



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES

Tema:

**“VULNERABILIDAD VIAL EN FUNCIÓN DE LOS RIESGOS
NATURALES PARA EL CANTÓN AMBATO “**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de Magister en Vías Terrestres

Nombre del Autor : Fricson Lutgardo Moreira Cedeño

Nombre del Director : Ing. M.Sc. Antonio Magno Rivera Zhingre

Ambato - Ecuador

2011

Al Consejo de Posgrado de la UTA.

El comité de defensa de la Tesis de Grado. “Vulnerabilidad Vial en Función de los Riesgos Naturales para el Cantón Ambato”, presentada por: el Ingeniero Fricson Lutgardo Moreira Cedeño y conformada por: el Ingeniero M.Sc. Dilon Moya, el Ingeniero M.Sc. Víctor Hugo Paredes, y el Ingeniero M.Sc. Fabián Arias, Miembros del Tribunal de Defensa, Ingeniero M.Sc. Antonio Magno Rivera Zhingre Director de Tesis de Grado y presidido por: el Ingeniero M.Sc. Francisco Pazmiño Presidente del Tribunal de Defensa; Ingeniero M.Sc. Juan Garcés Director del CEPOS – UTA, una vez escuchada la defensa oral y revisada la Tesis de Grado escrita en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas por el Tribunal de Defensa de la Tesis, remite la presente Tesis para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing.M.Sc. Francisco Pazmiño
Presidente del Tribunal de Defensa

Ing.M.Sc. Juan Garcés
DIRECTOR CEPOS

Ing.M.Sc. Magno Rivera Zhingre
Director de Tesis

Ing.M.Sc. Dilon Moya
Miembro del Tribunal

Ing.M.Sc. Víctor Hugo Paredes
Miembro del Tribunal

Ing. M.Sc. Fabián Arias
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema “Vulnerabilidad Vial en Función de los Riesgos Naturales para el Cantón Ambato”, nos corresponde exclusivamente al Ingeniero Fricson Lutgardo Moreira Cedeño y del Ingeniero M.Sc. Antonio Magno Rivera Zhingre Director de Tesis de Grado; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Fricson Lutgardo Moreira Cedeño
Autor

Ing. M.Sc. Magno Rivera Zhingre
Director de Tesis

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de esta tesis o parte de ella un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi tesis, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta tesis, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ing. Fricson Lutgardo Moreira Cedeño

DEDICATORIA

A mi esposa Carmita y a mis dos hijos Andrea y Javier, quienes me apoyaron incondicionalmente para feliz término de este trabajo de investigación.

A mi madre razón de mi existencia y a mi padre que desde el infinito guía mi camino.

Fricson

AGRADECIMIENTO

Expreso un profundo agradecimiento a las autoridades de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato; al Ing. M.Sc. Francisco Pazmiño, Presidente del Concejo Académico de Posgrados y Decano de la Facultad, al Ing. M.Sc. Jorge León Mantilla, Vicerrector Administrativo, al Ing. M.Sc. Magno Rivera, Director de Tesis, a los Miembros del Tribunal Calificador: Ing. M.Sc. Fabián Arias, Ing. M.Sc. Dilon Moya, Ing. M.Sc. Víctor Hugo Paredes, al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato en la persona del Arq. Manuel Guzmán Director de Avalúos y Catastros y a todas aquellas personas que me apoyaron incondicionalmente para la ejecución de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

A. PAGINAS PRELIMINARES

	Página
PORTADA	I
CERTIFICACIÓN AL CONCEJO POSGRADOS	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
ÍNDICE DE MAPAS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO	XIV

B. TEXTO

CAPITULO 1	1
-------------------------	---

EL PROBLEMA

1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO	7
1.2.3. PROGNOSIS	7
1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES	8
1.2.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.2.6.1. DE CONTENIDO	8
1.2.6.2. ESPACIAL	8
1.2.6.3. TEMPORAL	9
1.3. JUSTIFICACIÓN	9
1.4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	11
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11

CAPITULO 2	.....	12
MARCO TEÓRICO		
2.1.	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	13
2.2.	FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	13
2.3.	FUNDAMENTACIÓN LEGAL	14
2.4.	RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	14
2.4.1	VULNERABILIDAD VIAL	14
2.4.2.	RIESGOS NATURALES	15
2.5.	HIPÓTESIS	20
2.6.	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	20
CAPITULO 3	.....	21
METODOLOGÍA		
3.1.	ENFOQUE INVESTIGATIVO	22
3.2.	NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
3.2.1.	NIVELE DE INVESTIGACIÓN	23
3.2.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	24
3.4.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	25
3.5.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	26
3.7.	PLAN DE PROCESAMIENTO	27
CAPITULO 4	.....	28
MARCO ADMINISTRATIVO		
4.1.	RECURSOS	29
4.1.1.	INSTITUCIONALES	29
4.1.2.	RECURSOS HUMANOS	29
4.1.3.	RECURSOS MATERIALES	29
4.1.4.	RECURSOS FINANCIEROS	30
4.2.	CRONOGRAMA	31
4.3.	BIBLIOGRAFÍA	32

CAPITULO 5	.....	33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
5.1.	CONCLUSIONES	34
5.2.	RECOMENDACIONES	35
CAPITULO 6	.....	36
PROPUESTA		
6.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	37
6.1.1.	DIVISIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA	37
6.1.2.	LIMITES	37
6.1.3.	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	38
6.2.	MAPAS BASES	38
6.3.	ANÁLISIS DE ZONAS HOMOGÉNEAS FÍSICAS	38
6.4.	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES NATURALES PARA LA ZONIFICACIÓN	39
6.4.1.	RIESGOS HIDROMETEOROLOGICOS	39
6.4.1.1	INUNDACIONES POR LLUVIA Y DESBORDAMIENTOS DE RÍOS	45
6.4.2.	RIESGOS GEOLÓGICOS	46
6.4.2.1.	RIESGOS POR SISMOS	48
6.4.2.2.	RIESGOS POR ERUPCIONES VOLCÁNICAS	61
6.4.3.	REMOCIONES EN MASA O INESTABILIDAD DE TERRENOS	71
6.4.3.1.	FACTORES CONDICIONANTES	87
6.4.3.1.1.	LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA GEOLÓGICA	88
6.4.3.1.2.	PENDIENTE	108
6.4.3.1.3.	COBERTURA VEGETAL DEL SUELO	110
6.4.3.1.4.	HUMEDAD DEL SUELO	115
6.4.3.2.	INCIDENCIA DE LOS FACTORES CONDICIONANTES EN LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA.	122
6.4.4.	FACTORES DETONANTES	124
6.4.4.1.	PRECIPITACIONES	124
6.4.4.2.	SISMOS	126

6.4.4.3.	ERUPCIONES VOLCÁNICAS	.....	128
6.4.5.	INCIDENCIA DE LOS FACTORES DETONANTES EN LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA	.....	128
6.4.6.	RESULTADOS	.....	129
6.4.7.	DESCRIPCIÓN DE LOS PELIGROS EN LAS VÍAS PRINCIPALES DEL CANTÓN	.....	132
6.4.7.1	PANAMERICANA NORTE	.....	132
6.4.7.2	PASO LATERAL DE AMBATO	.....	133
6.4.7.3	VÍA AMBATO TOTORAS	.....	134
6.4.7.4	PANAMERICANA SUR	.....	134
6.4.7.1	VÍA A GUARANDA	.....	135

C. MATERIAL DE REFERENCIA

ANEXOS

Mapa de Precipitaciones
Mapa de Peligro de inundaciones por lluvia y desbordamiento de ríos
Mapa de Riesgo Sísmico
Mapa de Peligros Volcánicos
Mapa de Composición Geológica
Mapa de Clases de Suelos
Mapa de Pendientes
Mapa de cobertura de suelos
Mapa de Evapotranspiración
Mapa de Deficiencia Hídrica
Mapa de Humedad del Suelo
Mapa de Remociones en Masa
Mapa de Precipitaciones para un periodo de retorno de 25 años
Mapa de peligros Caso 1
Mapa de peligros Caso 2
Mapa de peligros Caso 3
Mapa de peligros Caso 4

