

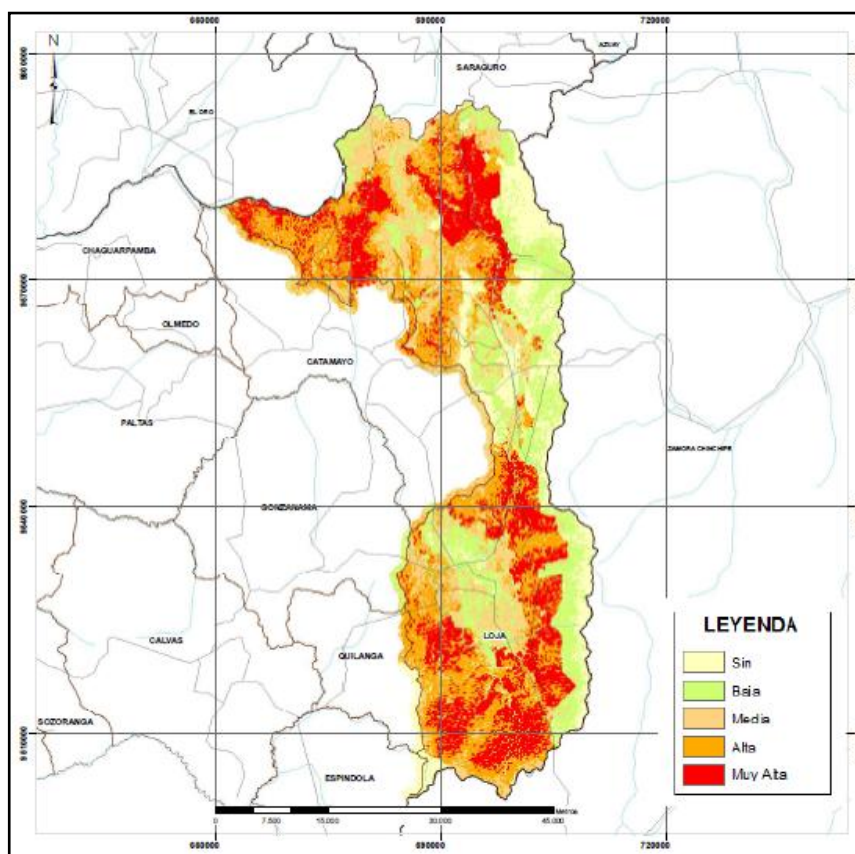


SERVICIO NACIONAL DE  
GESTIÓN DE RIESGOS  
Y EMERGENCIAS

Elaborado por: Subsecretaría de Gestión  
de la Información y Análisis de Riesgos

## ANÁLISIS DE AMENAZA ANTE MOVIMIENTOS EN MASA

Propuesta metodológica para el análisis de amenaza ante movimientos en masa en Ecuador  
Continental



## CONTENIDO

|    |                                    |    |
|----|------------------------------------|----|
| 1. | RESUMEN .....                      | 3  |
| 2. | INTRODUCCIÓN .....                 | 3  |
| 3. | OBJETIVOS .....                    | 4  |
| 4. | DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA..... | 5  |
| 5. | CONCLUSIONES .....                 | 24 |
| 6. | RECOMENDACIONES .....              | 25 |
| 7. | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....    | 25 |
| 8. | GLOSARIO DE TÉRMINOS.....          | 26 |

# Propuesta metodológica para el análisis de amenaza ante movimientos en masa en Ecuador Continental

## 1. RESUMEN

La metodología propuesta constituye una herramienta fundamental para identificar y caracterizar la amenaza por movimientos en masa a nivel cantonal, a escala 1:25.000, situación que permitirá establecer zonas con probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos de remoción en masa (niveles de amenaza), de tal forma que los tomadores de decisiones a nivel local puedan realizar un adecuado ordenamiento territorial y establecer políticas apropiadas en el ámbito de la gestión de riesgos, en aras de preservar la integridad de la población en general. Los sistemas de información geográfica serán indispensables durante el proceso sistemático y la experticia del profesional responsable de la asignación de la información geológica, estructural, edafológica, etc para la obtención de los resultados deseados y el cumplimiento de los objetivos planteados.

**Palabras clave:** Áreas, niveles, amenaza, ocurrencia, movimiento en masa, sistemas de información geográfica, resultados, objetivos.

## 2. INTRODUCCIÓN

Ecuador por ser parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, se encuentra localizado en una zona de intensa actividad sismo-tectónica-volcánica, lo que ha provocado deformaciones superficiales traducidas en procesos de geodinámica externa que relacionados a factores climáticos, sísmicos y antrópicos, que han dado lugar a procesos intensos de erosión, movimientos en masa e inundaciones recurrentes que han causado ingentes pérdidas socio - económicas y vidas humanas.

En función del análisis de varias metodologías desarrolladas a nivel nacional e internacional para la zonificación de movimientos en masa como: el método de la COSUDE, Mora-Vharson, Proyecto Multinacional Andino, Talud Infinito, Ponderación de Pesos y Heurística, entre otros, en el periodo 2010-2011 la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR), elaboró una propuesta metodológica "Elaboración de Mapas Preliminares de Amenaza por Movimientos en Masa a escala 1:50.000", la misma que consideró 8 factores para su análisis como son: pendiente del terreno, suelo, geología, estructura, geomorfología, uso y cobertura vegetal, saturación y precipitación. Esta metodología fue elaborada en consenso entre las siguientes instituciones: Escuela Politécnica Nacional, Consultora Sun Mountain Int, SNGR, INIGEMM, CLIRSEN, presentada en la ciudad de Cuenca, abril 2011 en el Simposio Internacional "Taller de Aplicaciones de la Tecnología Espacial en la gestión de Riesgos".

Frente al avance de la tecnología para el desarrollo de insumos cartográficos con mayor detalle, elaboración de Modelos Digitales de Elevación (DEM) de mayor resolución espacial (3 m. y 12 m.), aplicación de software especializados (Saga, Illwis, Global Mapper, ArcGis, Arcview y sus herramientas Shalstab y Sinmap, entre otros), así como la aplicación de nuevos procedimientos y técnicas para la definición de las variables o parámetros más idóneos previo a la elaboración de la

cartografía temática de amenaza por movimientos en masa a mayor escala, en tal virtud se hace la propuesta metodológica que se detalla a continuación:

La presente propuesta metodológica busca mejorar la determinación espacial de la amenaza en función de la integración de parámetros reológicos como la cohesión, densidad relativa, ángulo de fricción de las partículas del suelo basados en el factor de seguridad y talud infinito (Tarboton D. 1992), así como también considerando aspectos como la constante de la gravedad, transmisibilidad, línea inferior de humedad y profundidad del suelo. Igualmente mejora el análisis estadístico de distribución espacial de la normalización de variables basados en la obtención de valores heurísticos, lo que ha permitido homologar en rangos discretos variables continuas en unidades de paisaje homogéneas obtenidas mediante el siguiente proceso (Figura 1):

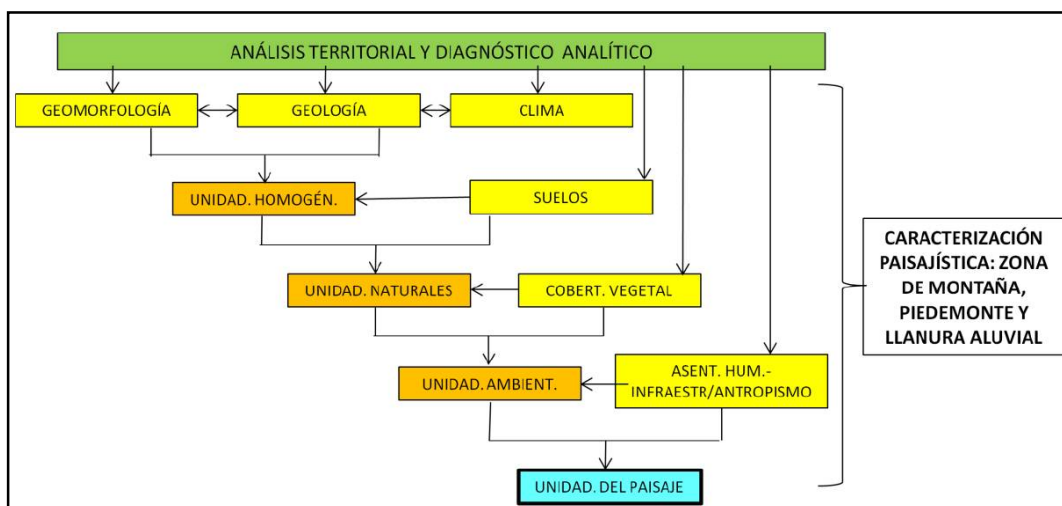


Figura 1. Caracterización Paisajística - Unidades de paisaje

### 3. OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL

Definir la metodología para la elaboración de la cartografía temática de amenazas por movimientos en masa a escala 1:25.000, en función del análisis multivariable, con el propósito de contar con insumos necesarios para un adecuado ordenamiento territorial bajo la responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Locales del país.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar una metodología de zonificación de amenazas por movimientos en masa que pueda ser utilizada interinstitucionalmente para la generación de cartografía temática a escala de detalle (1:25.000) a nivel cantonal.
- Determinar las diferentes amenazas por movimientos en masa mediante el análisis y procesamiento de información cartográfica temática, utilizando sistemas de información geográfica, así como también a través del análisis de la información primaria y secundaria

disponible (geología, geomorfología, edafología, estructural), etc y la correspondiente comprobación de campo.

