA	757706	10021595	1260	83,50
25	M214	PERUCHO_INECEL	786881	10012134	1830	53,60
26	M216	SAN_MIGUEL_DE_LOS_BANCOS	734510	10003031	1140	177,00
27	M318	APUELA-INTAG	776750	10039267	1583	108,50
1	M325	GARCIA_MORENO	764105	10025979	1474	110,30
28	M326	SELVA_ALEGRE-IMBABURA	769716	10027254	1594	83,30
29	M327	CHONTAL_BAJO(GUAYLL.DJ_ALAMBI)	750516	10026244	700	126,60
30	M335	LA_CHORRERA	775086	9977140	3165	140,00
31	M336	PACTO	748516	10015865	1160	185,80
32	M337	SAN_JOSE_DE_MINAS	788317	10019498	2440	76,20
33	M338	PERUCHO_INAMHI	787035	10012634	1820	47,10
34	M339	NANEGALITO	757781	10007068	1610	129,60
35	M341	GUAYLLABAMBA	795832	9993791	2150	100,30
36	M342	COTOCOLLAO	778807	9987139	2870	54,40
37	M343	EL_QUINCHE-PICHINCHA	801004	9986991	2605	57,50
38	M344	CANGAHUA	815332	9993576	3140	60,40
39	M345	CALDERON	786815	9989089	2690	61,60
40	M346	YARUQUI_INAMHI	798801	9982303	2600	73,30
41	M347	PUEMBO	794333	9980821	2460	65,10
42	M349	HDA.PINANTURA(LA_COCHA)	794093	9952556	3250	49,20
2	M352	SANGOLQUI	785151	9962637	2480	72,40
43	M353	RUMIPAMBA-PICHINCHA	787320	9952232	2940	107,10
44	M356	CANAL_4_TV.	776130	9981424	3500	64,60
45	M357	CANAL_10_TV.	775467	9981398	3780	72,60
46	M358	CALACALI_INAMHI	776854	9999880	2810	76,90
47	M359	CAYAMBE	818117	10005609	2840	100,10
48	M361	NONO	769748	9992833	2710	119,40
49	M364	LORETO_PEDREGAL	783301	9941818	3465	137,00
50	M524	CHONTAL_ALTO	753517	10030223	1340	109,80
51	M532	RIO_PITA-HDA.PEDREGAL	787430	9943255	3600	31,00
52	M566	ASCAZUBI_INAMHI	801828	9991375	2580	42,00
53	M572	CUMBAYA	786767	9978766	2370	60,90
54	M574	HDA.JERUSALEN	794144	9999312	2300	26,50
55	M577	CAJAS_PEDREGAL	792553	9929524	3830	51,50
56	M587	NANEGAL	759187	10016453	1180	116,90
57	M605	COCHASQUI-HDA._INAMHI	799023	10005825	2960	44,40
58	M606	QUITO-U.CENTRAL	777645	9977792	2870	74,50
59	M607	MANDURIACO_CHICO	743811	10031401	1000	145,30

60	M612	GUAYCUIYACU	742601	10018000	1720	144,00
3	M621	CUELLAJE	775484	10044191	1890	72,70
61	M622	RIO_PITA_AJ_SALTO	785131	9945120	3360	61,20
62	M721	MESA_MIRAVALLE(DEL_CHONTAL)	751794	10024579	960	116,00
63	M730	LLULLUCHIS	762633	9931890	3410	46,00
64	M913	HDA.MI_CIELO(PV18)	777192	9981653	3173	131,10

Fuente: INAMHI

Se realizaron diferentes pruebas de normalidad: Chi-Cuadrado y Shapiro-Wilk, indicando un valor-P menor a 0,05 por lo que se puede rechazar la idea de que los valores máximos de precipitaciones provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 3.7. Pruebas de normalidad - Precipitación máxima en 24 horas

<b>Pruebas de Normalidad para VALOR MAX</b>		
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Chi-Cuadrado	43,5	0,000405692
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,913098	0,000125591
Valor-Z para asimetría	2,13986	0,0323662

Se puede observar en la ilustración 3.11., que el histograma se acumula en la zona izquierda de la curva, observándose que no sigue una distribución normal, ratificando las anteriores pruebas de normalidad realizadas.

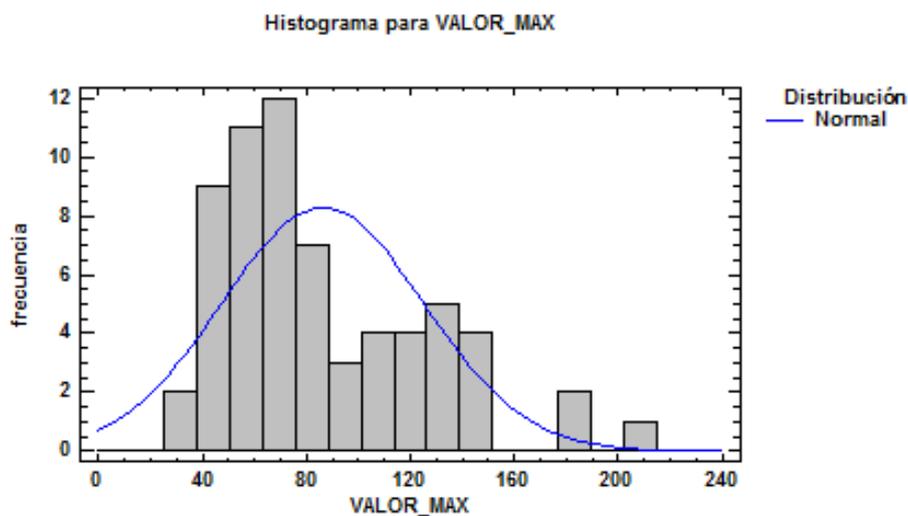


Ilustración 3.11. Histograma - Precipitación máxima en 24 horas

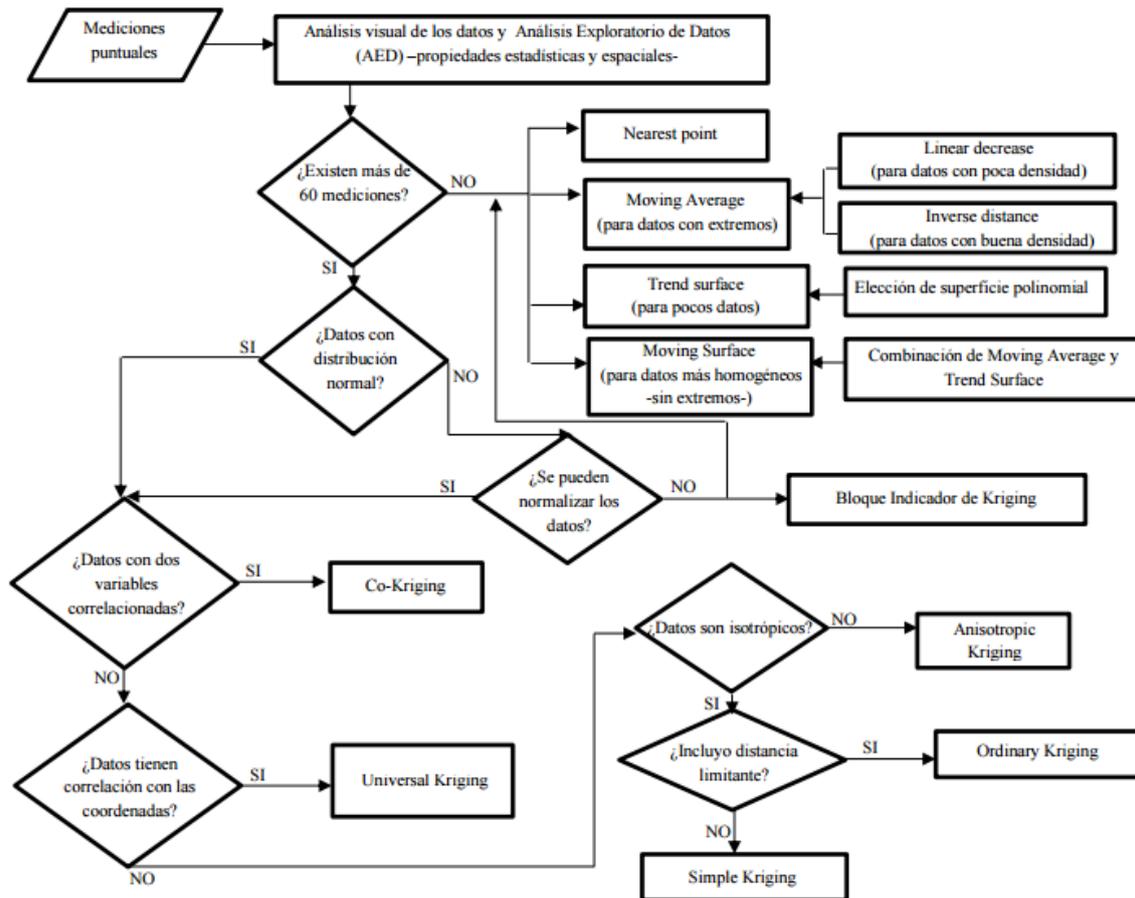


Ilustración 3.12. Flujoograma que indica el mecanismo para elegir el método de interpolación

Fuente: Adaptado de Dalence, S. (2012)

De acuerdo al flujoograma de la ilustración 3.12., que indica el mecanismo para elegir el método de interpolación, se decidió utilizar el método IDW (Ponderación de distancia inversa), dando como resultado:

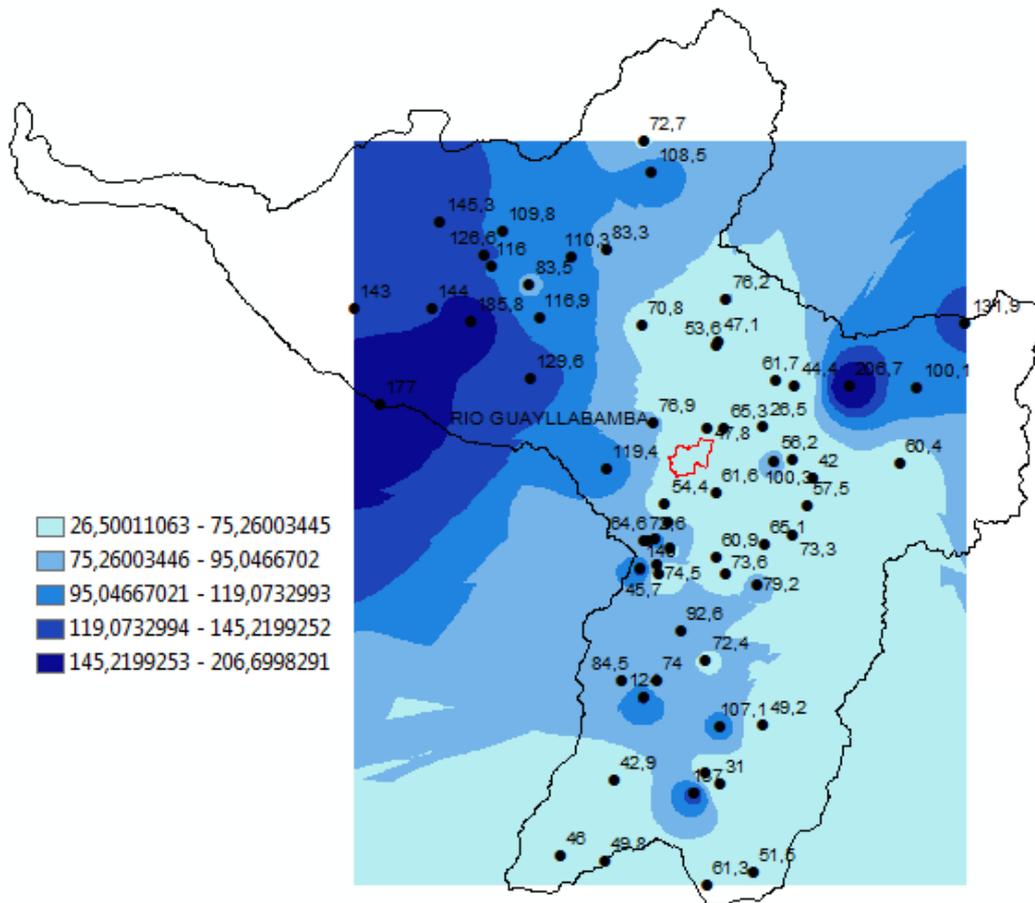


Ilustración 3.13. Interpolación de Precipitaciones

Los valores mínimos y máximos de precipitación máxima en 24 horas, son 26,5mm y 206,7mm correspondientemente, los cuales después de ser interpolados se ponderan de acuerdo a la metodología. Cabe indicar que las ponderaciones serán las mismas para el análisis de deslizamientos y caídas.

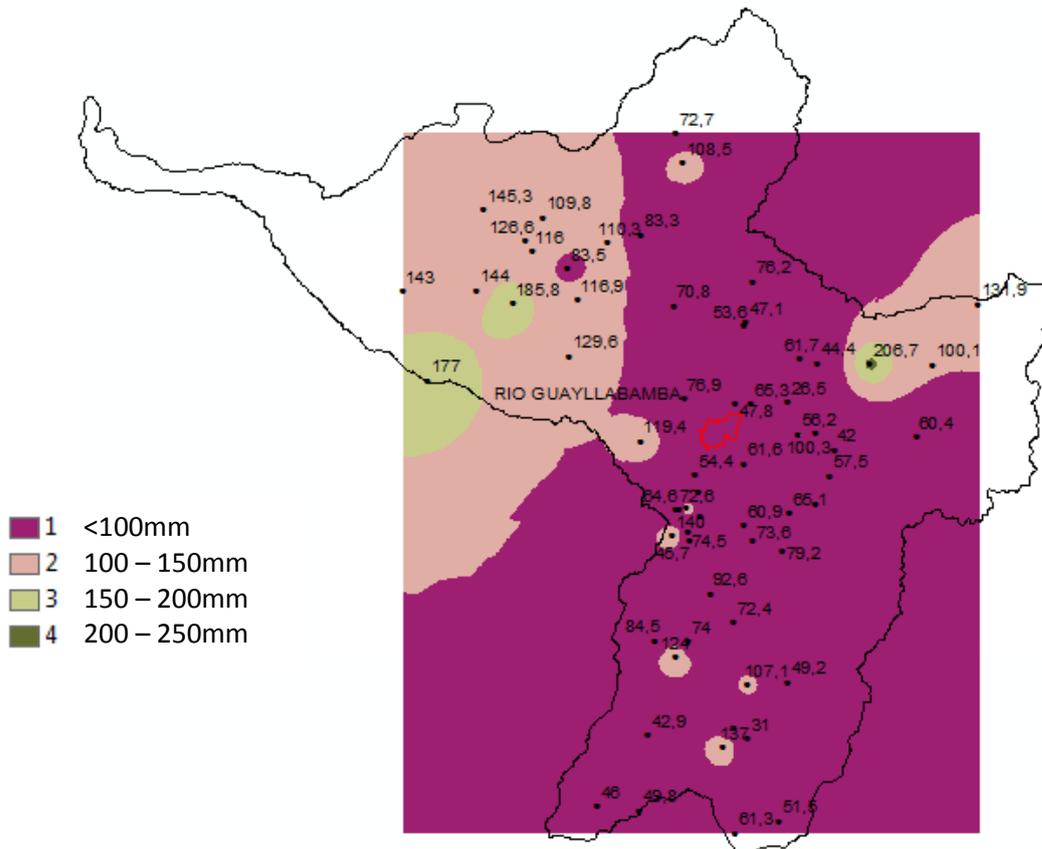


Ilustración 3.14. Interpolación de Precipitaciones Reclasificado

Una vez ponderado, se recortará el área de interés. Donde las precipitaciones se encuentran en la categoría 1 de la metodología, ya q ha presentado valores <100mm.

