

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL ECUADOR, ESCALA 1:1'000.000 (VERSIÓN PRELIMINAR)

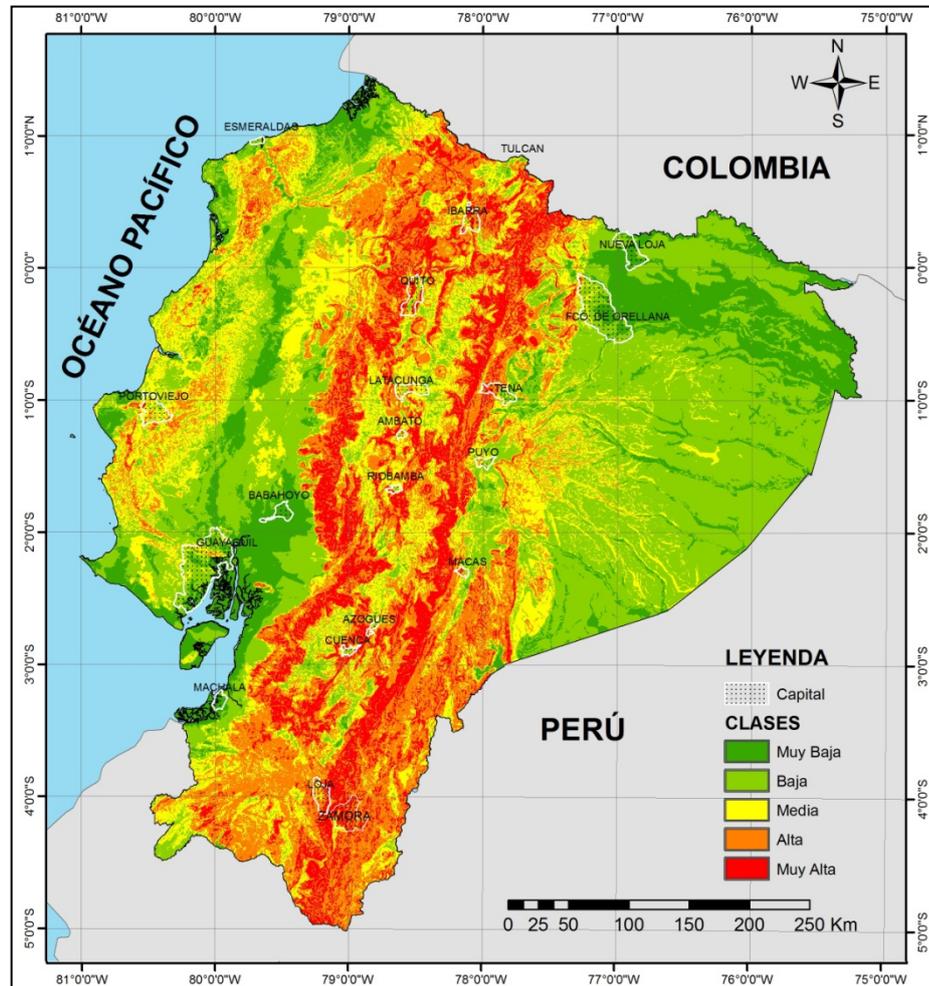


Figura N° 1: Mapa de Susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador.

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA
 MINERO METALÚRGICA

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y PELIGROS/AMENAZAS
 POR PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA, ESCALA
 1:50.000, DEL TERRITORIO ECUATORIANO, FASE I

OCTUBRE/2013

“MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL ECUADOR, ESCALA 1:1’000.000 (ESTUDIO PRELIMINAR)”

DIRECTOR EJECUTIVO: Ing. Colón Velásquez López., Ph. D.

DIRECTOR DE GEOLOGÍA: Ing. Fabián Villares, M. Sc.

COORDINADOR DEL PROYECTO: Ing. Fausto Carranco

EQUIPO TÉCNICO DEL PROYECTO:

Srta. Mercy Eras G.
Ing. Galo Plaza N. MSc.

Egresada de Geología – EPN
Profesor EPN. Dpto. de Geología

PARTICIPANTES:

Ing. Svetlana Zavgorodnyaya Ph. D.
Ing. Oswaldo Proaño MSc.

Profesora de la PUCE
Profesor de la EPN. Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental.

Ing. Napoleón Burbano

INAMHI. Dpto. de Hidrometeorología.

ELABORACIÓN DE MEMORIA TÉCNICA:

Srta. Mercy Eras G.
Ing. Galo Plaza N. MSc.

Egresada de Geología – EPN
Profesor EPN. Dpto. de Geología

DIRECCIÓN TÉCNICA:

Ing. Galo Plaza N. MSc.

Quito - Ecuador
Octubre – 2013

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 OBJETIVOS	4
1.3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
1.4 CLIMA Y VEGETACIÓN.....	5
2 METODOLOGÍA UTILIZADA Y FACTORES DE ANÁLISIS.....	5
2.1 METODOLOGÍA.....	5
2.2 FACTORES DE ANÁLISIS	8
2.2.1 FACTOR PENDIENTE	9
2.2.1.1 Metodología y valoración.....	9
2.2.2 FACTOR LITOLÓGICO	11
2.2.2.1 Metodología y valoración.....	11
2.2.3 FACTOR RELIEVE.....	16
2.2.3.1 Metodología y valoración.....	16
2.2.4 FACTOR USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL.....	18
2.2.4.1 Metodología y valoración.....	18
2.2.5 FACTOR PRECIPITACIÓN	20
2.2.5.1 Metodología y valoración.....	20
2.2.6 FACTOR HIDROGEOLÓGICO.....	27
2.2.6.1 Metodología y valoración.....	27
2.2.7 FACTOR SISMICIDAD	29
2.2.7.1 Metodología y valoración.....	29
3 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA	30
3.1 METODOLOGÍA DEL INVENTARIO	31
3.2 RESULTADOS	33
4 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	45
4.1 MÉTODO DE PONDERACIÓN DE PARÁMETROS: 4 FACTORES....	45
4.2 MÉTODO DE PONDERACIÓN DE PARÁMETROS: 5 FACTORES....	47
4.3 MÉTODO DE PONDERACIÓN DE PARÁMETROS: 6 FACTORES....	49
5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS.....	51
5.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CLASES DE SUSCEPTIBILIDAD	54
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
7 BIBLIOGRAFÍA.....	59
8 ANEXOS	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Mapa de Susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador. .1	
Figura N° 2: Área de estudio.....4	4
Figura N° 3: Jerarquía para la elaboración del mapa de susceptibilidad, escala. 1:1'000.000.....6	6
Figura N° 4: Matriz para la comparación de parámetros.....7	7
Figura N° 5: Mapa del factor pendiente valorado.....11	11
Figura N° 6: Mapa de unidades litológicas valorado.....16	16
Figura N° 7: Mapa de grandes unidades de relieve valorado.....18	18
Figura N° 8: Mapa del factor uso de suelo y cobertura vegetal valorado.....20	20
Figura N° 9: Estaciones pluviométricas y pluviográficas del Ecuador.....25	25
Figura N° 10: Mapa del factor precipitación valorado.....27	27
Figura N° 11: Mapa de unidades hidrogeológicas valoradas.....28	28
Figura N° 12: Mapa del factor aceleración sísmica valorado.....30	30
Figura N° 13: Mapa Inventario de Movimientos en Masa del Ecuador.....35	35
Figura N° 14: Deslizamiento de Cacha, sector Panaderos (escarpe principal) 37	37
Figura N° 15: Deslizamiento de Cacha, sector Panaderos (pie de deslizamiento)37	37
Figura N° 16: Deslizamiento de El Tambo.....38	38
Figura N° 17: Avalancha de Las Moras.....39	39
Figura N° 18: Vista frontal del deslizamiento Pisque.....41	41
Figura N° 19: El deslizamiento-represamiento de La Josefina (05-04-93).....42	42
Figura N° 20: Deslizamiento Nambija. Condominio Norte.....42	42
Figura N° 21: Deslizamiento de Guasuntos.....44	44
Figura N° 22: Deslizamiento Achupallas.....45	45
Figura N° 23: Mapa de susceptibilidad por mm del Ecuador: 4 factores.....47	47
Figura N° 24: Mapa de susceptibilidad por mm del Ecuador: 5 factores.....49	49
Figura N° 25: Mapa de susceptibilidad por mm del Ecuador: 6 factores.....51	51
Figura N° 26: Movimientos en masa (%) en cada clase de susceptibilidad.....53	53
Figura N° 27: Área (%) de cada clase de susceptibilidad respecto al área total53	53
Figura N° 28: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador55	55

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 1: Deslizamiento de Guarumales – Esc. Daniel Palacios Izquierdo....	38
Foto N° 2: Movimientos en masa, zona del Reventador.	40
Foto N° 3: Deslizamiento Río Chanchán.....	43
Foto N° 4: Represamiento del río Guasuntos.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Criterios usados para la calificación de parámetros. MJA	7
Tabla N° 2: Consistencia aleatoria (CA) de la matriz de comparación por pares de factores.....	8
Tabla N° 3: Factores de análisis.....	9
Tabla N° 4: Clasificación del factor pendiente	10
Tabla N° 5: Valoración de los rangos del factor pendiente.....	10
Tabla N° 6: Valoración de las unidades litológicas.....	12
Tabla N° 7: Valoración de las Grandes Unidades de Relieves del Ecuador.....	17
Tabla N° 8: Valoración de las unidades de uso de suelo y cobertura vegetal ..	19
Tabla N° 9: Intensidades máximas en 24h00 para un período de retorno de 100 años, estaciones pluviográficas y pluviométricas.. ..	21
Tabla N° 10: Valoración de las clases del factor intensidad de lluvias	26
Tabla N° 11: Valoración de las clases del factor hidrogeológico	28
Tabla N° 12: Valoración de las clases del factor sísmico	29
Tabla N° 13: Movimientos en Masa Históricos ocurridos en Ecuador	36
Tabla N° 14: Determinación de pesos de los factores mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA):) : 4 factores	46
Tabla N° 15: Determinación de pesos de los factores mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA): 5 factores.....	48
Tabla N° 16: Determinación de pesos de los factores mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA): 6 factores.....	50
Tabla N° 17: . Porcentaje de movimientos en masa de cada clase de susceptibilidad	52
Tabla N° 18: Porcentaje del área de cada clase con respecto al área total	52

ABREVIATURAS

INIGEMM	Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico
EPN	Escuela Politécnica Nacional
PUCE	Pontífice Universidad Católica del Ecuador
INAMHI	Instituto Nacional Meteorología e Hidrología
DNDC	Dirección Nacional de Defensa Civil
CLIRSEN	Centro de Levantamientos Integrales de Recursos Naturales por Sensores Remotos
IEE	Instituto Espacial Ecuatoriano
JCT	Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slope.
SGC	Servicio Geológico Colombiano
PMA-CGA	Proyecto Multinacional Andino. Geociencias para las Comunidades Andinas
INGEMMET	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú
INGEOMINAS	Instituto Colombiano de Geología y Minería
MJA	Método de Jerarquización Analítica
DEM	Modelo Digital de Elevación
ODA	Overseas Development Administration
CODIGEM	Corporación de Desarrollo Geológico Minero
BGS	British Geological Survey
IPGH	Instituto Panamericano de Geografía e Historia
Orstom	Office de la recherche scientifique et technique outre-mer
CONADE	Corporación Técnica de Desarrollo
SIG	Sistema de Información Geográfico
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción
IRD	L'Institut de Recherche pour le Développement
IG-EPN	Instituto Geofísico – Escuela Politécnica Nacional
SNGM	Servicio Nacional de Geología y Minería
INEMIN	Instituto Ecuatoriano de Minería
DINAGE	Dirección Nacional de Geología del Ecuador
INECEL	Instituto Ecuatoriano de Electrificación
UTM	Universal Transverse Mercator
CSS	Cuerpo Suizo de Socorro
CAL	Cuenca Álamo - Lancones
BAT	Bloque Amotape - Tahuín

RESUMEN EJECUTIVO

El Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgica INIGEMM, a través del proyecto ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y PELIGROS/AMENAZAS POR PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA, ESCALA 1:50.000, DEL TERRITORIO ECUATORIANO, FASE I, resolvió en julio del año 2012, continuar con la elaboración del Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Ecuador, escala 1:1'000.000.

El análisis y evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa para la elaboración del mapa a escala 1:1'000.000, se realizó con el método heurístico de Ponderación de Factores o Combinación de Mapas Cualitativos, utilizando los siguientes factores: pendiente del terreno, litología, relieve, hidrogeología, uso del suelo y cobertura vegetal, intensidad de lluvia y aceleración sísmica.

Los factores de análisis y el método fueron escogidos en base a la experiencia del grupo de trabajo y a los resultados obtenidos en su aplicación para la elaboración de mapas similares por los Servicios Geológicos de Perú y Colombia. Los factores fueron elaborados en base a la información disponible, luego valorados en una escala de 1 a 5 y ponderados utilizando el método de Jerarquización Analítica.

Con el método escogido se realizaron varios ensayos de evaluación, utilizando cuatro, cinco y seis factores. El mapa correspondiente al análisis con los factores: pendiente del terreno, litología, hidrogeología, relieve, uso del suelo y cobertura vegetal, parece proporcionar la mejor representación de la susceptibilidad. Para la validación de los resultados se consideró un indicador de susceptibilidad relativa y se elaboró y utilizó un Mapa Inventario de Movimientos en Masa, que fue desarrollado con los datos de una base que contiene 3583 movimientos en masa. Los resultados fueron expuestos en varias reuniones de trabajo al grupo técnico del proyecto ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y PELIGROS/AMENAZAS POR PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA, ESCALA 1:50.000, DEL TERRITORIO ECUATORIANO, FASE I, y a otros profesionales del INIGEMM, con el fin de compartir sugerencias y escoger el mejor resultado.

El mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador, escala 1:1'000.000, contiene cinco clases de susceptibilidad denominadas; muy baja, baja, media, alta y muy alta, cuyas características se detallan en este informe. Para la publicación del mapa es necesario editar la expresión cartográfica, la leyenda y demás simbología, en el formato que utiliza el INIGEMM, en base al contenido de éste informe.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El Ecuador debido a sus condiciones geológicas, geográficas y climáticas ha estado siempre expuesto al impacto de diversas amenazas geológicas e hidroclimáticas, como las originadas por deslizamientos o movimientos en masa. Los fenómenos de remoción en masa han causado continuas pérdidas materiales y de vidas humanas, afectando el desarrollo sostenible y sustentable del país. A causa de algunos de estos eventos ocurridos en los últimos treinta años, como los deslizamientos originados por el sismo de marzo de 1987, los movimientos en masa relacionados con las lluvias ocurridas durante los Fenómenos de El Niño de 1982-1983 y 1997-1998, así como el deslizamiento-represamiento de la Josefina, ocurrido en marzo de 1993, el país ha experimentado decrecimientos importantes de su producto interno bruto (Zevallos et al., 1996). En la década de 1980 a 1990 el promedio anual de víctimas mortales por movimientos en masa en la región andina del Ecuador fue alrededor de cincuenta (Pazos y Vinueza, 1990).

En los últimos años se han realizado algunos estudios de evaluación de la susceptibilidad y/o amenaza por movimientos en masa, a diferentes escalas y en varias zonas del país, como respuesta local y circunstancial a los impactos generados. Entre ellos, se pueden mencionar:

- Estudio de Peligrosidad de Terrenos Inestables en Quito, Detección y Mitigación (Basabe, 1993).
- Proyecto de Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Río Paute PRECUPA (Basabe, 1998).
- Estudio de Zonificación de Peligros Sismogeotécnicos, por deslizamientos y Fenómenos Hidrometeorológicos en la ciudad de Bahía de Caráquez (EPN y DNDC, 2000).
- Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos en el área urbana de Quito (Plaza y Maruri, 1994).
- Mapa de Amenaza por Movimientos de Terrenos Inestables en las provincias de Carchi e Imbabura (DNDC, 2007).
- Mapas de Amenazas sobre deslizamientos y flujos en Zamora (Cruz Roja Ecuatoriana, 2008).
- Ensayos metodológicos académicos (Abad, F., 2006; Jiménez, E., 1999; Ramírez, M., 2007; Yugsi, F., 2004).

De otra parte, la Secretaría Nacional de Gestión del Riesgo conjuntamente con el Centro de Levantamientos Integrales de Recursos Naturales por Sensores Remotos CLIRSEN (actualmente Instituto Espacial Ecuatoriano IEE) han elaborado, en los últimos años, los mapas temáticos de zonas propensas a Erosión y Movimientos en Masa, a escala 1:25.000, de 31 cantones del país, y el INIGEMM desarrolla actualmente el proyecto denominado Zonificación de Susceptibilidad y Peligros/Amenazas por Procesos de Remoción en Masa, a

escala 1:50.000, del Territorio Ecuatoriano, Fase I, que comprende principalmente las provincias de Chimborazo, El Oro, Imbabura. En el año 2011 el INIGEMM, como objetivo institucional se emprendió el estudio para la elaboración del Mapa Preliminar de Susceptibilidad de Amenaza por Movimientos en Masa, escala 1:1'000.000 del Ecuador.

La Ley de Minería, en el Art. 10, establece la creación del Instituto Nacional de Investigación Geológica, Minero, Metalúrgica, de acuerdo con las normas del Art. 386 de la Constitución de la república del Ecuador como institución pública encargada de realizar actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en materia Geológica, Minera, Metalúrgica.

Dentro del INIGEMM, el proceso de Geología Aplicada tiene como misión: "Generar, recopilar, procesar, consolidar las investigaciones e información sobre los peligros geológico y geotécnicos, así como realizar investigaciones hidrogeológicas, geotérmicas, geo-arqueologías a nivel nacional, regional y local" (Resolución N°003, Art. 22 del Registro Oficial, Febrero 2011).

Por estas razones, el INIGEMM planificó en el año 2012, la elaboración del "MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA DEL ECUADOR, ESCALA 1:1'000.000", cuyos resultados se presentan en este informe.

Equipo Técnico

Este trabajo fue desarrollado por Mercy Eras G. egresada de la carrera de Ingeniería en Geología de la EPN, contratada para el efecto y como parte de su proyecto de titulación, y por Galo Plaza N. profesor del Departamento de Geología de la EPN., en el marco de sus actividades de investigación, durante un año sabático en el INIGEMM dentro del Proyecto de Zonificación de Susceptibilidad y Peligros/Amenazas por Procesos de Movimientos en Masa, escala 1:50.000, del Territorio Ecuatoriano, Fase I.

Además contó con la participación de la Doctora Svetlana Zavgorodnyaya en la elaboración y valoración del Mapa de Grandes Unidades de Relieve y la valoración del Mapa de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal, del Ingeniero Osvaldo Proaño (MSc.) quien recomendó el uso de los datos de Intensidades de lluvia y la definición de las clases para el mapa de Intensidades Máximas en 24 horas, y del Ingeniero Napoleón Burbano quien aportó sus criterios para el uso del Mapa Hidrogeológico del Ecuador.

El trabajo también contó con la colaboración de los ingenieros Luis Pilatasig y Elías Ibadango funcionarios del INIGEMM, del Ingeniero Francisco Viteri profesor de la Universidad Central y del Doctor Arturo Eguez profesor de la EPN, para la valoración de las unidades litológicas.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo general es elaborar el Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Ecuador, escala 1:1'000.000, a partir de la información existente.

Los objetivos específicos son:

1. Actualizar la base de datos preliminar del Inventario de movimientos en masa del Ecuador.
2. Identificar y caracterizar los factores de análisis.
3. Evaluar la susceptibilidad a movimientos en masa del Ecuador mediante el método de Ponderación de Factores y la utilización de un SIG.
4. Identificar las zonas de diferente nivel de susceptibilidad a movimientos en masa utilizando varios factores.
5. Analizar los resultados obtenidos e identificar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador.

1.3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Ecuador se encuentra ubicado al noroeste de América del Sur, limita al norte con Colombia, al sur y este con Perú y al oeste con el Océano Pacífico. Abarca una superficie aproximada de 283.560 km² (incluida las Islas Galápagos), con alturas variadas entre los 0 y 6.313 m.s.n.m. (Figura N°2).

El Territorio ecuatoriano comprende tres regiones fisiográficas continentales: costa, sierra y oriente y la región insular de Galápagos. El área de estudio corresponde a las regiones continentales, donde se ubican 23 de las 24 provincias en las que está dividido el territorio agrupando una población poco mayor a los 15 millones de habitantes (INEC, 2013).