#### **4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA**

##### **GENERALIDADES DE LA METODOLOGÍA**

Considerando la gran influencia de los procesos de geodinámica externa en todas las regiones de nuestro país, sean estos generados por procesos tectónicos o por acción de agentes climáticos como principales factores desencadenantes, la presente metodología propone establecer el nivel la amenaza por movimientos en masa presente en una región determinada, considerando variables como la densidad estructural (fallas geológicas, lineamientos estructurales), pendiente del terreno, suelo (textura), geología (litología), precipitación, profundidad efectiva e índice de estabilidad (Figura 2), mismas que por su consistencia son determinantes en la generación de procesos de remoción en masa, sean estos deslizamientos (traslacional y/o rotacional), caída de bloques, flujos, reptación, etc.

Los procesos de remoción en masa, se producen por un incremento de las fuerzas desestabilizadoras y/o por una reducción en la resistencia de los materiales implicados. Los factores que controlan los movimientos de ladera en general son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno (Seis de Dos Santos, 2009). Para un adecuado análisis para la determinación de la amenaza por movimientos en masa, se necesita determinar los factores condicionantes y desencadenantes de estos eventos naturales, por lo que tener clara su diferenciación es esencial.

##### **FACTORES CONDICIONANTES**

Los factores condicionantes o pasivos, son aquellos que dependen de la naturaleza, estructura y forma del terreno, tales como: La topografía, geomorfología, geología, uso y cobertura vegetal, cuya interacción define la susceptibilidad o probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa en una determinada zona de estudio.

##### **FACTORES DESENCADENANTES**

Los factores desencadenantes o activos, son considerados acciones externas, que provocan inestabilidad y desencadenan movimientos en masa al modificar las condiciones preexistentes.

Los factores desencadenantes a considerarse en el presente estudio están determinados por aspectos tectónicos y climáticos (precipitaciones) básicamente, los mismos que poseen la capacidad de provocar o disparar el evento adverso.

Se ha definido determinar la amenaza por movimientos en masa, pues esta se encuentra relacionada a una probabilidad de ocurrencia de estos eventos adversos de magnitud esperada y en un lugar y tiempo definidos, y esta se analiza en relación a la susceptibilidad y a los factores detonantes (tectónica, precipitaciones) de estos procesos de remoción en masa. Se podría decir que la amenaza es cuantitativa.

## **TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA**

En esta sección se presentan definiciones para los siguientes tipos de movimientos en masa: caídas, deslizamientos, flujos, reptaciones.

### **Caída**

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

### **Deslizamientos**

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

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

#### **Deslizamiento Traslacional**

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996).

#### **Deslizamiento Rotacional**

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contra pendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

### **Flujos**

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

### **Reptación**

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o

de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

### ***PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DEL FENÓMENO***

Se determinaron las principales variables que por su correspondencia temática y características, estas permiten determinar de manera adecuada la amenaza por movimientos en masa y están relacionadas de forma expresa con la densidad estructural (fallas geológicas, lineamientos estructurales), pendiente del terreno, suelo (textura), geología (litología), precipitación, profundidad efectiva e índice de estabilidad. Con cada una de estas variables se estableció un organigrama (Figura 2) considerando el orden de importancia entre cada una de estas, tanto para el análisis y procesamiento, como para la determinación de el eigenvector principal (representa el orden de prioridad de los factores) y eigenvector normalizado (es la relación entre el eigenvector principal y el número de variables objeto de análisis), aspectos que se detallarán más adelante.

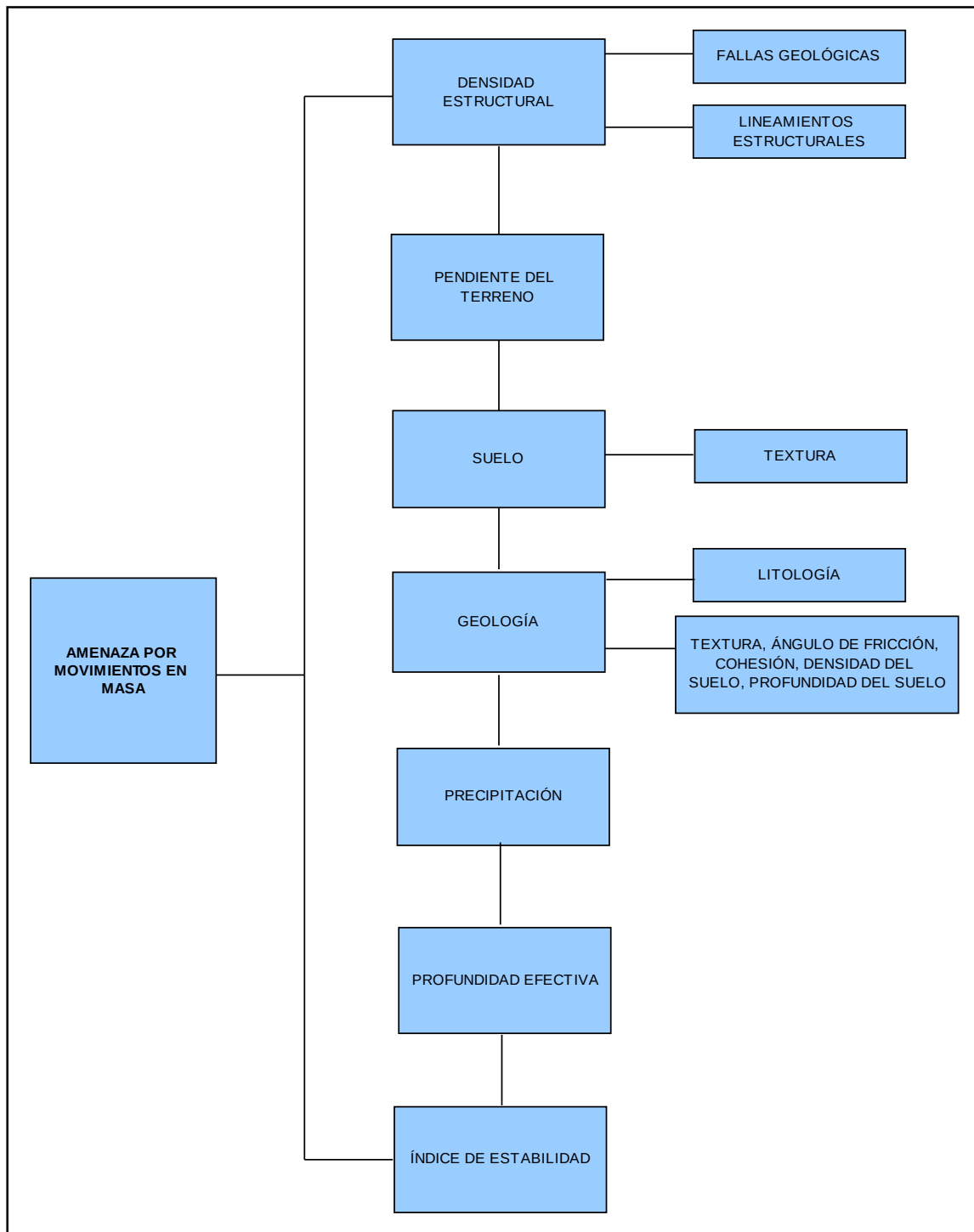


Figura 2. Variables para el mapa de amenaza por movimientos en masa

Disponer de un Modelo Digital de Terreno (resolución espacial de 3 m) es fundamental como punto de partida, pues éste constituye el insumo más importante al momento de determinar la densidad estructural, pendiente del terreno e índice de estabilidad, mismos que formaran parte del análisis multicriterio final.



## DENSIDAD ESTRUCTURAL

La densidad estructural se determinará en primera instancia trazando de forma manual aquellos lineamientos responsables del control estructural de la zona de estudio, diferenciando de aquellos que únicamente controlan el patrón de drenaje (Figura 3), esta información final corresponderá a un archivo raster (density) que formará parte de la proceso final (álgebra de mapas) como insumo para la elaboración del mapa de movimientos en masa.