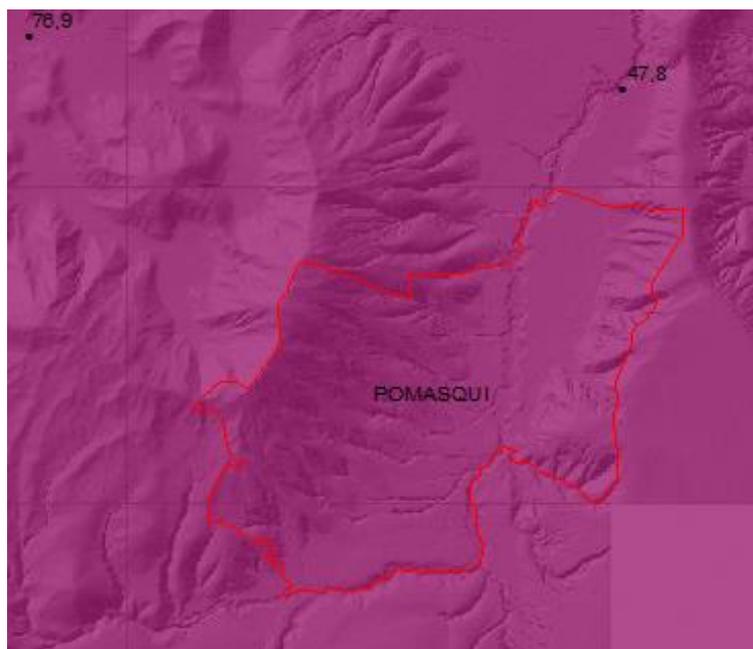


Ilustración 3.15. Precipitaciones Reclasificado de Pomasqui

### 3.7 Factor de disparo por sismos (Ts)

Los movimientos en masa producidos por actividad sísmica se dan por su intensidad. Para la categorización de este factor de disparo se basó en el cuadro comparativo entre la intensidad y la magnitud de los sismos de Mora-Vahrson (1993).

Considerando los efectos que tiene la magnitud de los sismos en la superficie se deberá seguir la siguiente ponderación para el factor de disparo por sismos.

Tabla 3.8. Categorización del factor disparo por sismicidad

Rangos Magnitud Richter	Calificativo	Ponderación
< 3,5	Nulo	0
3,5 - 4,4	Muy bajo	1
4,5 - 5,9	Bajo	2
6,0 - 6,9	Mediano	3
7,0 - 7,9	Alto	4
> 8,0	Muy alto	5

Fuente: IEE, 2015

#### 3.7.1 Mapa de Sismos

A partir de los registros de sismos proporcionados por el Instituto Geofísico – EPN en su página web oficial, se recopilieron datos durante el periodo 1901 – 2015. Se realizó la misma delimitación de los datos dentro de la Subcuenca del Río Guayllabamba, y se obtuvieron 93 registros dentro del área de estudio. Se trataron los datos de la misma manera que para precipitaciones.

Se realizaron las pruebas de normalidad: Chi-Cuadrado y Shapiro-Wilk, debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que Magnitud proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 3.9. Pruebas de normalidad - Sismos

**Pruebas de Normalidad para Magnitud**

Prueba	Estadístico	Valor-P
Chi-Cuadrado	278,215	0,0
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,703635	0,0
Valor-Z para asimetría	4,07584	0,0000458725

Se puede observar en la ilustración 3.16., que el histograma se acumula en la zona izquierda de la curva, observándose que no sigue una distribución normal, ratificando las anteriores pruebas de normalidad realizadas.

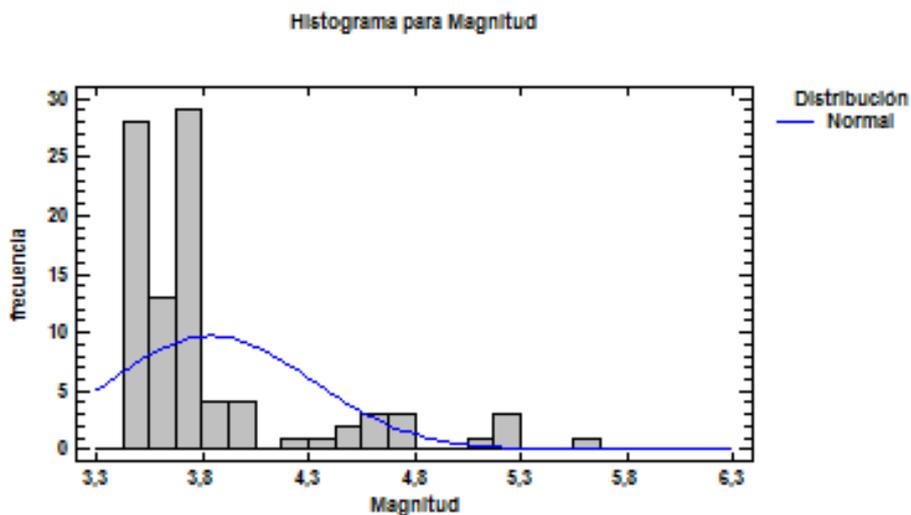


Ilustración 3.16. Histograma – Sismos

Con lo cual se concluye que los datos de Magnitud de los sismos no siguen una distribución normal si no una distribución asimétrica positiva.

De acuerdo al flujograma de la ilustración 3.12., que indica el mecanismo para elegir el método de interpolación, se decidió utilizar el método IDW (Ponderación de distancia inversa), dando como resultado:

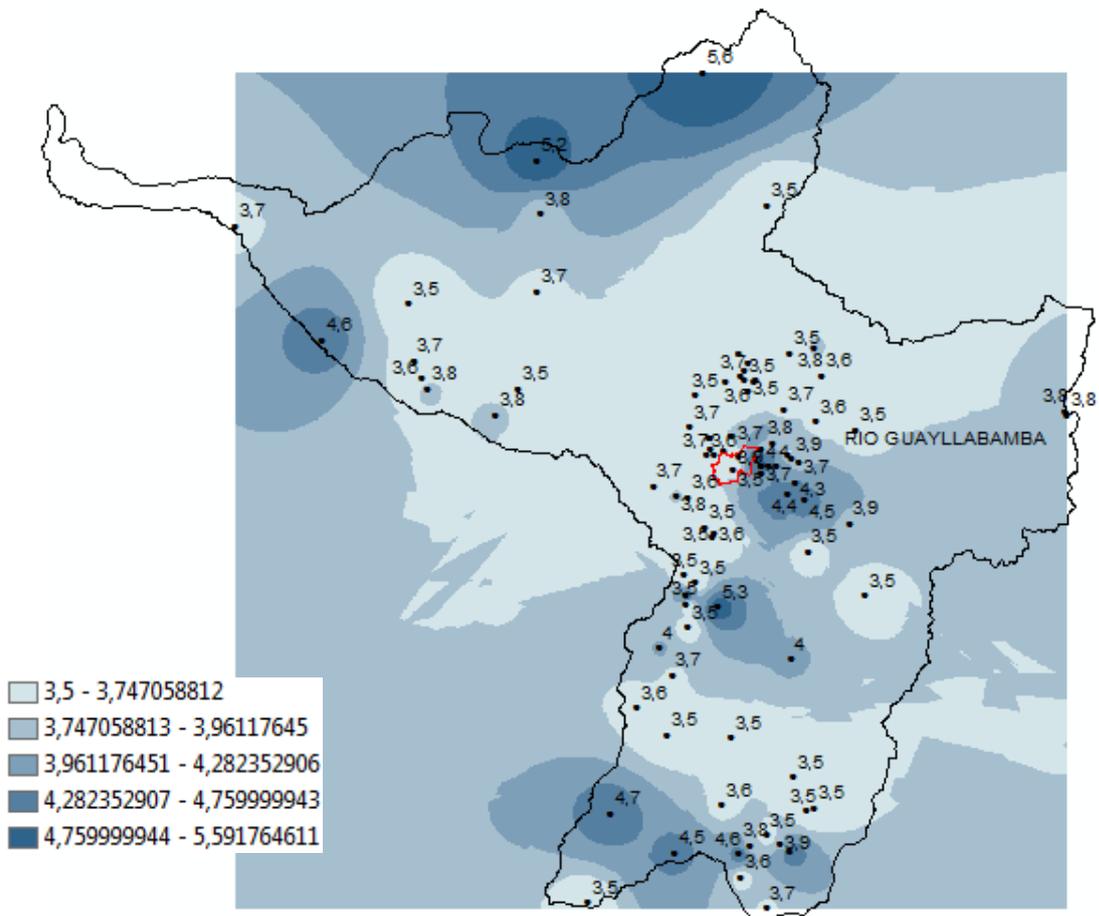


Ilustración 3.17. Interpolación de Sismos

Los valores mínimos y máximos de la magnitud de los sismos en la escala de Richter, son 3,5 y 5,6 correspondientemente, los cuales después de ser interpolados se ponderan de acuerdo a la metodología. Para el análisis de deslizamientos y caídas las ponderaciones del factor sismos serán las mismas.

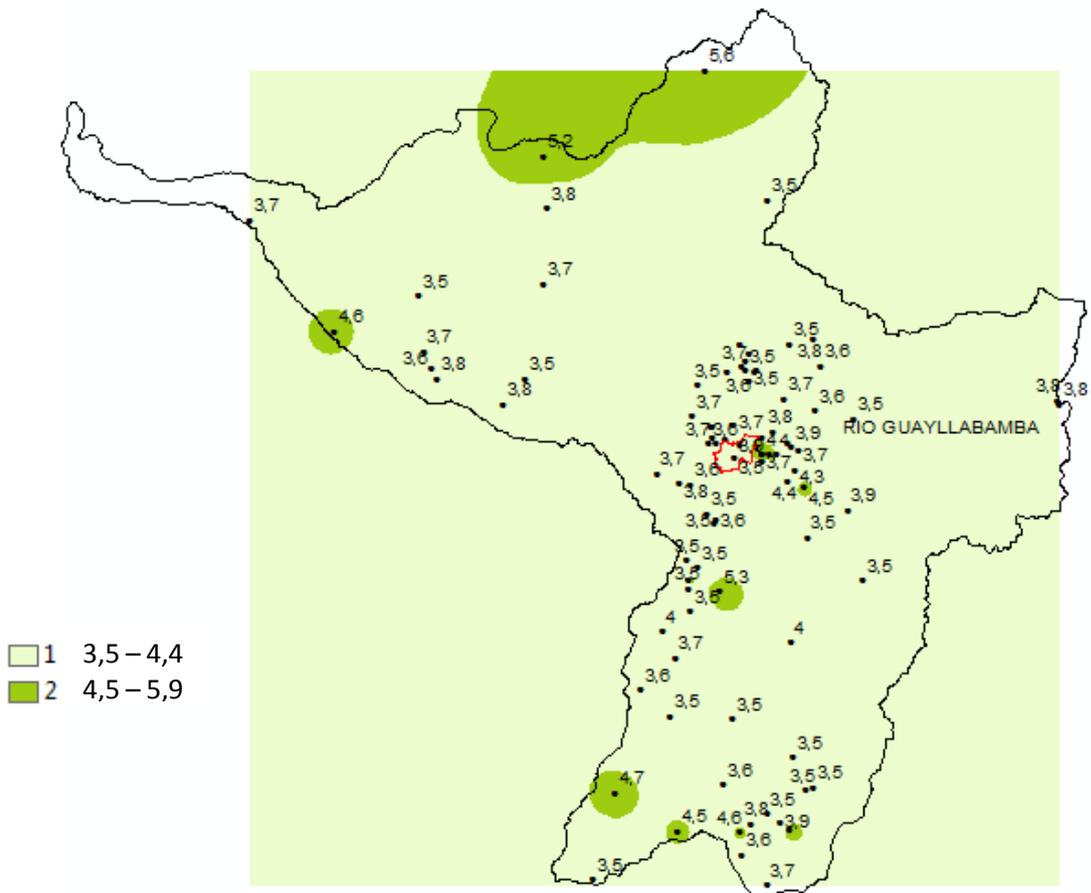


Ilustración 3.18. Interpolación de Sismos Reclasificado

Una vez ponderado, se recortará el área de interés. Donde los valores de la magnitud de sismos, se encuentran en las categorías 1 y 2 de acuerdo a la metodología, ya q ha presentado valores entre 3,5 – 5,9.

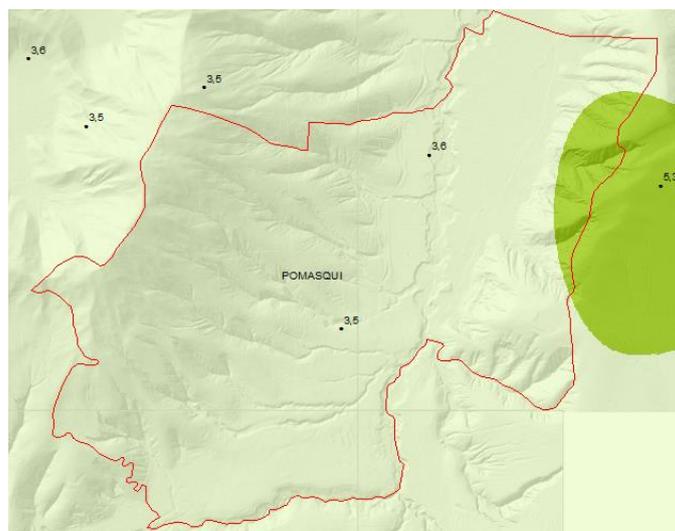


Ilustración 3.19. Sismos Reclasificado de Pomasqui

### 3.8 Determinación del Grado de amenaza (H)

El cálculo de la amenaza para la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, tanto para deslizamientos como caídas, se lo realiza mediante la fórmula:

$$H = (Sm \times Sc \times Sl) \times (Ts + Tp)$$

Cabe mencionar que el resultado de este producto, no está establecido en una escala única de valores del indicador, pues éstos deben ajustarse a las condiciones de cada área estudiada. No obstante, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos, para cada área de estudio en cinco clases de amenaza y asignar los calificativos que se presentan en la siguiente tabla. El calificativo de amenaza es una representación cualitativa de los diferentes niveles de amenaza y no una amenaza propiamente dicha.

Tabla 3.10. Clasificación de Amenaza

Clase	Calificativo de Amenaza	Características
I	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado.
III	Moderada	No se recomienda la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, reforestación, entre otros. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos agropecuario.
IV	Alta	No se recomienda la construcción de infraestructura, para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.

V	Muy alta	No se recomienda la construcción de infraestructura Se recomienda como áreas de protección.
---	----------	--

Fuente: Mora, R. et al., 1993

Por lo cual, se decidió clasificar los resultados según el método Rupturas Naturales (Jenks), donde las clases se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Es decir, las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos donde hay diferencias considerables entre los valores de los datos.

### 3.8.1 Grado de Amenaza de Deslizamientos

En un principio se obtuvo como resultados valores entre 0 y 300, que representan la amenaza de deslizamientos.

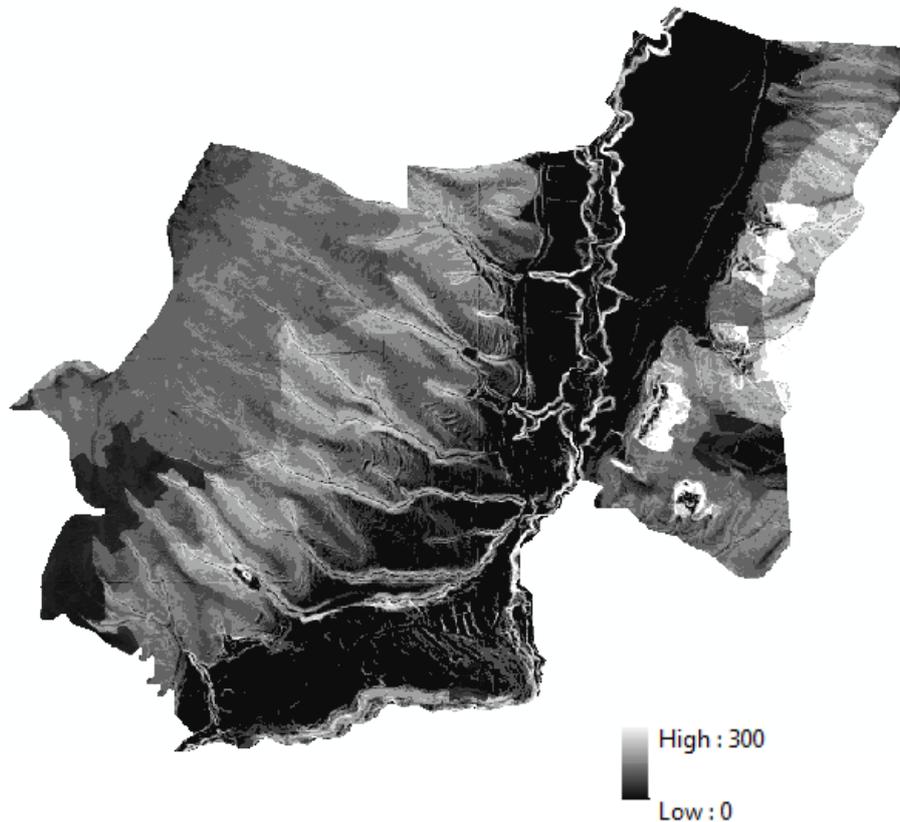


Ilustración 3.20. Amenaza de Deslizamientos

Para reclasificarlo según el método Rupturas Naturales (Jenks), se usó la herramienta RECLASSIFY

Esta herramienta se encuentra en ArcToolBox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify

En las propiedades de reclasificación se seleccionó como método de clasificación: Natural Breaks (Jenks) y número de clases: 5, como se muestra en la siguiente ilustración.