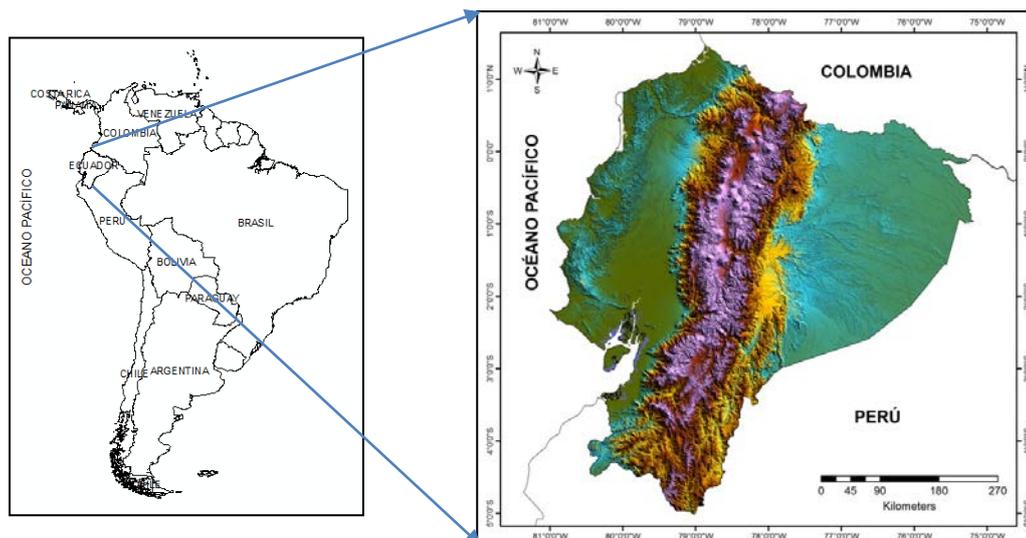


Figura N° 2: Área de estudio

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, septiembre 2013

1.4 CLIMA Y VEGETACIÓN

En el continente, el Ecuador posee un clima tropical y húmedo, con temperaturas en la costa y oriente que oscilan entre los 20°C y 33°C, mientras que en la sierra varía entre los 3°C y 26°C. La estación invernal se extiende de diciembre a mayo en la costa, de noviembre a abril en la sierra y de enero a septiembre en la amazonía. La vegetación corresponde a manglares, sabanas y bosques secos en la costa, en la sierra a bosques nublados, lluviosos, pastizales, páramo de pajonal, arbustivo y desértico, mientras que en los valles interandinos están dominados por eucaliptos, vegetación arbustiva y matorrales áridos, en la región oriental la vegetación corresponde a selva o bosque.

2 METODOLOGÍA UTILIZADA Y FACTORES DE ANÁLISIS

2.1 METODOLOGÍA

La Guía del JCT-1 (2008), expresa que en escala pequeña debería evaluarse la susceptibilidad con métodos básicos, es decir, aquellos basados en procedimientos geomorfológicos y los de procedimientos heurísticos, con lo cual se obtendría una zonificación preliminar. Los métodos heurísticos o indirectos se basan en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de los movimientos en masa (SGC, 2012). Así mismo, la selección del método de zonificación más adecuado depende de varios factores como: disponibilidad, calidad y exactitud de los datos, la resolución de la zonificación y los resultados requeridos, la escala de zonificación, la disponibilidad de información, etc.

Considerando aquello, se ha decidido utilizar el método heurístico de *Ponderación de Factores* (PMA: GCA, 2007) o *Combinación de Mapas Cualitativos* (SGC, 2012). Este método utiliza varios factores que son escogidos y ponderados de acuerdo a la experiencia del evaluador y por lo tanto tiene un grado de subjetividad, sin embargo, es generalmente utilizado para evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa a escala nacional y regional.

El Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa del Perú - Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET, 2010) y el Mapa de Categorías de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa de Colombia – Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas Mineras (INGEOMINAS, 2001 en PMA, GCA, 2007) han sido elaborados utilizando este método y varios factores de análisis, entre ellos la litología, pendiente del terreno, hidrogeología, uso y cobertura vegetal, entre otros.

El método permite la utilización de un sistema de información geográfica para el análisis y evaluación de la susceptibilidad a través de un algoritmo como el expuesto a continuación:

$$SMM = \frac{W_1 (F_1) + W_2 (F_2) + W_3 (F_3) + W_4 (F_4) + \dots + E_n (F_n)}{n} \quad (1)$$

Donde:

SMM: Susceptibilidad a los Movimientos en Masa.

F_i : Factor de análisis.

W_i : Ponderación del factor.

n : Número de factores.

La ponderación de los factores es generalmente realizada por uno o varios expertos. En este trabajo la ponderación de los factores se realizó con ayuda del Método de Jerarquización Analítica (MJA), conocido también como Proceso Analítico Jerárquico, el cual permite determinar la prioridad de un factor respecto a otro (SGC, 2012).

El Método de Jerarquización Analítica fue desarrollado por Saaty (1981), como una ayuda para la toma de decisiones. El método consiste en dividir una situación compleja y poco estructurada en sus partes que la componen, arreglando estas partes o variables, en un orden jerárquico, asignando valores numéricos a juicios subjetivos sobre la importancia relativa de cada variable y sintetizando los juicios para determinar cual variable tiene la mayor prioridad (SGC, 2012).

Para el caso de la ponderación de los factores en la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa, el SGC (2012) sugiere elaborar una representación gráfica del problema, poniendo de manifiesto la jerarquía de los factores utilizados. El primer nivel indica la meta general, en este caso el mapa de susceptibilidad; el segundo nivel, los cuatro, cinco o seis factores (pendiente de terreno, litología, relieve, uso del suelo y cobertura vegetal, lluvia y sismicidad) que ayudarán a lograr el objetivo general (Figura N°3).

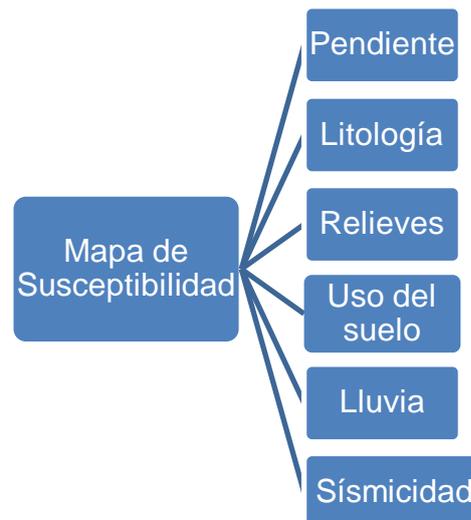


Figura N° 3: Jerarquía para la elaboración del mapa de susceptibilidad, escala 1:1'000.000

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: SGC (2012)

Para la ponderación de los factores se genera una matriz (Figura N°4) que compara un par de factores cada vez, valorados de 1 a 4 de acuerdo a la importancia de uno respecto al otro, contemplando criterios como los expuestos en la Tabla N° 1, adaptados por Roa (2006). Así, se convierte ésta evaluación subjetiva en un conjunto de pesos lineares (Sánchez, 2003).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Figura N° 4: Matriz para la comparación de parámetros
Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013
Fuente: Sánchez (2003)

Tabla N° 1: Criterios usados para la calificación de parámetros. MJA

NIVEL DE IMPORTANCIA	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Igual preferencia	Los dos criterios (x, j) contribuyen de igual manera al proceso de deslizamientos
2	Moderada preferencia	Pasadas experiencias favorecen ligeramente al criterio (x) sobre el otro (j).
3	Fuerte preferencia	Prácticamente la dominancia del criterio (x) sobre el otro (j) está demostrada.
4	Absoluta preferencia	Existe evidencia que determina la supremacía del criterio (x).

Elaboración: Proyecto de Zonificación, mayo 2013
Fuente: Roa (2006)

Una vez llena la matriz con las respectivas calificaciones, se procede a estimar los correspondientes pesos relativos de los criterios (W).

El grado de consistencia que se proporciona a un parámetro al calificar la importancia de uno respecto a otro se expresa con la razón de inconsistencia (RI), que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$RI = \frac{IC}{CA} \quad (2)$$

Donde IC es el Índice de consistencia y CA es la consistencia aleatoria. El IC se calcula con la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx.}} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Donde:

$\lambda_{\text{máx.}}$: es el valor característico promedio.
n: tamaño de la matriz.

El valor CA depende del número de factores analizados como se muestra en la Tabla N°2, propuesta por Saaty y presentada en Sánchez (2003).

Tabla N° 2: Consistencia aleatoria (CA) de la matriz de comparación por pares de factores.

Total de alternativas (n)	Consistencia Aleatoria (CA)
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.9
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

Elaboración: Proyecto de Zonificación, mayo 2013

Fuente: Sánchez (2003)

El coeficiente RI expresa un valor relativo de inconsistencia, así, si su valor es 1 indica que su inconsistencia es del 100% y si es 0, el juicio emitido es totalmente coherente. Teniendo en cuenta lo recomendado por Saaty (1981), se acepta una tolerancia del RI del 10% (0.1) para calificar de buena una ponderación, siendo aceptable resultados de hasta el 15% (SGC, 2012).

2.2 FACTORES DE ANÁLISIS

Los factores de análisis deben caracterizar los parámetros, propiedades y agentes que contribuyen al proceso de generación de movimientos en masa y son escogidos por un experto familiarizado con el área de estudio, considerando el objetivo final del trabajo, los alcances y la disponibilidad de la información con la que se cuente (Roa, 2006).

En el Ecuador los factores detonantes más importantes que causan movimientos en masa suelen ser: las lluvias, los sismos, la deforestación, cortes o excavaciones de laderas, cambio en el uso del suelo y los factores intrínsecos más comunes son: la litología, tipo de suelo, estructuras geológicas desfavorables, ángulo y forma de la pendiente (Plaza, 1996).

El Mapa de Susceptibilidad de Amenaza a Movimientos en Masa del Ecuador, escala 1:1'000.000, en su versión preliminar elaborado por el INIGEMM en el 2011 (inédito) considera como factores de análisis: la inclinación de la pendiente, el uso del suelo, la geomorfología, la litología y la hidrogeología, utilizando el método de Ponderación de Parámetros.

El Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa del Perú (INGEMMET, 2010), utiliza como factores de análisis, en el método de Ponderación de

Parámetros, cinco factores condicionantes denominados: pendiente de terreno, litología, hidrogeología, geomorfología y cobertura vegetal.

El Mapa de Categorías de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa de Colombia, escala 1:1'500.000, utiliza para el análisis, dentro de la metodología empleada, factores geológicos como la litología, condiciones de los materiales, rasgos morfo-estructurales y factores detonantes como lluvia, sismicidad, actividad volcánica, actividad humana (PMA: CGA, 2007).

En este trabajo los factores escogidos para el análisis y evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa, se presentan en la Tabla N°3.

Tabla N° 3: Factores de análisis

FACTOR	TIPO DE COBERTURA	ESCALA	AÑO	FUENTE
Pendiente	SRTM	92mx92m	2000	NASA
Litológico	Vector	1:1'000.000	1993	CODIGEM / BGS
Relieve	Vector	1:1'000.000	1989	IPGH / ORSTOM
Uso del Suelo y Cobertura Vegetal	Vector	1:250.000	1996	CONADE
Precipitación	Base de datos	1:1'000.000	1999	INAMHI
Hidrogeológico	Vector	1:1'000.000	1983	DGGM / INAMHI
Sismicidad	Base de datos	1:1'000.000	(<i>inédito</i>)	IG-EPN

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

2.2.1 FACTOR PENDIENTE

Este factor está representado por el ángulo entre la superficie del terreno y la horizontal, cuyo valor se expresa en grados o porcentajes. Para su determinación se utilizó el modelo digital (DEM) de 92mx92m, de la Misión de la NASA "The Shuttle Radar Topography Mission", realizado en febrero del año 2000 disponible en el área de Geomática del INIGEMM (Anexo 1a).

2.2.1.1 Metodología y valoración

A partir del modelo digital del terreno se elabora el Mapa de Pendiente en formato ráster, con sus valores agrupados en clases. La clasificación utilizada es la propuesta por Van Zuidam (1986), que describe las condiciones del terreno y los procesos característicos desarrollados en cada rango de pendiente, como se muestra en la Tabla N°4.

Para el Ecuador el valor máximo de pendiente obtenido es de 42.3° y la valoración atribuida a las clases oscila entre 0 a 5, de acuerdo a lo propuesto por Mora (2004). La valoración se muestra en la Tabla N°5 y en la Figura N°5.

Tabla N° 4: Clasificación del factor pendiente

PENDIENTE		CONDICIONES DEL TERRENO Y PROCESOS CARACTERÍSTICOS
(°)	(%)	
0-2	0-2	Planicie, sin denudación apreciable
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión de suelos
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión del suelo y deslizamiento.
16-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible
> 55	> 140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada

Elaboración: Proyecto de Zonificación, febrero 2013

Fuente: Van Zuidam (1986)

Tabla N° 5: Valoración de los rangos del factor pendiente

RANGO DE PENDIENTES	VALOR
0° - 2°	0
2° - 4°	1
4° - 8°	2
8° - 16°	3
16° - 35°	4
> 35°	5

Elaboración: Proyecto de Zonificación, febrero 2013

Fuente: Mora (2004)

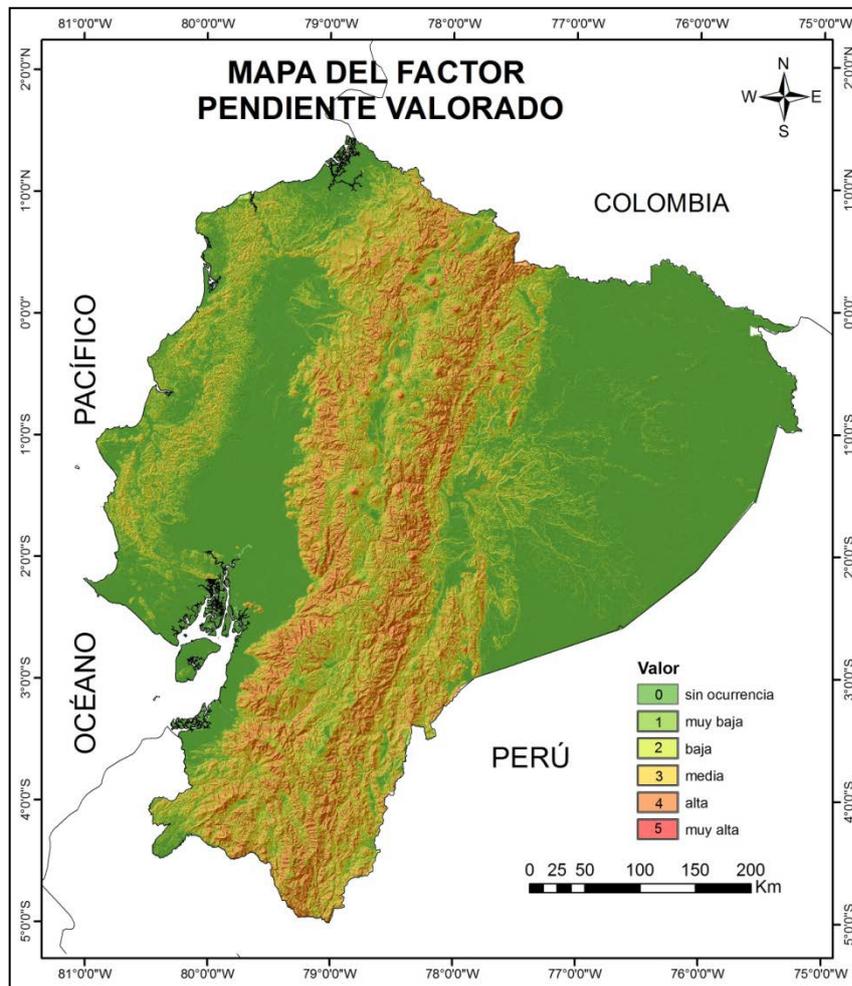


Figura N° 5: Mapa del factor pendiente valorado
Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013
Fuente: NASA (2000)

2.2.2 FACTOR LITOLÓGICO

El factor litológico está representado por las unidades litológicas y sus características, para lo cual se ha utilizado El Mapa Geológico del Ecuador, escala. 1:1'000.000, elaborado bajo el convenio de Cooperación Técnica entre los gobiernos del Ecuador (Ministerio de Energía y Minas) y del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte (Overseas Development Administration, ODA), publicado por CODIGEM y BGS (1993) (Anexo 1b).

2.2.2.1 Metodología y valoración

A partir del Mapa Geológico del Ecuador, digitalizado y representado en formato vector por el INIGEMM en el año 2011, se identificaron 156 unidades litológicas. Estas fueron valoradas en la escala de 1 a 5, de acuerdo a su potencial para originar movimientos en masa, con la colaboración de un grupo de profesionales compuesto por geólogos del INIGEMM y académicos.

En general los valores atribuidos reflejan una posición optimista de la resistencia de las unidades litológicas para generar movimientos en masa. Los resultados se muestran en la Tabla N°6 y Figura N°6.

Tabla N° 6: Valoración de las unidades litológicas

SIMB.	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	VALOR
JK _T	Unidad El Toro	Rocas ultrabásicas y básicas	1
JK _T	Unidad Piedras	Anfibolitas basálticas	1
K _P /K _{P1}	Piñón	Lavas basálticas, tobas, brechas	1
K _P	Piñón de la Sierra	Lavas basálticas, tobas, brechas; con rocas ultrabásicas	1
P _{ZP}	Pumbuiza	Pizarras, cuarcitas	2
P _{ZM}	Unidad Monte Olivo	Anfibolitas basálticas	2
J _S	Santiago	Calizas, lutitas, areniscas	2
J _Z	Unidad Maguazo	Metagrauwacas, metalavas	2
JK _M	Unidad Misahuallí	Lavas y piroclastos calco-alcalinos, capas rojas	2
K _K /K _{K1}	Cayo	Grauwacas, lutitas, mantos basálticos	2
K _K	Cayo de la Sierra	Lutitas, cherts, areniscas	2
K _{AC}	Cazaderos	Conglomerados, areniscas, lutitas	2
K _H	Hollín	Areniscas y cuarcitas	2
KP _{CY}	Yunguilla	Lutitas, calizas, volcanoclastos	2
PC _{EA}	Grupo Azúcar	Lutitas, areniscas, conglomerados	2
E _E	San Eduardo	Calizas, lutitas	2
E _U	Unacota	Calizas, lutitas, volcanoclastos	2
E _O	Ostiones	Calizas, lodolitas	2
E _Z	Zapallo	Turbiditas finas	2
M _{DA}	Angostura	Coquinas, areniscas, lodolitas	2
PI _{DB}	Borbón	Areniscas tobáceas	2
PIQ _B	Balzar	Arenas, conglomerados, arcillas	2
PIQ _C	Canoa	Arenas, conglomerados, arcillas	2
MPI _P	Volcánicos Pisayambo (VI)	Andesitas a riolitas, piroclastos	2
MPI _P	Volcánicos Pisayambo (CO)	Flujos de lava y piroclastos andesíticos a riolíticos	2
Q _{SU}	Volcánicos Sumaco	Escombros de avalanchas	2
Q _X	Volcán Carihuairazo	Volcán Carihuairazo	2
Q _X	Volcán Chacana	Volcán Chacana	2
Q _X	Volcán Chimborazo	Volcán Chimborazo	2
Q _X	Volcán Chinibano	Volcán Chinibano	2
Q _X	Volcán Cotopaxi	Volcán Cotopaxi	2
Q _X	Volcán Cubilche	Volcán Cubilche	2
Q _X	Volcán Cuicocha	Volcán Cuicocha	2
Q _X	Volcán Cushnirrumi	Volcán Cushnirrumi	2

Q _x	Volcán Cusín	Volcán Cusín	2
Q _x	Volcán Huisla	Volcán Huisla	2
Q _x	Volcán Igualata	Volcán Igualata	2
Q _x	Volcán Ilaló	Volcán Ilaló	2
Q _x	Volcán Imbabura	Volcán Imbabura	2
Q _x	Volcán Mangus	Volcán Mangus	2
Q _x	Volcán Mojanda	Volcán Mojanda	2
Q _x	Volcán Pambamarca	Volcán Pambamarca	2
Q _x	Volcán Pasochoa	Volcán Pasochoa	2
Q _x	Volcán Puntas	Volcán Puntas	2
Q _x	Volcán Puñalica	Volcán Puñalica	2
Q _x	Volcán Putzalagua	Volcán Putzalagua	2
Q _x	Volcán Rumiñahui	Volcán Rumiñahui	2
Q _x	Volcán Sagoatoa	Volcán Sagoatoa	2
Q _x	Volcán Santa Cruz	Volcán Santa Cruz	2
Q _x	Volcán Sincholagua	Volcán Sincholagua	2
Q _T	Tablazo	Terrazas marinas bioclásticas	2
Q _A	Depósitos aluviales	Arcillas, arenas	2
P _(e)	Gneis migmatítico	Gneis migmatítico	3
P _{ZA}	Unidad Agoyán	Esquistos y gneises semipelíticos	3
P _{ZV}	Unidad La Victoria	Esquistos y gneises semipelíticos	3
P _{ZT}	Unidad El Tigre	Metagrauwacas, pizarras	3
C _M	Macuma	Calizas, lutitas metamorfizadas con metavolcánicas	3
Tr _I	Intrusivo	Granito gnésico per-alumínico	3
Tr _{I,M}	Intrusivo	Complejo de migmatitas	3
Tr _{I,P}	Intrusivo	Pegmatitas	3
Tr _P	Unidad Piuntza	Lutitas, calizas, lavas, piroclastos	3
J _{I1}	Intrusivo	Granodiorita, diorita, granito gnésico	3
J _{I4}	Intrusivo	Sienita y cuarzo-monzonita no deformados	3
JK _U	Intrusivo	Serpentinita	3
J _G	Unidad Guamote	Pizarras, cuarcitas	3
J _H	Unidad Cerro Hermoso	Mármol, Pizarras	3
J _D	Unidad La Delicia	Esquistos negros	3
J _Y	Unidad Cuyuja	Esquistos pelíticos grafiticos y paragneis	3
J _C	Unidad Chapiza	Capas rojas, lutitas, rocas Volcánicas	3
J _R	Unidad Raspas	Esquistos verdes, negros, azules y eclogitas	3
J _P	Unidad Alao-Paute	Metalavas basálticas y andesíticas, esquistos	3
JK _P	Unidad Peltetec	"Melange" ofiolítico	3