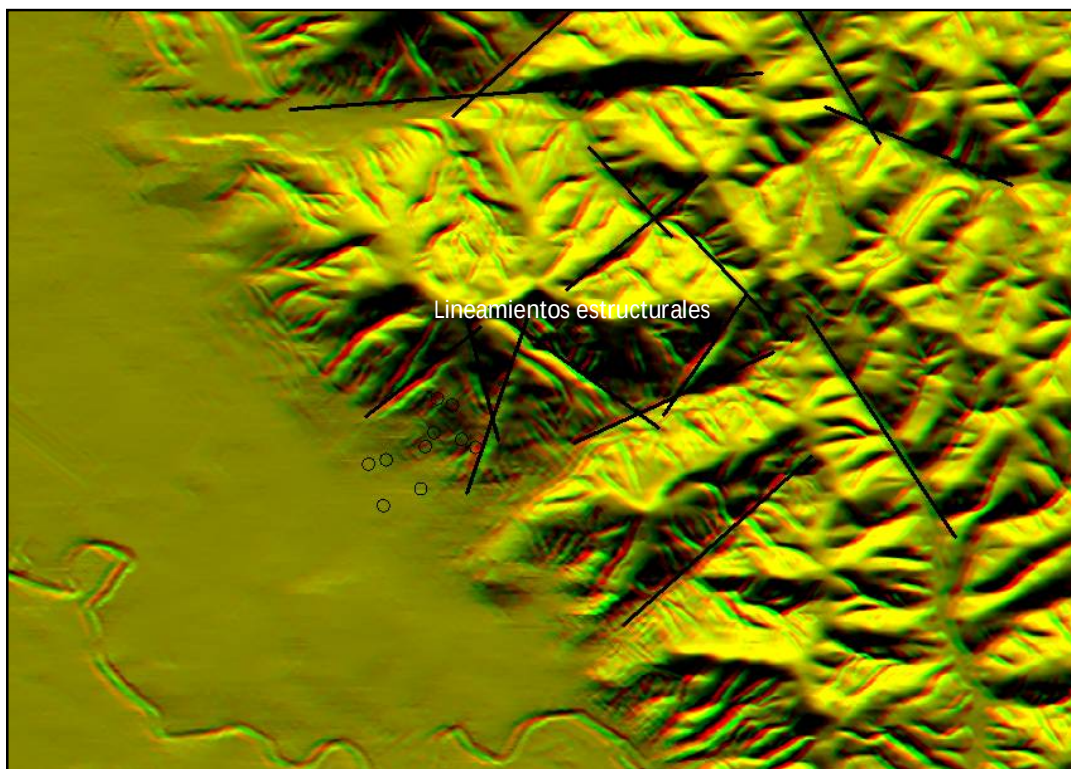


Figura 3. Determinación de los principales lineamientos estructurales

Únicamente sino se encuentran bien definidas las estructuras en el Modelo Digital de Elevación, se puede optar por utilizar las herramientas de software especializado, Surfer y el proceso correspondiente, es decir, Map\_Symbol\_Scaling Method (By Magnitud), el mismo que posteriormente es exportado como un archivo Shape File al ArcMap, generándose finalmente un archivo densidad (density) que es un raster, el cual será utilizado en el proceso final (álgebra de mapas) que constituirá un insumo (previo el proceso normalización de la variable) para la elaboración del Mapa de Movimientos en Mapa.

## PENDIENTE DEL TERRENO

Se expresa por el valor de la inclinación del terreno, se obtiene a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM). Se clasificó en 5 clases, el valor 1 indica que la pendiente presenta las condiciones menos favorables para que se produzcan movimientos en masa, mientras que el valor 5 indica las

condiciones más favorables para que se produzcan estos procesos de remoción en masa. La ponderación se la realiza de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1. Asignación de pesos por rango de pendiente

| PENDIENTE DEL TERRENO |           |             |                                                                                                     |
|-----------------------|-----------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLASE                 | RANGO (%) | PONDERACIÓN | DESCRIPCIÓN                                                                                         |
| MEDIA                 | 12 - 25   | 1           | Corresponden principalmente a relieves medianamente ondulados.                                      |
| MEDIA A FUERTE        | 25 - 40   | 2           | Corresponden principalmente a relieves mediana a fuertemente disectados.                            |
| FUERTE                | 40 - 70   | 3           | Corresponden principalmente a relieves fuertemente disectados.                                      |
| MUY FUERTE            | 70 - 100  | 4           | Corresponden principalmente a relieves muy fuertemente disectados.                                  |
| ESCARPADA             | > a 100   | 5           | Corresponden principalmente a relieves escarpados, es decir con pendientes iguales o mayores a 45°. |

Se han seleccionado únicamente los rangos de pendiente conforme la tabla que antecede, considerando que las superficies de terreno que presentan estos porcentajes, presentan mayor susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

Cabe indicar que en función de la resolución espacial del Modelo Digital del Terreno, se puede calcular las pendientes del terreno, utilizando las herramientas del software especializado ArcGis, Spatial Analyst Tools, Surface, Slope, cuyo producto es un archivo raster, variable que una vez normalizada, se puede utilizar de manera directa en el proceso final para la obtención del Mapa de Movimientos en Masa.

## ÍNDICE DE ESTABILIDAD

El índice de estabilidad responde al procesamiento de la información presente en forma intrínseca en el DEM (morfometría) y considerando los valores que el experto asigna a las variables que el software especializado requiere, como: constante de la gravedad, densidad del suelo, densidad del agua, transmisibilidad, cohesión, ángulo fricción y línea inferior de humedad, cuyo resultado es un archivo raster que constituye también un insumo importante en la elaboración del mapa propuesto (Figura 4).

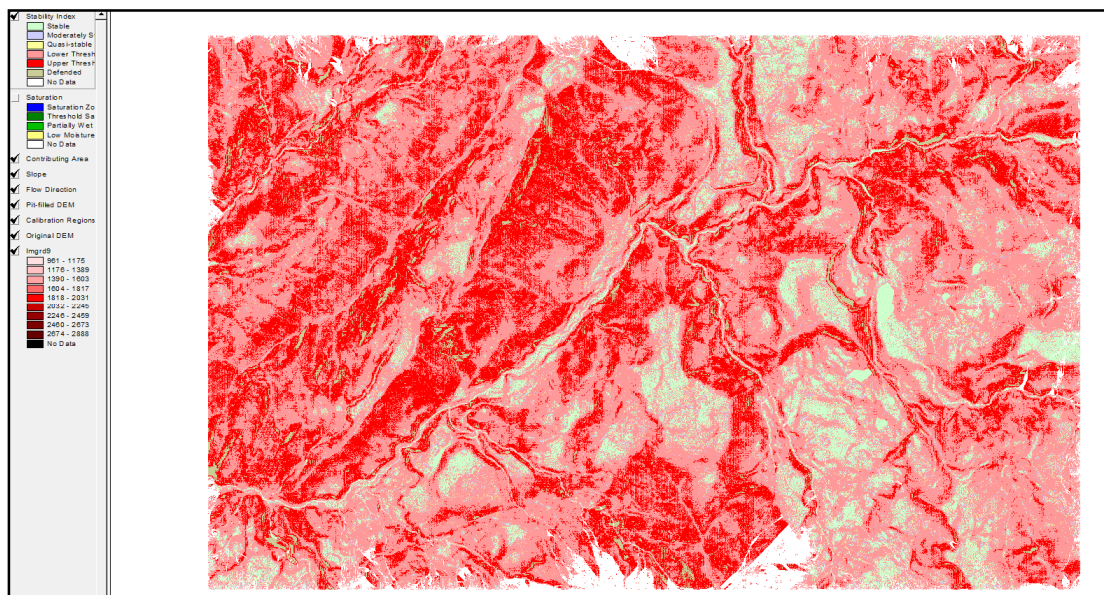


Figura 4. Determinación del índice de estabilidad

## PRECIPITACIÓN

El factor precipitaciones expresa la influencia de las lluvias como factor causal preparatorio o desencadenante de movimientos en masa. Se podría expresar de dos maneras, de acuerdo a los datos disponibles: como la intensidad de precipitaciones máximas en 24 horas o como isoyetas anuales de la zona de estudio.

En este caso, la información de precipitación se obtiene del raster de 10 m. de resolución espacial existente, misma que constituye de manera directa un insumo más para la elaboración del mapa de movimientos en masa.

En lo que respecta a la geología (litología), suelo (textura) y profundidad efectiva, se asignarán pesos a cada unidad litológica, clase textural y profundidad del suelo, considerando un rango del 1 al 5 en los dos primeros casos, y 1 al 4 en el tercer caso (esto es función de los factores intrínsecos de amenaza y factores externos de disparo o desencadenantes para cada caso) de acuerdo a la mayor o menor incidencia de cada factor para la ocurrencia de movimientos en masa. Mucho dependerá de la experticia del técnico responsable de este proceso al momento de la asignación de dichos pesos, de tal forma que se tenga una ponderación ajustada a la realidad geológica (Tabla 2), edafológica (Tabla 3) de cada región.