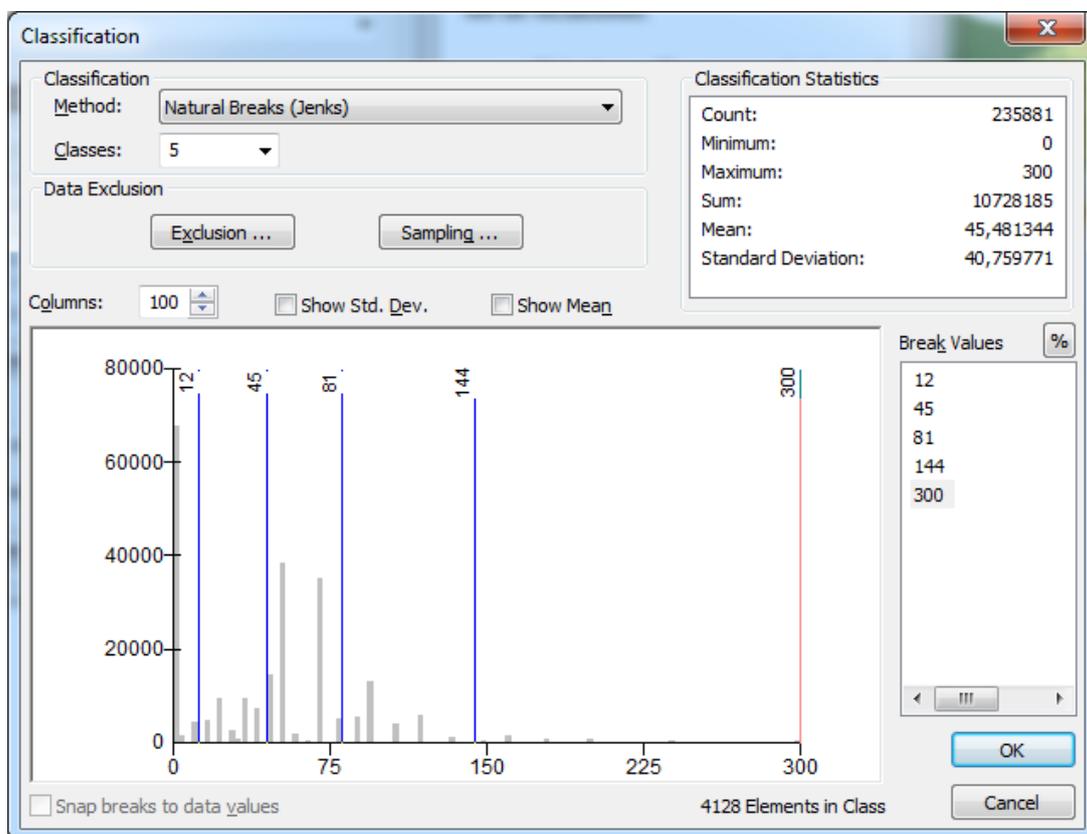
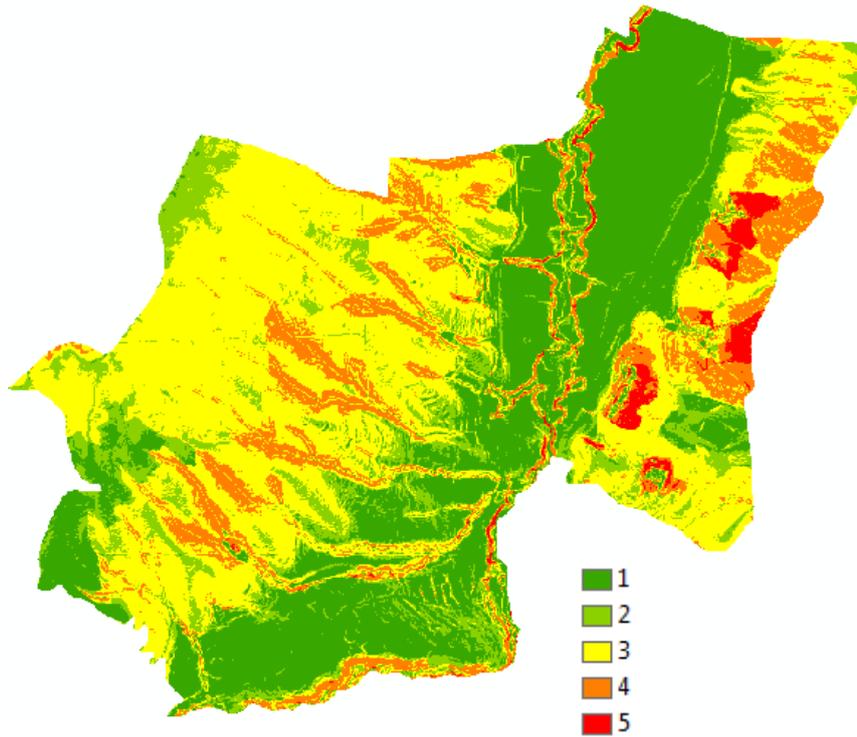


Ilustración 3.21. Parámetros reclasificación de amenaza de Deslizamientos

Lo cual indica que a los valores entre:

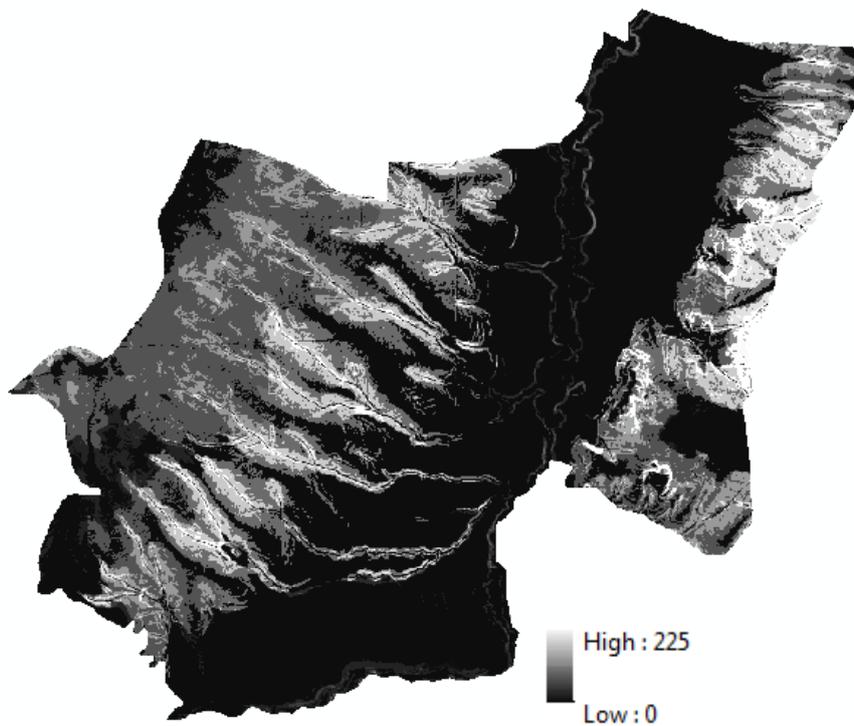
- 0 – 12 → categoría 1 → amenaza muy baja
- 12 – 45 → categoría 2 → amenaza baja
- 45 – 81 → categoría 3 → amenaza moderada
- 81 – 144 → categoría 4 → amenaza alta
- 144 – 300 → categoría 5 → amenaza muy alta



*Ilustración 3.22. Amenaza de Deslizamientos Reclasificado*

### 3.8.2 Grado de Amenaza de Caídas

Para la amenaza de caídas se obtuvo como resultados valores entre 0 y 225.



*Ilustración 3.23. Amenaza de Caídas*

Para reclasificarlo según el método Rupturas Naturales (Jenks), se usó la herramienta RECLASSIFY

Esta herramienta se encuentra en ArcToolBox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify. En las propiedades de reclasificación se seleccionó como método de clasificación: Natural Breaks (Jenks) y número de clases: 5, como se muestra en la siguiente ilustración.

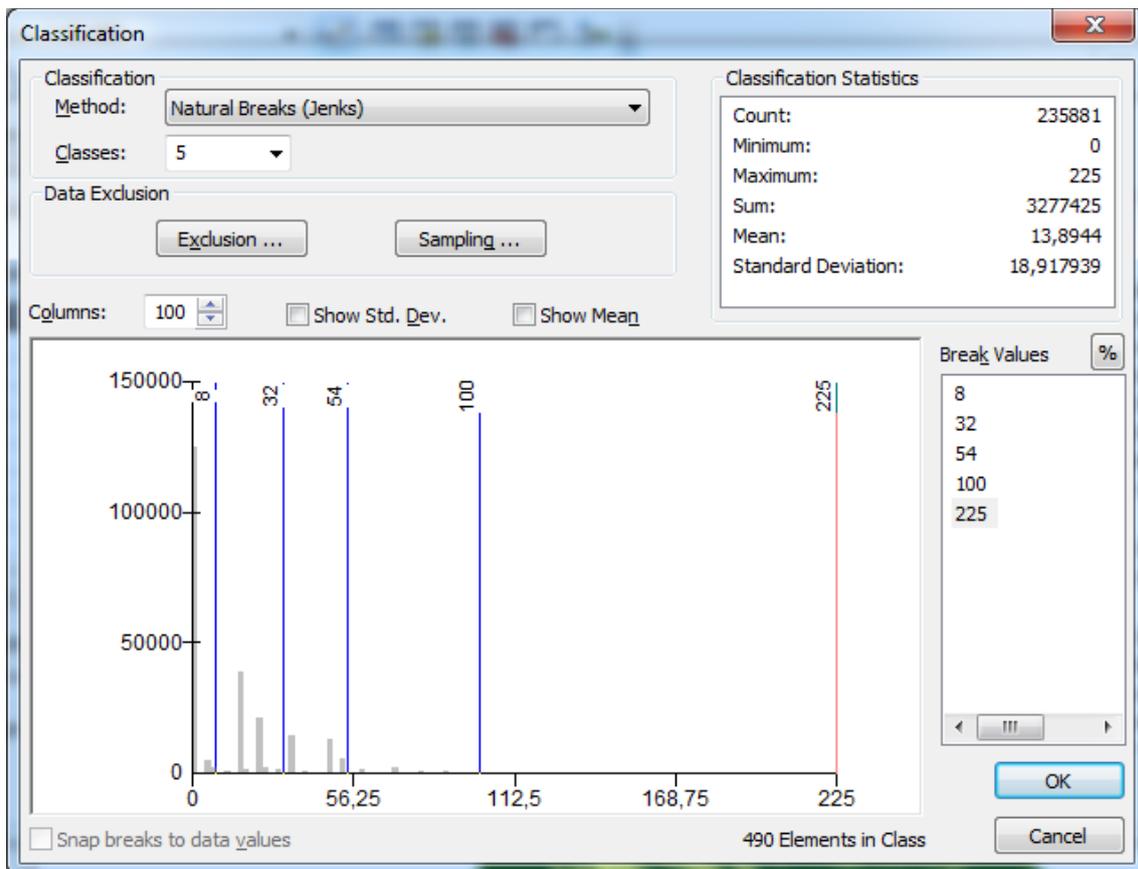
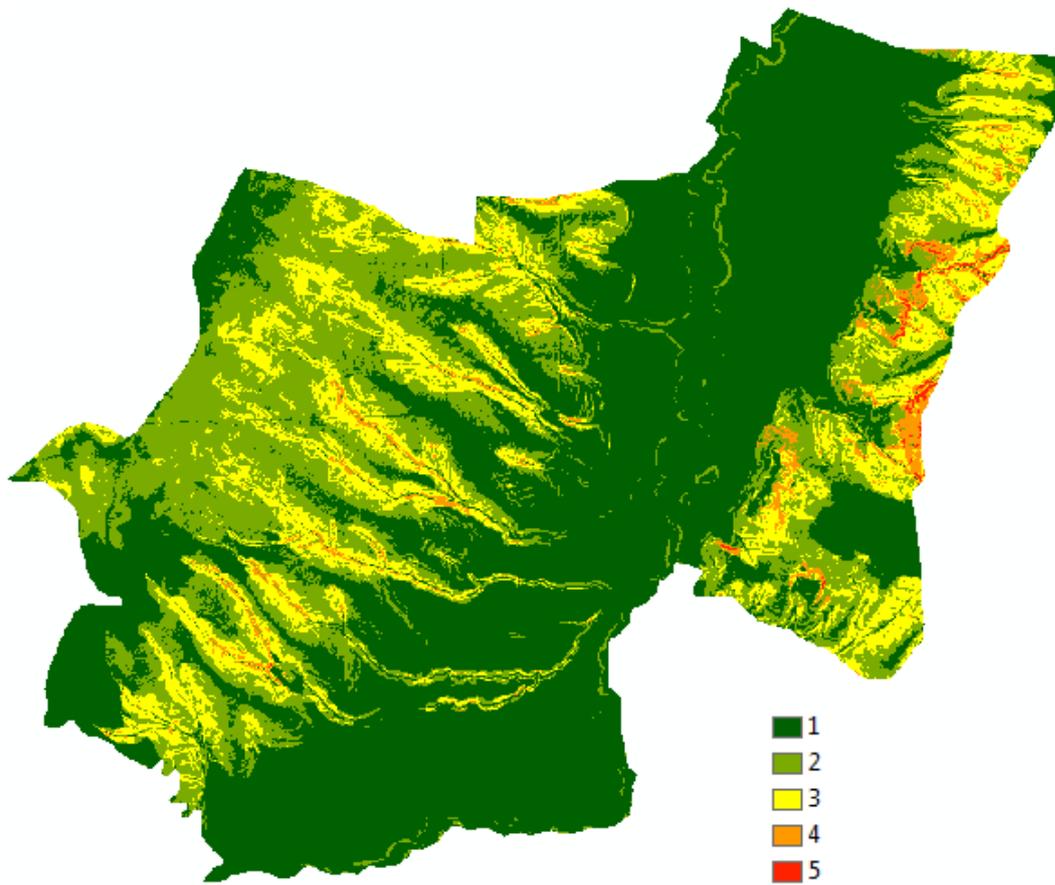


Ilustración 3.24. Parámetros reclasificación de amenaza de Caídas

Lo cual indica que a los valores entre:

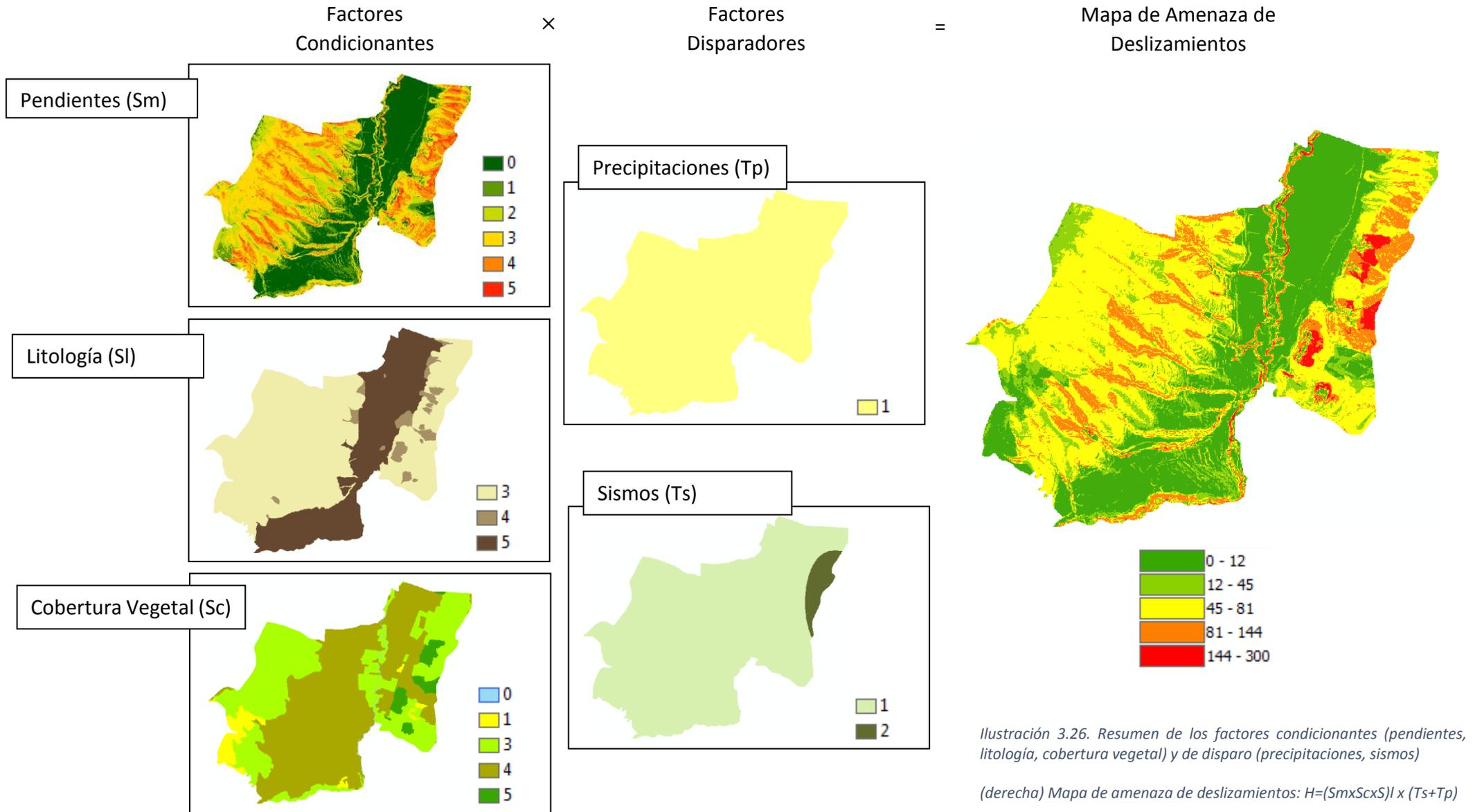
- 0 – 8 → categoría 1 → amenaza muy baja
- 8 – 32 → categoría 2 → amenaza baja
- 32 – 54 → categoría 3 → amenaza moderada
- 54 – 100 → categoría 4 → amenaza alta
- 100 – 225 → categoría 5 → amenaza muy alta



*Ilustración 3.25. Amenaza de Caídas Reclasificado*



### Amenaza de Deslizamientos



Factores  
Condicionantes

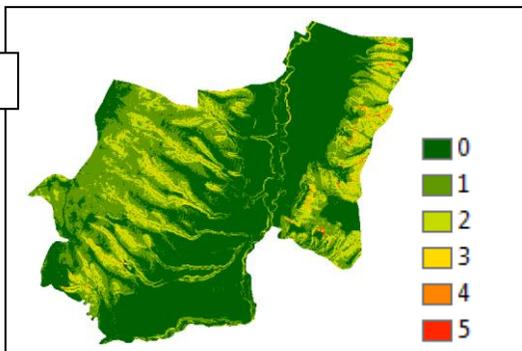
×

Amenaza de Caídas

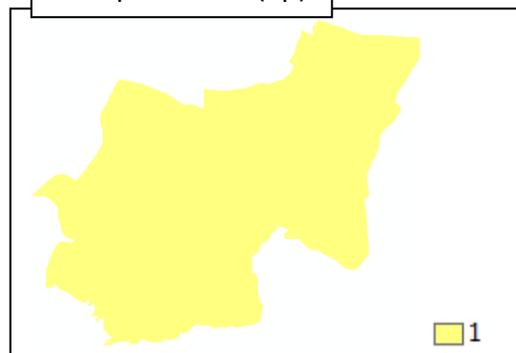
Disparadores

=

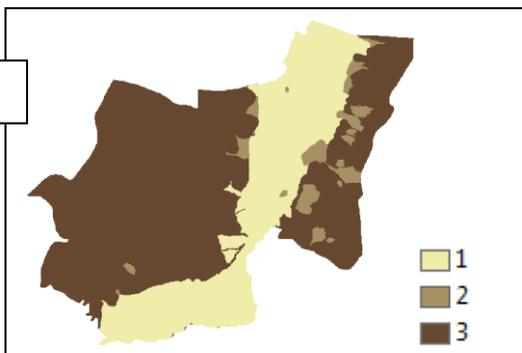
Pendientes (Sm)



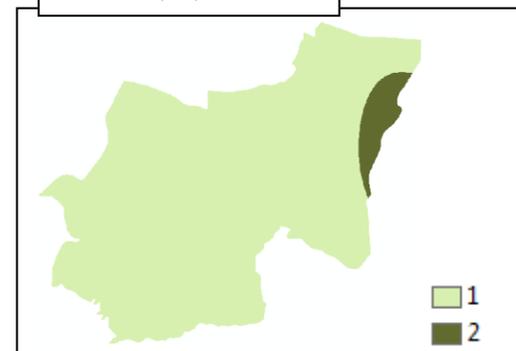
Precipitaciones (Tp)



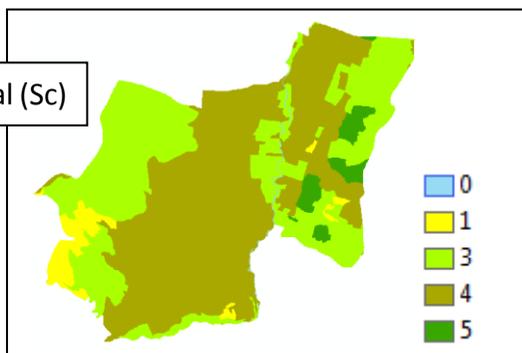
Litología (Sl)



Sismos (Ts)



Cobertura Vegetal (Sc)



Mapa de Amenaza de  
Caídas

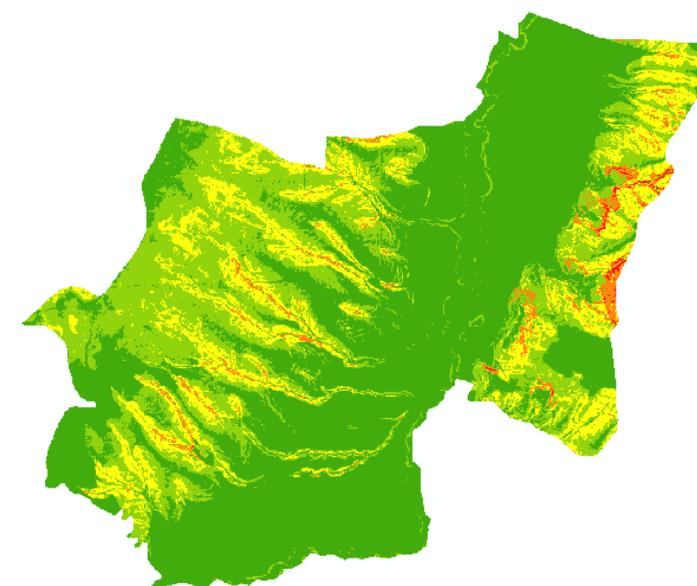


Ilustración 3.27. Resumen de los factores condicionantes (pendientes, litología, cobertura vegetal) y de disparo (precipitaciones, sismos)

(derecha) Mapa de amenaza de caídas:  $H=(Sm \times Sc \times S) \times (Ts + Tp)$

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Determinación del Grado de Amenaza (H)

##### 4.1.1 Grado de Amenaza de Deslizamientos

El modelo obtenido de amenaza de deslizamientos de la parroquia Pomasqui se ha categorizado en 5 clases:

##### *Amenaza de Deslizamientos – Muy Baja*

En esta zona se encuentra la población Pomasqui que cuenta con alrededor de 30 000 habitantes y es una zona en constante crecimiento urbanístico debido a la cercanía al centro de Quito.

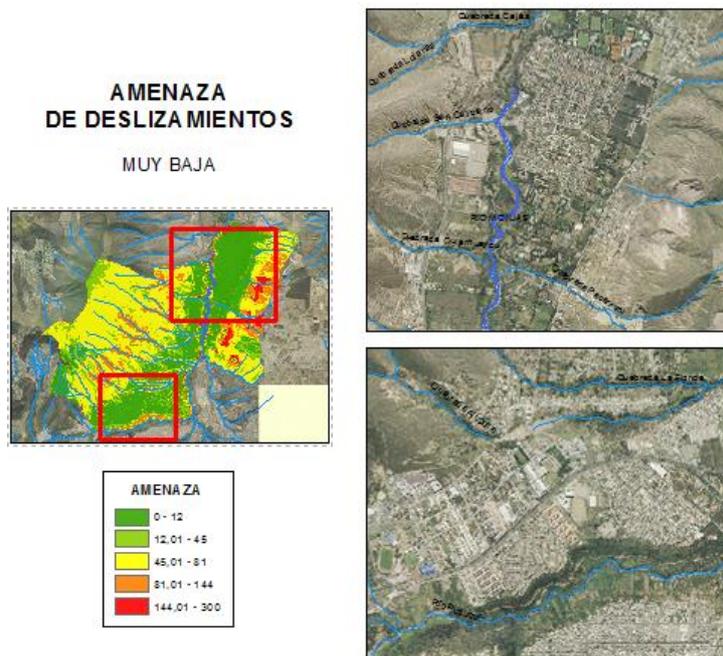


Ilustración 4.1. Amenaza de deslizamientos – Muy Baja

Las zonas con amenaza muy baja tiene un área de aproximadamente 7 569 599,35m<sup>2</sup> (7,56k m<sup>2</sup>) siendo el 32,10% de la totalidad de la superficie de la parroquia, tiene pendientes, planas, suaves y muy suaves con valores desde los 0 – 12%, principalmente se ubica sobre depósitos aluviales con una litología de gravas, arenas en matriz arenocilicosa y depósitos coluviales con su litología de arenas de grano medio a grueso, gravas y cantos subangulares a angulares, en cuanto a su cobertura vegetal presenta en su mayoría zonas urbanas y en proceso de urbanización y en menor parte pastos cultivados.

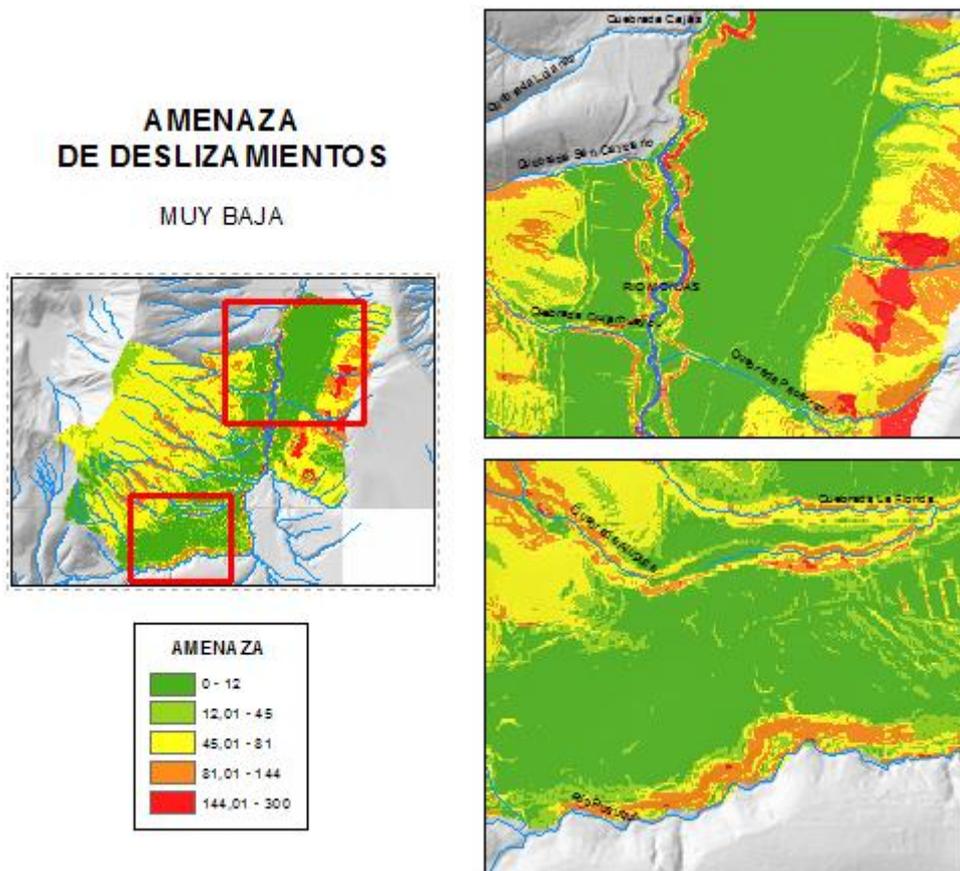
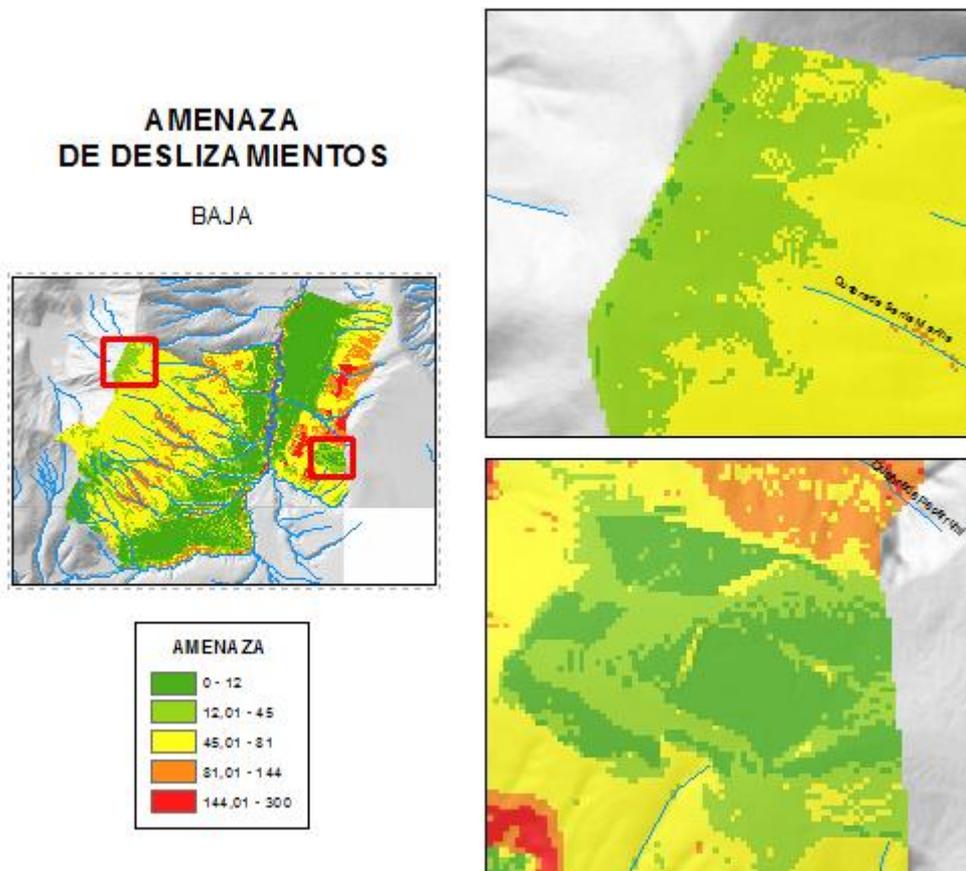


Ilustración 4.2. Amenaza de deslizamientos – Muy Baja

### *Amenaza de Deslizamientos – Baja*

El grado de amenaza bajo tiene una extensión de aproximadamente 3 019 656,83m<sup>2</sup> (3km<sup>2</sup>) correspondiente al 12,80% del total de la superficie de la parroquia.

Relacionados principalmente a relieves volcánicos montañosos hasta relieves volcánicos bajos, superficies volcánicas onduladas. Sus pendientes están dentro del rango medio y medio fuertes con valores entre 12 – 40%, sobre la formación Cangahua. Con respecto a su cobertura vegetal presenta: pasto cultivado, maíz, vegetación arbustiva, plantación forestal.