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1	Estaciones meteorológicas al interior del Cantón Ambato	42
CUADRO 2	Estaciones meteorológicas periféricas al Cantón Ambato	42
CUADRO 3	Precipitación media mensual y anual (mm)	42
CUADRO 4	Hechos ocurridos en el Cantón Ambato y lugares cercaos, por efectos geológicos.	47
CUADRO 5	Posibilidad de deslizamientos causados por sismos (Keefer, 1984)	50
CUADRO 6	Escala de intensidad Mercalli	52
CUADRO 7	Clasificación general de ingeniería de los diversos materiales litológicos	88
CUADRO 8	Características de las rocas sedimentarias	95
CUADRO 9	Susceptibilidad del terreno según la textura del suelo	105
CUADRO 10	Grado de susceptibilidad según la Pendiente	109
CUADRO 11	Grado de susceptibilidad según la Cobertura del Suelo	113
CUADRO 12	Promedio mensual y anual de Evapotranspiración potencial (ETP mm)	117
CUADRO 13	Balance Hídrico - Estación Ambato – La Granja	118
CUADRO 14	ETP (mm anuales) según Isotermas	119
CUADRO 15	Déficit hídrico - Cantón Ambato	121
CUADRO 16	Susceptibilidad del Suelo en función del Número de Meses Húmedos	122
CUADRO 17	Pesos de los Factores de Susceptibilidad del Terreno	122
CUADRO 18	Criterios para determinar el grado de susceptibilidad	123
CUADRO 19	Efectos de la saturación por precipitaciones (Prieto, 1985)	125
CUADRO 20	Intensidades de lluvia para un periodo de retorno de 25 años	126
CUADRO 21	Tipos de remociones en masa generadas por sismos	127
CUADRO 22	Pesos de las combinaciones entre los factores condicionantes y detonantes	129
CUADRO 23	Grados de peligro	129

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO 1	Mapa de ubicación del Cantón Ambato en el Ecuador	37
GRAFICO 2	Caídos de bloques por gravedad en roca fracturada	72
GRAFICO 3	Caídos de bloques rodando.	72
GRAFICO 4	Esquema de caídos de Roca y Residuos.	73
GRAFICO 5	Algunos mecanismos de fallas de caídos.	73
GRAFICO 6	Deslizamientos en suelos blandos.	74
GRAFICO 7	Nomenclatura de un deslizamiento.	74
GRAFICO 8	Deslizamiento rotacional típico.	77
GRAFICO 9	Efectos de la estructura en la formación de deslizamientos a rotación.	78
GRAFICO 10	Vuelco por flexión.	79
GRAFICO 11	Vuelco por desplome.	80
GRAFICO 12	Movimiento de flujo por reptación.	82
GRAFICO 13	Movimiento de flujo colada de tierra.	83
GRAFICO 14	Movimiento de flujo por Soliflucción.	83
GRAFICO 15	Movimiento de flujo por Corriente de Derrubios.	84
GRAFICO 16	Movimiento de flujo por golpes de arena y limo.	84
GRAFICO 17	Movimiento de flujo por Avalanchas.	85
GRAFICO 18	Esquema de una extensión lateral.	86
GRAFICO 19	Esquema general de una ladera en un suelo residual de granito.	99
GRAFICO 20	Balance hídrico estación Ambato – La Granja	118

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1	Localización de Estaciones meteorológicas para el Análisis climatológico	43
MAPA 2	Mapa de Precipitaciones	44
MAPA 3	Peligro de inundaciones por lluvia y desbordamiento de ríos	45
MAPA 4	Mapa de Riesgo Sísmico	60
MAPA 5	Mapa de Peligros Volcánicos que afectarían al cantón Ambato	70
MAPA 6	Clases de Suelos	107
MAPA 7	Mapa de Pendientes	110
MAPA 8	Mapa de cobertura de suelos	112
MAPA 9	Mapa de Evapotranspiración	119
MAPA 10	Mapa de Deficiencia Hídrica	120
MAPA 11	Mapa de Humedad del Suelo	121
MAPA 12	Mapa de Remociones en Masa	123
MAPA 13	Mapa de Precipitaciones para un periodo de retorno de 25 años	126
MAPA 14	Mapa de peligros Caso 1	130
MAPA 15	Mapa de peligros Caso 2	130
MAPA 16	Mapa de peligros Caso 3	131
MAPA 17	Mapa de peligros Caso 4	131

RESUMEN EJECUTIVO

La frecuencia y diversidad de amenazas naturales, la magnitud de los daños, pérdidas materiales en especial relacionadas con infraestructuras viales, y humanas asociadas con estas en los últimos años, ha motivado el planteamiento del presente estudio.

Para iniciar lo indicado fue necesaria la recolección de información digital base georreferenciada disponible, la que fue facilitada en su mayor parte por la Municipalidad de Ambato, previa a la autorización del Sr. Alcalde Cantonal.

Definida el área de estudio, se establecieron las zonas homogéneas físicas para el análisis de las condiciones naturales existentes, estableciendo dos pilares fundamentales; los riesgos hidrometeorológicos y los riesgos geológicos.

En lo relacionado con los riesgos hidrometeorológicos, se determinó las zonas susceptibles a inundaciones por lluvia y desbordamientos causadas por el río Ambato.

Respecto a los riesgos geológicos, se consideraron factores como los sísmicos, erupciones volcánicas y remociones en masa, todos estos factores condicionantes a los que se le establecieron pesos de incidencia.

Las remociones en masa, fueron motivo de un análisis especial, puesto que este engloba la Litología y Estructura Geológica, las Pendientes, la Cobertura Vegetal y Humedad Natural del Suelo, todos ellos factores condicionantes a las inestabilidades de los suelos

Con la utilización de un Sistema de Información Geográfico llamado ArcGis, se cruzaron los mapas, previo al establecimiento de pesos de acuerdo a su incidencia en los movimientos en masa

A este resultado se le adicionaron los factores detonantes que es un factor externo que genera una respuesta traducida en una remoción en masa mediante el rápido incremento de esfuerzos o la reducción de la resistencia del material de una ladera. Un agente detonante se caracteriza principalmente por la existencia de un corto lapso entre causa y efecto.

Los agentes desencadenantes considerados son las lluvias de gran intensidad, los sismos y las erupciones volcánicas de lo que se desprendieron cuatro casos en los que se detalla en planos temáticos los peligros de Muy Baja, Baja, Moderada, Alta y Muy Alta intensidad.

CASO 1: Factores Condicionantes + El factor Detonante Lluvia

CASO 2: Factores Condicionantes + El factor Detonante Sismos

CASO 3: Factores Condicionantes + El factor Detonante Erupciones Volcánicas

CASO 4: Factores Condicionantes + Los factores Detonantes Lluvia y Sismos

Establecidos estos resultados, se realizó un análisis individual del grado de peligro que tiene cada una de las vías consideradas para el presente estudio.

Es necesario señalar, que los resultados obtenidos en lo que respecta a los grados de peligro, se lo realizó para todo el cantón Ambato, a acepción de los centros urbanos, lo que significa que este estudio sirve como base para determinar los peligros que pueden tener las nuevas obras de infraestructura que se quieran establecer.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. TEMA

VULNERABILIDAD VIAL EN FUNCIÓN DE LOS RIESGOS NATURALES PARA EL CANTÓN AMBATO

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

Los procesos geodinámicos internos y externos, en el ámbito nacional y mundial, crean situaciones de emergencia cuando estos riesgos alcanzan grandes proporciones, especialmente en los países en vías de desarrollo expuestos a frecuentes acontecimientos de este tipo.

Con los desastres naturales constantes, la conciencia mundial ha crecido en cuanto a los altos costos que estos ocasionan en términos de pérdidas humanas y económicas, así como en impactos ambientales, tanto a escala nacional como regional, sin embargo, debe tomarse en cuenta la alta probabilidad de que los desastres naturales sigan afectando a nuestro país.

Nuestro país, por su ubicación geográfica en el planeta Tierra, su morfología y constitución geológica, es susceptible de sufrir eventos geodinámicos externos como son los fenómenos de inestabilidad de terrenos (movimientos de remoción en masa) que causan daños a las personas, sus bienes y obras de infraestructura.