## GEOLOGÍA - LITOLOGÍA

Este factor se expresa a través de la geología de la zona de estudio, representada por la litología de cada una de las formaciones geológicas presentes.

Se consideró las características de los diferentes tipos de roca comprendidos en su respectivo ambiente geológico (ígneo, sedimentario y metamórfico), así como sus características texturales y sus propiedades geomecánicas.

En lo que respecta a depósitos, se tuvo en cuenta su comportamiento en taludes y laderas y su susceptibilidad frente a movimientos en masa.

El trabajo de campo es fundamental en el reconocimiento geológico estructural, a efectos de identificar las principales litologías, fallas geológicas presentes en la zona de estudio, determinar la situación actual de las superficies de terreno, definir la tipología por el proceso de remoción en masa y calibrar los modelos para obtener una metodología que se ajuste la realidad de cada territorio.

A cada litología se le asignó un valor, entre 1 y 5, se consideró la condición natural de la roca, así como también el grado de meteorización y fracturamiento (Tabla 2).

La ponderación deberá ser responsabilidad de profesionales con experiencia en este tipo de trabajo (geología, geomorfología), para una adecuada administración de los datos de entrada, procesamiento de la información, así como en la interpretación de resultados.

Es recomendable que se utilice información geológica adecuada, información primaria, secundaria y a una escala adecuada (de preferencia escala de detalle).

Tabla 2. Asignación de pesos por litología

| PONDERACIÓN DE PESOS POR LITOLOGÍA                                                                                  |             |                                                                                                                                        |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| LITOLOGÍA                                                                                                           | PONDERACIÓN | LITOLOGÍA                                                                                                                              | PONDERACIÓN |
| ABANICO ALUVIAL                                                                                                     | 5           | LOCALMENTE CONGLOMERADO DE BASE                                                                                                        | 2           |
| ANDESITA ANFIBOLICA, RIODACITA                                                                                      | 1           | ABANICO ALUVIAL                                                                                                                        | 2           |
| ANDESITA, BRECHA, AGLOMERADO                                                                                        | 3           | ABANICO VOLCÁNICO, LAHARES                                                                                                             | 4           |
| ANDESITA. PIROXENICA, PIROCLASTOS                                                                                   | 3           | AGLOMERADO VOLCANICO, ARENAS, CENIZAS, TOBA<br>AGLOMERATICA                                                                            | 5           |
| ANDESITAS, PIROXENICAS, BASALTO                                                                                     | 1           | AGLOMERADO VOLCANICO, ARENAS, CENIZAS, TOBA<br>AGLOMERATICA, ARCILLA, ARENISCA, CONGLOMERADO                                           | 5           |
| ANDESITAS PIROXENICAS, BASALTO-BRECHA,<br>LAHAR                                                                     | 3           | AGLOMERADO, LAVA, DACITA                                                                                                               | 2           |
| ARCILLA ROJA, ARENISCA FINA                                                                                         | 5           | AGLOMERADO, TOBA                                                                                                                       | 4           |
| ARCILLAS                                                                                                            | 5           | AGLOMERADO, TOBA, CAPAS DE LAVA                                                                                                        | 3           |
| ARCILLAS ABIGARRADAS, LUTITAS                                                                                       | 5           | ALASKITA, GRANITO, CUARZO DIORITA, TONALITA (cuando esta<br>meteorizado tiene valor 4)                                                 | 2           |
| ARCILLAS ABIGARRADAS, ARENISCAS<br>ARCILLOSAS                                                                       | 5           | ALUVIAL DE ESTERO                                                                                                                      | 2           |
| ARCILLAS, LIMOLITAS, ARENISCAS                                                                                      | 5           | ALUVIALES Y CENIZA NEGRA (depende de la localización puede<br>variar el peso)                                                          | 2           |
| ARCILLAS, LUTITAS, TOBÁCEAS, YESO                                                                                   | 5           | ALUVIONES MODERNOS                                                                                                                     | 3           |
| ARCILLAS, LUTITAS TOBÁCEAS, YESO,<br>ARENISCAS FINAS                                                                | 5           | ANDESITA                                                                                                                               | 1           |
| ARCILLOLITA ROJA, LIMONITA, ARENISCA                                                                                | 5           | ANDESITA AGLOMERADO                                                                                                                    | 1           |
| ARCILLOLITA ROJA, LIMOLITA, ARENISCAS                                                                               | 5           | ANDESITA ANFIBOLICA, RIODACITA                                                                                                         | 1           |
| ARCILLOLITAS, LIMOLITAS, ARENISCAS,<br>CONGLOMERADOS                                                                | 5           | ANDESITA BASALTICA                                                                                                                     | 1           |
| ARENAS DE EROSIÓN GLACIAR                                                                                           | 5           | ANDESITA PIROXENICA                                                                                                                    | 1           |
| ARENISCA, ARCILLA ROJA                                                                                              | 5           | ANDESITA PIROXENICA, TOBA                                                                                                              | 2           |
| ARENISCA, ARENISCA CONGLOMERATICA                                                                                   | 4           | ANDESITA PORFIRITICA                                                                                                                   | 2           |
| ARENISCA, CALIZA, LUTITA                                                                                            | 1           | ANDESITA PORFIRITICA, NO RIOLITA                                                                                                       | 2           |
| ARENISCA, CONGLOMERADO DE CUARZO,<br>ARCILLA ROJA                                                                   | 3           | ANDESITA PORFIRITICA, RIOLITA                                                                                                          | 2           |
| ARENISCAS                                                                                                           | 1           | ANDESITA PORFIRITICA, RIOLITA, NO RIOLITA                                                                                              | 2           |
| ARENISCAS CONGLOMERÁTICAS, LUTITAS,<br>CONGLOMERADOS                                                                | 4           | ANDESITA, BASALTO                                                                                                                      | 1           |
| ARENISCAS CUARZOSAS DE GRANO FINO A<br>MEDIO                                                                        | 1           | ANDESITA, PIROCLASTICOS                                                                                                                | 2           |
| ARENISCAS CUARZOSAS DE GRANO FINO A<br>MEDIO, LUTITAS                                                               | 1           | ANDESITA, AGLOMERADO                                                                                                                   | 2           |
| ARENISCAS FINAS, CONGLOMERADOS,<br>ARCILLAS, LIGNITOS                                                               | 3           | ANDESITA, AGLOMERADO, LAHAR                                                                                                            | 3           |
| ARENISCAS TOBÁCEAS, ARENISCAS<br>CONGLOMERÁTICAS, CONGLOMERADOS                                                     | 4           | ANDESITA, ANDESITA PIROXENICA, ANDESITA BASALTICA,<br>BRECHA, TOBA, RIOLITA                                                            | 2           |
| ARENISCAS, CONGLOMERADOS, HORIZONTES<br>DE GUIJARROS DE ARCILLAS, ARCILLAS<br>BENTONITICAS, ARENISCAS, TOBA         | 4           | ANDESITA, ANDESITA PIROXENICA, BRECHA, INTERCALACION DE<br>SEDIMENTOS                                                                  | 2           |
| ARENISCAS, CONGLOMERADOS, HORIZONTES<br>DE GUIJARROS DE ARCILLAS, ARCILLAS<br>BENTONITICAS, ARENISCAS, TOBA, LUTITA | 4           | ANDESITA, ARENISCA VOLCÁNICA, LIMOLITA VOLCÁNICA, LAVA<br>INDIFERENCIADA, VOLCANOCLASTICA GRUESA, BRECHA                               | 3           |
| ARENISCAS, LIGNITOS                                                                                                 | 1           | ANDESITA, BASALTO                                                                                                                      | 1           |
| BRECHAS, TOBAS ANDESITAS, RIOLITAS                                                                                  | 3           | ANDESITA, BASALTO, BRECHAS VOLCANICAS, CENIZA                                                                                          | 2           |
| BRECHAS, TOBAS METAMORFIZADAS                                                                                       | 4           | ANDESITA, BASALTO, LAVA INDIFERENCIADA, BRECHA,<br>VOLCANOCLASTITA GRUESA, ARENISCA VOLCANICA, LIMOLITA<br>VOLCANICA, LIMOLITA, LUTITA | 2           |
| CALIZA, LUTITAS, ARENISCAS                                                                                          | 1           | ANDESITA, BASALTO, LAVA INDIFERENCIADA,<br>VOLCANOCLASTICA GRUESA, ARENISCA VOLCANICA, LIMOLITA<br>VOLCANICA                           | 1           |
| CALIZAS, LUTITAS NEGRAS, ARENISCAS<br>CALCAREAS                                                                     | 1           | ANDESITA, BASALTO, LAVA NO DIFERENCIADA,<br>VOLCANICLASTITA GRUESA, ARENISCA VOLCANICA, LIMOLITA<br>VOLCANICA                          | 2           |
| CALIZAS, LUTITAS NEGRAS, ARENISCAS                                                                                  | 1           | ANDESITA, BRECHA                                                                                                                       | 2           |
| CENIZA, LAPILLI                                                                                                     | 5           | ANDESITA, BRECHA VOLCANICA, VOLCANO-SEDIMENTOS                                                                                         | 4           |
| CENIZAS VOLCANICAS                                                                                                  | 5           | ANDESITA, BRECHA, AGLOMERADO                                                                                                           | 2           |
| CONGLOMERADO, ARENISCAS<br>VOLCANOCLASTICAS                                                                         | 4           | ANDESITA, BRECHAS VOLCANICAS, CENIZA, DACITA                                                                                           | 3           |

## SUELO - TEXTURA

Los mapas de suelos proporcionan información esencial sobre los tipos de suelos que aparecen en una zona, su distribución espacial y sus características morfológicas, físicas y químicas.