*Ilustración 4.3. Amenaza de deslizamientos – Baja*

### Amenaza de Deslizamientos – Media

El grado de amenaza medio ocupa un área de 9 645 482,35m<sup>2</sup> (9,64 km<sup>2</sup>), que corresponde al 40,90% de la totalidad de la extensión de Pomasqui, está sobre geología de formación Cangahua y su litología son depósitos de toba volcánica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, pómez y lapilli. Presenta diferentes tipos de cobertura vegetal desde: matorral seco muy alterado (3), matorral seco medianamente alterado, vegetación herbácea seca muy alterada, vegetación herbácea seca poco alterada.

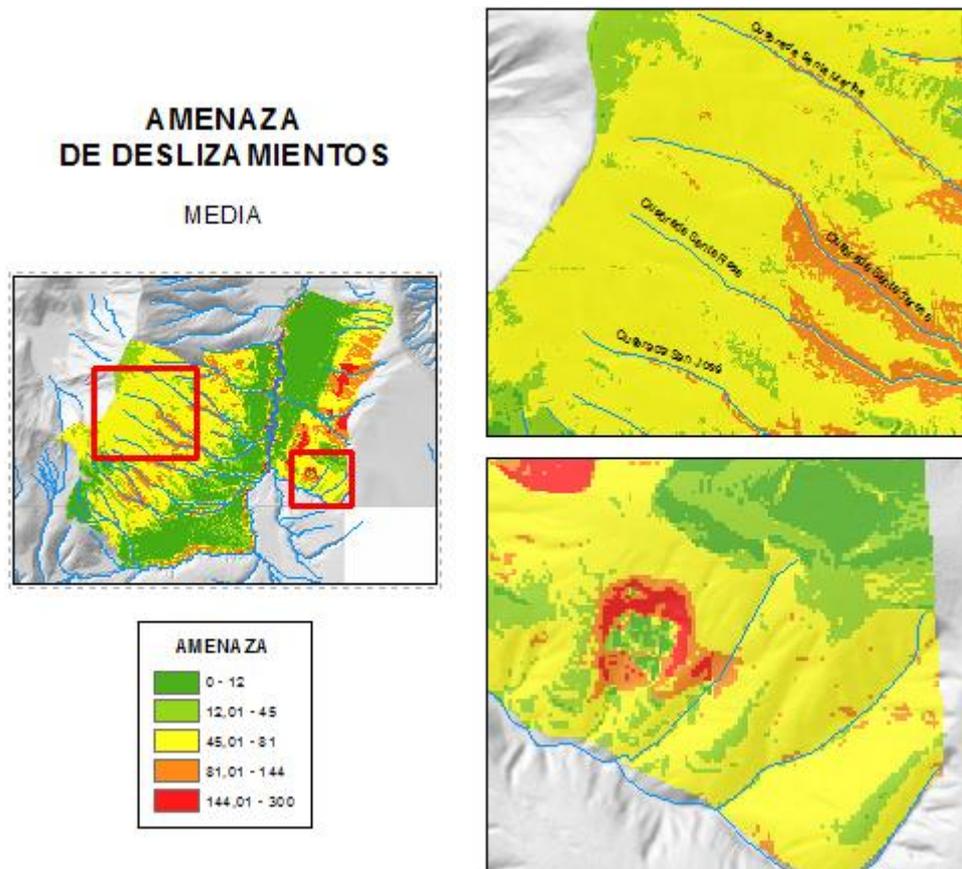
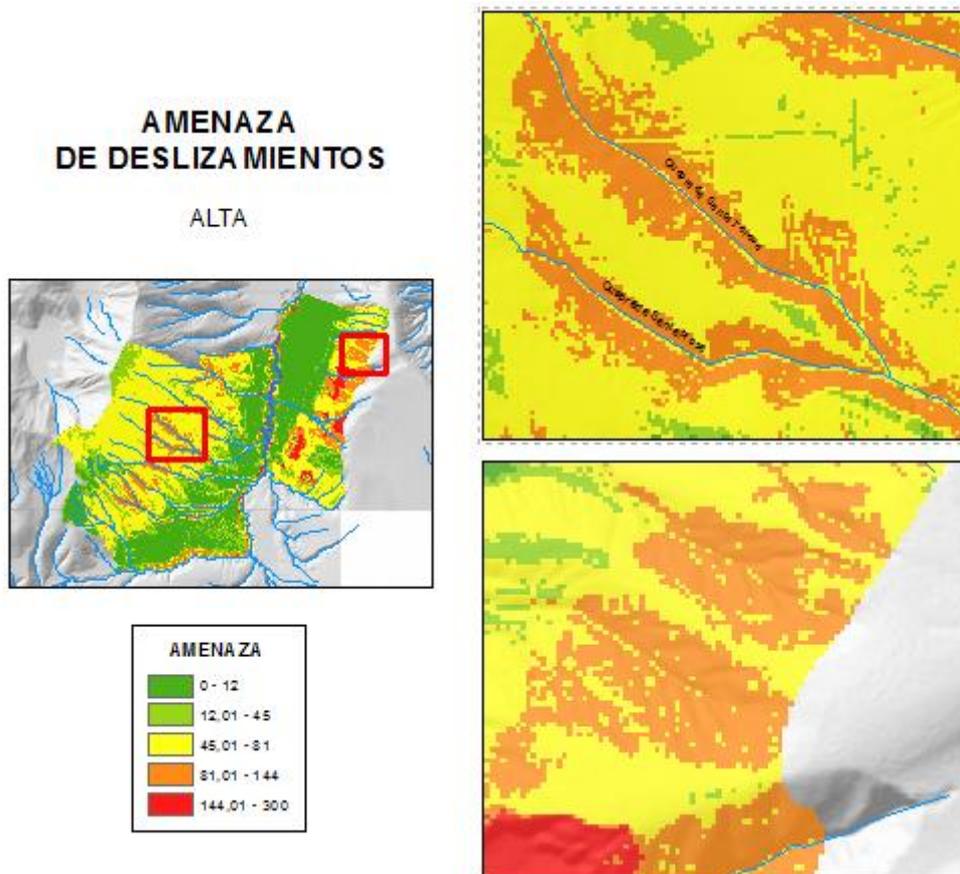


Ilustración 4.4. Amenaza de deslizamientos – Media

### *Amenaza de Deslizamientos – Alta*

Tiene una extensión de 2951 637,96m<sup>2</sup> (2,95km<sup>2</sup>) correspondientes al 12,50% del total de la extensión de la parroquia Pomasqui, está ubicado principalmente en los flancos del volcán y barrancos por donde atraviesan los drenajes. Tiene pendientes fuertes y muy fuertes con valores entre 40 – 150 %. Está sobre la formación Cangahua donde su litología son depósitos de toba volcánica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, pómez y lapilli. La cobertura vegetal corresponde a vegetación herbácea seca poco alterada, matorral seco medianamente alterado e incluso áreas en proceso de erosión

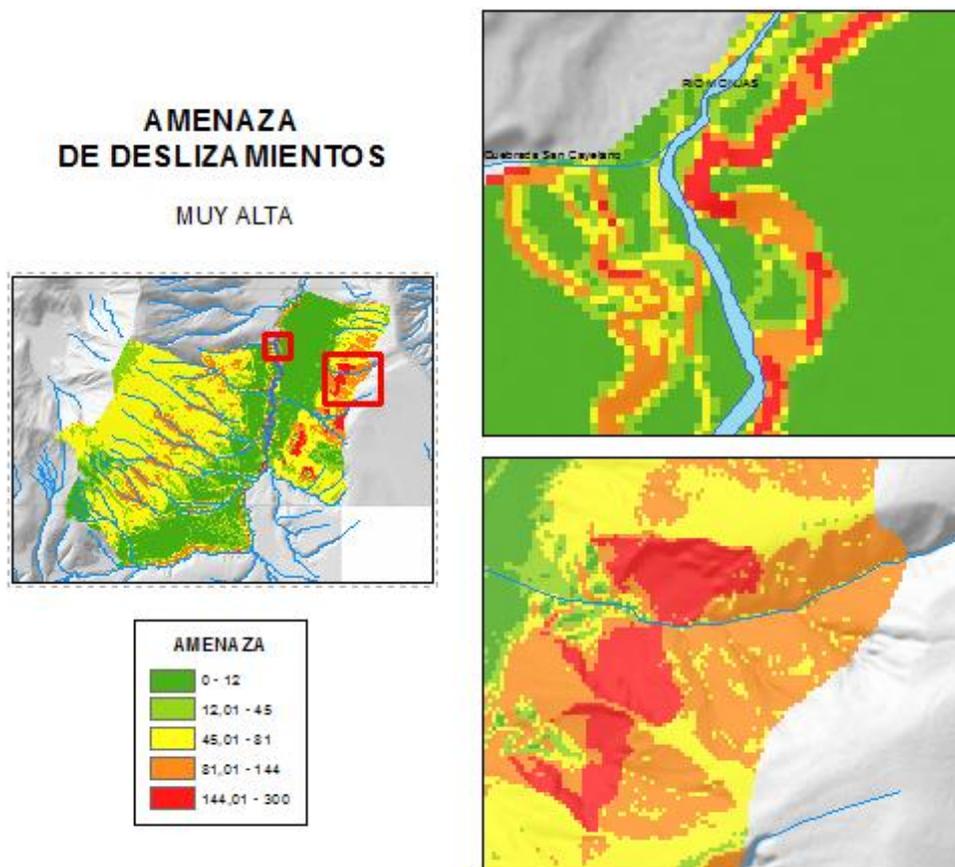


*Ilustración 4.5. Amenaza de deslizamientos – Alta*

### *Amenaza de Deslizamientos – Muy Alta*

Dentro de la categoría de amenaza de deslizamientos muy alta, tiene un área de 403 728,09 m<sup>2</sup>, que corresponde al 1,7% del total de la superficie de la parroquia. Presenta pendientes muy fuertes con valores que oscilan entre los 70 – 200%. En la zona norte en el cauce del Río Monjas presenta una geología de depósitos aluviales (4), y una litología de gravas, arenas en matriz areno-arcilloso. No cuenta con cobertura vegetal, se debe indicar que a sus alrededores tiene infraestructuras antrópicas (4). Por lo cual todos estos factores suman a que exista una amenaza muy alta.

En la zona noreste que corresponde a los barrancos que presentan pendientes fuertes y muy fuertes con valores que oscilan entre los 70 – 200%, tiene una geología que corresponde a depósitos coluviales con una litología de arenas de grano medio a grueso, gravas y cantos subangulares a angulares, con respecto a la cobertura vegetal cabe recalcar que no la tiene ya que es una zona erosionada (5) muy amplia.



*Ilustración 4.6. Amenaza de deslizamientos – Muy Alta*

#### 4.1.2 Grado de Amenaza de Caídas

El modelo obtenido de amenaza de caídas de la parroquia Pomasqui se ha categorizado en 5 clases:

##### *Amenaza de Caídas – Muy Baja*

El grado de amenaza muy bajo corresponde a las zonas más planas de la parroquia, con una extensión de 13164881,09m<sup>2</sup> (13,16 km<sup>2</sup>) equivalente al 55,82% de la totalidad de la extensión de la parroquia Pomasqui. Presenta pendientes muy suaves y suaves con valores de 0 – 12%. Está ubicado sobre depósitos aluviales (1) y presenta diferente cobertura vegetal como: pasto cultivado (3), misceláneo de hortalizas (4), eucalipto (1), pero en su mayoría son zonas urbanas (4) ya que en esta zona se asienta la población de Pomasqui.

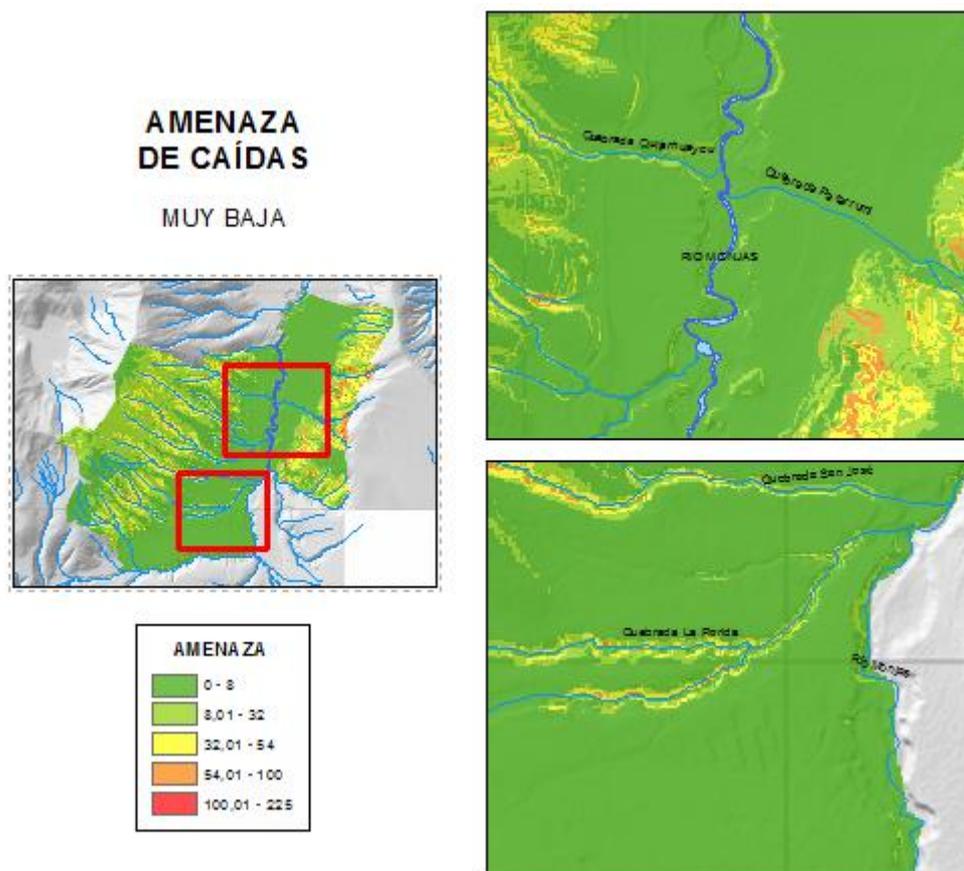


Ilustración 4.7. Amenaza de caídas – Muy Baja

Cabe indicar que en esta zona se encuentra la población Pomasqui que cuenta con alrededor de 30 000 habitantes y es una zona en constante crecimiento urbanístico debido a la cercanía al centro de Quito

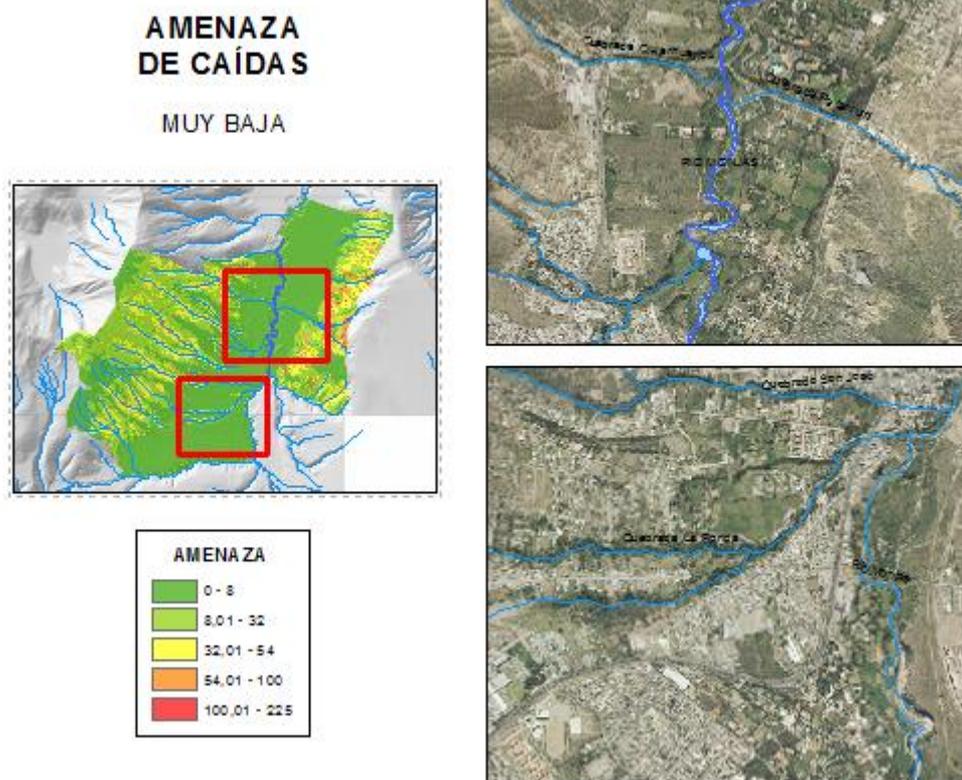


Ilustración 4.8. Amenaza de caídas – Muy Baja

### *Amenaza de Caídas – Baja*

El grado de amenaza bajo ocupa una superficie de 6 460 451,46m<sup>2</sup> (6,46 km<sup>2</sup>) correspondiente al 27,39% de la totalidad de la superficie de la parroquia. Sus pendientes son fuertes con valores entre 40 y 70%, sobre una geología de la formación Cangahua y una litología de depósitos de toba volcánica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, pómez y lapilli. Corresponde a los flancos del Volcán Casitagua con pendientes no tan pronunciadas

En las terrazas próximas al Río Monjas se presentan pendientes con valores de 40 – 100% y una geología de Depósitos aluviales, con una litología de Gravas, arenas en matriz areno-arcilloso.