K ₁	Intrusivo	Granito	3
K ₂	Intrusivo	Granodiorita	3
K _C	Celica	Lavas andesíticas y basálticas, piroclastos	3
K _N	Napo	Lutitas, calizas negras, areniscas	3
KP _{CU}	Intrusivo	Complejo máfico-ultramáfico tipo "Alaskan Pipe"	3
KP _{CY}	Yunguilla	Lutitas, calizas, volcanoclastos	3
K _{AZ}	Zapotillo-Ciano	Lutitas, grauwacas, piroclastos	3
KP _{CG}	Guayaquil	Lutitas silíceas	3
P _C E _M	Macuchi	Lavas andesíticas, tobas, volcanoclastos	3
P _C E _S	Volcánicos Sacapalca	Lavas andesíticas, piroclastos, lutitas	3
Cz _b	Intrusivo	Gabro, diorita	3
Cz _g	Intrusivo	Granodiorita, diorita, pórfido	3
E _S	Silante	Volcanoclastos, capas rojas	3
E _T	Tiyuyacu	Conglomerados, areniscas, lutitas rojas	3
E _A	Unidad Apagua	Lutitas, grauwacas	3
O _S	Volcánicos Saraguro	Lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos	3
OM _C	Chalcana	Lutitas rojas, yeso	3
M _V	Viche	Lutitas, areniscas	3
M _S	Subibaja	Limolitas calcáreas	3
M _C	Curaray	Arcillas, lutitas tobáceas, yeso	3
MPI _Q	Grupo Nabón y Quillollaco	Arcillas, tobas, areniscas, conglomerados	3
MPI _{DO}	Onzole	Lutitas, limolitas	3
MPI _Z	Grupo Zarumilla	Areniscas, conglomerados	3
MPI _C	Chambira	Areniscas, lutitas, tobas	3
PI _P	Puná	Lutitas, arcillas, arenas	3
PI _{Q_M}	Mesa	Conglomerados, areniscas, volcanoclastos	3
Q _M	Mera	Terrazas: conglomerados, arenas, lutitas	3
Q _P	Pichilingue	Terrazas, sedimentos fluviales	3
Q _D	Volcánicos Cotopaxi	Piroclastos, lahares, flujos de lavas	3
Q _B	Abanico aluvial mayor	Abanico aluvial mayor	3
Q _X	Cerro Negro de Mayasquer	Cerro Negro de Mayasquer	3
Q _X	Volcán Antisana	Volcán Antisana	3
Q _X	Volcán Atacazo	Volcán Atacazo	3
Q _X	Volcán Azufra	Volcán Azufra	3
Q _X	Volcán Casitagua	Volcán Casitagua	3
Q _X	Volcán Cayambe	Volcán Cayambe	3
Q _X	Volcán Chalpatán	Volcán Chalpatán	3
Q _X	Volcán Chalupas	Volcán Chalupas	3
Q _X	Volcán Chiltasón	Volcán Chiltasón	3
Q _X	Volcán Corazón	Volcán Corazón	3

Q _x	Volcán Cotacachi	Volcán Cotacachi	3
Q _x	Volcán El Altar	Volcán El Altar	3
Q _x	Volcán Guagua Pichincha	Volcán Guagua Pichincha	3
Q _x	Volcán Huanguillaro	Volcán Huanguillaro	3
Q _x	Volcán Iguán	Volcán Iguán	3
Q _x	Volcán Iliniza	Volcán Iliniza	3
Q _x	Volcán Pilavo	Volcán Pilavo	3
Q _x	Volcán Potrerillos	Volcán Potrerillos	3
Q _x	Volcán Pululahua	Volcán Pululahua	3
Q _x	Volcán Pulumbura	Volcán Pulumbura	3
Q _x	Volcán Quilotoa	Volcán Quilotoa	3
Q _x	Volcán Rucu Pichincha	Volcán Rucu Pichincha	3
Q _x	Volcán Soche	Volcán Soche	3
Q _x	Volcán Tungurahua	Volcán Tungurahua	3
Q _x	Volcán Yanaurcu	Volcán Yanaurcu	3
Q _A	Depósitos Aluviales	Arcillas, arenas	3
Q _E	Arcillas marinas de estuario	Arcillas marinas de estuario	3
M _B	Biblián	Arcillas, areniscas, lavas	4
P _{ZC}	Unidad Chiguinda	Pizarras, cuarcitas	4
J _E	Unidad El Pan	Esquistos verdes y negros	4
J _U	Unidad Upano	Esquistos, metalavas, metagrauwacas	4
KP _{CT}	Tena	Lutitas, capas rojas	4
E _M	San Mateo	Turbiditas gruesas	4
E _N	Grupo Ancón	Turbiditas, lutitas	4
O _{Tz}	Miembro Zapotal	Conglomerados, areniscas tobáceas, lutitas	4
O _P	Playa Rica	Lutitas, areniscas	4
MPI _Y	Grupos Azogues, Chota y Ayancay	Arcillas, tobas, areniscas, conglomerados	4
M _{Tb}	Miembro Dos Bocas	Lutitas blancas	4
M _{Tv}	Miembro Villingota	Lutitas chocolates	4
M _P	Progreso	Areniscas, limolitas, lutitas	4
PI _T	Turi	Conglomerados, tobas, brechas	4
Q _S	San Tadeo	Abanico Volcánico, lahares	4
Q _x	Volcán Pan de Azúcar	Volcán Pan de Azúcar	4
Q _x	Volcán Reventador	Volcán Reventador	4
Q _x	Volcán Sangay	Volcán Sangay	4
Q _x	Volcán Sumaco	Volcán Sumaco	4
Q _V	Volcánicos Cotopaxi	Piroclastos, lahares, flujos de lavas	4

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

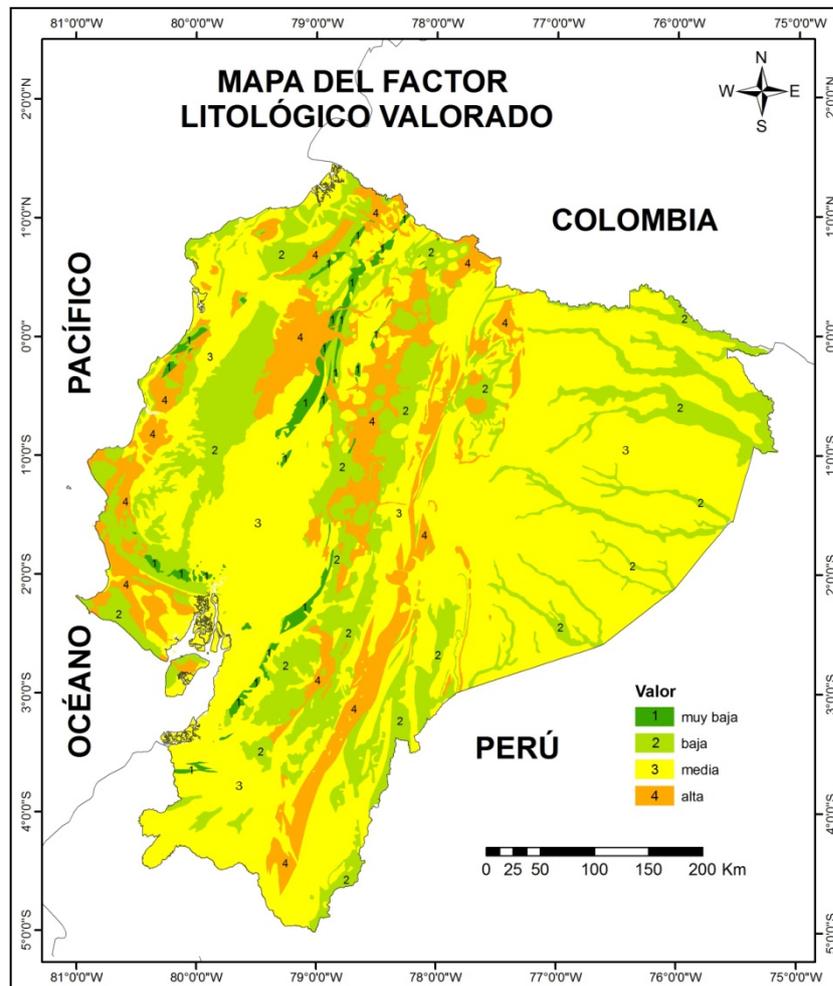


Figura N° 6: Mapa de unidades litológicas valorado
Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: CODIGEM y BGS (1993)

2.2.3 FACTOR RELIEVE

Este factor está representado por las grandes unidades de relieve del país, para lo cual, se utilizó el Mapa de Paisajes Naturales del Ecuador, escala 1:1'000.000 (IPGH y ORSTOM, 1989) (Anexo 1c).

2.2.3.1 Metodología y valoración

Las unidades de paisajes naturales fueron agrupadas en grandes unidades de relieve considerando la morfología (pendientes, desniveles, disección), génesis y edad. Estas unidades fueron determinadas y valoradas en una escala de 1 a 5 considerando su potencial para originar movimientos en masa, de acuerdo a la experiencia de un especialista. El mapa de grandes unidades de relieve del Ecuador valorado fue digitalizado para su utilización. Los resultados se muestran en la Tabla N°7 y Figura N°7.

Tabla N° 7: Valoración de las Grandes Unidades de Relieves del Ecuador

PAISAJE	VALOR
Llanuras bajas y pantanos del oriente	0
Llanuras inundables	0
Mangles y playas	0
Fondos de cuencas interandinas	1
Llanuras y depresiones costaneras	1
Valles aluviales con terrazas indiferenciadas – zona periandina	1
Valles fluviales - terrazas marinas	1
Terrazas indiferenciadas y pantanos – z. periandina	1
Suelos aluviales, testigos horizontales, niveles escarpados – z. costanera	1
Relieves disectados sobre arenisca o caliza – cordillera subandina	1
Colinas bajas de la costa	2
Colinas bajas del oriente	2
Colinas medianas de la costa	2
Fondos de cuencas y valles deprimidos	2
Llanura alta costanera	2
Niveles indiferenciados, altiplanicies y planicies – z. periandina	2
Conos de deyección y de esparcimiento – piedemonte andino	2
Páramo dominado por glaciaciones	2
Corredor - depresión subandina	3
Gargantas fluviales recientes	3
Mesa y vertientes inferiores de las mesas – z. periandina	3
Mesas costaneras	3
Colinas occidentales periandinas	3
Relieves apalachos	3
Conos volcánicos	4
Contrafuerte subandino	4
Corredor de Cosanga y Macas – Méndez	4
Corredor Limón - Gualaquiza y vertientes bajas	4
Masiso y contrafuertes de la sierra sur	4
Relieves altos de la cordillera costanera	4
Valle fluvial con terraza escalonada	4
Vertiente interandina	4
Vertientes disectadas y fondos de cuencas	4
Relieves accidentados de las Cordilleras Cutucú y Cóndor	5
Relieves moderados a fuertes	5
Vertiente exterior occidental	5
Vertiente exterior oriental	5

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

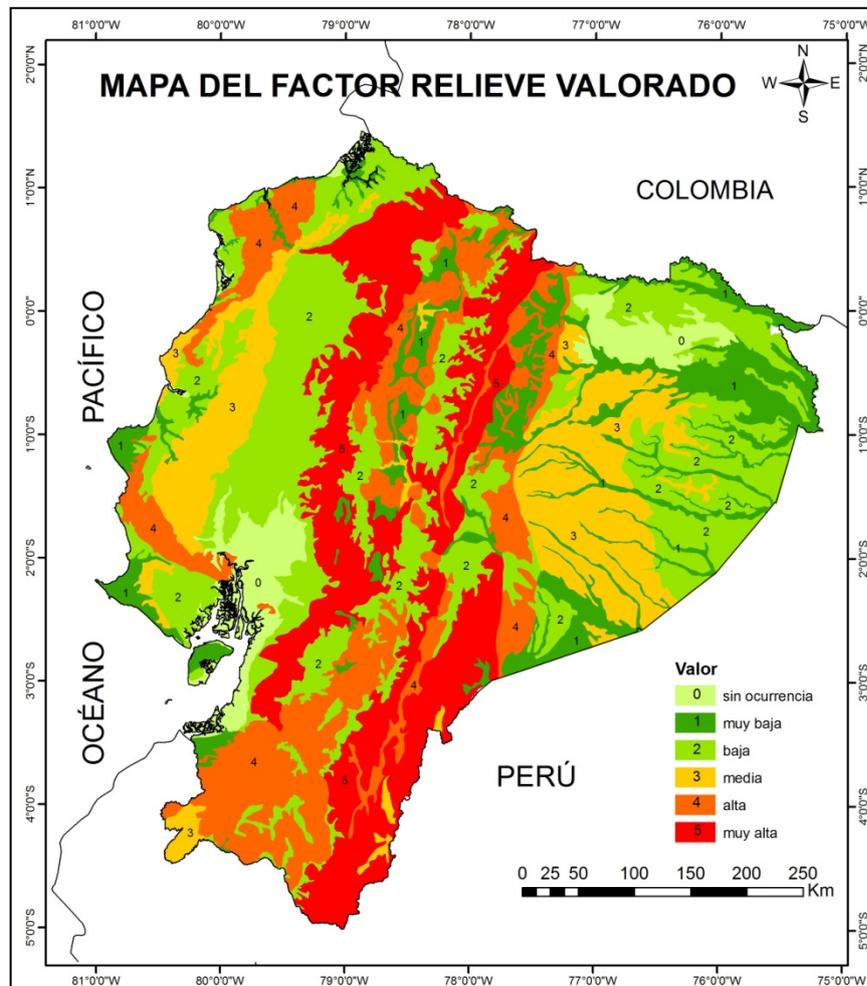


Figura N° 7: Mapa de grandes unidades de relieve valorado

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: IPGH - ORSTOM (1989)

2.2.4 FACTOR USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL

El factor está representado por las unidades determinadas en el Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo, escala 1:250.000, elaborado por el Proyecto CONADE en 1996 y proporcionado por el Proyecto de Zonificación a inicios de la realización de este trabajo. Este mapa fue posteriormente digitalizado y modificado por SIGAGRO en el 2002. (Anexo 1d).

2.2.4.1 Metodología y valoración

A partir del mapa digitalizado se valoraron las unidades en una escala de 1 a 5, considerando sus características y el potencial para originar movimientos en masa, de acuerdo a la experiencia de un especialista. Los resultados se muestran en la Tabla N°8 y la Figura N°8.

Tabla N° 8: Valoración de las unidades de uso de suelo y cobertura vegetal

USO	VALOR
Bancos de Arena	0
Camaroneras	0
Cuerpo de Agua Artificial	0
Cuerpo de Agua Natural	0
Cultivos de Arroz	0
Humedales	0
Manglar	0
Zona Urbana	1
Bosque Intervenido	2
Cultivos de Banano	2
Páramo	2
Pasto Cultivado	2
Pasto Natural	2
Vegetación Arbustiva	2
Arboricultura Tropical	3
Bosque Natural	3
Bosque Plantado	3
Cultivos de caña de azúcar	3
Cultivos de palma africana	3
Nieve	3
Zonas Erosionadas	3
Cultivos Indiferenciados	4
Cultivos de Ciclo Corto	5
Cultivos de Maíz	5

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

El peso de cero (0) corresponde a zonas donde la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa es nulo.

El peso de uno (1) otorgado a las *Zonas Urbanas* (ciudades representadas con superficies pequeñas) es un valor simbólico en la escala de este trabajo para efectos de operación en el sistema de información geográfica. Sin embargo, a escalas mayores la valoración de estas zonas debe ser diferente.

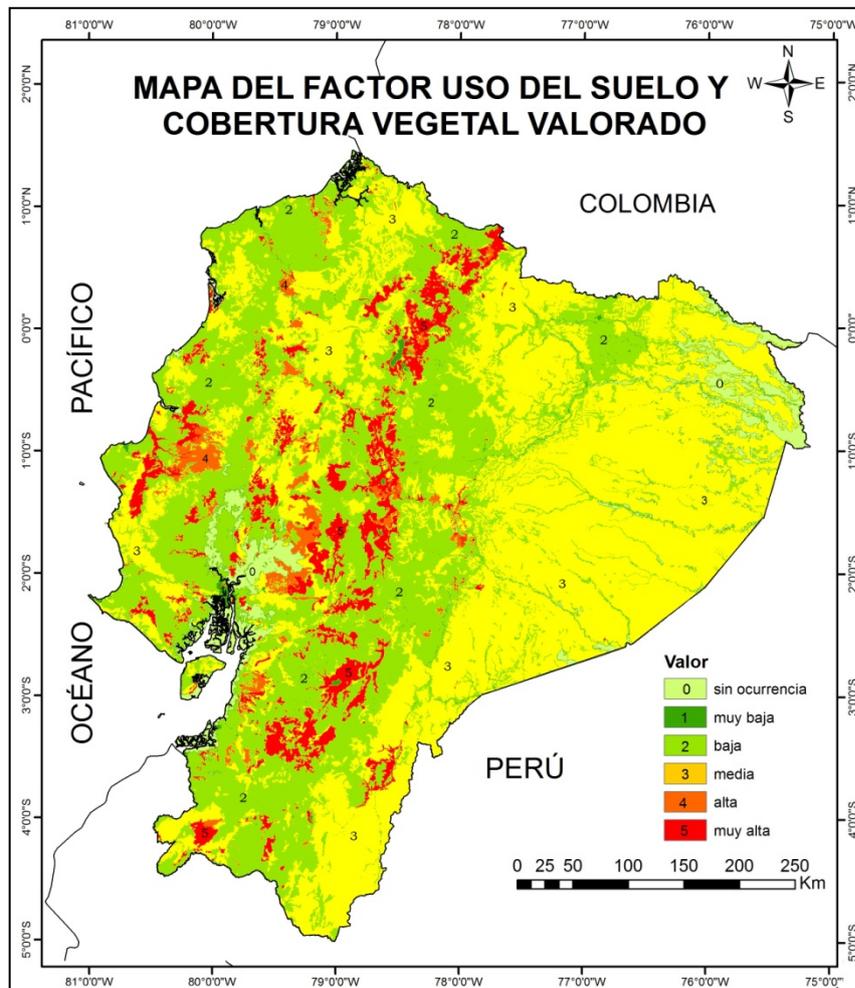


Figura N° 8: Mapa del factor uso de suelo y cobertura vegetal valorado

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: CONADE (1996)

2.2.5 FACTOR PRECIPITACIÓN

Este factor está representado por la intensidad de lluvias diarias para un período de retorno de 100 años, de manera similar a lo propuesto en el método de macrozonificación por deslizamientos de Mora y Vahrson (1993).

2.2.5.1 Metodología y valoración

Para determinar el factor se utilizó la base de datos de las estaciones pluviométricas y pluviográficas del Ecuador, con datos para el período 1964-1998, obtenidos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 1999). Esta base de datos consta de 178 estaciones, 65 estaciones pluviográficas que cuentan con registros de precipitaciones máximas para 5, 10, 15, 30, 60, 120, 360 y 1440 minutos y 113 estaciones pluviométricas con

información de intensidades máximas en 24 horas, para el período 1964-1998 (Tabla N°9 y Figura N°9).