Del mapa de suelos se obtiene las variables textura (granulometría) y profundidad efectiva del suelo. Las ponderaciones se realizan asignando valores con rangos de 1 al 5 en función de textura y la clasificación que le corresponde (Tabla 3).

Tabla 3. Asignación de pesos por textura del suelo

| TEXTURA DEL SUELO |                                    |               |             |
|-------------------|------------------------------------|---------------|-------------|
| MÁXIMA TEXTURA    | DESCRIPCIÓN                        | CLASIFICACIÓN | PONDERACIÓN |
| 11                | ARENOSO (FINA, MEDIA, GRUESA)      | GRUESA        | 5           |
| 12                | ARENOSO FRANCO                     |               |             |
| 21                | FRANCO ARENOSO (FINO A GRUESO)     |               | 4           |
| 32                | LIMOSO                             |               |             |
| 31                | FRANCO                             | MEDIA         | 3           |
| 22                | FRANCO LIMOSO                      |               |             |
| 34                | FRANCO ARCILLO - ARENOSO           |               |             |
| 35                | FRANCO ARCILLO LIMOSO              |               |             |
| 44                | ARCILLO LIMOSO                     | FINA          | 2           |
| 43                | ARCILLO ARENOSO                    |               |             |
| 33                | FRANCO ARCILLOSO (<35% DE ARCILLA) |               |             |
| 41                | FRANCO ARCILLOSO (>35%)            |               |             |
| 42                | ARCILLOSO                          |               | 1           |
| 51                | ARCILLOSO (>60%)                   |               |             |

## PROFUNDIDAD EFECTIVA

La profundidad efectiva de un suelo se considera el espacio en que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vista a conseguir el agua y los nutrientes indispensables. A mayor profundidad del suelo, mayor capacidad de retención de la humedad. Las ponderaciones se realizan asignando valores con rangos de 1 al 4 en función de la profundidad del suelo determinado en una región dada (a nivel de país se cuenta con cuatro niveles (superficial, poco profundo, Moderado profundo y profundo) como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Asignación de pesos por profundidad efectiva

| PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO |                   |             |
|--------------------------------|-------------------|-------------|
| MÍNIMA PROFUNDIDAD             | CLASIFICACIÓN     | PONDERACIÓN |
| 1                              | SUPERFICIAL       | 4           |
| 2                              | POCO PROFUNDO     | 3           |
| 3                              | MODERADO PROFUNDO | 2           |
| 4                              | PROFUNDO          | 1           |

Disponer de la tecnología adecuada es importante (software especializados actualizados, computadores con procesador y memoria RAM óptimos), pues será fundamental en el procesamiento de la información y por lo tanto para la generación de los diferentes insumos inherentes a la elaboración de los mapas de movimientos en masa a escala 1:25.000 de manera optima.



En el álgebra de mapas los valores de ponderación se van ajustando de acuerdo al escenario de estudio y su posición espacial dentro del paisaje natural ecuatoriano (Los Paisajes Naturales del Ecuador-GEDIG-IPGH-IGM-ORSTOM, 1997) a su vez dependerá de la experiencia y conocimiento del profesional especialista en la zona de trabajo o en varias zonas similares.

La recopilación de información es indispensable previo al inicio de todas las actividades relacionadas con la elaboración de la cartografía temática inherente a movimientos en masa, pues este procedimiento inicial garantiza conseguir los objetivos planteados. Esta información debe hacer referencia a:

- Modelo Digital de Elevación (DEM)
- Mapa de uso y cobertura del suelo
- Mapa Geomorfológico
- Mapa Geológico
- Mapa Geopedológico
- Precipitaciones
- Cartografía base (Vías, ríos, poblados)

## ELABORACIÓN DEL MODELO CARTOGRÁFICO

La metodología aplicada para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, contempla el análisis a partir de la utilización del método heurístico con ponderación de variables. Según Van Westen et al., 1997 es el más objetivo de todos, considerando que un especialista es el que determina el nivel de amenaza en una zona, a través de la definición de las variables más idóneas a utilizar, así como la asignación directa de los valores de ponderación a cada una de éstas por su jerarquía o grado de importancia.

Como se señaló anteriormente, la presente metodología considera un orden de jerarquización de las variables de acuerdo a su orden de importancia, a las cuales se les asigna pesos (ponderación de las variables), conforme un análisis minucioso variable a variable, por lo que fue necesario considerar el método de comparación propuesto por Saaty, 1977-1980, como se señala a continuación:

Este procedimiento parte de establecer una matriz cuadrática en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de factores a ponderar (Tabla 5), así se establece una matriz de comparación entre pares de factores. La escala de medida establecida para la asignación de los juicios de valor es una escala de tipo continuo (ratios o razón) que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9 (Saaty 1977, 1980) tal y como se representa a continuación:

|         |                            |          |       |          |                          |         |   |   |
|---------|----------------------------|----------|-------|----------|--------------------------|---------|---|---|
| 1/9     | 1/7                        | 1/5      | 1/3   | 1        | 3                        | 5       | 7 | 9 |
| Extrema | Fuerte<br>Menos importante | Moderada | Igual | Moderada | Fuerte<br>Más importante | Extrema |   |   |

Basándose en esta escala, podemos asignar a cada par de factores o variables (cada variable de la columna vs todas las variable de la fila) un juicio de valor de importancia relativa frente a una actividad propuesta. Por citar un ejemplo, entre la variable densidad estructural (columna) y la variable pendiente del terreno (fila), pese a que las dos son muy importantes, por jerarquía la primera prevalece sobre la otra, considerando que la densidad estructural es un factor desencadenante de movimientos en masa y por el contrario la pendiente es un parámetro morfométrico medido por la inclinación del terreno (Tabla 5), esto en lo que respecta a la asignación de pesos o ponderaciones.

En una matriz cuadrada ( $A$ ), un número real ( $\lambda$ ) se dice que es un valor propio o eigenvalor o valor característico de ( $A$ ), si existe un vector diferente del cero ( $x_0$ ), así:  $AX_0 = \lambda_0 X_0$ , es decir es un vector que al transformarlo mediante la multiplicación por ( $A$ ), el vector resultante mantiene la dirección, probablemente la longitud y/o el sentido se modifique. Por otro lado, los eigenvectores son vectores nulos que cuando son transformados dan lugar a un múltiplo escalar de sí mismos, con lo que no cambian su dirección. Tómese en cuenta que este escalar es el eigenvalor ( $\lambda$ ).

Conforme lo indicado en el párrafo anterior, y asociando esta teoría a nuestro estudio, se procede a determinar el eigenvector principal y posteriormente el eigenvector normalizado, para ello en primera instancia es necesario realizar una operación matemática (división) entre los valores asignados a cada par de variables (columna-fila) y el valor proveniente de la sumatoria total de dichos valores en su respectiva columna (esto para cada variable). De esta manera, el eigenvector principal (Tabla 6) corresponderá a la sumatoria total de los valores generados en cada fila de variables obtenidas en este proceso.

Es importante señalar que el valor total de los eigenvector principal (Tabla 6), deberá corresponder al número total de variables que se está empleando en el análisis (siete para este caso), situación que determinará la consistencia entre criterios.

Por otro lado, el eigenvector normalizado es el resultado del cociente entre el valor de cada eigenvector principal y el número de variables (siete para este caso) utilizada en el análisis de consistencia entre criterios (Tabla 7). El eigenvector normalizado, proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores, que en definitiva corresponden a los valores que formarán parte del proceso matemático (álgebra de mapas) final.