Presenta una cobertura vegetal de matorral seco muy alterado (3), matorral seco medianamente alterado (3), vegetación herbácea seca muy alterada (4), áreas erosionada (5).

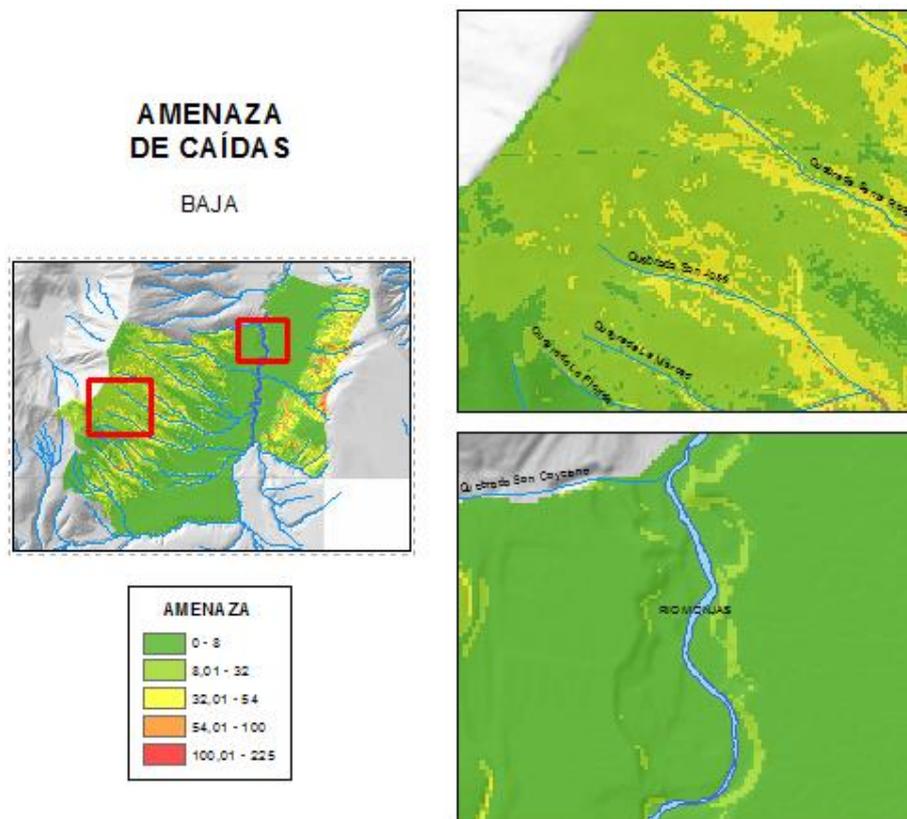
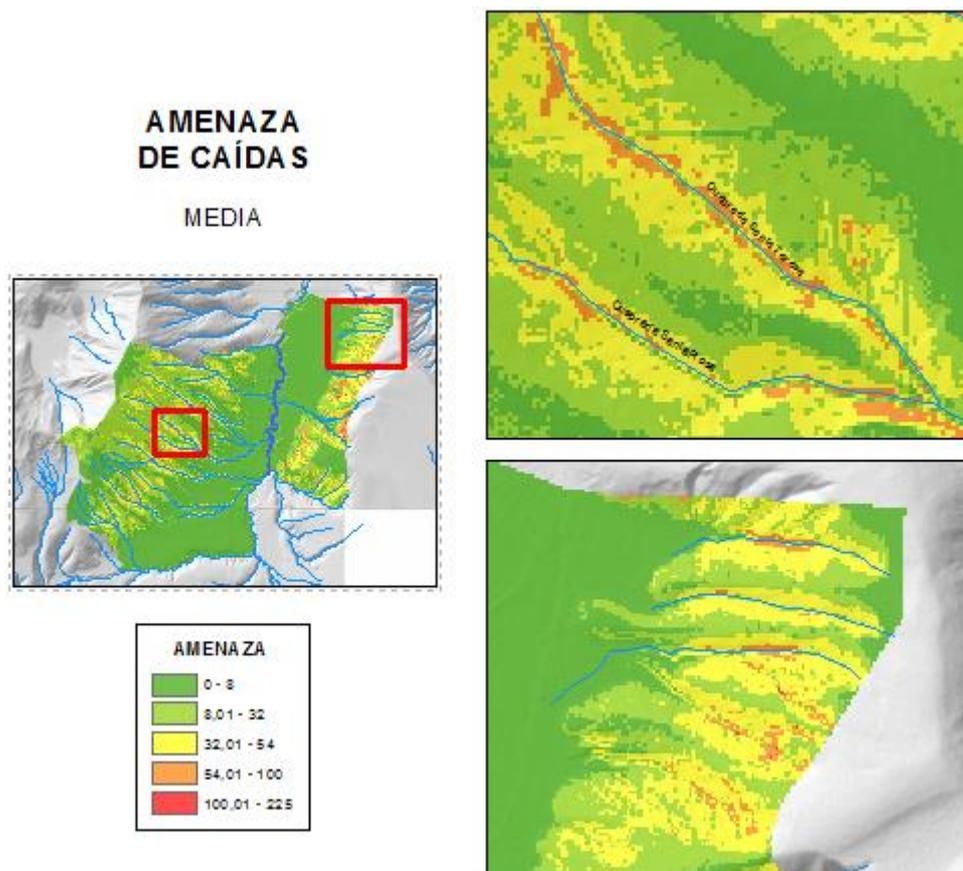


Ilustración 4.9. Amenaza de caídas - Baja

### *Amenaza de Caídas – Media*

El grado de amenaza medio o moderado tiene un área de 3 479 920,97m<sup>2</sup> (3,47km<sup>2</sup>) que corresponde al 14,75% de la totalidad de la superficie, se ubica principalmente en zonas de los flancos del volcán con pendientes con valores que oscilan entre los 40 -100%, su geología es principalmente la Formación Cangahua con su litología de depósitos de toba volcánica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, pómez y lapilli. Presenta diferentes tipos de cobertura vegetal como: vegetación herbácea seca poco alterada, vegetación herbácea seca muy alterada, áreas en proceso de erosión, vegetación herbácea seca muy alterada, matorral seco muy alterado, matorral seco medianamente alterado.



*Ilustración 4.10. Amenaza de caídas – Media*

### *Amenaza de Caídas – Alta*

El grado de amenaza alto ocupa aproximadamente 448 044,26m<sup>2</sup> correspondiente al 1,9% de la totalidad de la superficie de la parroquia, principalmente asociado a zonas de los flancos del volcán y barrancos (quebradas) por donde atraviesa la red hidrográfica. Con pendientes muy fuertes que oscilan entre 40 – 100%, una geología de depósitos coluviales con su litología de arenas de grano medio a grueso, gravas y cantos subangulares a angulares como indica el mapa geológico. Presenta áreas en proceso de erosión (5), vegetación herbácea seca muy alterada (4).

Cabe indicar que además las zonas ubicadas al lado noreste están próximas a uno y dos kilómetros de 2 sismos de 5,3 y 5,1 de magnitud en la escala de Richter producidos en los años 1990 y 2014 respectivamente. Por lo cual se entendería este tipo de amenaza.

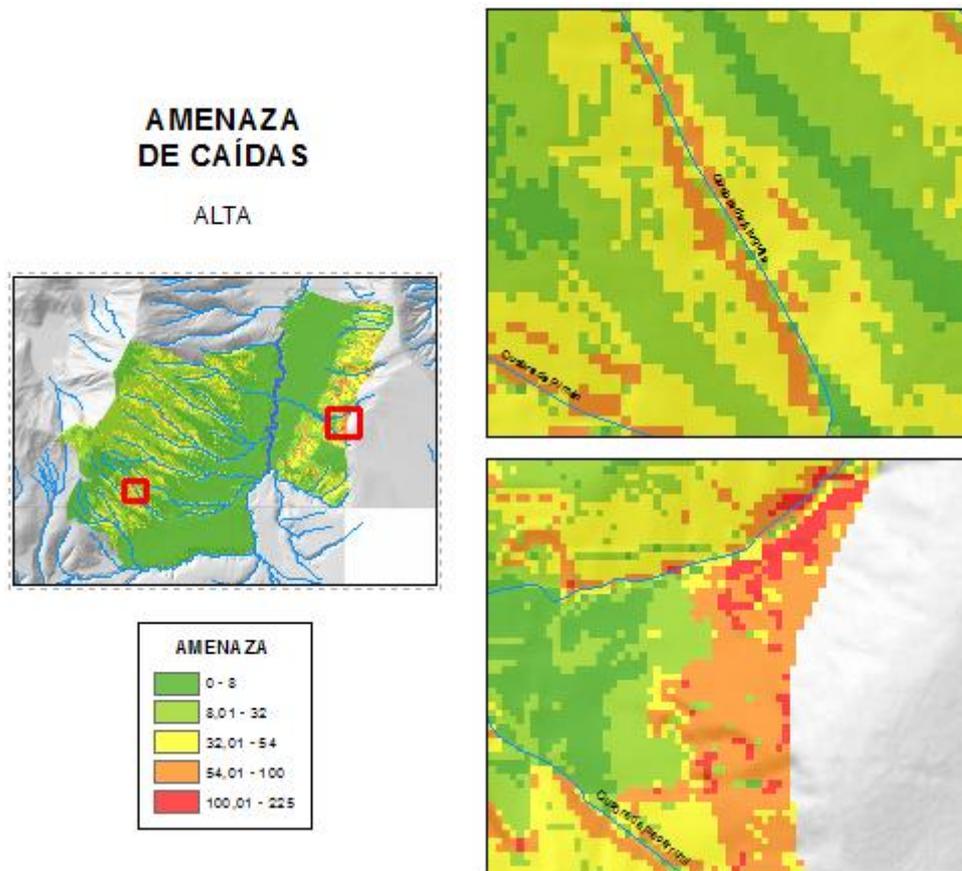


Ilustración 4.11. Amenaza de caídas - Alta

### *Amenaza de Caídas – Muy Alta*

El grado de amenaza muy alto corresponde a aproximadamente 39 899,57m<sup>2</sup> siendo el 0,17% de la totalidad de la superficie, está ubicado en el noreste de Pomasqui. Presentando pendientes muy fuertes con valores que oscilan entre 70 – 200%, su geología corresponde a la formación Cangahua y su litología son depósitos de toba volcánica y ceniza, en la base se encuentran piroclastos, pómez y lapilli. En cuanto a cobertura vegetal se encuentra sobre áreas erosionadas y vegetación herbácea seca poco alterada.

Cabe indicar que además estas zonas se encuentran aproximadamente a uno y dos kilómetros de cercanía de 2 sismos de 5,3 y 5,1 de magnitud en la escala de Richter producidos en los años 1990 y 2014 respectivamente.

Todos estos factores suman para presentar en el modelo una amenaza de caídas muy alto, dentro de la categoría 5.

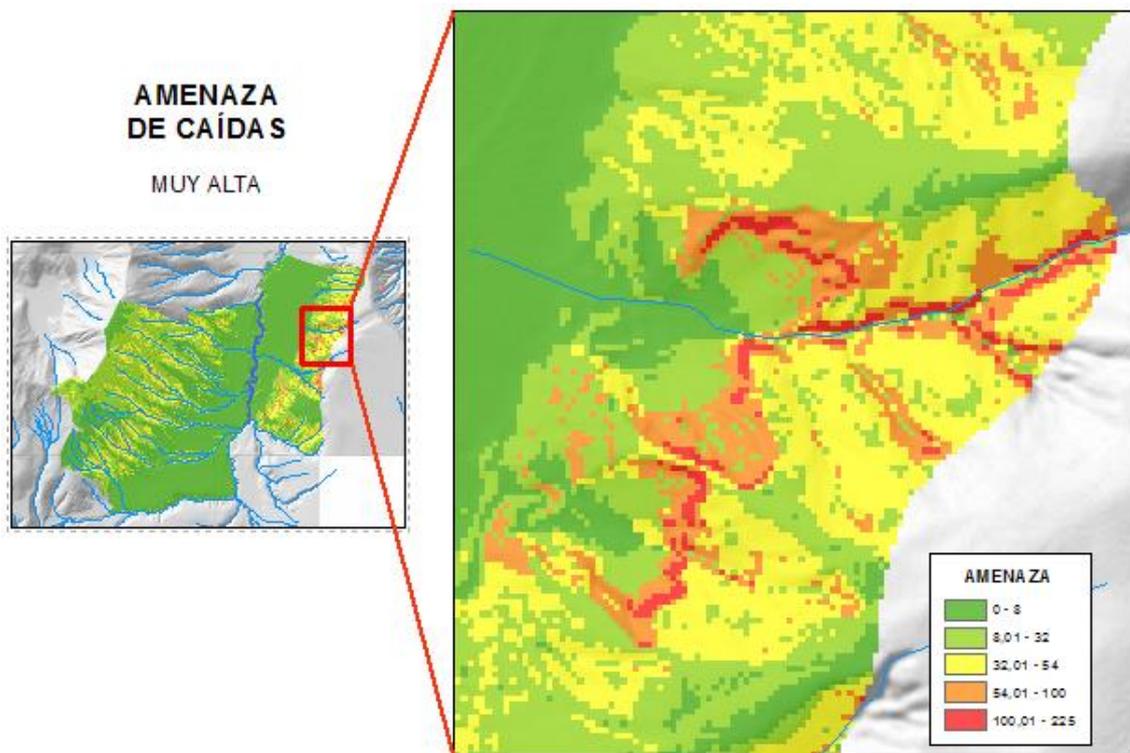


Ilustración 4.12. Amenaza de caídas – Muy Alta



## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES

A pesar que se obtuvo un modelo bastante coherente con la realidad según los resultados alcanzados con los índices calculados e incluso al compararlos con otros documentos bibliográficos correspondientes a la zona de estudio, cabe mencionar que la metodología empleada posee ciertas limitantes que pueden modificar los resultados parciales y/o finales. Básicamente, dependen o se ven afectados por la falta de información secundaria disponible, por ejemplo: fue necesario fotointerpretar y digitalizar la geomorfología de la zona estudiada, así como también requiere poseer un mapa de cobertura vegetal actualizado y a una escala adecuada ya que en la actualidad existen problemas en cuanto a pérdidas de cobertura vegetal por incendios o por actividades antrópicas en especial crecimiento urbanístico, mismas que cambian su cobertura vegetal. Por cuanto es imperativo mantener actualizada dicha cartografía para poder generar modelos más precisos.

Cabe recalcar que esta metodología posee como limitaciones la información secundaria ocupada, como se lo menciono anteriormente, el objetivo principal del presente estudio es identificar zonas susceptibles de deslizamientos de tierra en la parroquia Pomasqui, por medio de esta metodología es factible realizarlas, pero si se desea estudios detallados de las zonas encontradas con un grado de amenaza alto y muy alto, es



necesario realizar estudios geotécnicos del lugar de interés para realizar o tomar medidas de prevención y mitigación dependiendo del caso.

Se encontraron cinco grados de amenaza de caídas de tierra en la parroquia Pomasqui, de los cuales el grado de amenaza de caídas alto y muy alto no llegan a sumar un 2,04%. Por otro lado, de las cinco categorías de amenaza para deslizamientos la sumatoria de amenaza alta y muy alta es 14,2%.