En las últimas décadas se ha generado en el territorio ecuatoriano una serie de fenómenos de origen natural de gran magnitud y de gran extensión. Estos eventos fueron en ocasiones catastróficos; es decir, su carácter destructivo causó desequilibrios socioeconómicos y ambientales muy graves que, en algunos casos, tuvieron consecuencias a largo plazo.

Adicionalmente, la aparición de una multitud de eventos menores que tuvieron

impactos menos devastadores revela a un país cuyo territorio está en su gran mayoría expuesto a peligros naturales. Es también importante considerar a los fenómenos naturales benignos ya que representan amenazas potenciales que podrían afectar de una manera significativa a la población, en particular en un contexto de crecimiento demográfico sostenido.

El Ecuador, país andino, tiene un conjunto de características físicas que condicionan el advenimiento de las amenazas naturales, entre ellas:

- Precipitaciones pluviométricas abundantes y/o con intensidad elevada.
- Sucesión de estaciones secas y lluviosas.
- Desnivel importante (más de 5000 m y en algunos casos en cortas distancias).
- Vertientes empinadas y de gran extensión.
- Formaciones geológicas sensibles a la erosión.
- Ubicación ecuatorial a la orilla del océano Pacífico (eje del ENOS o El Niño).
- Planicies fluviales con pendiente débil (cuenca del Guayas).
- Zona de subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana (una de las más activas del mundo).

La historia del Ecuador está marcada por eventos catastróficos. Cabe advertir que la realidad puede ser distorsionada en el sentido de que los registros históricos sólo mencionan eventos que tuvieron consecuencias notables sobre los asentamientos humanos. En otros términos, es casi imposible establecer un inventario exhaustivo de los fenómenos pasados.

En la siguiente tabla, se han anotado las principales catástrofes acaecidas en el Ecuador entre los siglos XVI y XX y los sectores afectados. Se seleccionaron únicamente los que causaron mayores pérdidas humanas y/o materiales. En el siglo XX, las pérdidas de vidas humanas debido a los eventos de origen natural superan las 14.000 mientras que las económicas exceden los 2.800 millones de dólares.

FECHA	TIPO DE FENÓMENO	LUGAR AFECTADO	CONSECUENCIAS SOBRE LAS COMUNIDADES Y SUS ASENTAMIENTOS
1587	Terremoto	Quito y Cayambe	Gran destrucción de San Antonio de Pichincha, más de 160 muertos y muchos heridos.
1640	Derrumbo	Cacha	Desaparición del pueblo de Cacha, cerca de Riobamba - 5000 muertos aprox.
1645	Terremoto	Quito y Riobamba	Muchos estragos en toda la comarca, deterioro notable de edificios, muchos fallecidos.
1660	Erupción volcánica Guagua Pichincha	Quito	Destrucción de techos, se cegaron los caños del agua, perturbación de los cultivos.
1687	Terremoto	Ambato, Pelileo y Latacunga	Destrucción de Ambato, Latacunga y pueblos de la comarca - aprox. 7200 muertos
1698	Terremoto	Riobamba, Ambato y Latacunga	Gran destrucción de casas e iglesias aprox. 7000 Muertos.
1703	Terremoto	Latacunga	Estragos notables pero menores a los del terremoto del año 1698.
1736	Terremoto	Provincia y Cotopaxi	Daños graves a casas e iglesias, muchas haciendas afectadas.
1742	Erupción volcánica Cotopaxi	Valle Interandino Quito y Latacunga	Haciendas arruinadas, ganados, molinos y obrajes arrebatados, destrozamiento de puentes, centenares de muertos.
1755	Terremoto	Quito	Destrucción de un sinnúmero de edificios, los moradores evacuaron la ciudad.
1757	Terremoto	Latacunga	Destrucciones materiales considerables, aprox. 4000 personas fallecieron.
1768	Erupción volcánica Cotopaxi	Valle Interandino Quito y Latacunga	Pérdidas agrícolas (cebada, ganado), hundimiento de casas bajo el peso de ceniza, destrucción de puentes por las avenidas de lodo - unas 10 víctimas.
1797	Terremoto	Riobamba	Destrucción total de la ciudad, que fue trasladada a otro sitio después, entre 13 000 y 31 000 muertos, epidemias, impacto socio-económico elevado.
1840	Terremoto	Patate y Pelileo	Algunos estragos materiales.
1856	Terremoto	Cuenca, Riobamba y Alausí	Daños a iglesias, destrucción de varios caminos, trapiches - algunos muertos.
1859	Terremoto	Quito, Valle de Los Chillos.	Graves daños materiales, serios estragos en poblaciones y haciendas del valle de Los Chillos, un centenar de víctimas aprox.
1868	Terremoto	Otavaló, Atuntaqui e Ibarra	Grandes averías en casas e iglesias, decenas de muertos.
1877	Erupción volcánica Cotopaxi	Valle Interandino Quito y Latacunga	Las avenidas arrasaron casas, haciendas, factorías, puentes, y los lahares causaron la muerte de 1000 personas aprox.
1886	Erupción volcánica Tungurahua	Sectores circundantes del	Perturbación de los cultivos.

		volcán	
1896	Terremoto	Bahía de Caráquez y Portoviejo.	Destrucción parcial de edificios y viviendas, un muerto y varios heridos.
1906	Terremoto tsunami	Esmeraldas	Decenas de muertos, daños considerables por el sacudimiento y por las inundaciones
1914	Terremoto	Pichincha	Destrucción de casas.
1918	Erupción volcánica Tungurahua	Baños y otros caseríos cercanos	Aluvión de lodo devastó a algunos sitios, arrebató a casas y animales, destrucción de puentes.
1923	Terremoto	Carchi	Cayeron muchas casas, daños a los caminos – 3000 víctimas - 20 000 personas sin techo
1942	Terremoto	Guayaquil y Portoviejo	Pérdidas cuantiosas, cuarteamientos serios en paredes y cubiertas - 200 muertos - centenares de heridos.
1944	Terremoto	Pastocalle y Saquisilí	Destrucción parcial de edificios y viviendas.
1949	Terremoto	Ambato y Pelileo	Ciudad integralmente destruida - 6000 muertos y miles de heridos, 100 000 personas sin hogar, consecuencias socioeconómicas grandes y de larga duración.
1958	Maremoto	Provincias de Esmeraldas	Colapso total de casas antiguas y parciales de construcciones nuevas, destrucción de barcos, 4 ó 5 muertos.
1965	El Niño (inundaciones)	Costa	Pérdidas agrícolas - 5000 damnificados – daños evaluados a 4 millones de dólares.
1970	Terremoto	Frontera sur (Perú)	Destrucción casi total de algunas cabeceras cantonales, impacto socioeconómico considerable – 40 muertos, aprox. 1000 muertos entre Ecuador y Perú.
1972-73	El Niño (inundaciones)	Costa	Pérdidas agrícolas, daños a carreteras - 30 000 damnificados
1982-83	El Niño (inundaciones)	Guayas, Manabí y Esmeraldas	600 muertos, 650 millones de dólares de pérdidas.
1987	El Niño (inundaciones)	Costa	Pérdidas agrícolas - 10 000 damnificados (febrero).
1987	Terremoto	Oriente, Pichincha e Imbabura	3500 muertos, reducción en un 60 % de los ingresos por exportación (se dañó el oleoducto transecuatoriano), cierre de vías por deslizamientos, aislamiento de pueblos.
1992	El Niño (inundaciones)	Costa	Pérdidas agrícolas - 22 muertos - 205 000 personas afectadas - daños evaluados a 20 millones de dólares.
1993	Deslizamiento Josefina	Río Paute en aval de Cuenca.	50 muertos y 147 millones de dólares de daños directos.
1997-98	El Niño (inundaciones)	Costa	286 muertos - 30 000 damnificados – puentes destruidos - carreteras dañadas – impacto socioeconómico serio y a largo plazo.
1998	Terremoto	Bahía de Caráquez	3 muertos - 40 heridos - 750 personas sin

			hogar – 150 casas destruidas - 250 dañadas.
1999	Erupción volcánica Guagua Pichincha	Quito, Lloa	2000 personas desplazadas (Lloa), pérdida de ganado, perturbación del flujo aéreo, perturbación funcional de Quito (actividad escolar...).
1999	Erupción volcánica Tungurahua	Baños	32 muertos (por la evacuación) - 25 000 evacuados - pérdidas agrícolas estimadas: 17 600 000 USD - pérdidas en el campo turístico : 12 000 000 USD.