Tabla 5. Matriz de Saaty, variables por su orden de importancia y asignación de pesos por evaluación multicriterio

|                       | A                    |                       |       |           |               |                      |                       |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|-------|-----------|---------------|----------------------|-----------------------|
|                       | DENSIDAD ESTRUCTURAL | PENDIENTE DEL TERRENO | SUELO | LITOLOGIA | PRECIPITACIÓN | PROFUNDIDAD EFECTIVA | ÍNDICE DE ESTABILIDAD |
| DENSIDAD ESTRUCTURAL  | 1                    | 3,00                  | 5,00  | 5,00      | 3,00          | 3,00                 | 5,00                  |
| PENDIENTE DEL TERRENO | 0,20                 | 1                     | 5,00  | 5,00      | 5,00          | 5,00                 | 5,00                  |
| SUELO                 | 0,14                 | 0,33                  | 1     | 5,00      | 5,00          | 4,00                 | 5,00                  |
| LITOLOGIA             | 0,20                 | 0,20                  | 0,33  | 1,00      | 5,00          | 3,00                 | 5,00                  |
| PRECIPITACIÓN         | 0,20                 | 0,33                  | 0,33  | 0,50      | 1,00          | 3,00                 | 4,00                  |
| PROFUNDIDAD EFECTIVA  | 0,20                 | 0,20                  | 0,50  | 0,50      | 0,50          | 1,00                 | 5,00                  |
| ÍNDICE DE ESTABILIDAD | 0,50                 | 0,33                  | 0,50  | 0,50      | 0,50          | 0,50                 | 1                     |
| SUMATORIA             | 2,4                  | 5,4                   | 12,7  | 17,5      | 20,0          | 19,5                 | 30,00                 |

Tabla 6. Matriz de Saaty, variables por su orden de importancia y asignación de pesos por evaluación multicriterio (eigenvector principal)

| DENSIDAD | PENDIENTE | SUELO | LITOLOGÍA | PRECIPITACIÓN | PROFUNDIDAD EFECTIVA | ÍNDICE DE ESTABILIDAD | suma (eigenvector principal) |
|----------|-----------|-------|-----------|---------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|
| 0,41     | 0,56      | 0,39  | 0,29      | 0,15          | 0,15                 | 0,17                  | 2,12                         |
| 0,08     | 0,19      | 0,39  | 0,29      | 0,25          | 0,26                 | 0,17                  | 1,62                         |
| 0,06     | 0,06      | 0,08  | 0,29      | 0,25          | 0,21                 | 0,17                  | 1,11                         |
| 0,08     | 0,04      | 0,03  | 0,06      | 0,25          | 0,15                 | 0,17                  | 0,77                         |
| 0,08     | 0,06      | 0,03  | 0,03      | 0,05          | 0,15                 | 0,13                  | 0,54                         |
| 0,08     | 0,04      | 0,04  | 0,03      | 0,03          | 0,05                 | 0,17                  | 0,43                         |
| 0,20     | 0,06      | 0,04  | 0,03      | 0,03          | 0,03                 | 0,03                  | 0,42                         |
|          |           |       |           |               |                      |                       | 7,00                         |

Tabla 7. Matriz de Saaty, variables por su orden de importancia y asignación de pesos por evaluación multicriterio (eigenvector normalizado B)

De esta forma, los niveles de Amenaza por movimientos en masa se determinan con la siguiente relación (At), comprendida entre el raster de cada variable calculado y el eigenvector normalizado antes determinado:

$$At = [\text{densidad estructural}] * 0.30 + [\text{pendiente del terreno}] * 0.23 + [\text{suelo}] * 0.16 + [\text{litología}] * 0.11 + [\text{precipitación}] * 0.08 + [\text{profundidad efectiva}] * 0.06 + [\text{índice de estabilidad}] * 0.06$$

### ANÁLISIS MULTICRITERIO

Las variables utilizadas en el proceso cartográfico deben estar en formato raster y atravesar por el proceso de normalización correspondiente, previa a la generación de los mapas de amenaza ante movimientos en masa (Figura 5). Se utilizó software especializados, entre estos ArcGis y Global Mapper.

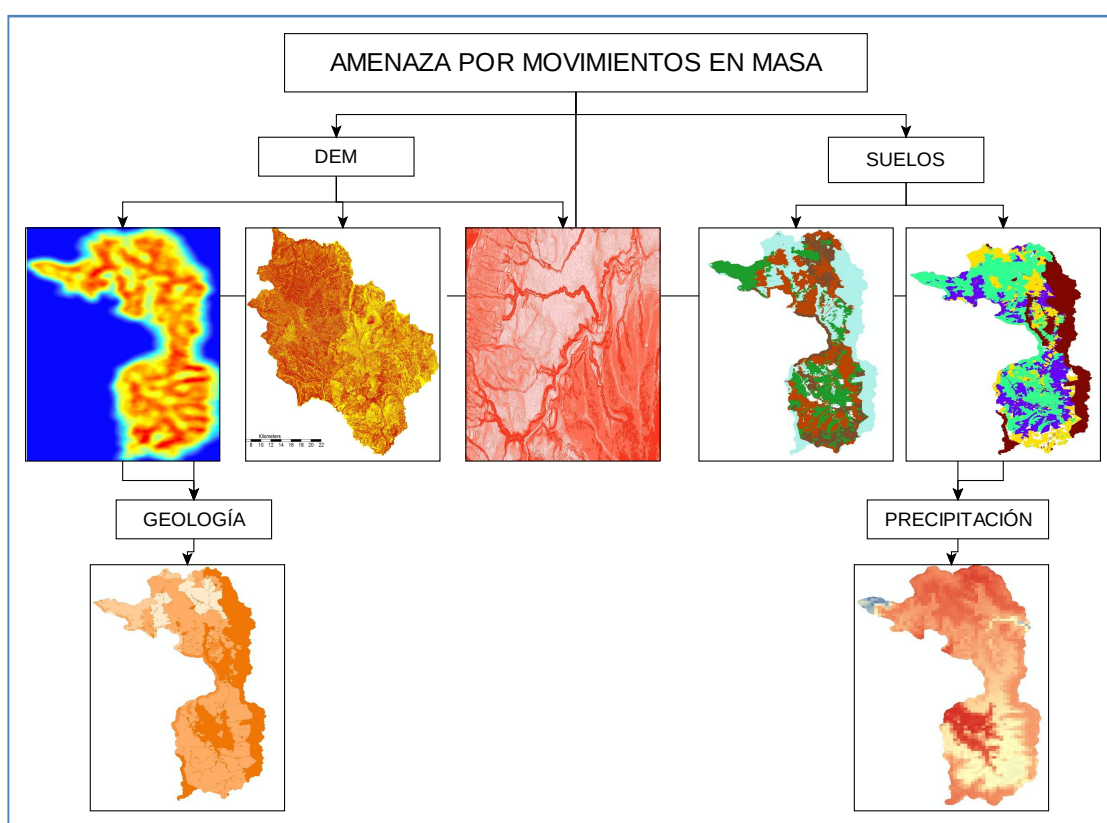


Figura 5. Raster generados del proceso cartográfico realizado a cada una de las variables

### VALIDACIÓN DEL MODELO CON INFORMACIÓN HISTÓRICA O RECIENTE

Se perfeccionan todos los procesos señalados en los acápites anteriormente señalados, a través de la validación en campo, con el objeto de complementar el análisis e interpretaciones previamente realizadas. Los aspectos a considerar son fundamentalmente la identificación, caracterización y definición de la tipología de los procesos de remoción en masa; es fundamental determinar con exactitud todos aquellos factores condicionantes (litología, suelo, etc) y aquellos desencadenantes (tectónica, precipitaciones, etc), de tal forma que la información obtenida sea adecuadamente

correlacionada con el trabajo de gabinete (debe existir correspondencia entre la observación de campo y los valores o ponderaciones establecidas en cada proceso) y se realicen los ajustes que se requieran a los diferentes modelos obtenidos durante el procesamiento, así como a la metodología propuesta.

## **CATEGORIZACIÓN DEL MODELO DE AMENAZA ANTE MOVIMIENTOS EN MASA**

Es necesario establecer los niveles de amenaza para una adecuada categorización, por ello se propone 5 niveles de clasificación, así:

### **SIN, BAJA, MEDIA, ALTA, MUY ALTA**

Las diferentes categorías definidas corresponden a un análisis con base a la distribución espacial de los rangos de clase o clasificación de cada una de las variables que intervienen en el proceso para la determinación de la amenaza (Figura 6), así como la distribución espacial de aquellos agentes detonantes aplicados (tectónica, precipitaciones) y su relación con los aspectos identificados en cada zona de estudio (geología, morfometría, edafología, etc), a través de la comprobación de campo.

#### **SIN AMENAZA**

Comprende áreas estables y sin probabilidades para que ocurran movimientos en masa. Se caracterizan por presentar pendientes del terreno planas a suaves, no mayores al 5 %.

#### **AMENAZA BAJA**

Estas áreas se caracterizan por presentar pendientes muy suave a suave, es decir no mayores al 12 %, y superficies de terreno con condiciones geológicamente estables aún ante la presencia de fenómenos intensos y extensos como las precipitaciones. En estas zonas puede producirse solifluxión del material.