Se encontraron tres denominaciones geológicas en la zona de estudio, la Formación Cangahua que forma a los flancos del volcán, depósitos coluviales representados por los pedimentos al pie de los flancos del volcán y los depósitos aluviales formando a las distintas terrazas aluviales. De todos ellos las que poseen mayor incidencia o se ven relacionadas con un grado de amenaza muy alto y alto de deslizamientos y caídas de tierra, es a la Formación Cangahua y a los depósitos coluviales, lo cual es coherente por su composición.

La ponderación regional para toda el área de estudio para los factores detonantes fue de valor tres – ponderando uno para el factor de precipitaciones y dos para el factor sismos-, además las fuertes pendientes de los flancos del volcán como de su caldera fueron las determinantes en cuanto al grado de amenaza obtenido.

La población de Pomasqui se encuentra situada en su mayor parte en el grado de amenaza a deslizamientos y caídas muy bajo, pero también se identifican a los alrededores del poblado Pomasqui, procesos de urbanización desarrollándose en un grado de amenaza medio, el cual corresponde morfológicamente a uno de los flancos del volcán Casitagua, pero con menor pendiente.

A pesar que el grado de amenaza medio de caídas ocupa un 14,75% y el grado de amenaza medio de deslizamientos un 40,90%, de la superficie de la totalidad de la parroquia, es en donde se están llevando a cabo procesos de urbanización al igual que es por donde cruza la única vía de acceso principal para la parroquia, por lo tanto, es importante realizar estudios de mayor detalle (geotécnicos) en donde se puedan



identificar zonas en las que sea necesario la construcción de obras de mitigación o prevención de este tipo de eventos.

## CAPITULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

Asamblea Constituyente. (2008). Título VII, Capítulo primero, Sección novena - Gestión del riesgo. En Constitución de la República del Ecuador (pág. 175). Quito: Publicación Oficial de la Asamblea Constituyente, 216p.

Corominas, J. y García Yagüe, A. 1997. "Terminología de los movimientos de ladera". IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3: 1051-1072

Cruden, D. M. y Varnes D.J. 1996. "Landslide types and processes". In A. K. Turner y R.L. Schuster (Editores): Landslides. Investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press. Washington D.C. pp. 36-75

Gobierno de Pichincha. (2012). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Pomasqui 2012 - 2025. Quito: Dirección de Gestión de Planificación. 41p.

INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO (IEE). (2015). Análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa cantón Quito. Quito. 85p.

Mora, R. (1993). Manual for Zonation on seismic Geotechnical Hazards. The Japanese Geotechnical Society. 219p.



Mora, R. (2004). Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón San José. Costa Rica: Servicios Especializados de Laboratorio de Suelos y Rocas. Fundación de la Universidad de Costa Rica para la investigación. 15p

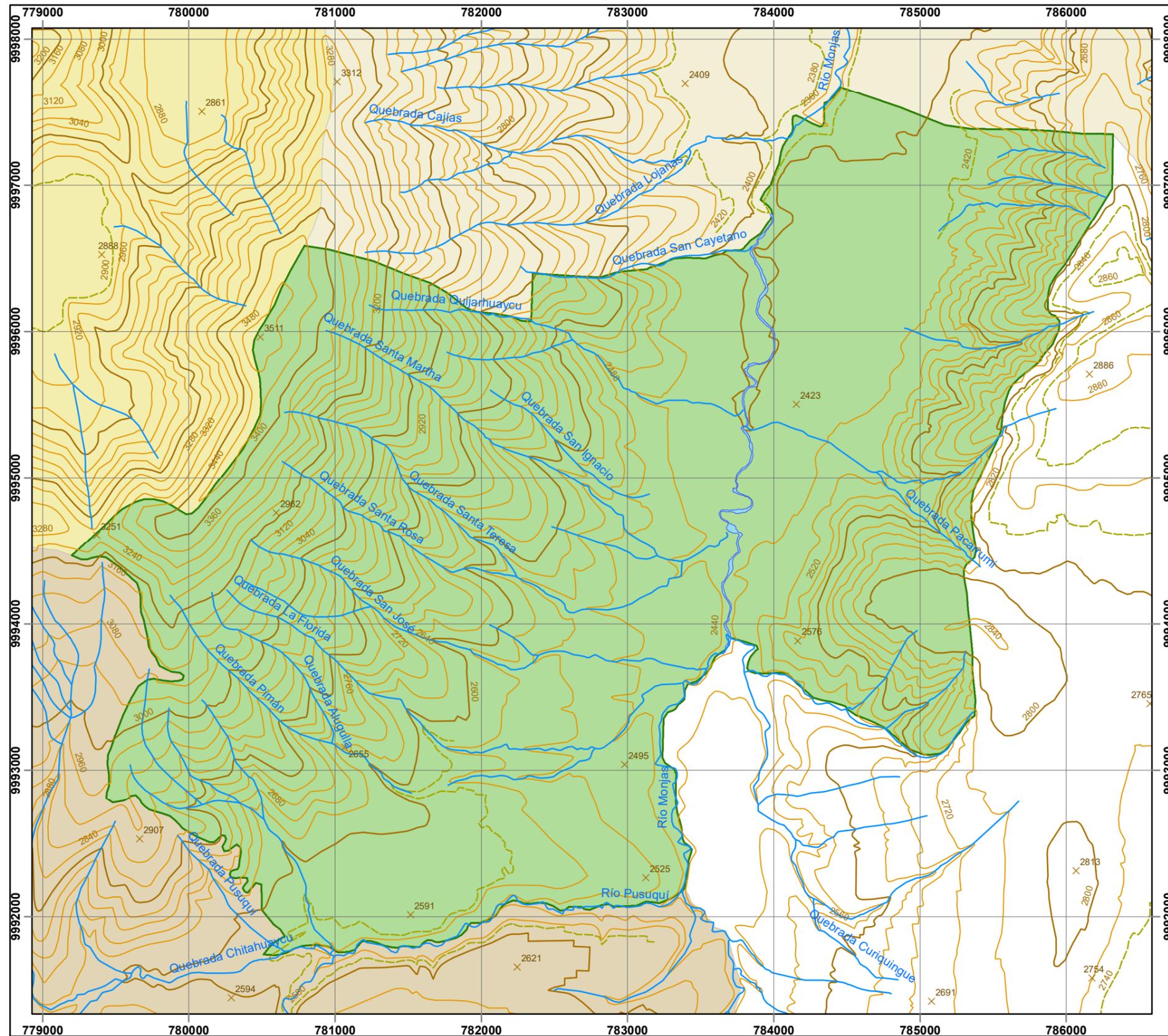
Mora & Vahrson. (1993). Mapa de amenaza de deslizamientos, valle central, Costa Rica. Costa Rica: CEPREDENAC.

Proyecto Multinacional Andino. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Publicación Geológica Multinacional. 432p.

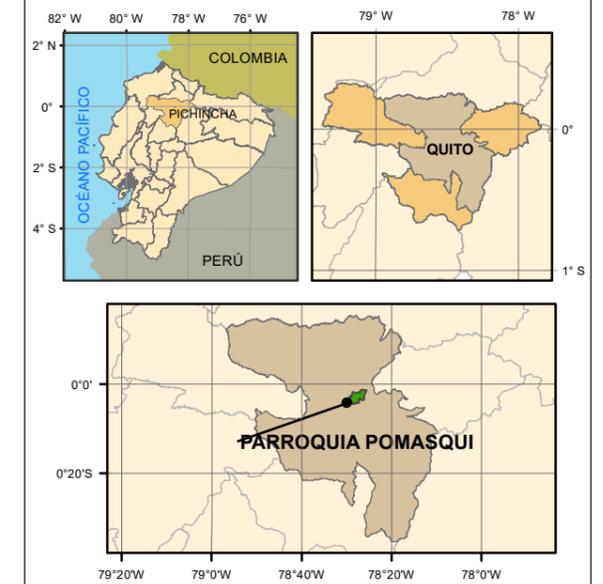
Suárez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Ingeniería de Suelos Ltda. 541p.

Varnes, D. (1978). Slope movements types and processes. Washington D. C: National Academy Press. 21p.

# MAPA BASE PARROQUIA POMASQUI



## UBICACIÓN GEOGRÁFICA



## SIMBOLOGÍA

- X Puntos Acotados
- Ríos
- RIOS
- Curva de Nivel Principal
- Curva de Nivel Secundaria
- Curva de Nivel Auxiliar
- Parroquias
- Límite Pomasqui



## ESCALA GRÁFICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA  
EN LA PARROQUIA POMASQUI – ECUADOR"

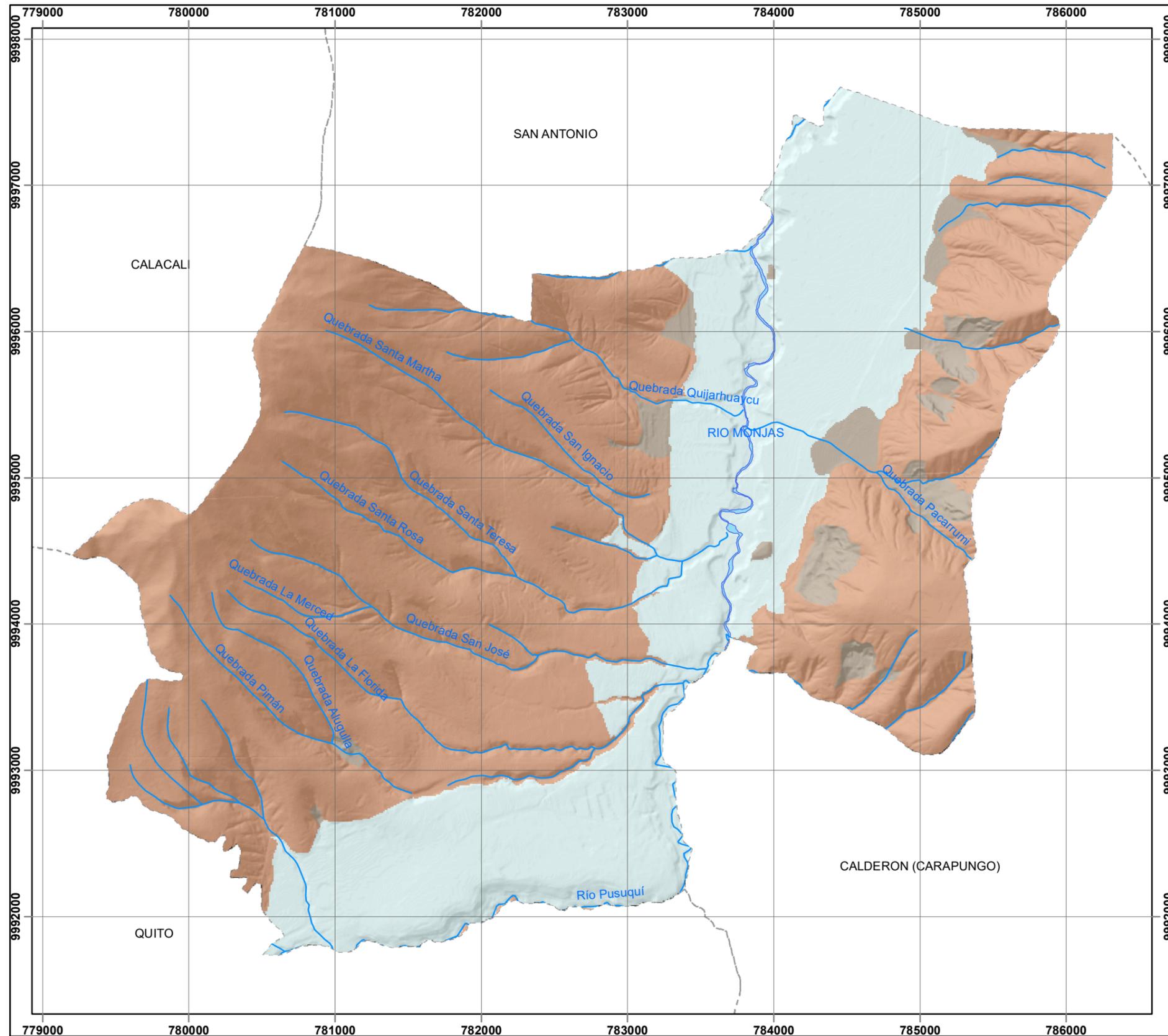
## MAPA BASE

Elaborado por:	Fecha de Elaboración:	Fuente:
Norma Chiquín	Julio, 2017	IGM
Escala:	Sistema de Referencia:	No. de Mapa:
Escala de Impresión: 1/30.000	UTM 17S - WGS 84	1/7

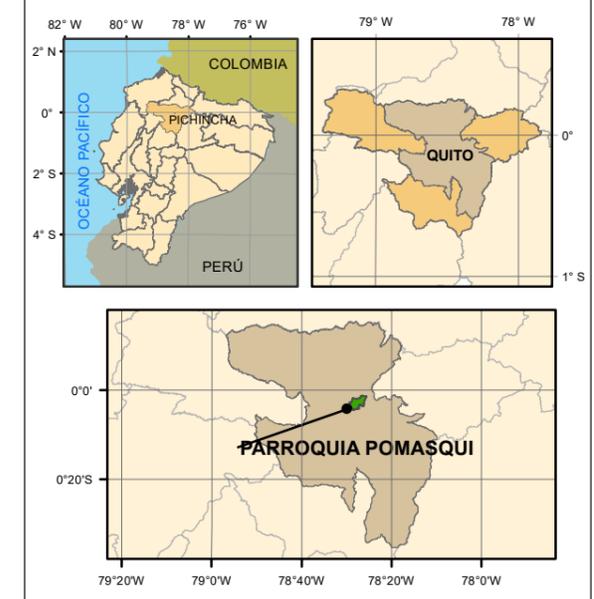




# MAPA GEOLÓGICO Y DEPÓSITOS SUPERFICIALES DE LA PARROQUIA POMASQUI



## UBICACIÓN GEOGRÁFICA



## SIMBOLOGÍA

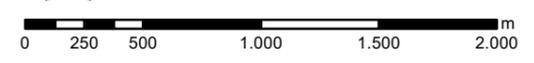
- Ríos
- RIOS

## LEYENDA

- Geología**
- Cangahua
  - Depósitos coluviales
  - Depósitos aluviales
- Litología tomada de la hoja geológica 84-NW, nombre El Quinche (INEGEMM)



## ESCALA GRÁFICA

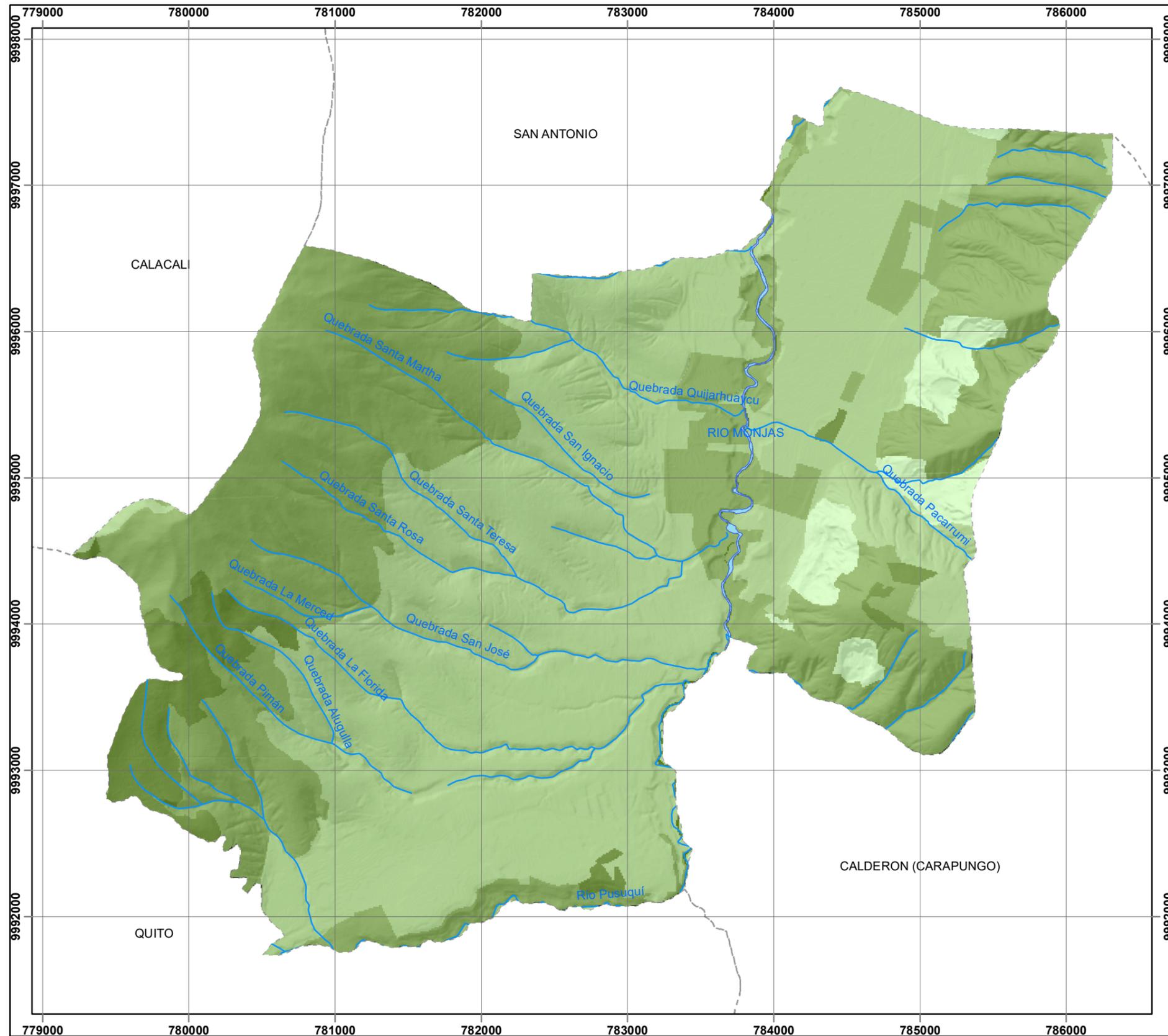


"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA PARROQUIA POMASQUI – ECUADOR"