La magnitud actual y potencial del problema de las carreteras del Ecuador, esta relacionada con la fragilidad ecológica, la cual es entendida como la susceptibilidad de los diferentes recursos valorables que coexisten en espacios geográficos determinados, sea de manera individual o integral, y cuyas interacciones destacan la vulnerabilidad a ciertos procesos naturales.

Para el caso del cantón Ambato, Provincia de Tungurahua, exige que para su investigación se disponga de un mayor conocimiento sobre el problema vial en sus distintos aspectos, ya que solo con el soporte de la ciencia y la tecnología se puede abordar este problema para disminuir sus efectos que causan daños a la población, obras civiles y las vidas humanas.

Vías importantes que cruzan el cantón Ambato, como la Panamericana Norte y Sur, el Paso Lateral, vía a Baños y vía a Guaranda entre otras, son de vital importancia para el desarrollo no solo del Cantón, sino de toda la zona central del Ecuador, lo que hace necesario procurar un estado normal de funcionamiento de la vialidad en todo momento, para que haya una comunicación permanente entre poblaciones y por ende un dinamismo económico.

Los daños causados por eventos naturales de cierta severidad en la vialidad, han causado grandes pérdidas económicas en el Cantón, como es el caso de la interrupción de la vía a Baños por causa de la erupción del volcán Tungurahua, el Paso Lateral de Ambato, por causa de la caída de escombros, producido por la inestabilidad de los taludes entre otros.

Es imperativo considerar adecuadamente los eventos naturales que podrían afectar las vías, para protegerlas adecuadamente y así evitar daños de infraestructuras, que se traducen rápidamente en pérdidas económicas, no solo para nuestro Cantón, sino para otros sectores productivos de nuestros países.

1.2.2. ANÁLISIS CRITICO

La fragilidad ecológica en la red vial de nuestro país, y en particular del cantón Ambato, debe considerar el análisis y evaluación fundamentada en la interrelación de las características ambientales y la sensibilidad ambiental, a través de la superposición cartográfica temática, estimando el riesgo para el ambiente natural o para las obras y actividades del sistema vial, mostrando la complejidad de los problemas ambientales y sus interrelaciones, que puede incidir a corto, mediano y largo plazo.

La complejidad de las interrelaciones, trae como consecuencia el aprovechar la tecnología de punta disponible en el mercado, que es el uso de los Sistemas de Información Geográficos, herramienta poderosa que nos ayudaría al análisis de los factores anotados de manera dinámica y gráfica, lo que permitiría obtener resultados, para la toma de decisiones acertadas.

1.2.3. PROGNOSIS

Los riesgos que afrontan los proyectos y los sistemas viales existentes, de no tomarse las medidas suficientes, pueden traer como consecuencias:

- Costos altos en el mantenimiento vial.
- Vías susceptibles de inundaciones por falta de prevención.
- Alta probabilidad de riesgos por deslizamientos en proyectos viales.
- Mayor impacto ambiental por la construcción de infraestructuras viales que traerán como consecuencia el agotamiento de la cubierta boscosa y de su capacidad protectora.

- Desaciertos en la toma de decisiones y la planificación de proyectos viales por la falta de información cartográfica.

1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el grado de vulnerabilidad de las vías del cantón Ambato en función de los riesgos naturales?

1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Cuál es la información gráfica digital o análoga del sistema vial del cantón Ambato?
- ¿Cuáles son los riesgos naturales a considerar, que puedan afectar a las vías en el cantón Ambato?
- ¿Que plataforma informática GIS se utilizará?
- ¿Como definir los mapas temáticos de riesgos naturales?
- ¿Como determinar los índices de vulnerabilidad vial en función de los riesgos?
- ¿Como establecer el mapa definitivo de vulnerabilidad vial para el cantón Ambato?

1.2.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1 DE CONTENIDO

El contenido del presente estudio, tiene aplicaciones de la Ingeniería Civil Vial, Ambiental e Ingeniería Geográfica.

1.2.6.2 ESPACIAL

El cantón Ambato, que tiene una superficie aproximada de 1200 km², una población de 297.000 habitantes y una altura media sobre el nivel del mar de 2577 metros, se encuentra ubicado en la Provincia de Tungurahua, Ecuador, y limita

por el Norte con la Provincia de Cotopaxi, por el Sur la Provincia de Chimborazo y cantones Tisaleo y Cevallos, por el Este Cantones Píllaro y Pelileo y por el Oeste la Provincia de Bolívar. Su ubicación geográfica es de 1°14'57" de Latitud Sur y 78°37'21" de Longitud Oeste.

1.2.6.3 TEMPORAL

El periodo de estudio del proyecto de investigación “Vulnerabilidad vial en función de los riesgos naturales para el cantón Ambato”, comprende de enero del año 2010 hasta agosto del mismo año.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El Ecuador presenta un alto grado de vulnerabilidad y riesgo ante diversas amenazas naturales. En los últimos 25 años los países de la Región, han sido afectados por grandes desastres naturales. El Estudio realizado por la CEPAL “Evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres” 2003, señala que aproximadamente el 33% de pérdidas directas e indirectas (vidas humanas, infraestructura social y productiva) registradas en la región son causadas por eventos naturales adversos.

El proceso eruptivo del Volcán Tungurahua (julio- agosto 2006) afectó a 117.133 personas y a 97.000 hectáreas, en 40.000 de las cuales se registró pérdidas respecto a terrenos cultivables de sembríos de maíz, papas, cereales, hortalizas, leguminosas, frutales y pastos; además, aproximadamente se pusieron 10.000 animales en riesgo.

En cuanto a infraestructura vial, se registraron 11.000 Km² de vías de comunicación afectadas; es decir, alrededor de 150 millones de dólares en pérdidas causadas por el proceso eruptivo del Volcán Tungurahua.

La frecuencia y diversidad de amenazas naturales, la magnitud de los daños y

pérdidas materiales y humanas asociadas con estas en los últimos años, ha generado una reflexión y un debate sobre los factores ajenos a los eventos físicos en sí, que podrían ayudar en explicar los niveles de destrucción e impacto sufrido en la economía y sociedad. Una explicación en torno a esta reflexión es la llamada vulnerabilidad social o humana ante lo cual se hace necesaria la gestión en la reducción del riesgo.

La vulnerabilidad en esta materia es tan alta que cualquier evento de orden natural, ocasionaría una peligrosa degradación de la calidad de vida.

El sistema vial en nuestro país, tiene gran importancia económica, política y social. En el caso específico del cantón Ambato como los geológicos, atmosféricos y meteorológicos, junto con sus parámetros de diseño, y su mantenimiento vial, la hacen vulnerable a peligros naturales. Como consecuencias de esta situación se producen daños mayores en la infraestructura de transporte de la región, y por lo tanto, graves impactos en el sector productivo, el sector social, y los asentamientos cercanos y lejanos a ella.

Por lo tanto, estudios y análisis sobre la vulnerabilidad frente a este tipo de fenómenos deben estar disponibles para mejorar el proceso de toma de decisiones y la planificación en general, es decir, es necesario pasar de la solución de las consecuencias a la prevención de las causas y a la mitigación de los efectos, y es precisamente donde los ingenieros viales debemos aportar con investigaciones que estén orientados a procurar la disminución de la vulnerabilidad del sistema de carreteras de los peligros naturales.

1.4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.4.1. GENERAL

Determinar la vulnerabilidad vial en función de los riesgos naturales para el

cantón Ambato.