Tabla N° 9: Intensidades máximas en 24h00 para un período de retorno de 100 años, estaciones pluviográficas y pluviométricas

CÓDIGO	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)	Tr (100años)
M-002	La Tola	-78.36667	-0.22944	2480	3.50
M-003	Izobamba	-78.55000	-0.36667	3058	2.90
M-004	Rumipamba	-78.59222	-1.01806	2680	2.90
M-005	Portoviejo	-80.46500	-1.04056	46	5.40
M-006	Pichilingue	-79.46167	-1.10000	120	7.71
M-007	Nuevo Rocafuerte	-75.41667	-0.91667	265	5.90
M-008	Puyo	-77.94389	-1.50750	960	8.00
M-021	Atuntaqui	-78.22139	0.32750	2200	3.00
M-022	Tabacundo	-78.23500	0.05306	2955	2.00
M-023	Olmedo-Pichincha	-78.04778	0.14806	3120	4.40
M-024	Quito-Inamhi	-78.48333	-0.16667	2789	2.90
M-025	La Concordia	-79.37139	0.02667	379	7.55
M-026	Puerto Ila	-79.33889	-0.47611	319	9.78
M-027	Sto. Domingo Aer.	-79.20000	-0.24556	554	9.50
M-029	Baños	-78.41806	-1.39139	1695	5.00
M-030	San Simón	-78.99778	-1.64583	2560	2.90
M-031	Cañar	-78.93750	-2.55139	3083	1.60
M-032	Santa Isabel	-79.31278	-3.27444	1550	2.50
M-033	La Argelia-Loja	-79.20111	-4.03639	2160	3.00
M-036	Isabel María	-79.56361	-1.82806	4	11.10
M-037	Milagro	-79.59917	-2.11556	13	7.37
M-038	Manuel J. Calle	-79.37417	-2.37417	50	9.54
M-039	Bucay	-79.13333	-2.19556	480	8.75
M-040	Pasaje	-79.78194	-3.32972	40	5.43
M-051	Babahoyo	-79.53333	-1.79694	7	7.87
M-053	Ibarra	-78.10000	0.33333	2214	2.30
M-056	Guayaquil Aer.	-79.88333	-2.20000	6	10.20
M-057	Riobamba Aer.	-78.66667	-1.63333	2796	1.80
M-058	Esmeraldas Aer.	-79.62444	0.97917	7	6.87
M-059	Tulcán	-77.70000	0.81667	2934	3.10
M-063	Pastaza	-78.06667	-1.50000	1038	6.50
M-064	Latacunga Aer.	-78.61556	-0.91333	2785	2.20
M-065	Macará Aer.	-79.93889	-4.37444	427	5.40
M-066	Ambato Aer.	-78.56667	-1.20000	2515	1.60
M-067	Cuenca	-78.98333	-2.88667	2516	3.50
M-068	Tiputini Aer.	-75.53333	-0.76667	219	9.70

M-072	Machala Aer.	-79.96111	-3.26389	4	6.37
M-073	Taura	-79.68056	-2.26667	17	7.93
M-074	Manta Aerop.	-80.68333	-0.95000	12	8.36
M-079	Sucúa Aer.	-78.16250	-2.48833	995	4.50
M-105	Otavalo	-78.25972	0.23778	2550	2.20
M-107	Cahuasqui-FAO	-78.21111	0.51806	2335	2.20
M-120	Cotopaxi-Minitrak	-78.57194	-0.61917	3590	2.70
M-131	Sn. Pablo de Atenas	-79.06528	-1.81528	2750	4.10
M-138	Paute	-78.75889	-2.77750	2289	2.20
M-139	Gualaceo	-78.77639	-2.88194	2230	2.90
M-141	El Labrador	-79.00806	-2.73278	3335	2.70
M-142	Saraguro	-79.23222	-3.62056	2525	4.30
M-146	Cariamanga	-79.55444	-4.33333	1985	3.80
M-148	Celica	-79.95139	-4.10472	1984	5.60
M-159	La Naranja	-80.46806	-1.40194	520	4.70
M-162	Chone	-80.10861	-0.70500	182	3.73
M-167	Jama	-80.27389	-0.20694	46	8.55
M-169	Julcuy	-80.63222	-1.48000	263	4.36
M-180	Zaruma	-79.61611	-3.69694	1100	4.50
M-185	Machala UTM	-79.73333	-3.05000	13	6.62
M-219	Pisayambo	-78.41667	-1.03556	3580	2.10
M-224	San Lorenzo	-78.84167	1.26833	5	10.20
M-261	La Clementina	-79.38806	-1.70750	20	7.01
M-335	La Chorrera	-78.53500	-0.20167	3165	3.70
M-360	Tandapi	-78.94472	-0.34444	1120	4.39
M-426	Cuenca Ricaurte	-78.94861	-2.85083	2545	3.70
M-494	Arajuno	-77.83333	-1.46667	900	7.20
M-502	El Panguí	-78.57167	-3.64639	820	3.90
M-606	Quito U. Central	-78.50000	-0.21667	2870	2.30
M-034	Santa Ana	-80.37222	-1.20361	40	4.18
M-041	Sangay (P. Sta. Ana)	-77.95000	-1.69306	880	7.70
M-070	Tena	-77.81389	-0.98472	665	6.30
M-076	Salinas	-80.98972	-2.20000	4	5.47
M-077	Putumayo Aer.	-75.86667	0.11667	230	10.20
M-078	Curaray	-76.83333	-1.50000	300	5.80
M-102	El Ángel	-77.94389	0.62639	3000	5.10
M-103	San Gabriel	-77.81944	0.60417	2860	2.60
M-106	Lita	-78.44917	0.83639	740	5.90
M-111	Malchinguí - Inamhi	-78.33222	0.05556	2840	5.70
M-112	Conocoto	-78.46889	-0.26722	2520	3.20
M-113	Uyumbicho	-78.52528	-0.38833	2740	3.40
M-114	Tumbaco	-78.41389	-0.21167	2280	3.00

M-116	Chiriboga-Gran. Exp.	-78.78194	-0.21056	1750	7.00
M-121	El Refugio Cotopaxi	-78.57778	-0.65917	3561	3.40
M-122	Pilaló	-78.99500	-0.94361	2504	2.95
M-123	El Corazón	-79.07556	-1.13389	1471	9.84
M-124	San Juan de la Maná	-79.24556	-0.91639	215	9.74
M-126	Patate	-78.50000	-1.30028	2270	2.00
M-127	Pillaro	-78.55278	-1.16944	2270	2.40
M-128	P. F. Cevallos - Colegio	-78.61500	-1.35250	2910	2.20
M-133	Guaslán	-78.66111	-1.72083	2850	2.40
M-134	Guamote	-78.71667	-1.93333	3020	3.80
M-136	Chunchi	-78.92361	-2.27528	2177	3.27
M-143	Malacatos	-79.27111	-4.21611	1453	4.50
M-144	Vilcabamba	-79.21778	-4.26278	1563	6.20
M-147	Yangana	-79.17472	-4.36806	1835	5.00
M-149	Gonzanamá	-79.43111	-4.23028	2042	4.70
M-150	Amaluza-Inamhi	-79.43056	-4.58472	1672	4.50
M-154	Cayapas	-78.96500	0.85500	75	9.90
M-164	Calceta	-80.16111	-0.84444	58	5.88
M-165	Rocafuerte	-80.44861	-0.92250	20	5.86
M-166	Olmedo-Pichincha	-80.21083	-1.39556	50	6.46
M-168	Pedernales	-80.05556	0.05833	20	8.40
M-171	Campozano	-80.40111	-1.59278	156	5.87
M-173	Playas	-80.40111	-2.62806	30	6.76
M-174	Ancón	-80.84833	-2.32444	4	7.47
M-176	Naranjal	-79.58972	-2.66222	50	7.47
M-186	El Coca	-76.98806	-0.46528	200	9.90
M-200	Sta. Cecilia (Lago Agrio)	-76.92583	0.07611	395	10.30
M-218	San Carlos	-79.44306	-2.20000	35	9.47
M-231	Pancho Negro	-79.28583	-2.44528	68	9.84
M-279	Tarapoa	-76.38333	-0.13333	238	5.80
M-301	FF.CC. Carchi	-78.13222	0.61000	1280	3.50
M-303	Bolívar - Carchi Inamhi	-77.90361	0.50528	2800	2.50
M-304	Monte Olivo	-77.91139	0.41417	2130	2.40
M-305	Julio Andrade	-77.72361	0.65583	2890	5.00
M-307	Gruta La Paz	-77.83639	0.50000	2470	2.40
M-310	Mariano Acosta	-77.98167	0.30167	2980	5.00
M-312	Pablo Arenas	-78.18472	0.50417	2340	2.40
M-314	Ambuquí	-78.00778	0.41889	1880	3.40
M-315	Pimampiro	-77.93000	0.38778	2090	2.70
M-319	San Rafael del Lago	-78.24000	0.20000	2790	2.20
M-324	Sn. Fco. De Sigsipamba	-77.91361	0.29444	2230	4.30

M-326	Selva Alegre-Imbabura	-78.57333	0.25111	1800	4.10
M-328	la Leticia	-78.25000	0.36667	2600	3.30
M-329	Inguincho Grande	-78.35000	0.28333	3260	4.00
M-337	San José de Minas	-78.40833	0.17556	2440	3.60
M-339	Nanegalito	-78.67639	0.06667	1580	6.00
M-358	Calacalí	-78.51250	0.00139	2810	3.50
M-363	Sigchos	-78.89028	-0.69944	2880	1.90
M-365	Guaytacama	-78.64028	-0.82056	3075	2.20
M-373	Toacazo	-78.68333	-0.75000	3000	1.83
M-374	San Antonio del Delta	-79.24722	-0.86750	260	10.15
M-375	Saquisilí	-78.66444	-0.83778	2920	4.50
M-377	Tisaleo	-78.66639	-1.34500	3250	2.30
M-391	Pallatanga	-78.96500	-1.99917	1500	4.70
M-393	San Juan Chimborazo	-78.78333	-1.62639	3220	6.20
M-395	Cebadas	-78.64083	-1.90778	3930	3.40
M-396	Alao	-78.48333	-1.88333	3200	2.90
M-397	Compud	-78.93694	-2.34028	2402	3.00
M-398	Palmira	-78.73889	-2.05722	3180	3.30
M-399	Achupallas - Chimborazo	-78.76833	-2.28028	3178	3.10
M-402	Chimbo D.J. Pangor	-79.00444	-1.94000	1452	4.20
M-403	Alausí	-78.84639	-2.19944	2267	4.10
M-404	Cañi	-78.99028	-1.77167	2800	2.80
M-409	Pangor J. de Velasco	-78.88167	-1.82833	3109	2.00
M-411	Ingapirca	-78.87472	-2.53917	3100	2.80
M-412	Suscalpamba	-79.06417	-2.46056	2620	5.62
M-419	Girón	-79.14944	-3.15389	2130	3.10
M-420	Nabón - Inamhi	-79.06611	-3.33389	2750	1.80
M-432	San Lucas - Inamhi	-79.26139	-3.73194	2525	3.10
M-433	El Lucero - Inamhi	-79.47167	-4.39972	1180	5.50
M-438	Jimbura	-79.46389	-4.62722	2004	6.70
M-445	los Cerros Montecristi	-80.68889	-1.03917	200	4.97
M-446	San Isidro	-80.16028	-0.37056	150	7.73
M-449	Sancán	-80.58667	-1.25806	255	4.93
M-450	Camarón	-80.77722	-1.12944	197	4.29
M-452	Zapote	-80.05556	-0.93833	79	5.92
M-457	Puerto Cayo	-80.73639	-1.34944	6	7.32
M-458	colimes de Paján	-80.50889	-1.59306	245	5.09
M-459	San Pablo	-80.59167	-1.57889	465	7.50
M-462	Junín	-80.20833	-0.93444	20	6.45
M-473	Zapotal	-80.55972	-2.31500	20	7.91
M-474	Febres Cordero	-80.61167	-1.94194	60	5.13
M-475	Colimes de Balzar	-80.00806	-1.54278	28	8.78

Los datos fueron procesados en un SIG, elaborando un mapa de isólinas para los valores de intensidad correspondiente al período de retorno de 100 años ($Tr=100$), utilizando el método de interpolación Topo to Raster que trata específicamente con superficies hidrológicas (Hutchinson 1988, 1989).

Para la valoración de las clases se realizó el siguiente proceso:

1. Se encuentra el rango o recorrido (R) de los datos

$$R = (\text{valor mayor} - \text{valor menor}) = X_n - X_1$$

2. Se calcula el número de clases (K), según Sturges (1926)

$$K = 1 + 3.322 \log n; \quad n: \text{suma de los datos}$$

3. Se determina la amplitud de la clase (C)

$$C = R/K$$

El resultado siempre se aproxima al siguiente entero si excede al número entero obtenido, no importa el monto de la fracción excedida al entero.

Para nuestro trabajo:

$$R = 11.10 - 1.60 = 9.50$$

$$K = 1 + 3.322 \log (928.77) = 4.947 = 5$$

$$C = R/K = 1.920 = 2$$

Una vez determinado el número de clases y el intervalo de cada una de ellas, se valoran en una escala de 1 a 5, de acuerdo a lo expuesto en la Tabla N°10. El resultado se muestra en la Figura N°10.

Tabla N° 10: Valoración de las clases del factor intensidad de lluvias

CLASE	RANGO (mm/día)	VALOR
I	1.5 - 3.5	1
II	3.5 - 5.5	2
III	5.5 - 7.5	3
IV	7.5 - 10.5	4
V	> 10.5	5

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

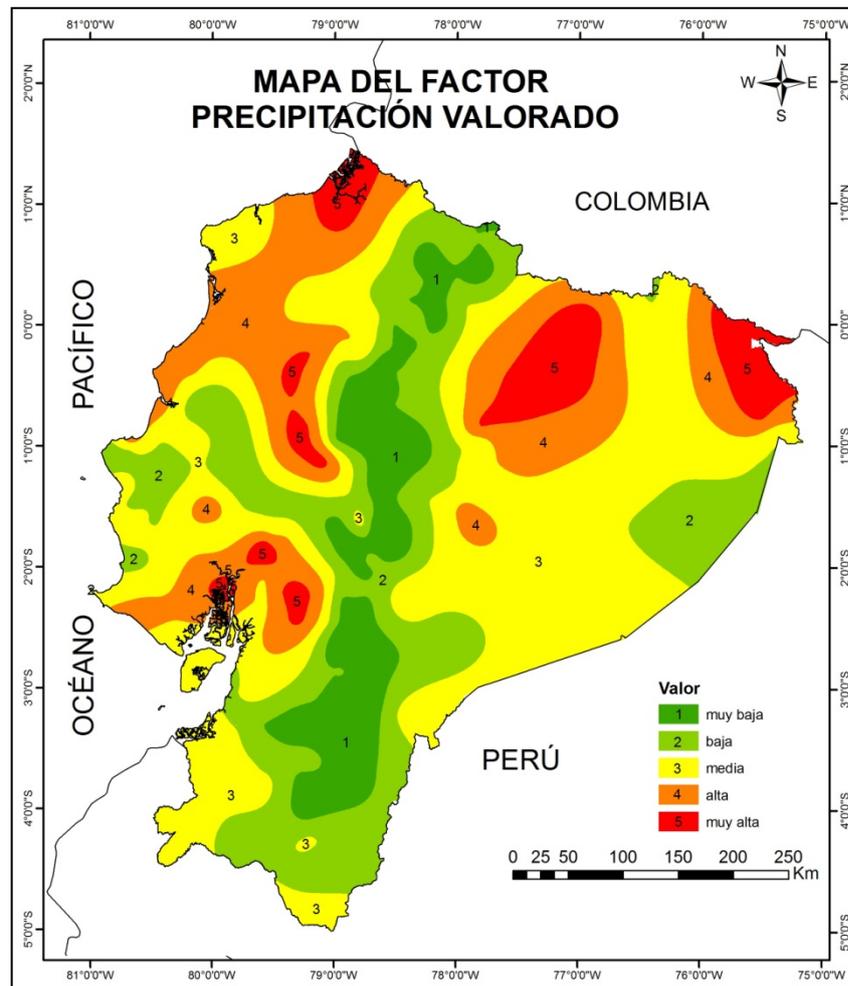


Figura N° 10: Mapa del factor precipitación valorado
Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013
Fuente: INAMHI (1999)

2.2.6 FACTOR HIDROGEOLÓGICO

Este factor está representado por la permeabilidad cualitativa identificada en el Mapa Hidrogeológico del Ecuador, a escala 1:1'000.000, elaborado por la DGM e INAMHI (1983), digitalizado y editado por PRETOECUADOR-MAG en el año 2005 (Anexo 1e).

2.2.6.1 Metodología y valoración

A partir del mapa se valora la permeabilidad en la escala de 1 a 5, como se muestra en la Tabla N°11. El valor de 1 corresponde a las rocas que poseen menor permeabilidad y el valor de 5 a las rocas que poseen mayor permeabilidad y serían más susceptibles de generar movimientos en masa. Los resultados se muestran en la Figura N°11.

Tabla N° 11: Valoración de las clases del factor hidrogeológico

Simbología	Permeabilidad	Valor
N	Nevado	1
Wn	Laguna, Lago	1
C2	Prácticamente Impermeable	1
C1	Somero Prácticamente Impermeable Profundo Variado	1
B2	Generalmente Baja	1
B3	Muy Baja	1
A4	Baja	2
B1	Baja a Media	2
A3	Media	3
A2	Media a Alta	4
A1	Generalmente Alta	5

Elaboración: Proyecto de Zonificación, septiembre 2011

Fuente: DGGM e INAMHI (1983)

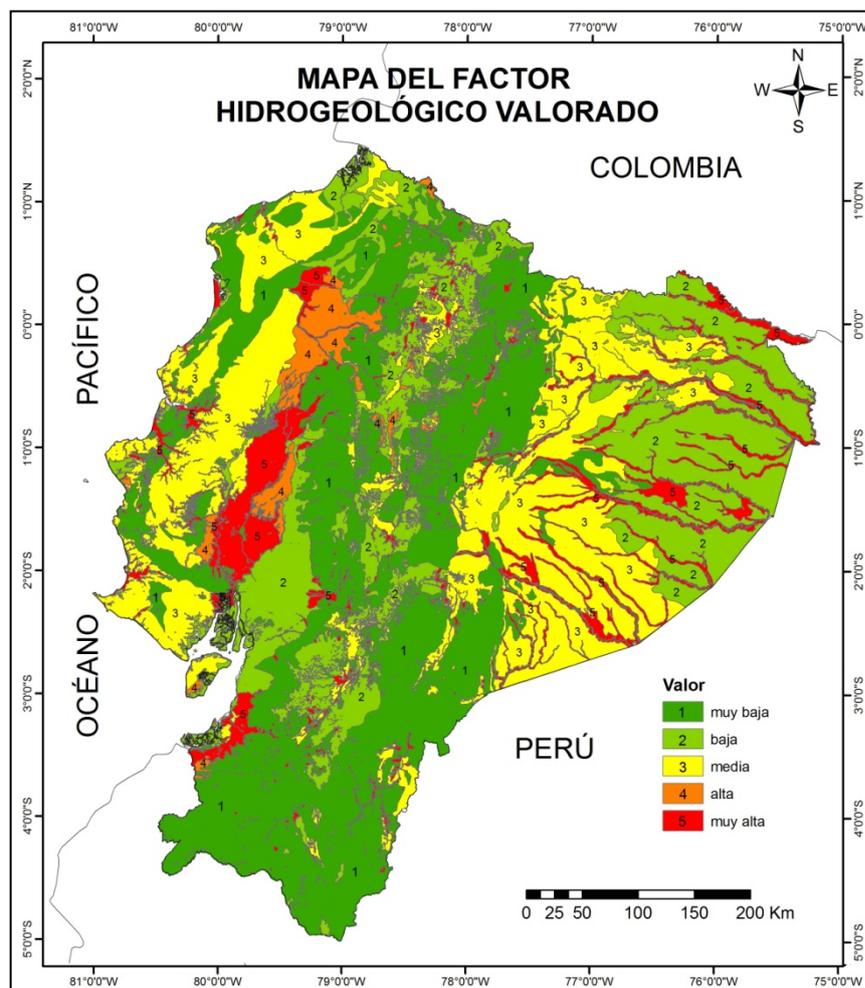


Figura N° 11: Mapa de unidades hidrogeológicas valoradas

Elaboración: Proyecto de Zonificación, septiembre 2011

Fuente: DGGM e INAMHI (1983)

2.2.7 FACTOR SISMICIDAD

El factor sismicidad está representado por el valor de la aceleración sísmica para un período de retorno de 475 años, es decir, una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, de forma similar a lo utilizado en el Código Ecuatoriano de la Construcción (NEC, 2011).

2.2.7.1 Metodología y valoración

Para obtener los valores de aceleración se utilizó la base de datos inédita, proporcionada y elaborada por el grupo de estudios del Instituto Geofísico de la EPN y el Instituto de Investigaciones para el Desarrollo de Francia IRD, que contiene el cálculo de aceleraciones sísmicas para el territorio ecuatoriano continental (IGEPN-IRD, inédito). Esta base inédita no puede ser anexada a este trabajo, debido al compromiso de confidencialidad y no divulgación de los datos adquiridos entre el INIGEMM y el IGEPN-IRD.

Con los datos y la herramienta Contour de Spatial Analyst del programa ArcGis 9.3 se elaboró el mapa de aceleraciones con rangos y clases similares a los determinadas para el mapa del NEC (2011). Estas clases y rangos reflejan mejor los valores de aceleración en el país (Com. Pers. Dr. Mario Ruiz, IG-EPN). Las clases fueron valoradas en una escala de 1 a 5 como se muestra en la Tabla N°12 y los resultados se expresan en la Figura N°12.