#### **AMENAZA MEDIA**

Estas superficies se caracterizan por presentar pendientes de terreno media a media a fuerte, es decir no mayores al 40%, corresponden a materiales muy poco fracturados, medianamente meteorizados. Se evidencian procesos erosivos de baja intensidad; predominan procesos de reptación. El material se desestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas y/o extensas, así como a la acción de las precipitaciones en la zona.

#### **AMENAZA ALTA**

Corresponde a zonas en donde las condiciones del terreno se caracterizan por la presencia de rocas meteorizadas, fracturadas, en donde existe escasa cobertura vegetal, estas superficies presentan

suelos poco cohesivos, poco compactos. La zona está marcada por procesos erosivos causados especialmente por acción hídrica; además existe evidencia de la influencia tectónica local y regional. Comprenden zonas con pendientes media a fuerte hasta fuerte, es decir no supera el 70 %.

### AMENAZA MUY ALTA

Se caracterizan por la presencia de rocas muy meteorizadas, muy fracturadas, no existe cobertura vegetal, se evidencia cambios en el uso del suelo (actividad entrópica), estas superficies presentan suelos poco cohesivos, poco compactos. La zona está marcada por procesos erosivos causados especialmente por acción hídrica y la influencia tectónica local y regional. Comprenden zonas con pendientes muy fuertes a escarpada, es decir supera el 100 %.

| AMENAZA ANTE MOVIMIENTOS EN MASA                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | SIN. Comprende áreas estables y sin probabilidades para que ocurran Movimientos en Masa. Se caracterizan por presentar pendientes del terreno planas a suaves, no mayores al 5 %.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|    | BAJA. Estas áreas se caracterizan por presentar pendientes muy suave a suave, es decir no mayores al 12 %, y superficies de terreno con condiciones geológicamente estables aún ante la presencia de fenómenos intensos y extensos como las precipitaciones. En estas zonas puede producirse solifluxión del material.                                                                                                                                                                               |
|  | MEDIA. Estas superficies se caracterizan por presentar pendientes de terreno media a media a fuerte, es decir no mayores al 40%, corresponden a materiales muy poco fracturados, medianamente meteorizados. Se evidencian procesos erosivos de baja intensidad; predominan procesos de reptación. El material se desestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas y/o extensas, así como a la acción de las precipitaciones en la zona.                                                         |
|  | ALTA. Corresponde a zonas en donde las condiciones del terreno se caracterizan por la presencia de rocas meteorizadas, fracturadas, en donde existe escasa cobertura vegetal, estas superficies presentan suelos poco cohesivos, poco compactos. La zona está marcada por procesos erosivos causados especialmente por acción hídrica; además existe evidencia de la influencia tectónica local y regional. Comprenden zonas con pendientes media a fuerte hasta fuerte, es decir no supera el 70 %. |
|  | MUY ALTA. Corresponde a zonas que se caracterizan por la presencia de rocas muy meteorizadas, muy fracturadas, no existe cobertura vegetal, se evidencia cambios en el uso del suelo (actividad entrópica), estas superficies presentan suelos poco cohesivos, poco compactos. La zona está marcada por procesos erosivos causados especialmente por acción hídrica y la influencia tectónica local y regional. Comprenden zonas con pendientes muy fuertes a escarpada, es decir supera el 100 %.   |

Figura 6. Niveles de amenaza ante movimientos en masa

La cartografía generada permite expresar el grado o nivel de amenaza por movimientos en masa en un área determinada (Figura 7). La zonificación de la amenaza constituye una herramienta valiosa que permitirá a los gobiernos locales realizar una adecuada planificación de su territorio.

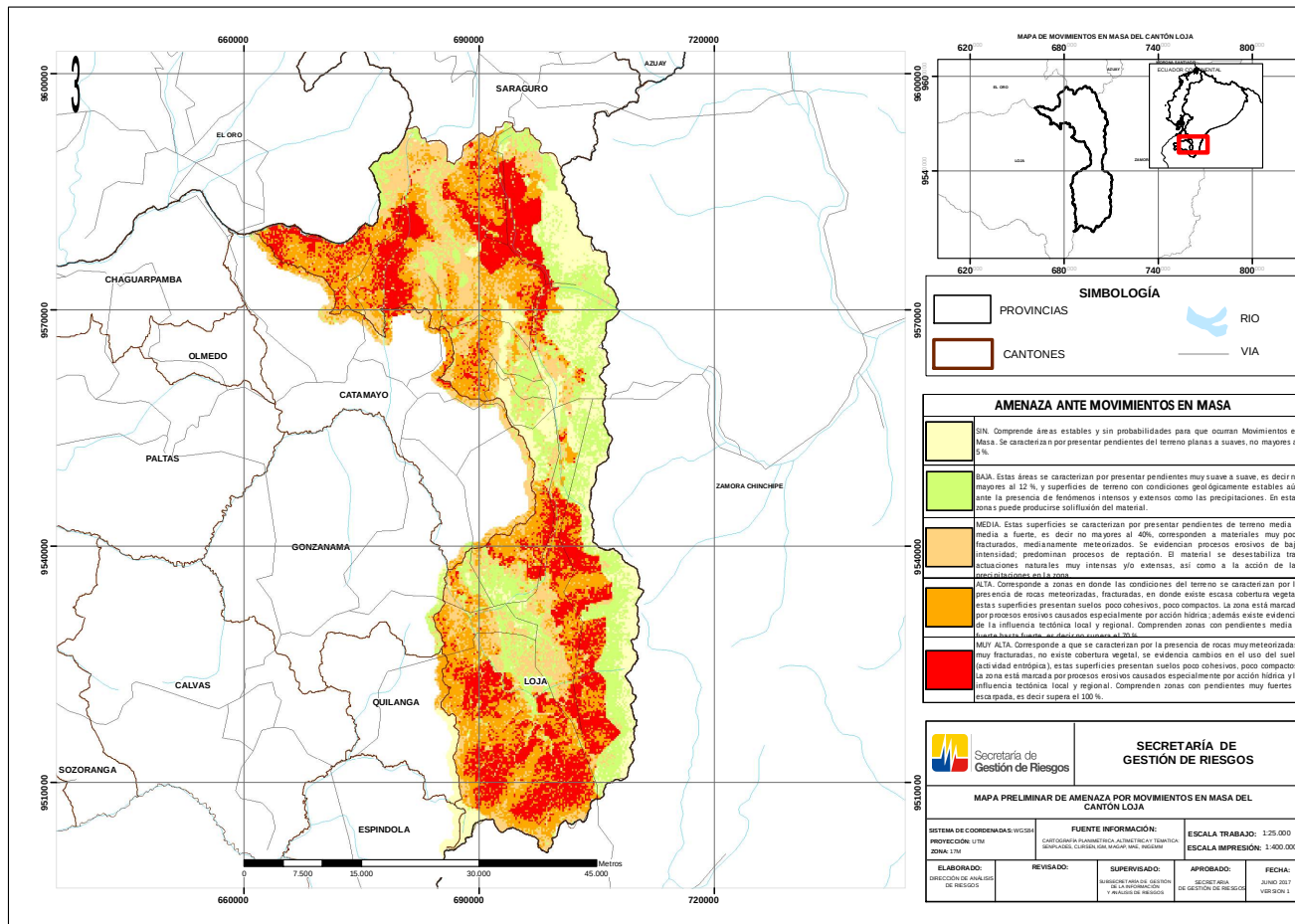


Figura 7. Mapa de Amenaza ante movimientos en masa

## NORMALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Normalizar significa comprimir o extender los valores de la variable para que estén en un rango definido. En general se entiende que la normalización es la operación mediante la cual un conjunto de valores de una determinada magnitud son transformados en otros, de tal suerte que estos últimos pertenezcan a una escala predeterminada. Al procesar la información los conjuntos de datos serán comparables.

Mediante la normalización se pretende que un conjunto de variables cuantificadas a través de diferentes unidades de medida sea transformado en un conjunto de nuevas variables medidas en una unidad común. Según la clasificación establecida por Barba-Romero y Pomerol, 1977, la normalización puede ser de tres tipos:

- a) Sin cambio de magnitud.
- b) Con cambio de magnitud a escala libre.
- c) Con cambio de magnitud a escala fija.

La idea fundamental es conseguir todas las distribuciones de probabilidad que se ajusten a valores medidos en diferentes escalas respecto a una escala común.

Para efectos del presente estudio, la normalización de las variables se realizará utilizando el modo denominado “con cambio de magnitud a escala fija”, es decir transformando datos a una escala adimensional acotada entre valores [0,1] como lo señala Barba-Romero y Promerol, 1997 (Figura 8).

$$v_i = \frac{a_i - \min a_i}{\max a_i - \min a_i}$$

Siendo:

$V_i$ : Factor normalizado

$a_i$ : Factor a normalizar

$\min a_i$ : valor mínimo del factor

$\max a_i$ : valor máximo del factor

Todas las variables consideradas en el presente estudio, luego del procesamiento correspondiente deberán ser formato raster y ubicadas en modo flotante (valores máximos y valores mínimos), situación que constituirá la base fundamental en el proceso de normalización de cada factor.