1.4.2. ESPECÍFICOS

- Establecer cual es la información base necesaria para el estudio
- Evaluar la información gráfica análoga y digital disponible de la red vial del cantón Ambato para su actualización.
- Determinar que plataforma informática GIS se utilizó.
- Determinar los tipos de riesgos que tiene el sistema vial del cantón Ambato.
- Definir los mapas temáticos de vulnerabilidad natural.
- Establecer los índices de vulnerabilidad vial en función de los riesgos.
- Proponer el mapa definitivo de vulnerabilidad vial para el cantón Ambato.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La alta probabilidad de que los desastres naturales sigan afectando al mundo de forma relativamente periódica, hace que muchos países realicen estudios y análisis sobre la vulnerabilidad frente a cualquier tipo de fenómeno, los cuales deben estar disponibles para mejorar el proceso de la toma de decisiones.

Existen varios estudios realizados en torno al tema como el realizado en Honduras por el CIAT con el apoyo de la Comunidad Internacional, mismo que tubo como objetivo determinar los Municipios y áreas de Honduras con mayor Vulnerabilidad frente a Desastres Naturales con la utilización de herramientas GIS.

Estudios como el señalado existen varios en el mundo, los cuales con la ayuda de la WEB son fácilmente detectables.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La investigación científica al ser un proceso de ejercicio del pensamiento humano que implica la descripción de aquella porción de la realidad que es objeto de estudio, como la determinación de los agentes externos que hacen vulnerable al sistema vial del cantón Ambato, parte de determinadas premisas filosóficas que facilitan la justa comprensión del estudio que se ejecuta con todos sus riesgos, potencialidades, obstáculos, méritos, logros, etc.

La acción de investigar presupone buscar las huellas y lógicamente esa búsqueda, no significa que se realice en el mismo orden cronológico en que se produjeron o se vayan a producir los fenómenos naturales que puedan afectar al sistema vial, que es objeto de análisis. Ese proceso implica dar una vuelta o rodeo para llegar al objetivo deseado, es decir, no es una vía directa, rápida, inmediata, expedita. Por el contrario la acción investigativa regularmente es un procedimiento tortuoso, difícil, complicado que exige sacrificios y esfuerzo.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

- ✓ La constitución de la República en el Artículo 3: Deberes del Estado: en su numeral tercero establece que el estado defenderá el patrimonio natural y cultural del País y protegerá el medio ambiente. El numeral cuarto establece la obligación del estado de preservar el crecimiento sustentable de la economía y el desarrollo equilibrado y equitativo en beneficio colectivo.

- ✓ El numeral sexto del Artículo 23 establece el derecho de los ciudadanos a vivir en un medio ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación.

- ✓ LEY DE CAMINOS: Decreto Supremo 1351, Registro Oficial 285 de 7 de Julio de 1964.

2.4 RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

2.4.1 VULNERABILIDAD VIAL

- Análisis Vial
 - Características geométricas
 - Taludes
 - Drenajes
 - Puentes.

- Identificación de Amenazas.
 - Geológicas
 - Hidrometeorológicas

CONCEPTOS

VULNERABILIDAD VIAL

La vulnerabilidad vial, hace referencia al impacto del fenómeno sobre la vía, y es precisamente el incremento de la vulnerabilidad el que ha llevado a un mayor aumento de los riesgos naturales.

La vulnerabilidad abarca desde el uso del territorio hasta la estructura de los edificios y construcciones, daños personales e interrupción de las actividades económicas y del funcionamiento normal de las comunidades y depende fuertemente de la respuesta de la población frente al riesgo.

ANÁLISIS VIAL

Diagnostico general del sistema vial existente en el área de estudio, que contiene características geométricas y obras de arte existentes.

AMENAZA

Probabilidad de que ocurra un fenómeno natural en un tiempo indeterminado y en un espacio dado.

2.4.2 RIESGOS NATURALES

- HIDROMETEOROLÓGICOS
 - Inundaciones

- GEOLÓGICOS
 - Sismos
 - Erupciones volcánicas
 - Remociones en masa o inestabilidad de terrenos

CONCEPTOS

RIESGOS NATURALES

Los riesgos naturales y su análisis, no es un tema de probabilidades, es un tema de consecuencias.

Un riesgo natural se define como "*La probabilidad de que un territorio y la sociedad que habita en ella, se vean afectados por episodios naturales*"

La concepción más clásica del Riesgo, se basa en la interacción de dos variables: Amenaza y Vulnerabilidad. Entendiéndose por Amenaza o Peligro a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o provocado por la actividad humana que al producirse pueda afectar a las personas, sus bienes y obras de infraestructura, mientras que a la Vulnerabilidad se la entiende como a la ocupación del suelo por la vida en general y obras de infraestructura construidas en la superficie del suelo y el grado de susceptibilidad que tienen a ser afectados por la generación de eventos naturales propios de la dinámica de la tierra.

RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Los Riesgos Hidrometeorológicos son aquellos procesos naturales que se generan por el transporte de materiales (rocas, tierra, lodo, agua) y son capaces de modificar el paisaje, que tienen al agua como principal elemento detonador.

Esta clasificación engloba a los agentes perturbadores que son producto de la condensación o sublimación de vapor de agua atmosférica.

La magnitud de los daños que generan difiere ampliamente por su origen, naturaleza, grado de predictibilidad, probabilidad y control, así como por la velocidad con la que aparecen, por su alcance y por los efectos

destructivos en la población, en los bienes materiales y en la naturaleza.

INUNDACIÓN

Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos y ramblas, por subida de las mareas por encima del nivel habitual o por avalanchas causadas por tsunamis.

Las inundaciones fluviales son procesos naturales que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, tierras fértiles donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura en vegas y riberas.

Las inundaciones son una de las catástrofes naturales que mayor número de víctimas producen en el mundo. Se ha calculado que en el siglo XX unas 3,2 millones de personas han muerto por este motivo, lo que es más de la mitad de los fallecidos por desastres naturales en el mundo en ese periodo.

RIESGOS GEOLÓGICOS

Es cualquier circunstancia, proceso o efecto geológico (producidos por rocas o minerales), que sea potencialmente dañino para las personas o bienes tanto naturales como artificiales.

La Tierra es un planeta vivo. La energía que guarda en su interior es causante de fenómenos geológicos, tales como terremotos, erupciones volcánicas y corrimientos de tierra que desde tiempos remotos han sacudido nuestro planeta. Estos provocan pérdidas de vidas humanas y perjuicios materiales, como destrucción de infraestructuras.

La erupción del Vesubio, en Italia, en el año 79 AC sepultando la ciudad de Pompeya y Herculano, es un ejemplo de catástrofe famosa de naturaleza geológica.

Actualmente existen condiciones técnicas para aumentar la seguridad de las personas y de obras civiles que se encuentran en áreas y situaciones de riesgo geológico, considerando, la previsibilidad espacial y temporal de ocurrencia de los fenómenos y la posibilidad de prevenirse contra sus efectos.

SISMOS

Un sismo o seísmo, también llamado Terremoto, es una sacudida del terreno que se produce debido al choque de las placas tectónicas y a la liberación de energía en el curso de una reorganización brusca de materiales de la corteza terrestre al superar el estado de equilibrio mecánico. Los más importantes y frecuentes se producen cuando se libera energía potencial elástica acumulada en la deformación gradual de las rocas contiguas al plano de una falla activa, pero también pueden ocurrir por otras causas, por ejemplo en torno a procesos volcánicos, por hundimiento de cavidades cársticas o por movimientos de ladera.

Es casi normal que en nuestro país Ecuador, se tengan decenas de sismos en el año, de magnitudes 4.5 a 5 grados y otros entre 5 y 5.5 e incluso hasta 6, lo cual muestra la presencia de las fallas geológicas de la compresión tectónica y el comportamiento de un país sísmico.

ERUPCIONES VOLCÁNICAS

Un volcán constituye el único conducto que pone en comunicación directa la superficie terrestre con los niveles profundos de la corteza terrestre.

Tras lo acontecido en los últimos años con el volcán Tungurahua, ha ocasionado graves consecuencias como las económicas y físicas en la región, que ha hecho de Ambato una ciudad vulnerable ante tales efectos, lo que hace necesario su consideración.