Tabla N° 12: Valoración de las clases del factor sísmico

NOMINACIÓN	RANGO (Z)	VALOR
MUY BAJA	<0.15	1
BAJA	0.15 - 0.25	2
MEDIA	0.25 - 0.35	3
ALTA	0.35 - 0.5	4
MUY ALTA	> 0.5	5

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: NEC (2011) modificado

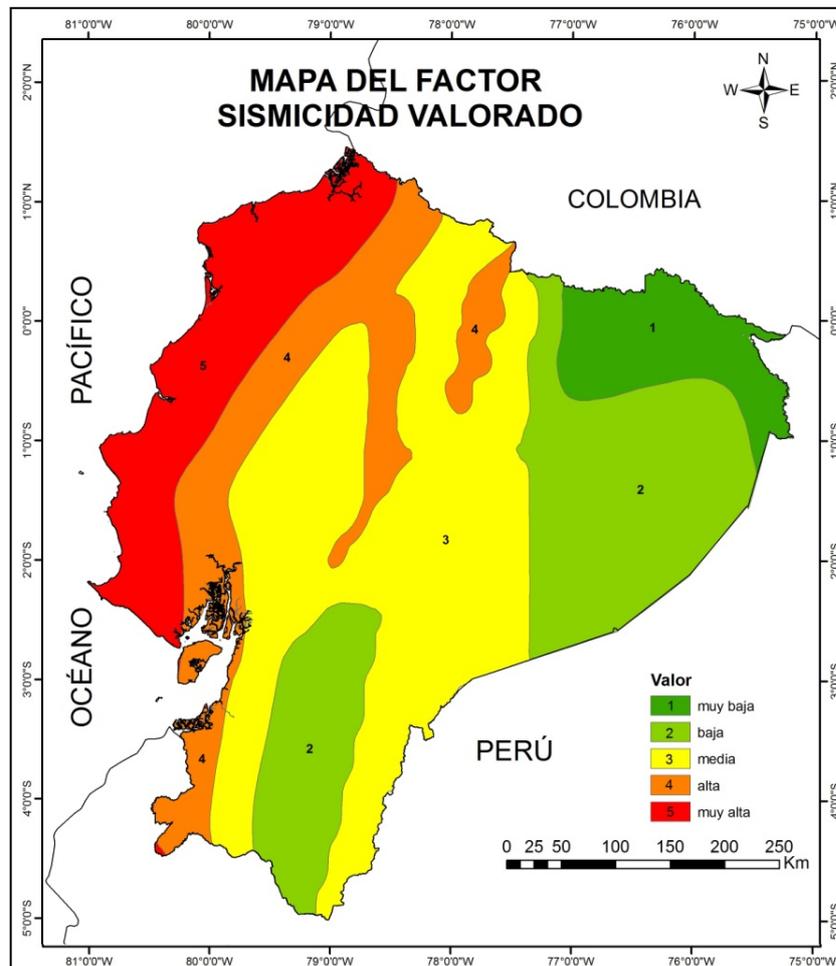


Figura N° 12: Mapa del factor aceleración sísmica valorado
Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013
Fuente: IGEPN-IRD (inédito)

3 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

Un inventario de movimientos en masa es un registro ordenado de la localización y las características individuales de una serie de movimientos ocurridos en un área dada. Las características a registrar dependen del interés para el cual este se realice, y en general, pueden representarse en el mapa por polígonos aquellos sitios con movimientos en masa que sean mayores a 5 mm en la escala del mapa o en caso contrario, por puntos (PMA: GCA, 2007).

La utilidad de un inventario de movimientos en masa completo es conocida y variada, principalmente como elemento para el análisis y evaluación de la amenaza y para validar la zonificación de amenaza realizadas por otros métodos, además de emplearse para análisis de sensibilidad de un cierto factor, análisis de frecuencia de movimientos en masa y para establecer correlaciones tales como lluvia-deslizamiento, o sismo-deslizamiento (PMA: GCA, 2007).

En el Ecuador no existe un registro ordenado y sistemático de la localización y características de los movimientos en masa ocurridos. Sin embargo, ensayos aislados de inventarios con diferentes características y objetivos han sido ya realizados (Pazos y Vinueza, 1990; Idrovo, 2006), así como cartografía de movimientos en masa y de su peligrosidad (Basabe, 1998). El INIGEMM, en base al trabajo de Pazos y Vinueza (1990) y a la recopilación de los movimientos en masa identificados en reconocimientos expeditivos ha logrado elaborar un inventario preliminar con 1380 datos que fueron georeferenciados (INIGEMM, 2011). De otra parte, el Sistema de Inventario de Desastres denominado **DesInventar**, crea desde 1994, un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, en base a datos preexistentes, originados en fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en nueve países de América Latina entre ellos Ecuador. El DesInventar para el Ecuador obtiene una base de 1463 reportes de eventos denominados deslizamientos y 55 eventos denominados aluviones. La limitación de esta base es que no cuenta con información de la ubicación de los movimientos en masa que permita ubicar los eventos en un sistema de coordenadas espaciales.

En este trabajo se ha ensayado elaborar un inventario de los movimientos en masa ocurridos en el pasado a partir de la información existente, para validar los resultados de la zonificación de la susceptibilidad y/o elegir el mejor algoritmo de susceptibilidad con aquella combinación que resulta más adecuada.

3.1 METODOLOGÍA DEL INVENTARIO

El inventario se elaboró principalmente en base a la información de los inventarios preliminares, que presentan como atributo la ubicación geográfica de los movimientos en masa. También se utilizó la información de varios mapas de movimientos en masa y mapas geológicos, registros históricos e informes expeditivos realizados en años anteriores por el INIGEMM.

Las principales fuentes de información son las siguientes:

- Hojas Geológicas a escala 1:100.000 publicadas entre 1970 y 1996 por el Servicio Nacional de Geología y Minería (S.N.G.M.), la Dirección General de Geología y Minas (D.G.G.M.), el Servicio Nacional de Minería (SNM), el Instituto Ecuatoriano de Minería (INEMIN), y la Corporación de Desarrollo Geológico Minero (CODIGEM).
- Catálogo de movimientos en masa identificados desde fuentes cartográficas del trabajo de Pazos y Vinueza (1990).
- Proyecto de Prevención de Desastres Naturales en la cuenca del Río Paute PRECUPA, (Basabe, 1998).
- Registro de movimientos en masa originados por sismos, del trabajo de Idrovo (2006).

- Movimientos en masa identificados en los reconocimientos expeditivos e informes técnicos realizados desde 1989 hasta 2010 por CODIGEM, DINAGE (Dirección Nacional de Geología del Ecuador) e INIGEMM.

Las características principales de la información de estas fuentes son las siguientes:

- **Hojas Geológicas, escala 1:100.000.**

Entre los años 1966 y 1994 se realizó el levantamiento geológico a escala 1:100.000 con la elaboración de 79 hojas geológicas que cubren 52.32% del territorio nacional. En estos mapas se han cartografiado 740 sitios identificados como coluviales y 400 sitios identificados como derrumbes.

Los coluviales y derrumbes identificados fueron digitalizados con el programa ArcGis 9.3 para obtener el centroide del polígono y determinar el área aproximada.

De esta fuente se incluyen en el inventario a los coluviales como la representación del depósito de un movimiento en masa y a los derrumbes que en el país son considerados como movimientos en masa de tipo deslizamientos y/o caída de roca. (Pazos y Vinueza, 1990).

- **Catálogo de movimientos en masa de Pazos y Vinueza (1990)**

El catálogo contiene la localización y características de 1294 movimientos en masa, identificados en la región Sierra hasta junio de 1989, a través de la información cartográfica de varios estudios realizados por diferentes instituciones y organismos nacionales (INECEL, INEMIN, EPN, UNIVERSIDAD CENTRAL), así como algunas empresas privadas. La localización es proporcionada en coordenadas UTM y se refiere al centroide del polígono que representa el movimiento en masa (Pazos y Vinueza, 1990). Sin embargo, este catálogo no proporciona una tipología de los movimientos en masa, generalizándolos con el nombre de deslizamientos.

De esta fuente se incluyen en el inventario 997 movimientos en masa, ya que los otros fenómenos del catálogo están identificados en las Hojas Geológicas, escala 1:100.000 antes mencionadas.

- **Proyecto de Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Río Paute (Basabe, 1998).**

Este estudio realizado entre varias instituciones ecuatorianas y el Cuerpo Suizo de Socorro (CSS) sobre la prevención de desastres naturales en la cuenca del Río Paute cubrió un área de 3700 km², localizadas en la zona austral del país. Se elaboraron 7 Mapas de Fenómenos por inestabilidad del terreno y sus correspondientes Mapas de peligrosidad por Fenómenos de inestabilidad del Terreno, a escala 1:25.000 (Basabe, 1998).

De esta fuente se incluyen en el inventario 123 deslizamientos activos y latentes y 197 derrumbes puntuales, cuya localización es identificada en

coordenadas UTM, a partir del centroide del polígono que representa el movimiento en masa.

- **Registro de movimientos en masa de Idrovo (2006).**

Los movimientos en masa registrados en este trabajo corresponden a los generados por sismos ocurridos durante el período 1541 a 2004. El estudio identifica 70 sismos que han disparado uno o varios tipos de movimientos en masa, en el territorio continental ecuatoriano, registrando la localización en coordenadas UTM y el tipo del movimiento en masa (Idrovo, 2006).

De esta fuente se incluyen en el inventario 120 movimientos identificados como deslizamientos y/o caídas (D/C), 8 flujos (F), 66 grietas (g) y 97 sitios inestables que pueden contener varios tipos de movimientos (deslizamiento y/o caída, flujos, esparcimientos laterales (EI) y grietas).

Las grietas se han incluido en la base de datos pero no son consideradas para su representación como movimientos en masa.

- **Informes técnicos y reconocimientos expeditivos de CODIGEM, DINAGE e INIGEMM.**

En estas instituciones se han realizado reconocimientos expeditivos e informes técnicos de movimientos en masa, como parte de sus actividades institucionales. Se recolectó y analizó la información de 76 documentos elaborados entre los años 1989 y 2010, para determinar la localización y el tipo de movimiento en masa.

De esta fuente se incluyen en el inventario 952 movimientos en masa, cuya localización en coordenadas UTM y tipología corresponde a la descrita en los documentos.

3.2 RESULTADOS

La base de datos elaborada contiene 3583 eventos, de los cuales 3484 han sido considerados como movimientos en masa y 97 como sitios inestables. La tipología expresada en el inventario corresponde a la atribuida en los documentos de las fuentes. Las denominaciones deslizamientos, caída y flujo, corresponden a los tipos de la clasificación de Varnes (1978). Las grietas son aberturas en el terreno que demuestran inestabilidad, los hundimientos pueden corresponder a colapso de la superficie del terreno por varias causas y la reptación a movimientos lentos, sin superficie de ruptura de la parte más superficial del terreno. Las zonas inestables expresan varios tipos de movimientos en masa y corresponden al trabajo de Idrovo (2006).

Los movimientos en masa identificados en los trabajos de Pazos y Vinuesa (1990) y en las Hojas Geológicas, escala 1:100.000 fueron contrastados entre sí para evitar la repetición y depurar la información; antes de elaborar una base de datos con los siguientes atributos: localización (coordenadas UTM), tipo

(clasificación de Varnes, 1978), área (km²), código (número de 4 dígitos), fuente (una de las cinco anteriormente descritas). Estos atributos son los comunes en todas las fuentes. La base de datos denominada Inventario de Movimientos en Masa, se elaboró en formato Shape y Excel (Anexo 2).

A partir de la base de datos se elaboró el Mapa Inventario de Movimientos en Masa del Ecuador, representando cada movimiento en masa como un punto, con la ayuda del sistema de Información Geográfica ArcGis 9.3 (Figura N°13).

El Mapa Inventario de Movimientos en Masa del Ecuador permite observar que la mayor concentración de movimientos en masa se localiza en las cordilleras Occidental y Real en la región Sierra, mientras que en la región costa y oriente son pocos o nulos. La ausencia de movimientos en masa en estas zonas reflejaría el interés y ámbito de acción de las fuentes que generaron la información, como es el caso del catálogo de Pazos y Vinueza (1990), y Basabe (1998). En el caso del uso de registros históricos como en el trabajo de Idrovo (2006) reflejaría el interés y facilidad para reportar los hechos desde zonas y ámbitos muy apartados del territorio nacional.

Sin embargo, como lo muestran varios estudios (Pazos y Vinueza, 1990; D'Ercole y Trujillo, 2003; INIGEMM, 2011) la región Sierra presenta condiciones de relieve, pendiente, sismicidad, uso del suelo y actividades antrópicas favorables para una mayor susceptibilidad por movimientos en masa. Así, varios de los movimientos en masa importantes por su tamaño e impacto han ocurrido en esta región del país (Plaza, 1996).

Las concentraciones de movimientos en masa ubicadas en algunos lugares de la región Sierra, que coinciden con cuencas hidrográficas, reflejarían los espacios de estudios escogidos e interés de las instituciones y organismos que los desarrollaron. Es el caso de la documentación utilizada por Pazos y Vinueza (1990) y Basabe (1998).

El inventario permite apreciar que los deslizamientos parecen ser el tipo más común de los movimientos en masa (Movimientos en Masa del Reventador, 1987; Deslizamiento del Río Pisque, 1990; La Josefina, 1993; otros.) seguidos por los derrumbes, los flujos (La Avalancha de Detritos de Las Moras - Alausí, 1985; Movimientos en Masa del Reventador, 1987) y las caídas, sin embargo, el 50% de los movimientos en masa de este inventario no ha podido ser tipificado.

Respecto al tamaño, 1919 movimientos en masa tienen áreas menores a 1km² (Deslizamiento del Río Pisque, 1990; La Josefina, 1993), 509 movimientos en masa presentan áreas entre 1 y 10 km² (Deslizamiento de Cacha-Chimborazo, 1797; Deslizamiento del Tambo, s/f) y 30 tienen áreas mayores a 10 km² (Movimientos en Masa del Reventador, 1987), sin embargo, del inventario casi el 32% de movimientos en masa no presentan la superficie involucrada.

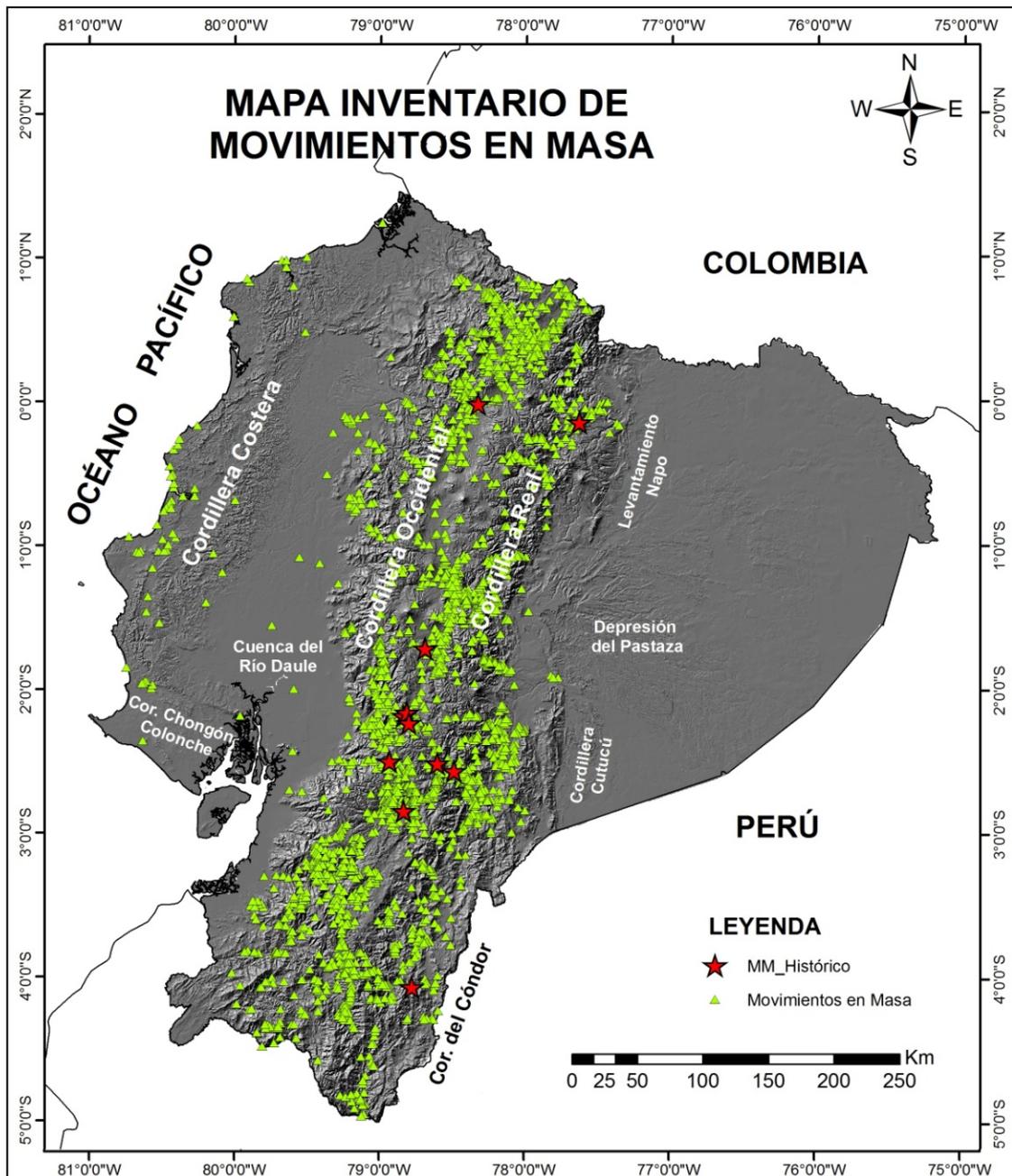


Figura N° 13: Mapa Inventario de Movimientos en Masa del Ecuador

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Con respecto a las causas a partir de las fuentes del inventario al parecer los movimientos en masa originados por sismos durante el período 1541-2004 corresponden a 97 sitios inestables y 120 movimientos en masa, por ejemplo los Movimientos en Masa del Reventador, 1987; Deslizamiento de Cacha-Chimborazo, 1797.

De otra parte, se puede observar que las fuentes del inventario proporcionan movimientos en masa cartografiados a diferentes escalas, con diferentes

objetivos y métodos de identificación, lo cual produce una gran heterogeneidad de los datos, y una imagen incompleta del inventario y de su representación en el mapa.

Algunos movimientos en masa representativos ocurridos en el país se presentan en la Tabla N°13 y se describen a continuación:

Tabla N° 13: Movimientos en Masa Históricos ocurridos en Ecuador

TIPO	FECHA	UTM	ÁREA	VOLUMEN
Deslizamiento de Cacha	04/02/1797	755828.16 / 9809833.15	> 5km ²	~ 1335*10 ⁶ m ³
Deslizamiento de El Tambo	-	728800.00 / 9723390.00	~ 4km ²	-
Deslizamiento de Guarumales	-	778000.00 / 9715800.00	~ 5km ²	50 a 100*10 ⁶ m ³
Avalancha de Detritos de Las Moras	28/06/1985	739513.00 / 9758442.00	< 1km ²	2*10 ⁶ m ³
Deslizamientos del Sector Volcán Reventador	05/03/1987	873677.54 / 9983793.11 (Pto. referencial)	-	110 a 120*10 ⁶ m ³
Deslizamiento y Represamiento Río Pisque	02/01/1990	796603.24 / 9997788.56	0.12km ²	3.6*10 ⁶ m ³
Deslizamiento y Represamiento de La Josefina	29/03/1993	739633.70 / 9685227.28	-	20*10 ⁶ m ³
Deslizamiento de Nambija	09/05/1993	745673.00 / 9549677.00	-	~ 15*10 ³ m ³
Deslizamiento Sector Río Chanchán	abril/1999	741913.97 / 9760752.37	-	2.5*10 ⁶ m ³
Deslizamiento de Guasuntos	03/02/2000	743429.05 / 9752822.11	~ 0.3km ²	1.8*10 ⁶ m ³
Deslizamiento de Pacha, Achupallas	junio/2004	748513.49 / 9749979.84	~ 0.8km ²	~ 72*10 ³ m ³

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

DESLIZAMIENTO DE CACHA (Prov. Chimborazo, UTM: 755828.16 / 9809833.15): El 4 de febrero de 1797, un terremoto de magnitud 8.3 produjo innumerables deslizamientos de tierra en laderas y taludes de caminos en varios sitios (Riobamba, Latacunga, Penipe, Guanando, Punín, Cajabamba, Licto, Cebadas, Guano, Columbe, Guamote, Quero, Chunchi, Guaranda, Pallatanga, Patate, Igualata, otros) cambiando la topografía del terreno y formando represamientos en los ríos Agua Santa, San Felipe o Cutuchi, Ambato y otros. La cifra oficial de muertos por el terremoto fue de 12.293, pero se admite la posibilidad de que no sea exacta (Egred, 2004). El deslizamiento de Cacha presenta un área mayor a 5km² y un volumen cercano a 1335,75*10⁶ m³, y es actualmente activo en algunas partes (INIGEMM, 2013).

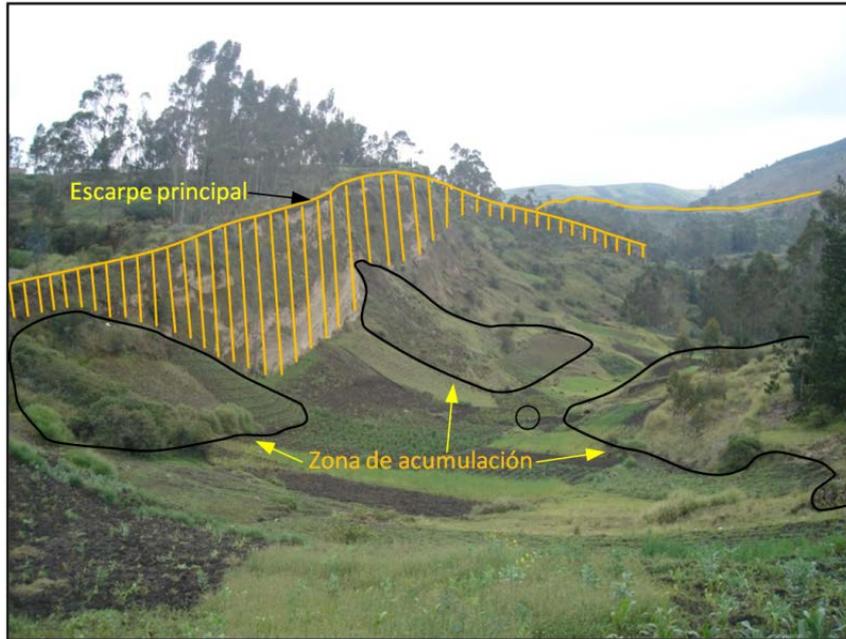


Figura N° 14: Deslizamiento de Cacha, sector Panaderos (escarpe principal)
Elaboración: Proyecto zonificación, 2011.
Fuente: Proyecto zonificación, 2011.