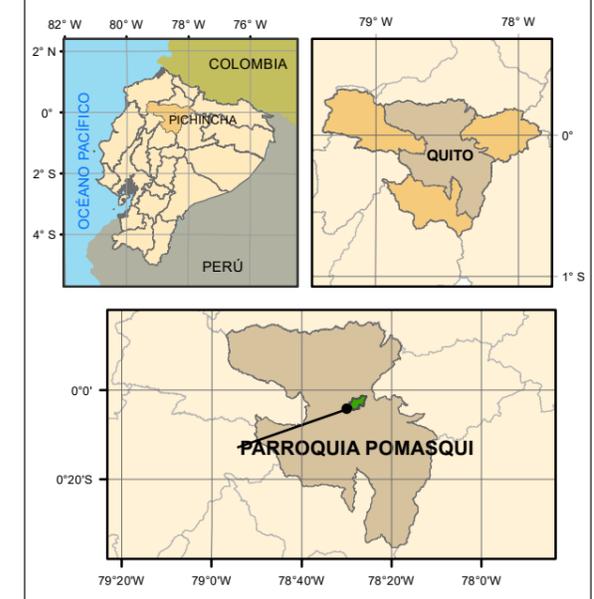
## MAPA GEOLÓGICO Y DEPÓSITOS SUPERFICIALES

<b>Elaborado por:</b> Norma Chiquín	<b>Fecha de Elaboración:</b> Julio, 2017	<b>Fuente:</b> IGM INIGEMM
<b>Escala:</b> Escala de Impresión: 1/30.000	<b>Sistema de Referencia:</b> UTM 17S - WGS 84	<b>No. de Mapa:</b> 4/7

# MAPA DE PROTECCIÓN DE COBERTURA VEGETAL DE LA PARROQUIA POMASQUI



## UBICACIÓN GEOGRÁFICA



## SIMBOLOGÍA

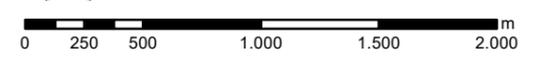
- Ríos
- RIOS

## LEYENDA

- Value**
- Muy alta
  - Alta
  - Mediana
  - Baja
  - Muy baja



## ESCALA GRÁFICA

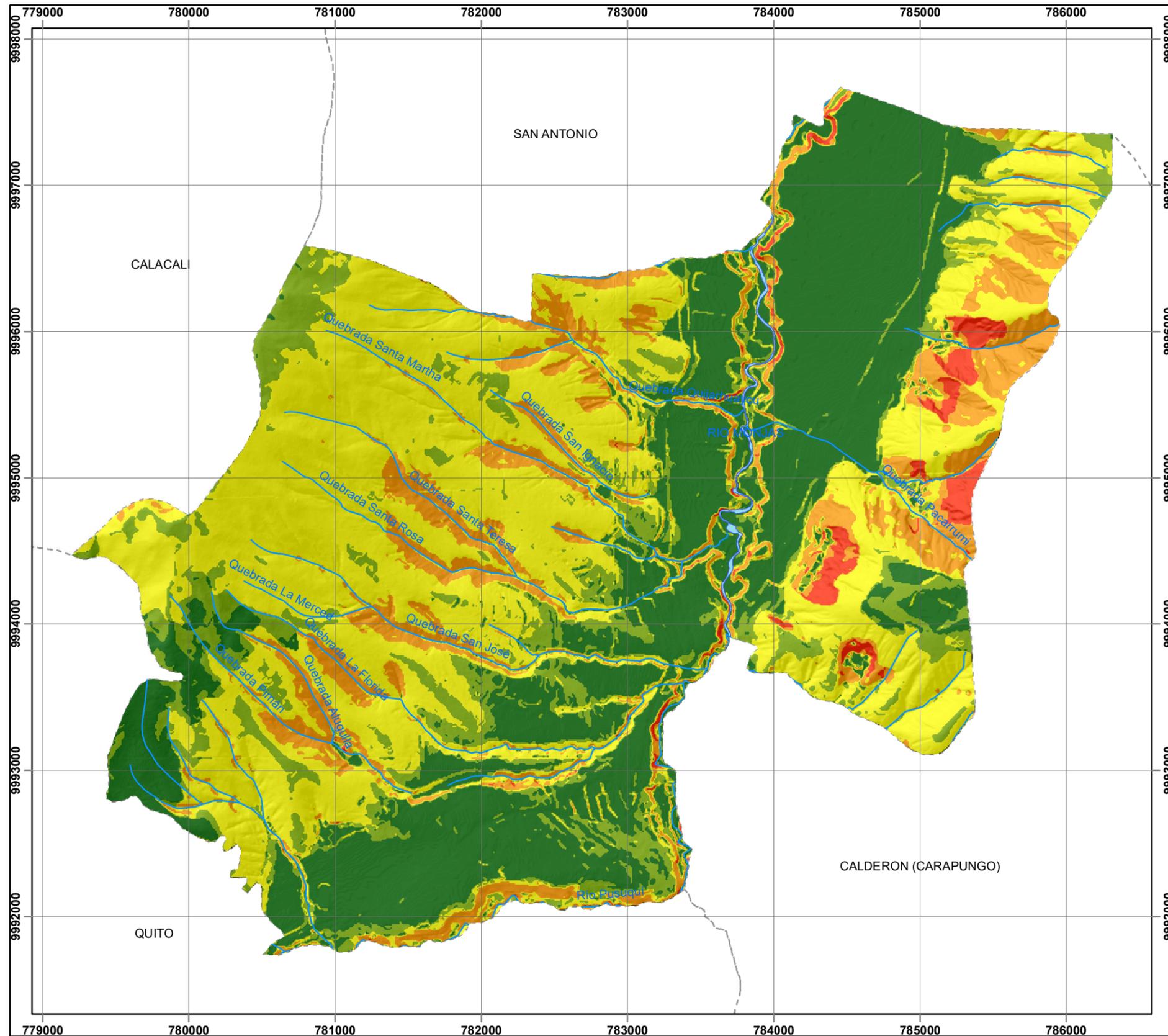


"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA PARROQUIA POMASQUI – ECUADOR"

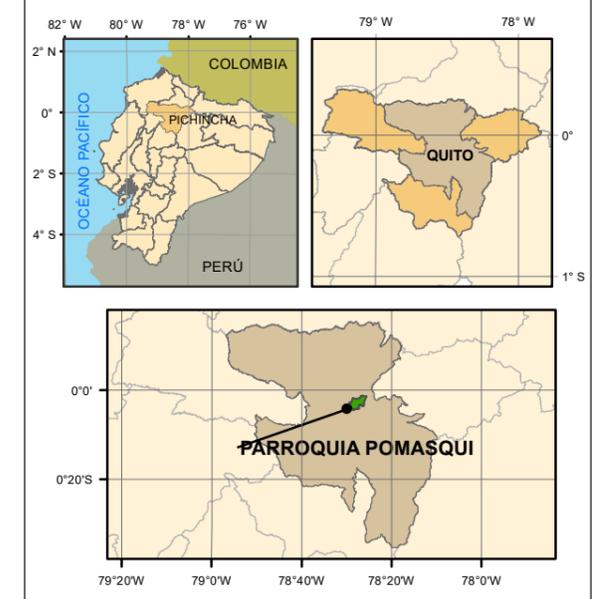
## MAPA DE PROTECCIÓN DE COBERTURA VEGETAL

<b>Elaborado por:</b> Norma Chiquín	<b>Fecha de Elaboración:</b> Julio, 2017	<b>Fuente:</b> IGM IEE - SIGTIERRAS
<b>Escala:</b> Escala de Impresión: 1/30.000	<b>Sistema de Referencia:</b> UTM 17S - WGS 84	<b>No. de Mapa:</b> 5/7

# MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DE LA PARROQUIA POMASQUI



## UBICACIÓN GEOGRÁFICA

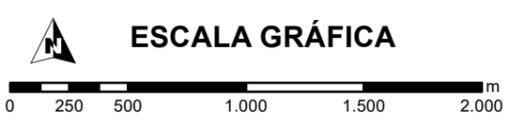


## SIMBOLOGÍA

- Ríos
- RIOS

## LEYENDA

GRADO DE AMENAZA	AREA Km2	%
Muy baja	7,57	32,1
Baja	3,02	12,8
Media	9,65	40,9
Alta	2,95	12,5
Muy alta	0,4	1,7
<b>TOTAL</b>	<b>23,59</b>	<b>100</b>

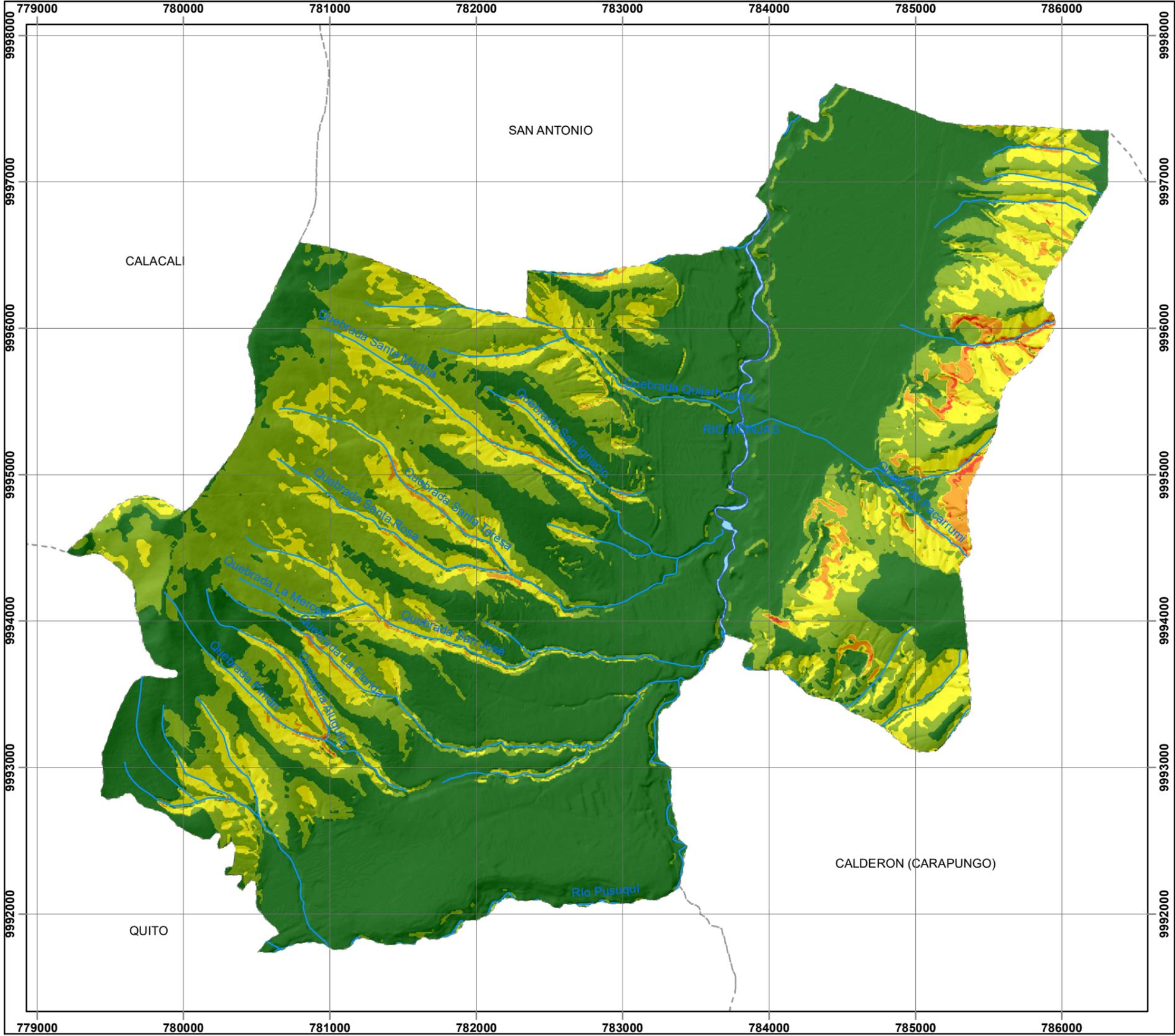


"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA PARROQUIA POMASQUI – ECUADOR"

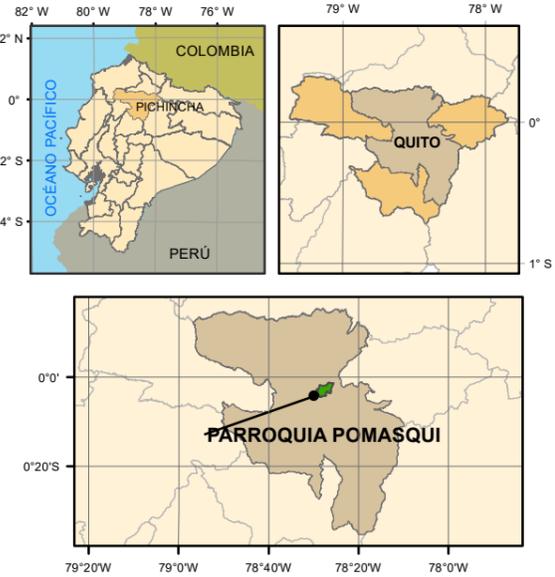
## MAPA DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS

<b>Elaborado por:</b> Norma Chiquín	<b>Fecha de Elaboración:</b> Julio, 2017	<b>Fuente:</b> IGM
<b>Escala:</b> Escala de Impresión: 1/30.000	<b>Sistema de Referencia:</b> UTM 17S - WGS 84	<b>No. de Mapa:</b> 6/7

# MAPA DE AMENAZA POR CAIDAS DE LA PARROQUIA POMASQUI



## UBICACIÓN GEOGRÁFICA



## SIMBOLOGÍA

- Ríos
- RIOS

## LEYENDA

GRADO DE AMENAZA	AREA Km2	%
Muy baja	13,16	55,8
Baja	6,46	27,38
Media	3,48	14,75
Alta	0,45	1,9
Muy alta	0,04	0,17
<b>TOTAL</b>	<b>23,59</b>	<b>100</b>



## ESCALA GRÁFICA



"SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA PARROQUIA POMASQUI – ECUADOR"

## MAPA DE AMENAZAS POR CAIDAS

<b>Elaborado por:</b> Norma Chiquín	<b>Fecha de Elaboración:</b> Julio, 2017	<b>Fuente:</b> IGM
<b>Escala:</b> Escala de Impresión: 1/30.000	<b>Sistema de Referencia:</b> UTM 17S - WGS 84	<b>No. de Mapa:</b> 7/7