REMOCIONES EN MASA O INESTABILIDAD DE TERRENOS

Ocurren como resultado de cambios súbitos o graduales de la composición, estructura, hidrología o vegetación de un terreno en declive o pendiente

Para que se produzca la inestabilidad y puesta en movimiento de una masa de terreno deben intervenir y modificarse de forma conjunta varios factores. Aunque las formas de la superficie terrestre se pueden considerar como resultantes de un sistema evolutivo y, por tanto, en continuo cambio, a la escala de tiempo en la que se producen estos movimientos del terreno, a algunos de los factores que intervienen en ellos se les puede conceptualizar como constantes o con poca variabilidad a lo largo del tiempo y, a otros, como factores variables que sufren modificaciones con cierta periodicidad.

Los primeros, serían de carácter pasivo y condicionarían y conformarían el tipo de rotura y su mecanismo. De otro lado, los factores variables o activos interferirían sobre los anteriores, modificándolos y desencadenando la inestabilidad y puesta en movimiento del terreno, además de determinar, en muchos casos, la magnitud del proceso.

En el Ecuador se observa que la mayor cantidad de daños son producidos por la reactivación de deslizamientos antiguos que no han sido debidamente inventariados y representados para concebir las soluciones técnicas adecuadas el momento de la construcción de obras de infraestructura. También se observa en los taludes de las carreteras fenómenos de inestabilidad de terrenos como derrumbes, desprendimientos

a causa del mal manejo del suelo y agua de escorrentía arriba de los mismos.

En años anteriores, muchos deslizamientos antiguos se han reactivado como el caso del centro Parroquial Nulti cerca de la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay en donde toda la infraestructura habitacional y de servicios básicos está involucrada dentro de la masa que se puso nuevamente en movimiento.

El principal factor detonante para la generación y reactivación de deslizamientos es el agua superficial, subterránea e hipodérmica

2.5 HIPÓTESIS

La vulnerabilidad vial del cantón Ambato, está determinada por los riesgos naturales.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

VARIABLE DEPENDIENTE : Vulnerabilidad Vial

VARIABLE INDEPENDIENTE : Riesgos Naturales

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE INVESTIGATIVO

Este trabajo determinó el grado o nivel sintético de amenazas de origen natural al que están las vías del cantón Ambato. Se trata de un instrumento de información que permite orientar geográficamente la acción e inversión social, pública y privada, hacia la población más expuesta. Se basa en la estimación de un conjunto de amenazas naturales: peligro sísmico, volcánico, deslizamientos e inundaciones.

El nivel sintético final de amenaza de origen natural corresponde a la suma de los grados de amenazas potenciales determinados para cada uno de los peligros considerados para el Cantón.

La Investigación fue un proceso que, mediante la aplicación del método científico, obtuvo información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.

Para obtener el resultado de manera clara y precisa fue necesario aplicar los tipos de investigación adecuados. Este tuvo una serie de pasos para lograr el objetivo planteado o para llegar a la información requerida.

La investigación tuvo como base, el método científico y este es el método de estudio sistemático de la naturaleza que incluyó las técnicas de observación, reglas para el razonamiento y la predicción, ideas sobre la experimentación planificada y los modos de comunicar los resultados. Además, la investigación poseyó una serie de características que ayudaron a regirse de manera eficaz en la misma.

El estudio obtuvo relevancia cuantitativa y cualitativa por tratarse de una metodología específica para la evaluación de la vulnerabilidad de las infraestructuras en función de la intensidad de las catástrofes que tienen mayor probabilidad de aparición. Dentro de esta metodología se desarrolló una aplicación que determinó la vulnerabilidad de las carreteras frente a potenciales

desastres de la naturaleza, mediante el manejo de información multitemática sobre un soporte de posicionamiento geográfico.

3.2 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Los niveles de investigación fueron, la *histórica* que aplico no sólo a la historia sino también a las ciencias de la naturaleza, *exploratoria* porque se destacó los aspectos fundamentales de una problemática determinada, *descriptiva* (señaló sus características y propiedades) y *explicativa* (respondió o dio cuenta de los porqués del objeto que se investigó), en razón de que además de haber tenido la necesidad de describir las causas y consecuencias que producirán los fenómenos naturales, se tuvo que dar soluciones para disminuir la vulnerabilidad de las vías en el cantón Ambato.

3.2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación que se tomaron en cuenta para la presente investigación fueron de Campo y Bibliográfica

La investigación de Campo, que es el estudio sistemático de los hechos en el lugar en el que se producen los acontecimientos, tuvieron su mayor parte el trabajo investigativo, ya que la información base para la determinación de los riesgos, tuvo que ser levantada en situ por medio de GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

La investigación Bibliográfica, tuvo el propósito de conocer y deducir diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en documentos o en libros y otras publicaciones.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

El presente trabajo tomó en cuenta las principales vías que se encuentran en el cantón Ambato, que son las siguientes:

- Panamericana Norte
- Paso Lateral Ambato
- Vía Ambato Totoras
- Panamericana Sur
- Vía Ambato Guaranda

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DEPENDIENTE: Vulnerabilidad Vial

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Es la incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante sobre una vía.</p>	<p>Análisis Vial.</p>	<p>1.1.- Características geométricas</p> <p>1.2.- Taludes</p> <p>1.3.- Drenajes</p> <p>1.4.- Puentes</p>	<p>1.1.-¿Cuáles son las características geométricas de las vías?</p> <p>1.2.- ¿Cuáles son los taludes inestables?</p> <p>1.3.-¿Cuáles son los drenajes deficientes?</p> <p>1.4.-Cuales son las condiciones en las que se encuentran los puentes?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Observación • Ficha de campo • Sistema de Información Geográfico
	<p>Identificación de Amenazas.</p>	<p>1.1.- Geológicas</p> <p>1.2.- Hidrometeorológicos</p>	<p>1.1.- ¿Cuáles son los efectos geológicos?</p> <p>1.2.- ¿Cuáles son los efectos Hidrometeorológicos?</p>	

VARIABLE INDEPENDIENTE: Riesgos Naturales

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Es la probabilidad de que una vía se vea afectada por episodios naturales.	Hidrometeorológicos	1.1.- Inundaciones	1.1.- ¿Cuáles son las zonas susceptibles de inundación?	<ul style="list-style-type: none"> • Observación • Ficha de campo • Sistema de Información Geográfico
	Geológicos	2.1.- Sismos	2.1.- ¿Cuáles son las zonas sísmicas?	
2.2.- Erupciones volcánicas		2.2.- ¿Cuáles son las zonas susceptibles de afectación por efectos de las erupciones volcánicas?		
2.3.- Remociones en masa o inestabilidad de terrenos		2.3.- ¿Cuáles son las zonas de terrenos inestables?		

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para obtener los índices de vulnerabilidad vial, fue necesario recopilar información base como cartografía y datos históricos existentes.

La información cartográfica, que sirvió como base para generar la información, que determinó los efectos externos que hacen vulnerable a las vías, fue solicitada y autorizada para su uso por parte del Señor Alcalde de la Municipalidad de Ambato.

En lo relacionado con la información, de los efectos naturales producidos, se investigó en libros históricos de la Provincia y en el campo, en la que se levantaron datos georreferenciados, como tipos de suelos, formaciones geológicas, testigos de inundaciones, deslizamientos, etc.

Toda la información levantada, previamente priorizada, se procesó en un Sistema de Información Geográfico para su respectivo análisis.

3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento de toda la información recolectada, se priorizo con índices de jerarquización, para ser analizada y proceda en un sistema informático llamado ArcGis, mismo que permitió obtener resultados que permiten ser manejados de forma interactiva, para una mayor comprensión y fácil entendimiento del trabajo ejecutado, análisis e interpretación de resultados, conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO IV

MARCO ADMINISTRATIVO

4.1 RECURSOS

4.1.1 INSTITUCIONALES

Para el desarrollo del presente trabajo, conto con el apoyo de la municipalidad de Ambato en lo relacionado con la información digital base.