Figura N° 15: Deslizamiento de Cacha, sector Panaderos (pie de deslizamiento)
Elaboración: Proyecto zonificación, 2013
Fuente: Proyecto zonificación, 2013

DESLIZAMIENTO DE EL TAMBO (Prov. Cañar, UTM: 728800 / 9723390): Sin fecha de ocurrencia. En el cantón El Tambo se presenta un deslizamiento activo con grietas e infiltraciones de agua, con un área aproximada de 4 km², causando daños a la vía panamericana y a los terrenos de cultivo (Albán, 2009).



Figura N° 16: Deslizamiento de El Tambo
Elaboración: Ing. Edgar Cárdenas C. Esp.
Fuente: Ing. Edgar Cárdenas C. Esp.

DESLIZAMIENTO DE GUARUMALES (Prov. Azuay, UTM: 778000 / 9715800): Es un deslizamiento antiguo ubicado en el flanco derecho del río Paute a 10km aguas abajo de la Represa Daniel Palacios. Este deslizamiento tiene una superficie aproximada de 5 km² y un volumen estimado de 50 a 100 millones de metros cúbicos (Sevilla, 1982 en Plaza y Vinuesa, 1991), este deslizamiento ha sido estudiado y monitoreado por varias ocasiones. Pues se encuentra frente a la casa de máquinas de la central hidroeléctrica Paute.



Foto N° 1: Deslizamiento de Guarumales – Escuela Daniel Palacios Izquierdo
Elaboración: Rodrigo Macas, 2011
Fuente: Educa Romil, 2011

AVALANCHA DE DETRITOS DE LAS MORAS - LOMA LLALLARON (Prov. Chimborazo, UTM: 739513 / 9758442): El 28 de junio de 1985 una avalancha de detritos movilizó cerca de 2'000.000 m³ de material, a partir de un área menor a 1 km², dañando un tramo de 300 m de la carretera principal Riobamba – Azogues y un tramo de la línea férrea Quito – Guayaquil (DINAGE, 2004).

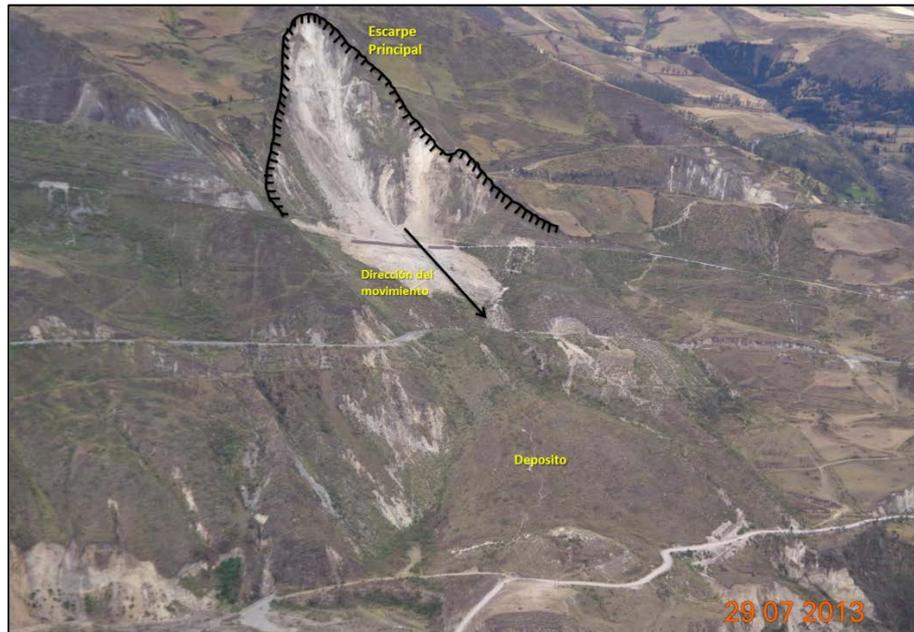


Figura N° 17: *Avalancha de Las Moras*
Elaboración: *Proyecto de zonificación, abril 2013*
Fuente: *Ing. Carlos Bastidas*

DESLIZAMIENTOS DEL SECTOR VOLCÁN REVENTADOR (Prov. Napo, UTM: 873677.54 / 9983793.11 dentro de la zona): El 5 de marzo de 1987 un sismo de 6.9 Mv generó innumerables movimientos en masa, cuyo volumen se estima entre 110 a 120 millones de m³. Alrededor de 1.000 personas murieron, cerca de 75.000 personas quedaron totalmente aisladas, 40 km del Oleoducto Trans-Ecuatoriano y de la Carretera Quito-Lago Agrio fueron destruidos, así como varias viviendas de adobe cedieron hasta una distancia de 45 km del epicentro. Además, pequeñas estructuras de hormigón armado en la zona oriental del país y un puente de Baeza localizado unos 75 km al sur del epicentro colapsaron, así también varios ríos fueron represados (Salado, Quequeno, Dué y Dué Grande, Coca), provocando desprendimientos menores de laderas (National Academy Press, 1991).



Foto N° 2: Movimientos en masa, zona del Reventador

Elaboración: Ing. Galo Plaza N., 1987

Fuente: Ing. Galo Plaza N.

DESLIZAMIENTO Y REPRESAMIENTO RÍO PISQUE (Prov. Pichincha, UTM: 796603.24 / 9997788.56): El 2 de enero de 1990 se produjo un deslizamiento en las riveras del río Pisque, tributario del río Guayllabamba, cuyo volumen de masa movida fue de alrededor de $3.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ con una superficie de 12 ha. Este deslizamiento represó el río Pisque ocasionando daños materiales en terrenos y sembríos que fueron estimados en 200.000 dólares. (Asanza et al., 1991).



Figura N° 18: Vista frontal del deslizamiento Pisque. Se distingue el escarpe principal (E), cuerpo (C), pie (P), costados (S) y cono de derrubios (e); además se nota filtraciones de aguas subterráneas (F), falla normal limitando el escarpe principal (Fn) y presencia de lavas básicas bajo la superficie de falla

Elaboración: Núñez y Vásconez, 1993

Fuente: Núñez y Vásconez, 1993

DESLIZAMIENTO Y REPRESAMIENTO DE LA JOSEFINA (Prov. Azuay, UTM: 739633.70 / 9685227.28): El deslizamiento - represamiento de La Josefina ocurrió el 29 de marzo de 1993, causando pérdidas económicas mayores a 147 millones de dólares, equivalente al 1% del PIB. Este deslizamiento movilizó 20'000.000 m³ de material, provocando la muerte de más de 100 personas y el represamiento de los ríos Paute y Jadán. El represamiento formó un embalse natural de 10 km de longitud a lo largo del río Paute alcanzando un volumen de 320'000.000 m³ de agua que inundaron 940 ha de tierra productivas y provocaron la destrucción de vías de comunicación (carreteras y vía férrea) y de la central termo eléctrica ubicada en El Descanso. Los daños producidos por la rotura del represamiento fueron la destrucción parcial de la ciudad de Paute, la formación de nuevos y la reactivación de antiguos deslizamientos, además de generar una amenaza para las instalaciones de la central hidroeléctrica de Paute, que en aquella época generaba el 70% de la energía requerida por el país (Zevallos et al., 1996).



Figura N° 19: El deslizamiento-represamiento de La Josefina (05-04-93): A, escarpe. C1, dirección y depósito del primer movimiento. C2, dirección y depósito del segundo movimiento.

D, embalses (1) río Paute, (2) río Jadán

Elaboración: Ing. Galo Plaza N., 1993

Fuente: Zevallos et al., 1996

DESLIZAMIENTO DE NAMBIJA (Prov. Zamora Chinchipe, UTM: 745673 / 9549677): El 9 de mayo de 1993 en el sector “El Tierrero”, un deslizamiento traslacional movilizó cerca de 15.000 m³ de tierra y rocas; sepultando a más de 350 personas, destruyendo casas, molinos de piedra, bodegas de material, etc. (Soria, 1994).



Figura N° 20: Deslizamiento Nambija. Condominio Norte

Elaboración: Terry Mockler, 2005

Fuente: Flickr, 2005

DESLIZAMIENTO SECTOR RÍO CHANCHÁN (Prov. Chimborazo, UTM: 741913.97 / 9760752.37): En abril de 1999 debido a las intensas lluvias se produjo el deslizamiento en el sector de Zusnia que movilizó un volumen de 2'500.000 m³, destruyendo 1 km de la línea férrea. El deslizamiento represó el río Chanchán formando un embalse temporal que generó grandes procesos de erosión y rotura (DINAGE, 2004).



Foto N° 3: Deslizamiento Río Chanchán
Elaboración: Lima, A. y Brito, S. 2004
Fuente: DINAGE, 2004

DESLIZAMIENTO DE GUASUNTOS (Prov. Chimborazo, UTM: 743429.05 / 9752822.11): El 3 de febrero del 2000 ocurrió un deslizamiento rotacional que movilizó un volumen estimado de 1'800.000 m³ de material en un área aproximada de 30.000 m². Este movimiento causó la pérdida de seis vidas humanas, la destrucción de viviendas, daños en un tramo de la vía principal Panamericana sur y en la red eléctrica afectando también a la población de La Moya, así como el represamiento y desviación del río Guasuntos (DINAGE, 2000).



Figura N° 21: Deslizamiento de Guasuntos
Elaboración: Proyecto de Zonificación, marzo 2013
Fuente: INIGEMM, 2013



Foto N° 4: Represamiento del río Guasuntos
Elaboración: Ing. Galo Plaza N.
Fuente: Ing. Galo Plaza N.

DESLIZAMIENTO DE PACHA, ACHUPALLAS (Prov. Chimborazo, UTM: 748513.49 / 9749979.84): En el mes de junio del 2004 un gran deslizamiento traslacional movilizó 720.000 m³ de material en una área aproximada de 80.000 m². Este deslizamiento causó 120 personas damnificadas y aún se encuentra

activo, amenazando con destruir 25 viviendas y la vía de acceso a la parroquia de Achupallas (DINAGE, 2004).

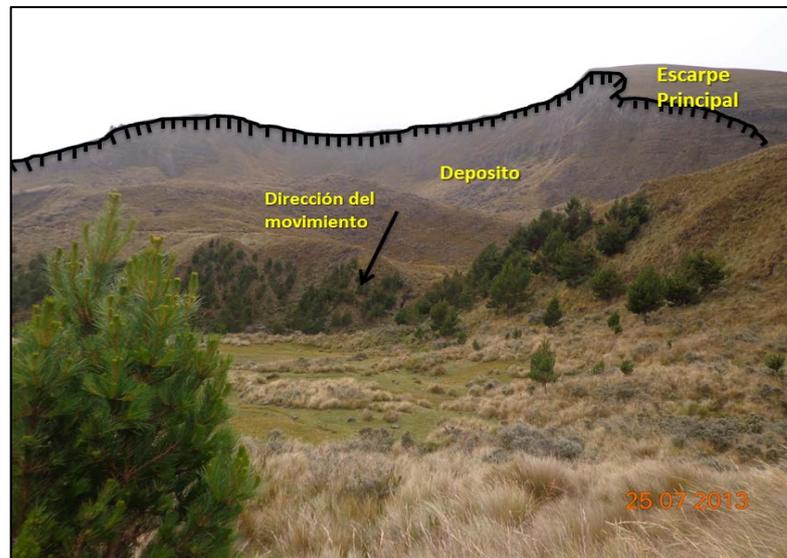


Figura N° 22: Deslizamiento Achupallas
Elaboración: Proyecto de Zonificación, marzo 2013
Fuente: INIGEMM, 2013

4 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

Para la elaboración del Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa se realizaron varios ensayos con el método de Ponderación de Parámetros, usando cuatro (4), cinco (5) y seis (6) factores de análisis. Estos ensayos se realizaron utilizando mapas en formato ráster, con celdas de tamaño 500x500m en el sistema ArcGis 9.3.

4.1 MÉTODO DE PONDERACIÓN DE PARÁMETROS: 4 FACTORES

En este ensayo fueron considerados los siguientes factores:

- | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|
| 1 | Pendiente del terreno | (F_p) |
| 2 | Litología | (F_l) |
| 3 | Grandes unidades de relieves | (F_r) |
| 4 | Uso del suelo y cobertura vegetal | (F_u) |

Los pesos (W) de cada factor fueron determinados con el Método de Jerarquización Analítica (Tabla N°14), para obtener el algoritmo presentado en la ecuación 4, con el que se evalúa la susceptibilidad (H). En el algoritmo resultante la pendiente y litología representan más del 50% del peso de los factores de análisis.

La Figura N°23 muestra el mapa de susceptibilidad, zonificado en cinco (5) clases, desde muy baja hasta muy alta, cuyos rangos fueron obtenidos en intervalos naturales.

Tabla N° 14: Determinación de pesos de los factores de análisis mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA): 4 factores

A	Fp	Fl	Fr	Fu
Fp	1	2	2	2
Fl	0.5	1	2	2
Fr	0.5	0.5	1	2
Fu	0.5	0.5	0.5	1

A'					W	A*W	Land_Max	IC	RI
	Fp	Fl	Fr	Fu					
Fp	0,4	0,5	0,364	0,286	0,39	1,61	4,16		
Fl	0,2	0,25	0,364	0,286	0,27	1,14	4,16		
Fr	0,2	0,125	0,182	0,286	0,20	0,81	4,08		
Fu	0,2	0,125	0,091	0,143	0,14	0,57	4,08		
					1,00		4,12	0,040	0,045

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

$$H = \frac{0.39(F_p) + 0.27(F_l) + 0.20(F_r) + 0.14(F_u)}{4} \quad (4)$$

El mapa de susceptibilidad (Figura N°23) muestra que las clases bajas cubren mayormente la región oriental, la cuenca del Río Guayas y parte norte de la provincia de Esmeraldas en la costa. La clase media cubre los terrenos conformados por las cordilleras costeras, en el oriente la Depresión del Pastaza y en la sierra los Valles Interandinos. Las clases altas se localizan en las estribaciones y elevaciones de las cordilleras Occidental, Oriental, y las partes más altas de las cordilleras costeras y las elevaciones de la cordillera del Cutucú.

Las clases de susceptibilidad bajas cubren el 50.28% del territorio nacional, la clase media el 21.07% y las clases altas el 28.65%.

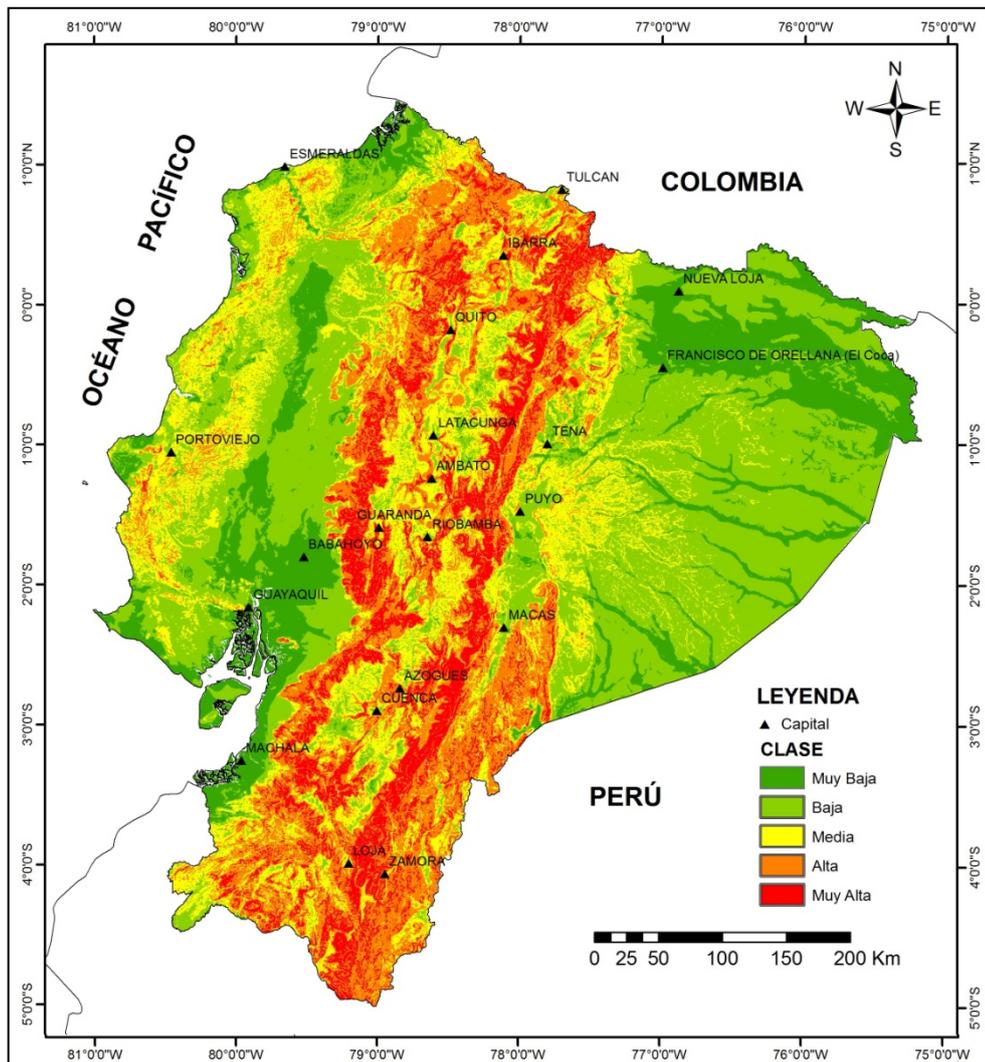


Figura N° 23: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador: 4 factores
Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013
Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

4.2 MÉTODO DE PONDERACIÓN DE PARÁMETROS: 5 FACTORES

Para este ensayo se consideraron los siguientes factores:

- | | | |
|---|-----------------------------------|------|
| 1 | Pendiente del terreno | (Fp) |
| 2 | Litología | (Fl) |
| 3 | Grandes unidades de relieves | (Fr) |
| 4 | Uso del suelo y cobertura vegetal | (Fu) |
| 5 | Hidrogeología | (Fh) |

En este ensayo se utilizó la matriz expuesta en la Tabla N°15, obteniendo el algoritmo de la ecuación 5.

Tabla N° 15: Determinación de pesos de los factores mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA): 5 factores

A	Fp	Fl	Fr	Fu	Fh
Fp	1	2	2	2	2
Fl	0.5	1	2	2	2
Fr	0.5	0.5	1	2	2
Fu	0.5	0.5	0.5	1	2
Fh	0.5	0.5	0.5	0.5	1

A'						W	A*W	Land_max		
	Sp	Sl	Sr	Su	Sh				IC	RI
Sp	0,33	0,44	0,27	0,33	0,22	0,32	1,68	5,25		
Sl	0,17	0,22	0,27	0,33	0,22	0,24	1,28	5,28		
Sr	0,17	0,11	0,27	0,17	0,22	0,19	0,97	5,20		
Su	0,17	0,11	0,13	0,08	0,22	0,14	0,73	5,12		
Sh	0,17	0,11	0,07	0,08	0,11	0,11	0,55	5,14		
						1,00		5,20	0,0488	0,0393

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

$$H = \frac{0.32(F_p) + 0.24(F_l) + 0.19(F_r) + 0.14(F_u) + 0.11(F_h)}{5} \quad (5)$$

El mapa de susceptibilidad resultante (Figura N°24) mantiene una distribución de las clases de susceptibilidad en general similares al ensayo con los cuatro factores, observándose un cambio significativo en la Depresión del Pastaza (1), en el cono de deyección de Santo Domingo de los Tsáchilas (2), en la Cordillera de la Cuenca Borbón (3) y al sur del país en el Bloque Amotape-Tahuín, BAT y Cuenca Álamo-Lancones, CAL (4).

Las clases de susceptibilidad bajas cubren el 46.59% del territorio nacional, la clase media el 20.55% y las clases altas el 32.86%.