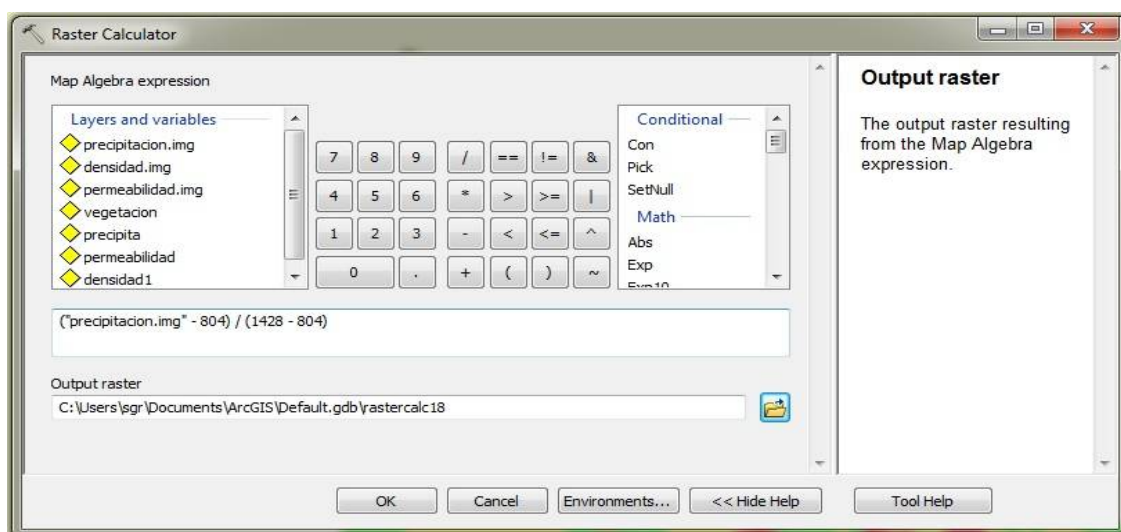


Figura 8. Normalización de las variables para determinar la amenaza por movimientos en masa

Una vez normalizadas las variables, éstas serán incorporadas al cálculo del raster final de amenaza por movimientos en masa, como se expresa en la ecuación señalada en el apartado anterior (At).

## 5. CONCLUSIONES

- La metodología propuesta constituye una guía que permitirá la actualización de la cartografía temática de amenaza por movimientos en masa a nivel cantonal a mayor escala (1:25.000).
- El desarrollo de la presente metodología, permitirá la obtención de la cartografía de amenaza por movimientos en masa a nivel cantonal a escala 1:25.000, a través de un sistema de análisis multicriterio (Proceso de Análisis Jerárquico - AHP), utilizando archivos tipo raster. La metodología propuesta que se basa en el método de "Ponderación de variables con criterios Heurísticos", es aplicable en todas las unidades de paisaje del país, en función de la disponibilidad de la información primaria y secundaria disponible y a una escala adecuada.
- Las variables objeto de la evaluación, presentes en la metodología propuesta, corresponden a: densidad estructural, pendiente del terreno, suelo-textura, litología, precipitación, profundidad efectiva e índice de estabilidad, que por su consistencia temática son determinantes en la generación de procesos de remoción en masa, sean estos deslizamientos (traslacional y/o rotacional), caída de bloques, flujos, reptación, etc.
- Se definió la zonificación de la amenaza por movimientos en masa en 5 categorías: sin, baja, media, alta y muy alta. Esta zonificación constituye una valiosa herramienta para los gobiernos autónomos descentralizados en el ámbito del ordenamiento territorial (planificación del territorio), para este fin se consideró la morfometría (pendiente del terreno), aspectos relacionados a la tectónica, clima, actividad antropica (cambio de uso del suelo), tipo de suelo, así como procesos externos que provocan la alteración y disgregación de las rocas en contacto con la atmosfera.



- Para la normalización de las variables, se considera el modo cambio de magnitud a escala fija propuesto por Barba-Romero y Promerol, 1997, tomando en cuenta que las variables analizadas requieren ser expresadas en una unidad homogénea, es decir transformando los datos a una escala adimensional acotada entre valores [0,1].
- La información edafológica y geomorfológica (Geodatabase) a nivel nacional, en su mayor parte se encuentra catalogada y dispersa, al ser generada de una institución a otra, razón por la cual es necesario homologar los datos relacionados con esta temática, para un adecuado procesamiento y obtención de resultados óptimos.
- Existen varias zonas del país que forman parte del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE), razón por la cual no se cuenta con suficiente información edafológica y geomorfológica para el procesamiento y elaboración de la cartografía temática de amenaza ante movimientos en masa.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Difundir la presente metodología a las diferentes entidades involucradas en la gestión de riesgos a nivel nacional, en aras de que la información propuesta constituya una herramienta para la toma de decisiones en el control urbano y para la programación de proyectos específicos orientados al Ordenamiento Territorial.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- (Soldano, 2009)
- (Tarantola, 2001)
- (Omar Darío, ONAD, PNUD, OPS, UNDRO, 1991)
- (Barba-Romero, 1997)
- (SENPLADES, 2011)
- (G. Trejos, 2016)
- (SAATY, 1999)
- (Andino, 2007)
- (PIRNA, 2015)
- (SAATY T. L., 1980)
- (Proyecto Multinacional Andino, 2006 - 2007)
- (Vahrson, 1991)
- (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2010 - 2011)
- (Suares, 2009)
- (<http://www.synergicpartners.com/precauciones-a-la-hora-de-normalizar-datos-en-data-science/>)

## 8. GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Amenaza.** - Está relacionada a una probabilidad de ocurrencia de tales fenómenos, de una magnitud esperada en un lugar y tiempo definidos. La Amenaza se analiza en relación a la susceptibilidad y los factores detonantes (lluvias y sismos) son los que accionan o disparan el inicio de los eventos.

**Ángulo de fricción interna  $\phi$**  (internal friction angle).- Equivalente al coeficiente de fricción, es un parámetro de resistencia de suelos y rocas que mide la relación máxima entre un esfuerzo normal y uno tangencial a lo largo de una superficie de falla.

**Cohesion).**- Parámetro de resistencia de un suelo que expresa la fuerza por la cual las moléculas homogéneas de un cuerpo se adhieren unas con otras (Holtz y Kovacs, 1991).

**Condicionante** (contributing factor).- Contribuyente.- Se refiere a todos aquellos factores naturales o antrópicos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituyen el evento detonante del movimiento.

**Detonante (trigger).**- Disparador, desencadenante, gatillante. Acción, o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera y la sobrecarga de una ladera.

**Escarpe.**- Superficie vertical o semivertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica.

**Estabilidad** (slope stability).- Condición de estabilidad de un talud o ladera.

**Erosión** (erosión).- Parte del proceso denudativo de la superficie terrestre que consiste del arranque y transporte de material de suelo o roca por un agente natural como el agua, el viento y el hielo, o por el hombre.

**Falla** (failure).- Rotura, corte. Rotura de una masa o material, que involucra un desplazamiento relativo de las partes en que se separa, a lo largo de una superficie llamada superficie de falla.

**Hundimiento.**- Desplazamiento vertical brusco de una masa de suelo o roca debido en muchas ocasiones a la falla estructural de la bóveda de una cavidad subterránea. Suelen estar asociados a procesos de disolución de rocas carbonatadas o a la minería subterránea (Hauser, 2000).

**Ladera** (natural slope) Superficie natural inclinada de un terreno.

**Meteorización** (weathering).- Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

**Movimiento en masa** (mass movement, landslide).- Fenómeno de remoción en masa, proceso de remoción en masa, remoción en masa, fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

**Riesgo.-** El riesgo es una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente. Se mide en vidas humanas, propiedades en riesgo y daños ambientales. El riesgo generalmente, es estimado como el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias para los elementos en riesgo.

**Susceptibilidad.-** Cuando se habla de susceptibilidad por deslizamientos se refiere a la tendencia de un terreno a generar estos procesos, en función a sus propiedades intrínsecas (geología, pendiente, cobertura vegetal, tipo de suelo, etc).

**Talud (slope).-** Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

**Unidad litológica.-** Tipos de rocas agrupadas según sus características litológicas en el sentido más amplio, basadas en criterios petrográficos, situacionales o diferenciaciones tectónicas.

**Vulnerabilidad.-** El grado de probabilidad de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos dentro del área afectada por el deslizamiento, se expresa en una escala de 0 (no pérdida) a 1 (pérdida total).

**Zonificación.-** La zonificación de amenazas y riesgos permite evaluar, parcialmente, esa incertidumbre y es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente, en las primeras etapas de planeación de un proyecto. La zonificación consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas de acuerdo con el grado real o potencial de amenaza o de riesgo.