4.1.2 RECURSOS HUMANOS

El personal de apoyo utilizado para el presente trabajo investigativo, responde al siguiente detalle:

<u>PERFIL</u>	<u>CANTIDAD</u>
Secretaria con conocimientos Excel y Word	1
Técnicos de campo (Egresados de Ingeniería Civil Agronómica con conocimientos básicos de GPS)	2

4.1.3 RECURSOS MATERIALES

Los equipos y materiales necesarios para la presente investigación son:

- 1 vehículo (camioneta)
- 2 navegadores GPS
- Cartas topográficas del IGM escala 1:50.000 y 1:25.000 del cantón Ambato
- 1 computadora
- 1 impresora
- Materiales básicos de oficina

4.1.4 RECURSOS FINANCIEROS

RUBROS DE GASTOS	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
RECURSO HUMANO				
Una secretaria	mes	2	200	400
Técnico de campo 1	mes	1	300	300
Técnico de campo 2	mes	1	300	300
RECURSOS MATERIALES				
Alquiler de un vehículo	día	22	20	440
Alquiler 2 navegadores GPS	día	40	5	200
Cartas topográficas digitales del IGM	U	2	200	400
Alquiler computador e impresora	Global			100
Materiales básicos de oficina	Global			50
SUBTOTAL (USD)				2,190
IMPREVISTOS (10%)				219
TOTAL (USD)				2,409

El costo total del proyecto fue de dos mil cuatrocientos nueve 00/100 dólares americanos.

4.2 CRONOGRAMA

TIEMPO	PERIODO : ENERO A SEPTIEMBRE DEL 2010																																							
	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1.- Elaboración y aprobación del proyecto	■																																							
2.- Investigación Bibliográfica					■																																			
3.- Determinación de la información base necesaria para el estudio					■																																			
4.- Recolección y evaluación de la información base existente en el Cantón Ambato									■																															
5.- Digitalización y georeferenciación de la información análoga recopilada.													■																											
6.- Levantamiento de campo: Actualización de vías e identificación de áreas de riesgos con GPS													■																											
7.- Eleboración de Mapas Temáticos en función de los riesgos naturales identificados																	■																							
8.- Análisis de la información espacial y de atributos en el Sistema de Información Geográfico GIS.																					■																			
9.- Evaluación y consistencia de resultados																									■															
10.- Determinación del Mapa de Vulnerabilidad Vial																													■											
11.- Revisión del primer borrador																																	■							
12.- Elaboración y aprobación del texto final																																					■			
13.- Defensa de tesis																																					■			

4.3 BIBLIOGRAFÍA

- IGAC, *Uso de Mapas y Fotografías Aéreas*, Segunda edición, Colombia.
- TALLER SUBREGIONAL ANDINO, *Aplicación de análisis de amenazas y riesgos en procesos de planificación y gestión territorial*, Lima Peru.
- SECRETARÍA TÉCNICA DE GESTIÓN DEL RIESGO DEL ECUADOR, *Peligros por fenómenos de Inestabilidad de Terrenos en la Construcción de Obras de Infraestructura*, Ecuador

PAGINAS DE INTERNET

- www.es.wikipedia.org
- www.rinamed.net/es/es_ris_main.htm
- www.ciao.es/Texto_Libre__Opinion_970461
- www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/08RiesgN/130Inund.htm
- www.astromia.com/tierraluna/erosion.htm
- <http://www.bivapad.gov.ec/pdf/spa/doc00026/doc00026-2a.pdf>

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La información digital base proporcionada por la municipalidad de Ambato, fue fundamental para la realización de la investigación.
- El Mapa base del cantón Ambato, fue realizado por el Instituto Geográfico Militar - IGM, mediante restitución aerofotogramétrica, sobre la base de fotografías aéreas de Esc. 1:30.000, tomadas el año 2005, a Esc. 1:5.000, con curvas de nivel a intervalos de 5.0 m.
- Los resultados no incluyen las parroquias urbanas de la ciudad ni las cabeceras parroquiales, en razón de que la municipalidad, no dispone de esta información en lo que respecta a la litología y estructura geológica, datos fundamentales para el estudio.
- En la cartografía digital, los mapas temáticos producidos, se procesaron por cruce y corte, agrupando en zonas los componentes analizados para el conjunto del área.
- Los planos temáticos obtenidos pueden tener un uso multifinalitario, puesto que pueden servir de base para el análisis de riesgos de cualquier obra de infraestructura que se vaya a construir.
- El haber realizado el análisis sobre un Sistema de Información Geográfico, permite realizar cualquier ajuste o actualización.
- De los factores detonantes considerados, los de más alta probabilidad de ocurrencia son las lluvias y los sismos, este último porque la zona de estudio se encuentra ubicada en una zona de alta sismicidad como lo demuestra su historia.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es importante que la Universidad Técnica de Ambato disponga de información cartográfica base, la que serviría como insumo para cualquier tipo de investigación de las áreas técnicas.
- Para este tipo de estudios es recomendable la utilización de información base con escalas lo más grande posible, pues esto permitiría tener un mayor detalle de la zona a investigar.
- Sería importante que un estudio parecido, se lo realice en la ciudad de Ambato, pero con un mayor detalle o escala mayor, puesto que existen sectores de la ciudad con un alto grado de peligrosidad.
- Al hablar de la multifinalidad para el uso de los resultados, es recomendable que los mismos sirvan como base para tomar medidas de prevención en las zonas de alto peligro.
- Para todo tipo de estudio relacionado con la geografía, se lo debe realizar con un Sistema de Información Geográfico, puesto que el uso de este tipo de herramientas permite la interacción dinámica entre la parte espacial (gráfica) y la alfanumérica (datos).
- Se recomienda que los mapas de peligros mostrados, sirvan como base para futuros diseños de vías rurales en el cantón Ambato, puestos que los mismos alertarían de zonas con riesgos a la susceptibilidad de los movimientos en masa.

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

6.1.1 DIVISIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA

Según la División Político Administrativa de la República del Ecuador, el cantón Ambato, es uno de los 9 cantones que forman la Provincia de Tungurahua, siendo su cabecera cantonal la ciudad de Ambato, capital de la provincia.

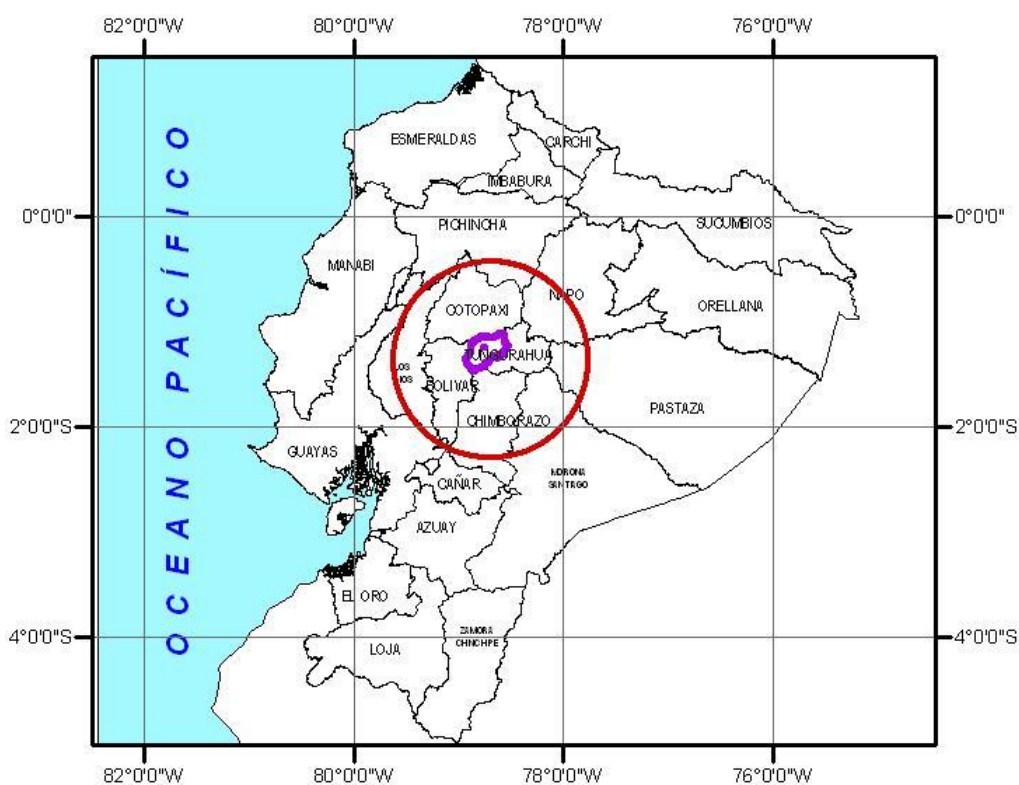


GRAFICO 1: Mapa de ubicación del cantón Ambato en el Ecuador

6.1.2 LIMITES

El cantón Ambato tiene como límites los siguientes:

Norte: Provincia de Cotopaxi.