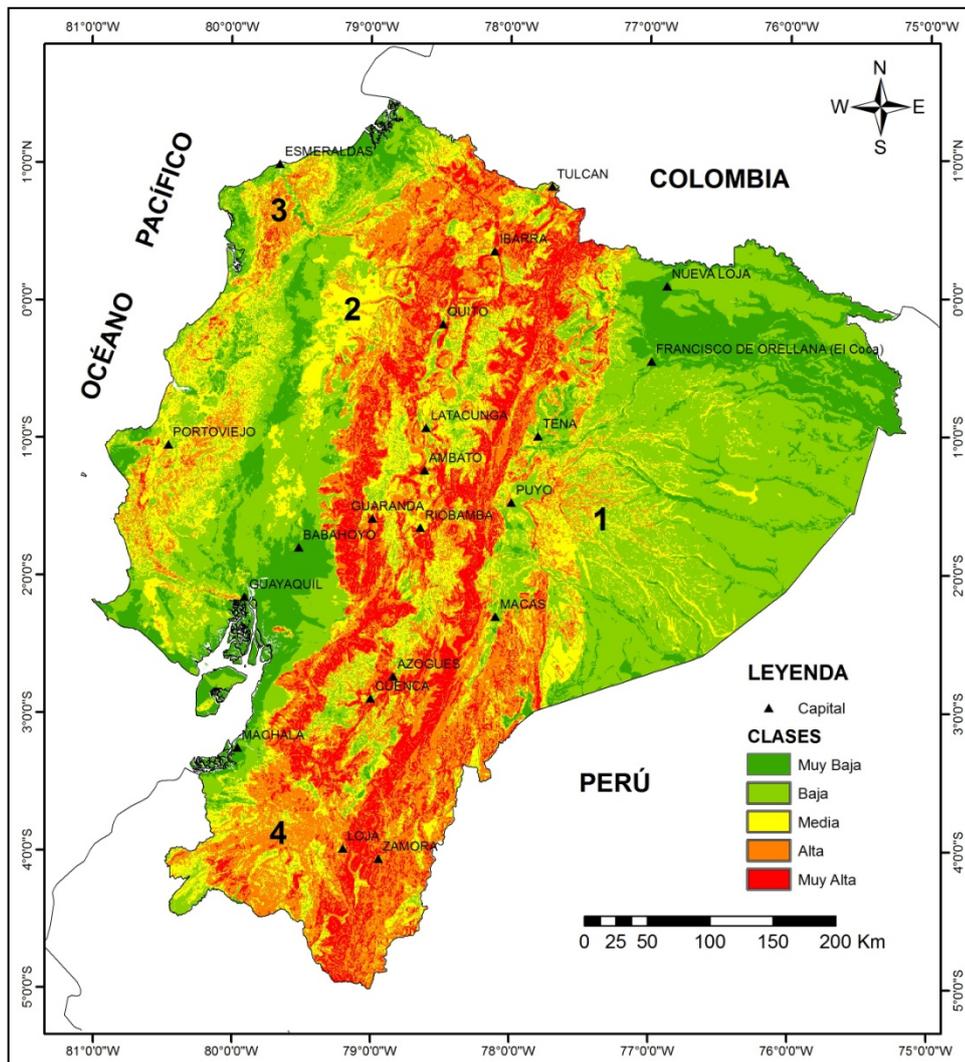


Figura N° 24: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador: 5 factores
Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013
Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

4.3 MÉTODO DE PONDERACIÓN DE PARÁMETROS: 6 FACTORES

Para este ensayo se consideraron los siguientes factores:

- | | | |
|---|-----------------------------------|-------|
| 1 | Pendiente del terreno | (Fp) |
| 2 | Litología | (FI) |
| 3 | Grandes unidades de relieves | (Fr) |
| 4 | Uso del suelo y cobertura vegetal | (Fu) |
| 5 | Lluvias | (FIL) |
| 6 | Sismicidad | (Fs) |

Los primeros cuatro factores generalmente se los considera como pasivos o intrínsecos y los dos últimos como factores disparadores, aunque algunos usos

del suelo (construcción de vías, excavación al pie de laderas, deforestación, etc.) pueden actuar como factor desencadenante.

En este ensayo se utilizó la matriz expuesta en la Tabla N°16, obteniendo como resultado el algoritmo de la ecuación 6.

Tabla N° 16: Determinación de pesos de los factores mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA): 6 factores

	Fp	Fl	Fr	Fu	Fll	Fs
Fp	1	2	2	2	2	2
Fl	0.5	1	2	2	2	2
Fr	0.5	0.5	1	2	0.5	0.5
Fu	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5
Fllu	0.5	0.5	2	2	1	2
Fs	0.5	0.5	2	2	0.5	1

A'							W	A*W	Land_max		
	Fp	Fl	Fr	Fu	Fll	Fs				IC	RI
Fp	0.29	0.40	0.21	0.18	0.31	0.25	0.27	1.73	6.34		
Fl	0.14	0.20	0.21	0.18	0.31	0.25	0.22	1.38	6.38		
Fr	0.14	0.10	0.05	0.09	0.08	0.06	0.11	0.54	6.21		
Fu	0.14	0.10	0.11	0.18	0.08	0.06	0.09	0.69	6.16		
Fll	0.14	0.10	0.21	0.18	0.15	0.25	0.17	1.09	6.32		
Fs	0.14	0.10	0.21	0.18	0.08	0.13	0.14	0.87	6.23		
							1.00		6.27	0.0544	0.043866

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

$$H = \frac{0.27(F_p) + 0.22(F_l) + 0.11(F_r) + 0.09(F_u) + 0.17(F_{ll}) + 0.14(F_{as})}{6} \quad (6)$$

El algoritmo resultante muestra que los factores pendientes y litología tienen casi el 50% del peso total de los factores utilizados, mientras que los factores lluvia y sismicidad un 33%.

El mapa de susceptibilidad resultante (Figura N°25) mantiene una distribución de las clases de susceptibilidad en general similares a los ensayos anteriores. Sin embargo el área cubierta por las clases bajas disminuye en el oriente y la costa pero aumentan en los valles interandinos. El área cubierta por las clases altas se incrementa en las cordilleras costeras pero disminuye en la Cordillera Cutucú.

Las clases de susceptibilidad bajas cubren el 45.70% del territorio nacional, la clase media el 20.66% y las clases altas el 33.64%.

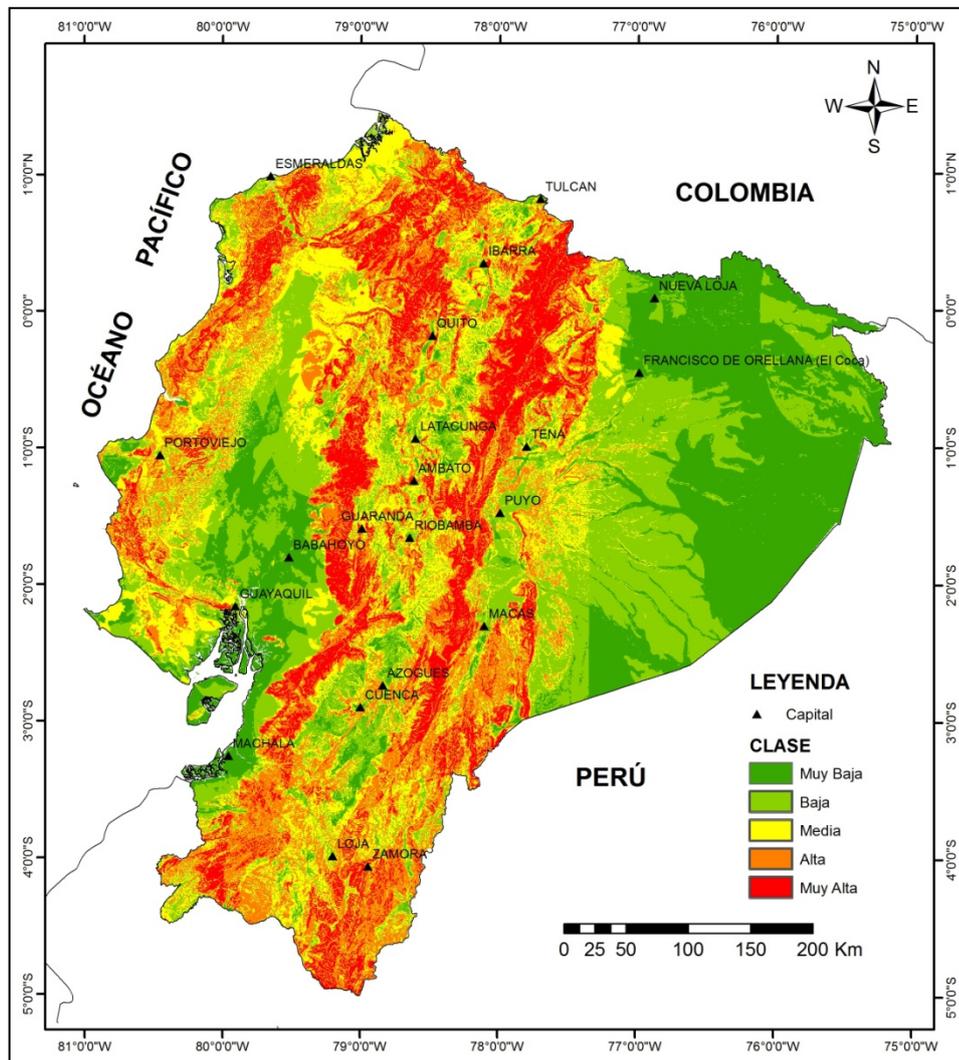


Figura N° 25: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador: 6 factores.

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS

Un análisis comparativo de los resultados de los ensayos de evaluación de la susceptibilidad, puede realizarse a través de un indicador. Se considera que el objetivo de los indicadores de susceptibilidad relativa, generalmente es incluir el mayor número de movimientos en masa en las clases altas de susceptibilidad, tratando al mismo tiempo de alcanzar el mínimo de superficie para estas clases (JTC-1, 2008). Para esto se debe utilizar el mapa inventario de movimientos en masa y cuantificar los siguientes tres valores:

- El porcentaje del total de movimientos en masa que se agrupan en cada clase de susceptibilidad.

- El porcentaje de cada clase de susceptibilidad en relación al área total de estudio.
- El porcentaje del total del área deslizada que se ubica en cada clase de susceptibilidad.

En este trabajo se debe considerar que el mapa inventario de movimientos en masa elaborado para el área de estudio no es completo, presenta datos heterogéneos, su desarrollo no es sistemático y la imagen que proporciona es incompleta, lo cual evidencia la incertidumbre de los resultados del indicador. Tampoco es posible determinar el tercer valor ya que no se cuenta con la información necesaria en el inventario.

Sin embargo, se pueden determinar el primero y segundo valor calculando el porcentaje total de movimientos en masa de cada clase y el porcentaje de área de cada clase de susceptibilidad en relación al área total de estudio. Estos resultados deben considerarse como aproximaciones gruesas a los valores del indicador y por lo tanto de una representatividad incompleta (Tablas N°17 y 18 y Figura N°26 y 27).

Tabla N° 17: Porcentaje de movimientos en masa de cada clase de susceptibilidad

CLASE	MOVIMIENTOS EN MASA (%)		
	%MM-E4	%MM-E5	%MM-E6
MUY BAJA	0.64	0.59	2.62
BAJA	5.86	4.24	13.42
MEDIA	22.10	14.29	24.14
ALTA	39.35	35.36	36.42
MUY ALTA	32.04	45.52	23.39

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Tabla N° 18: Porcentaje del área de cada clase con respecto al área total

CLASE	AREA (%)		
	%A-E4	%A-E5	%A-E6
MUY BAJA	14.69	12.70	20.42
BAJA	35.59	33.89	25.28
MEDIA	21.07	20.55	20.66
ALTA	18.39	21.65	21.08
MUY ALTA	10.25	11.22	12.56

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

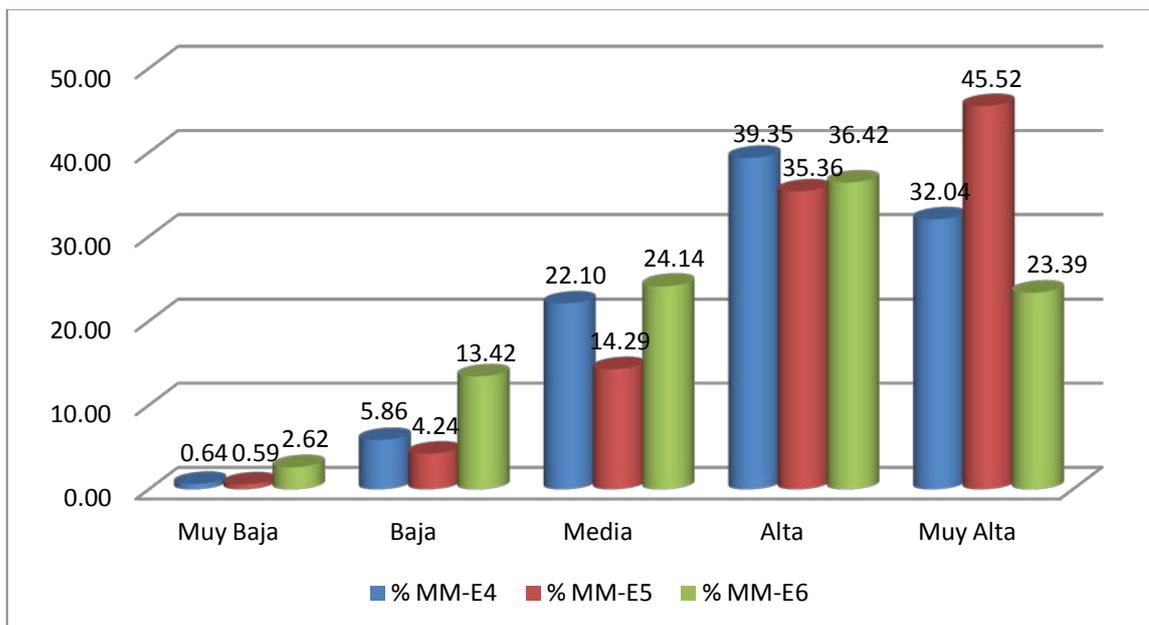


Figura N° 26: Movimientos en masa (%) en cada clase de susceptibilidad
Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013
Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

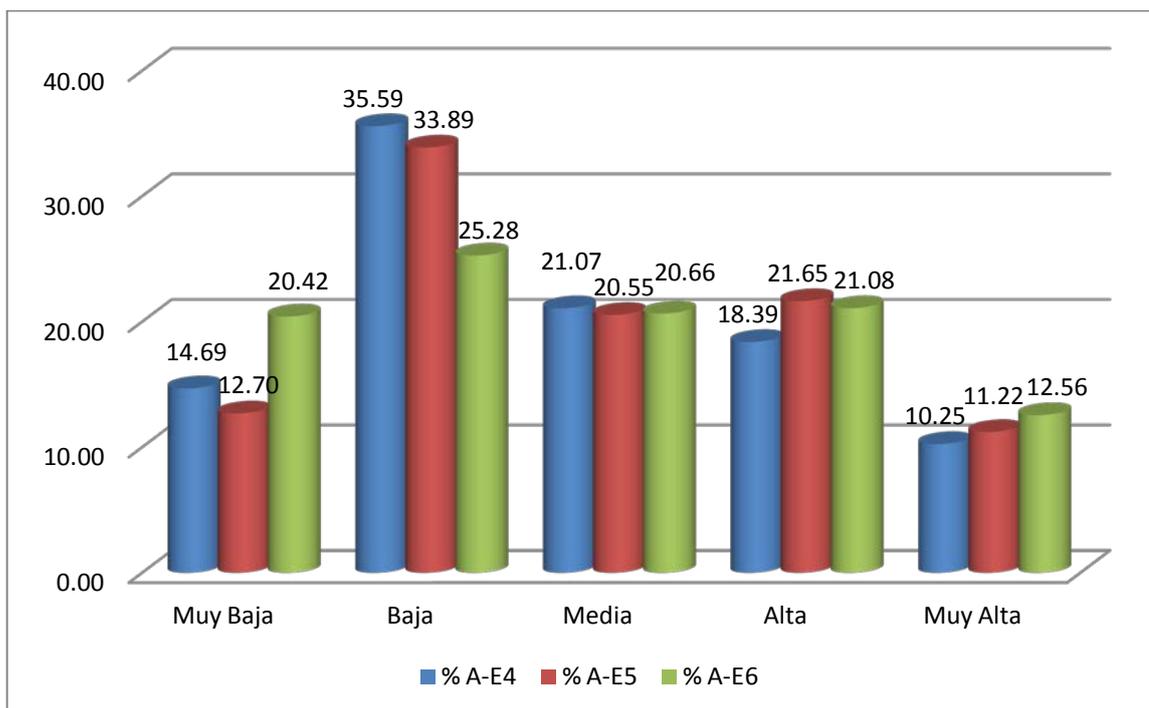


Figura N° 27: Área (%) de cada clase de susceptibilidad respecto al área total
Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013
Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Como se observa en las Tablas N° 17 y 18 y en los histogramas de las Figuras N°26 y 27, el ensayo realizado con los 5 factores de análisis es el que proporciona el mejor resultado con respecto a los dos valores del indicador, a pesar de las condiciones del mapa de inventario de movimientos en masa. Por lo tanto los resultados de este ensayo y el mapa servirían para representar la susceptibilidad por movimientos en masa del área de estudio.

Un análisis de los mapas de susceptibilidad por movimientos en masa obtenidos a través de los tres ensayos, realizado conjuntamente con profesionales del INIGEMM convocados para el efecto, permitió escoger y proponer el mapa elaborado con el ensayo de 5 factores, para representar la susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:1'000.000 del Ecuador.

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CLASES DE SUSCEPTIBILIDAD

Se debe considerar que la susceptibilidad por movimientos en masa expresa solamente la potencialidad de ocurrencia de los fenómenos bajo las condiciones geoambientales presentes y representadas durante la evaluación. La susceptibilidad es dinámica y por lo tanto variable con el tiempo y las condiciones geoambientales. La delimitación de las clases de susceptibilidad en el mapa es referencial y no un valor absoluto. Las características de las cinco clases se describen a continuación:

Muy Baja.- Zonas relativamente estables, con poco o ningún indicio de movimientos en masa, que abarcan el 13.67% del área total del territorio nacional. Representan las planicies con pendientes menores a 4° ubicadas principalmente por debajo de los 50 m.s.n.m. en la costa y de los 200 m.s.n.m. en la región oriental.

En la costa comprende partes de los terrenos cercanos al perfil costanero y de las llanuras inundables por los sistemas hidrográficos, conformados por arcillas, areniscas, arenas, lutitas, de porosidad intergranular cubiertos por manglares, camaroneras, bancos de arenas y plantaciones de arroz y banano. En el oriente forman llanuras bajas, pantanosas e inundables conformadas por depósitos aluviales cuaternarios, cubiertos por humedales y pasto cultivado.

En esta clase es posible esperar la generación de pocos y pequeños movimientos en masa (principalmente esparcimientos laterales y flujos en las zonas cercanas a los estuarios) relacionados con sismos fuertes y lluvias excepcionales, especialmente durante el fenómeno de El Niño en la región costa y por socavamiento y erosión fluvial, en la región oriente.

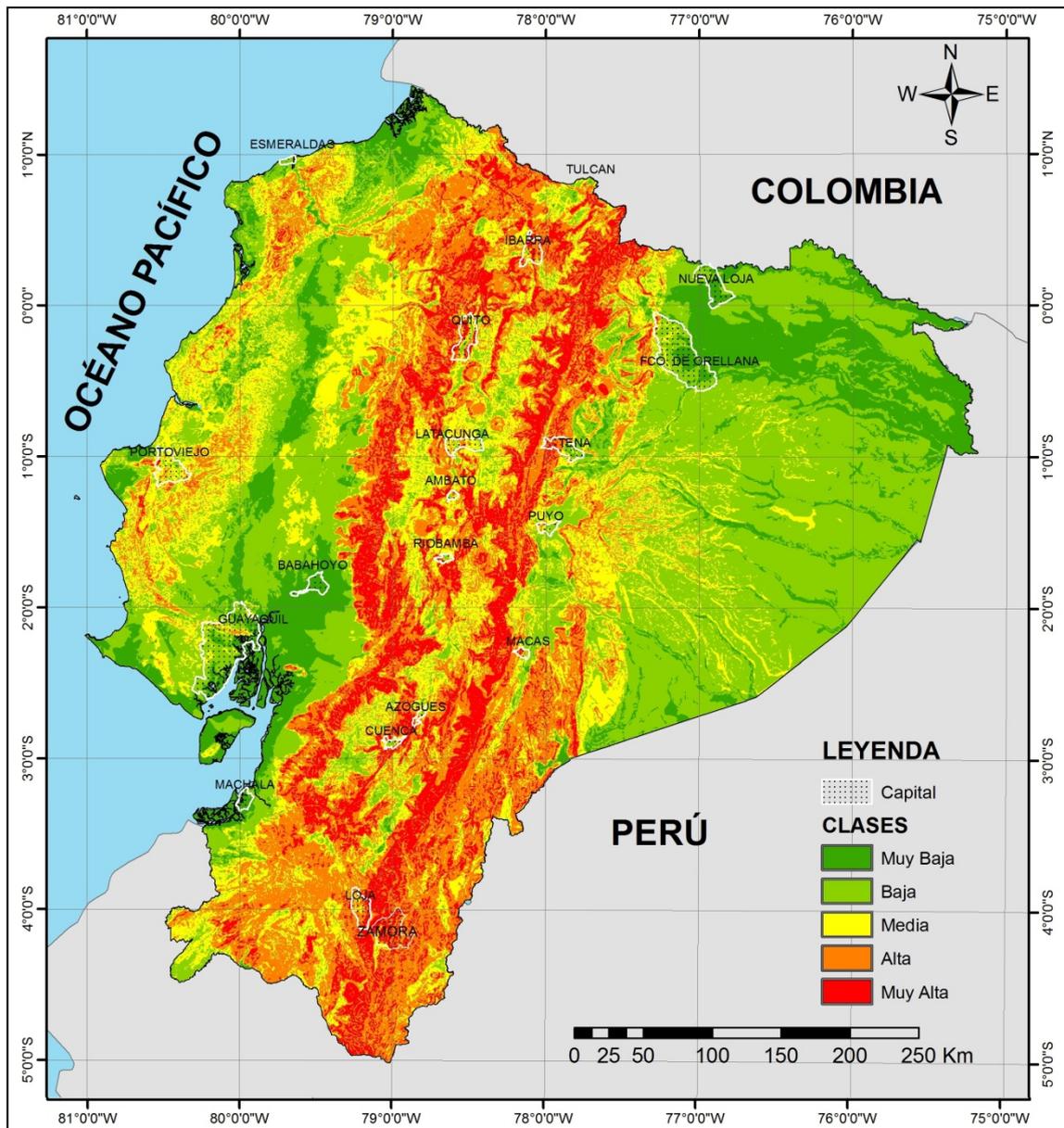


Figura N° 28: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador

Elaboración: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Fuente: Proyecto de Zonificación, octubre 2013

Baja.- Zona relativamente estable, con pocos indicios de movimientos en masa, que abarca el 31.67% del área del territorio nacional. Representan las planicies altas con pendientes entre los 4° a 8°, ubicadas mayormente en la región oriental y costera, por debajo de los 100 m.s.n.m. en la costa y de los 300 m.s.n.m. en el oriente.

En el oriente comprenden terrazas indiferenciadas, pantanosas, colinas bajas y mesas conformadas por arcillas, lutitas y tobas de baja permeabilidad, cubiertas por bosques y pasto natural. En la costa comprende las llanuras y colinas bajas costeras y conos de deyección salientes conformados por

areniscas, arcillas marinas, terrazas de sedimentos fluviales y abanicos aluviales de permeabilidad baja a media cubiertas por cultivos de ciclo corto. En el valle interandino comprende pequeñas superficies de los fondos de las cuencas interandinas rellenas de material piroclástico, lahático y flujos de lavas, cubiertas por vegetación arbustiva.

En esta clase es posible esperar la generación de movimientos en masa pequeños, como flujos, esparcimientos laterales y deslizamientos relacionados con sismos y lluvias especialmente durante el fenómeno de El Niño en la región costa y por socavamiento y erosión, en la región oriente, o el tránsito e impactos de movimientos en masa provenientes de las clases media y altas aledañas.

Media.- Zonas con estabilidad moderada, que abarca un área del 21.67% del territorio nacional, donde han ocurrido frecuentemente movimientos en masa en el pasado (Deslizamiento de Achupallas). Corresponde a: los terrenos con pendientes entre los 8° y 16°, ubicados mayormente por debajo de los 200 m.s.n.m. en las cordilleras costeras y en los grandes conos de deyección de las estribaciones de la cordillera occidental, a los valles interandinos formados entre las cordilleras occidental y real de la región sierra, entre los 1000 msnm y 3000 m.s.n.m., y a los terrenos del contrafuerte subandino y mesas de la Depresión del Pastaza, en la región oriental.

En la región costa comprende terrenos conformados por areniscas, lutitas, limolitas, turbiditas cubiertas por bosques intervenidos y material granular con porosidad media, los conos de deyección cubiertos principalmente por cultivos. En el callejón interandino comprende los fondos de los valles conformados por material volcánico como flujos de lava y piroclastos, cubiertos por cultivos y algunos lugares con relieves de páramo dominados por procesos de glaciación, cubiertas por vegetación de páramo. En el oriente comprende terrenos conformados por materiales finos sedimentarios, de permeabilidad media, cubiertos en su mayoría por bosques naturales e intervenidos.

En esta clase es posible esperar movimientos en masa frecuentes, de varios tipos y magnitud, originados por el mal manejo del terreno, los sismos y las lluvias (principalmente durante el fenómeno de El Niño, en la costa), debido a las condiciones favorables del relieve y el tipo de material.

Alta.- Zonas inestables, donde han ocurrido grandes y frecuentes movimientos en masa en el pasado (Pacha en la provincia de Chimborazo, Tambo en la provincia de Cañar), algunos de los cuales han formado represamientos de los ríos. Abarca cerca del 21% del área total de territorio nacional. Corresponde a los terrenos con pendientes entre los 16° y 35°, ubicados mayormente por encima de los 200 m.s.n.m. en las cordilleras costeras, entre los 2000 m.s.n.m. y 3500 m.s.n.m. en la región sierra, y en el contrafuerte subandino de la región oriental.

En la costa comprende las cuestas fuertemente erguidas de las cordilleras costeras, conformadas por material lutítico y conglomerático fácilmente disgregable, cubierto por vegetación tropical. En la sierra comprende los flancos externos de la cordillera de los Andes, conformados por grandes vertientes disectadas, afloramientos rocosos, incisiones abruptas, cubiertas por grueso depósitos de material piroclástico (ceniza, lapilli), sobre rocas metamórficas (gneis, esquistos) y pórfidos intrusivos, cubiertos de vegetación arbustiva, cultivos y bosques. En el oriente comprende la zona del Levantamiento Napo (contrafuerte subandino), la Cordillera del Cutucú y la Cordillera del Cóndor de relieves disectados, vertientes y superficies tabulares, conformadas por arcillas, lutitas, calizas, areniscas, lavas, cuarcitas piroclastos, granodioritas, fisuradas y meteorizadas, cubiertas por bosque natural.

En esta clase es posible la generación frecuente de varios tipos y macro movimientos en masa, así como deslizamientos represamientos, originados principalmente por el mal uso del terreno y los sismos, favorecidos por las condiciones del relieve y el tipo de material. La construcción de obras de infraestructura y su mantenimiento requieren de estudios detallados con medidas de prevención, correctivas o de control.

Muy Alta.- Zonas muy inestables, con movimientos en masa activos y donde han ocurrido grandes y frecuentes movimientos en masa de todo tipo, (deslizamientos del Volcán El Reventador, deslizamiento de La Josefina), algunos de los cuales han originado represamientos de los ríos y causado grandes pérdidas económicas para el país. Abarca un área poco mayor a los 30.000 km² (12% de la superficie del territorio nacional). Corresponde a terrenos con pendientes mayores a los 35° ubicados predominantemente en las cordilleras de la región sierra, por encima de los 3500 m.s.n.m.

En esta clase se presentan grandes vertientes escarpadas, a menudo disimétricas, formadas por rocas metamórficas (esquistos, gneises, migmatitas y cuarcitas), así como cuchillas y vertientes rectilíneas, conformadas por rocas volcánicas antiguas y rocas metamórficas, cubiertas en partes por depósitos piroclásticos. En esta zona la cobertura vegetal corresponde principalmente a cultivos de ciclo corto, vegetación de paramo y bosques. En la costa se distinguen de manera restringida en las partes más altas de las cordilleras costeras donde se encuentran lutitas, areniscas y turbiditas gruesas cubiertas de bosque natural.

En esta clase es posible la generación frecuente de todo tipo de movimientos en masa, macro y mega movimientos en masa, originados principalmente por sismos y mal uso del terreno, y favorecidos por las condiciones de relieve y el tipo de material, así como la reactivación de movimientos en masa antiguos. Se debe considerar que garantizar la estabilidad de los sitios inestables con obras ingenieriles será difícil y bastante costosa, pues requiere de medidas especiales para evitar daños económicos y pérdidas humanas.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El método de ponderación de parámetros escogido para evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador a la escala 1:1'000.000, puede ser utilizado, rápida y fácilmente con un sistema de información geográfico (ArcGis). Este método permite escoger la ponderación de los factores para obtener varios resultados, para lo cual se puede utilizar el Método de Jerarquización Analítica, que ayuda a identificar varios algoritmos con los mismos o diferentes factores.
- Los resultados deben ser siempre verificados a través de un validador de susceptibilidad para lo cual se utiliza generalmente un mapa inventario de movimientos en masa de la zona. La validación puede utilizarse para identificar el mejor algoritmo de susceptibilidad, como fue realizado en este trabajo. Sin embargo, es necesario obtener un mapa inventario de movimientos en masa del área de estudio, elaborado de forma sistemática y completa.
- Los factores de análisis escogidos parecen ser pertinentes para las condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas del Ecuador y la escala y objetivo de este trabajo. Sin embargo, es necesario utilizar información actualizada y validada para su representación. Para la valoración de los factores representados por indicadores cualitativos como la litología, geomorfología, etc., puede utilizarse el criterio de expertos.
- La pendiente del terreno y la litología fueron los factores de mejor representatividad y calidad para este trabajo. Los factores uso del suelo y cobertura vegetal, precipitación, hidrogeología y geomorfología, necesitan ser actualizados para una mejor representación y valoración.
- El inventario de movimientos en masa ha logrado identificar 3583 eventos que pueden ser georeferenciados, pero que están mayormente concentrados en la región sierra del Ecuador. Este inventario elaborado a partir de las fuentes disponibles no es sistemático y es incompleto, presenta datos heterogéneos y proporciona una imagen parcial de los movimientos en masa en el Ecuador. Sin embargo, este inventario ayuda a visualizar la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa de una parte del área de estudio (la región sierra), pero no puede ser considerado como un validador óptimo para los resultados de toda el área de estudio. Es necesario planificar la elaboración del inventario sistemático y completo de los movimientos en masa del Ecuador.
- El análisis y validación de los resultados permitió escoger el mapa elaborado a partir del ensayo realizado con los siguientes cinco factores: pendiente de terreno, litología, relieve, uso de suelo y cobertura vegetal e hidrogeología, como la mejor imagen para representar la susceptibilidad

por movimientos en masa, escala 1:1'000.000 del Ecuador. Este resultado debe considerarse como preliminar, por efectos de la actualización necesaria de la información utilizada en varios factores, principalmente: uso de suelo y cobertura vegetal, precipitación, hidrogeología.

- El mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Ecuador, escala 1:1'000.000, debe ser preparado para su edición, según los formatos oficiales de la Institución, a partir de la información contenida en este informe. Este mapa puede ser utilizado para información del público en general y autoridades, con las debidas explicaciones sobre la forma de su utilización. Los autores solicitan a los editores otorgar el crédito respectivo a los participantes.

Agradecimiento

Los autores agradecen por su acogida y apoyo para la realización de este trabajo, al Ing. Edwin León propulsor de la iniciativa y a todo el equipo técnico del INIGEMM, por sus opiniones en la discusión de los resultados. De igual manera a la Doctora Svetlana Zavgorodnyaya, al Ingeniero Osvaldo Proaño (MSc.), al Ingeniero Napoleón Burbano, al Ingeniero Francisco Viteri y al Doctor Arturo Egúez por su apoyo desinteresado.

7 BIBLIOGRAFÍA

ABAD, F., (2006). Ensayo metodológico para la evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, cuenca de Loja. Tesis de Grado - EPN. Quito.

ALBÁN, L., (2006). Estudio Geológico "ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICO DEL ÁREA INESTABLE ENTRE 2°30' S Y 2°35' S – PROVINCIA DE CAÑAR". Tesis de Grado - EPN. Quito.

ASANZA, M., PLAZA, G., YEPES, H., SCHUSTER, R. Y RIBADENEIRA, S., (1991), Landslide blockage of the Pisque River, northern Ecuador. Landslides Glissements de terrain. Editor David H. Bell, Geology Department, University of Canterbury, Christchurch New Zealand.

BASABE, P., (1993). DNDC, CONADE y M.RR.EE. (Cooperación Técnica). PELIGROSIDAD DE TERRENOS INESTABLES EN QUITO, DETECCIÓN Y MITIGACIÓN. Etapa Primera.

BASABE, P., (1998). PROYECTO PRECUPA, CCS. (Cooperación Ecuador-Suiza). Prevención de desastres naturales en la cuenca del Paute. Informe Final.

CODIGEM & BGS, (1993). MAPA GEOLÓGICO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. Escala 1:1'000.000.

CONADE, (1996). PROYECTO ODEPLAN, FASE I., Mapa de Uso y Cobertura de Uso de Suelo. Escala 1:250.000.

CRUZ ROJA ECUATORIANA, (2008). Proyecto DIPECHO ECn6C. "Elaboración de mapas de Amenazas sobre Deslizamientos y Flujos de Lodo". Provincia de Zamora-Chinchipec.

D'ERCOL, R. Y TRUJILLO, M., (2003). AMENAZAS, VULNERABILIDAD, CAPACIDADES Y RIESGO EN EL ECUADOR. Los Desastres, un reto para el desarrollo. Mapa de Zonas de deslizamientos y derrumbes potenciales en el Ecuador. Pg. 37. Quito – Ecuador.

DGGM & INAMHI, (1983). MAPA HIDROGEOLOGICO NACIONAL DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. Escala 1:1.000.000. Quito – Ecuador.

DINAGE, (2000). Deslizamiento del sector Guasuntos – La Moya, Informe técnico de comisión de servicios. Quito.

DINAGE, (2004). Informe técnico del deslizamiento en la Comunidad Paccha. Quito.

DINAGE, (2004). Recursos minerales y áreas inestables del Cantón Alausí: Convenio Ministerio de Energía y Minas – Municipio del cantón Alausí, Provincia de Chimborazo, Informe técnico. Pág. 22-25.

DNCD, (2007). Memoria Técnica de las Cartas Amenaza por Movimientos de Terrenos Inestables en las provincias de Carchi e Imbabura. Secretaria General del Consejo Nacional. Quito – Ecuador.

EDUCA ROMIL. Escuela Daniel Palacio - Sevilla de Oro – Azuay [en línea]. Abril 2011. [fecha de consulta: 15 agosto 2013]. Disponible en: <http://educaromil.blogspot.com/2011/04/escuela-daniel-palacios-izquierdo.html>

EGRED, J., (2004). El Terremoto de Riobamba del 4 de febrero de 1797. "Investigaciones en Geociencias. Volumen 1", IRD-Instituto Geofísico – Corporación Editora Nacional. Quito 2004.

EPN y DNDC, (2000). "Zonificación de Peligros Sismogeotécnicos, por deslizamientos y fenómenos hidrometeorológicos en la ciudad de Bahía de Caráquez". Informe Final, Parte 2.

FLICKR BLOG. Deslizamiento de Nambija. [en línea]. Mayo 2005. [fecha de consulta: 18 agosto 2013]. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/47695917@N00/16272963/in/photostream/>

HUTCHINSON, M. F., (1988). Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia.

HUTCHINSON, M. F., (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106: 211–232.

IDROVO, A., (2006). “Contribución al Estudio de los fenómenos de remoción en masa y su relación con la sismicidad en el Ecuador”. Tesis de Grado - EPN. Quito.

IGEPN-IRD. Cooperación Escuela Politécnica Nacional e Instituto para el Desarrollo de Francia, IRD. Base de datos de Aceleraciones calculadas para un período de retorno de 475 años del Ecuador. 2012. (*inédito*)

INAMHI, (1999). Estudio de Lluvias Intensas. Quito – Ecuador. 126p.

INGEMMET, (2010). MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL PERÚ.

INGEOMINAS, (2001). Mapa de Categorías de Amenaza Relativa por Movimientos en masa de Colombia Escala 1:1'500.000. PMA: GCA (2007).

INIGEMM, (2011). Mapa Preliminar de Susceptibilidad de Amenazas a Movimientos en Masa del Ecuador, Escala 1:1'000.000. (*Inédito*)

INIGEMM, (2013). Memoria Técnica Ensayos Metodológicos para la Zonificación de la Susceptibilidad / Amenaza por Movimientos en Masa, Zona de Riobamba.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. INEC. Disponible en: <<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>>. Fecha de consulta 21 de julio de 2013.

IPGH / ORSTOM, (1989). LOS PAISAJES NATURALES DEL ECUADOR. Las regiones y paisajes del Ecuador., Publicaciones CEDIG. Quito.

Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology. NASA. Disponible en: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>>. Fecha de consulta 15 de enero de 2013.

JIMÉNEZ, E., (1999). Zonificación de laderas inestables considerando el efecto sísmico. Caso de las cuencas de Rumipamba y Rumihurcu, Quito. Tesis de Grado - EPN. Quito

JTC-1. JOINT TECHNICAL COMMITTEE ON LANDSLIDES AND ENGINEERED SLOPE, (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for use planning. (<http://www.geoforum.com/jtc1>). Engineering Geology: 102 (2008): 83 – 84.

MORA, R., (2004). Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica, FUNDEVI 0960. Servicios Especializados de Laboratorio de Suelos y Rocas.

MORA, S. AND VAHRSON, W., (1993). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazard. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundations Engineering. Tokyo, Japan, pp 56-60.

NATIONAL ACADEMY PREES, (1991). THE MARCH 5, 1987, ECUADOR EARTHQUAKES. MASS WASTING AND SOCIOECONOMIC EFFECTS. Natural Disaster Studies. Vol.5. Washington, D.C.

NEC, (2011). PELIGRO SÍSMICO Y REQUISITOS DE DISEÑO RESISTENTE. Cap.2. MIDUVI - Cámara de la Construcción de Quito. 78p.

NÚÑEZ, J. Y VÁSCONEZ, F., (1993). Estudio Geológico – Geotécnico de los movimientos de terrenos de las áreas del río Pisque y Bellavista – Calderón. Tesis de Grado, Ingeniería Geológica, EPN.

PAZOS, V. Y VINUEZA, W., (1990). “Contribución al estudio sobre los deslizamientos en el Ecuador”. Tesis de Grado - EPN. Quito.

PLAZA, G., (1996). La amenaza y vulnerabilidad por deslizamientos en la región andina del Ecuador. Séptimo Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas, Petróleos y Medio Ambiente. Trabajos técnicos: Tomo II. Pág. 513 – 526. Colegio de Ingenieros Geólogos, Minas y Petróleos (CIGMYP), Editor. Quito – Ecuador.

PLAZA, G. Y MARURI, R., (1994). Evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos en el área urbana de Quito. The Quito, Ecuador, earthquake risk management Project. A compilation of methods, data and findings. EPN. Geohazards International. Ilustre Municipio de Quito, ORSTOM-Quito, OYO Corporation.

PLAZA, G., Y VINUEZA, W., (1991). Contribución al conocimiento del movimiento de terreno de Guarumales, Proyecto Hidroeléctrico Paute. Bol. Geol. Ecu., Vol. 2, No. 2, pp. 53-68.

PMA: GCA (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina. Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Publicaciones Geológicas Multinacional N°4. 2007.

RAMÍREZ, M., (2007). La evaluación del peligro por fenómenos de remoción de masa y su aplicación a la planificación territorial: ejemplo provincia de Tungurahua. Tesis de Grado - EPN. Quito.

ROA, J., (2006). Aproximación al Mapa de Susceptibilidad y Amenazas por Deslizamientos de la Ciudad de Trujillo, Venezuela. ISSN 1316-7790. Año 9, N°17. Pág. 45-83.

SAATY, T.L., (1981). The Analytic Hierarchy Process. McGrawHill, New York, NY.

SÁNCHEZ, G., (2003). Jerarquización Analítica. Técnicas Participativas de Planeación. McGrawHill. Pág. 167 – 182.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, SGC (2012). DOCUMENTO METODOLÓGICO DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA, ESCALA 1:100.000. 135p.

SORIA, R., (1994). NAMBIJA. Un Universo en la selva.

STURGES, H., (1926). The choice of a class-interval. J. Amer. Statist. Assoc., 21, 65–66.

VAN ZUIDAM, R. A., (1986). Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping, ITC Holanda - 442 pp. Smits Publishers, The Hague.

VARNES, D. J., (1978). Slope movements tips and processes. Landslides Analysis and Control. Special Report 176. National Academy of Sciences. Washington D. C.

YUGSI, F., (2004). Caracterización de los Fenómenos de remoción en masa producidos en las laderas surorientales del complejo volcánico Pichincha. Tesis de Grado - EPN. Quito.

ZEVALLOS, O., FERNÁNDEZ, M., PLAZA, G., KLINKICHT, S., (1996). Sin plazo para la esperanza: Reporte sobre el desastre de La Josefina, Ecuador, 1993, Quito, Escuela Politécnica Nacional, 348 p.

8 ANEXOS

Esta información se encuentra en formato digital en el CD adjunto.

Anexos 1:

1a. SRTM, 90x90m. NASA, 2000.

1b. Mapa Geológico del Ecuador, escala 1:1'000.000. CODIGEMM-BGS, 1993.

- 1c. Mapa de Paisajes Naturales del Ecuador, escala 1:1'000.000. (IPGH-ORSTOM, 1989).
- 1d. Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo, escala 1:250.000. (CONADE, 1996).
- 1e. Mapa Hidrogeológico del Ecuador, escala 1:1'000.000. (DGGM-INAMHI, 1983).

Anexos 2:

Inventario de Movimientos en Masa.xls