Sur : Provincia de Chimborazo.

Este : El río Cutuchi y el río Pachanlica en el límite de los cantón Santiago de Píllaro, cantón Patate, cantón San Pedro de Pelileo, cantón Cevallos, Cantón Tisaleo y el cantón Mocha, todos de la Provincia de Tungurahua.

Oeste: Provincia de Bolívar

6.1.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Los puntos extremos del área de estudio se encuentran en las coordenadas geográficas siguientes:

Norte: 1° 6' 31'' de Latitud Sur

Sur: 1° 28' 37' de Latitud Sur y 79° 17' 9'' de Longitud Oeste

Este: 78° 32' 11'' de Longitud Oeste

Oeste: 78° 56' 18'' de Longitud Oeste

6.2 MAPAS BASES

El Mapa base del cantón Ambato, fue realizado por el Instituto Geográfico Militar - IGM, mediante restitución aerofotogramétrica digital, sobre la base de fotografías aéreas de Esc. 1:30.000, tomadas el año 2005, a Esc. 1:5.000, con curvas de nivel a intervalos de 5,0 m.

Para el procesamiento digital y la presentación analógica de la cartografía temática, el Mapa base a Esc. 1:5.000, fue generalizado para procesar en formatos digitales y en formato analógico a Esc. 1:25.000, con curvas de nivel a intervalos de 20 m, manteniendo el detalle planimétrico digital de la escala original.

Los mapas temáticos requeridos para lograr el objetivo, se elaboraron digitalmente a escala 1:25.000, cuyos resultados analógicos se presentan a escala 1:25.000 y escala 1:50.000.

Los mapas temáticos se presentan en formato analógico a escala 1:25.000, según el Índice de las hojas topográficas del IGM, en formato de dibujo A1, a escala 1:25.000. En tanto que, los mapas analógicos a Esc. 1:50.000, se presentan en formato A0.

6.3 ANÁLISIS DE ZONAS HOMOGÉNEAS FÍSICAS

Las zonas homogéneas comparten condiciones físicas naturales, similares respecto al análisis detallado de sus componentes, cuyos resultados son generalizados en zonas.

En la cartografía digital, los mapas temáticos, se procesan por cruce y corte, agrupando en zonas los componentes naturales analizados para el conjunto del área.

6.4 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES NATURALES PARA LA ZONIFICACIÓN

El Ecuador se encuentra situado en una de las zonas de más alta complejidad tectónica, en donde las placas de Nazca y Sudamérica se encuentran generando una alta actividad sísmica. Dicha actividad tectónica se evidencia no sólo en la actividad sísmica sino también en la activación de varios de sus volcanes a lo cual se suma la posibilidad de experimentar otro tipo de fenómenos como los tsunamis en la costa ecuatoriana. Adicionalmente, se encuentra en la Zona de Convergencia Intertropical que produce amenazas de origen Hidrometeorológicos (inundaciones, sequías, tormentas, heladas, efectos del fenómeno de El Niño, etc.) y por sus condiciones geomorfológicas soporta procesos como deslizamientos, flujos de lodos y erosión que tienen impactos negativos en la sociedad.

Las amenazas se definen como un peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno de origen natural por ejemplo, un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán, cuya génesis se encuentra en los procesos naturales de transformación y modificación de la Tierra y el ambiente.

6.4.1 RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Debido a su posición geográfica y a la diversidad de alturas impuesta por la cordillera de los Andes, el Ecuador presenta una gran variedad climática, incluso

en distancias cortas. El país está ubicado dentro del cinturón de bajas presiones atmosféricas donde se sitúa la zona de convergencia intertropical (ZCIT).

Los procesos meteorológicos extremos que inciden en la generación de riesgos hidrometeorológicos, son los únicos factibles de pronosticarse con un alto grado de acierto, conformando una alerta temprana basada en un pronóstico meteorológico, sobre la base del cual se pueden efectuar análisis de riesgos.

Las condiciones climáticas del cantón Ambato, son el resultado de un conjunto de factores, que incluyen su posición geográfica en el Ecuador, las condiciones atmosféricas coadyuvantes, las características altitudinales, orográficas, su disposición general hacia la vertiente amazónica y los factores meteorológicos.

El área de estudio, está situada en la región interandina, en la parte central del Ecuador, entre, los $1^{\circ} 6' 31''$ y $1^{\circ} 28' 37''$ de latitud sur y $78^{\circ} 32' 11''$ y $78^{\circ} 56' 18''$ de longitud oeste, cuya posición geográfica se relaciona con climas tórridos a templados, los cuales, son modificados por las características altitudinales del área, que en este punto de la corteza terrestre corresponde a uno de los más altos de la Tierra.

El clima del área, varía según las altitudes, de 2.225 a 5.000 msnm, desde el cauce del río Ambato en la confluencia con el río Patate, con temperaturas de 16°C y el límite más alto situado en el límite inferior de las nieves perpetuas de las vertientes norte del nevado Chimborazo, con temperaturas inferiores a 0°C .

La sección occidental del área tiene la influencia climática de la región costera, como resultado del factor oceanográfico, desde el mar emergen grandes masas de nubes cargadas de vapor que suben lentamente, se condensan y se precipitan en los Andes occidentales y en las vertientes de la cuenca hidrográfica del río Ambato.

Por otra parte, la sección oriental del área, recibe las precipitaciones provenientes

de las grandes corrientes que, por efecto de la rotación de la tierra, generan vientos alisios del sur este, que se tornan sobre América con dirección este a oeste y empujan una gran masa de vapor caliente sobre la región amazónica que al chocar con la cordillera oriental se condensa y provoca copiosas precipitaciones.

En la provincia de Tungurahua, la cordillera oriental es baja y las nubes cargadas de agua provenientes de la Amazonía originan buena parte de las lluvias que se precipitan en el sector oriental de esta provincia, pero, apenas alcanzan al área del cantón Ambato. Dichas precipitaciones, al mezclarse con las condiciones más frías y menos húmedas, las atenúan, formando una verdadera ensenada climática, con singulares características, respecto a las demás hoyas interandinas, con condiciones de cuatro estaciones, especialmente en invierno, con incremento de las horas frío, que propician la producción de frutales de hoja caduca.

Entre los dos frentes de generación de precipitaciones, se presenta la zona baja de la hoya del río Patate, que recibe algunos de estos beneficios y está afectada por deficiencias hídricas la mayoría de los años.

Las cuencas de los ríos Ambato y Cutuchi, que confluyen al río Patate, forman parte de la Cuenca Alta del río Pastaza, drenan al océano Atlántico.

El área del cantón Ambato, cuenta con una escasa red meteorológica que no permite definir las características del clima, por lo que, se requiere, tanto de las estaciones meteorológicas ubicadas al interior de la zona de las estaciones periféricas.

La altitud y características orográficas influyen en los elementos climáticos, así a medida que aumenta la altitud, baja la presión atmosférica, se incrementa la radiación solar y se reduce la temperatura del aire, cambia la trayectoria de los vientos y se provocan precipitaciones.

Las características y distribución de los elementos del clima, se basa en el

resumen de los registros meteorológicos de la red de estaciones meteorológicas ubicadas en el interior del cantón Ambato, Cuadro 1 y de las estaciones periféricas al área, Cuadro 2, que definen la tendencia de trayectoria de las isolíneas hasta los límites del área.

Cuadro 1: Estaciones meteorológicas al interior del cantón Ambato

Código	Estación	Coordenadas UTM		Clasificación	Altura
		X84	Y84		
M028	Ambato - La Granja	766.093	9.860.119	CP	2.680
M377	Tisaleo	752.519	9.856.040	PV	3.250

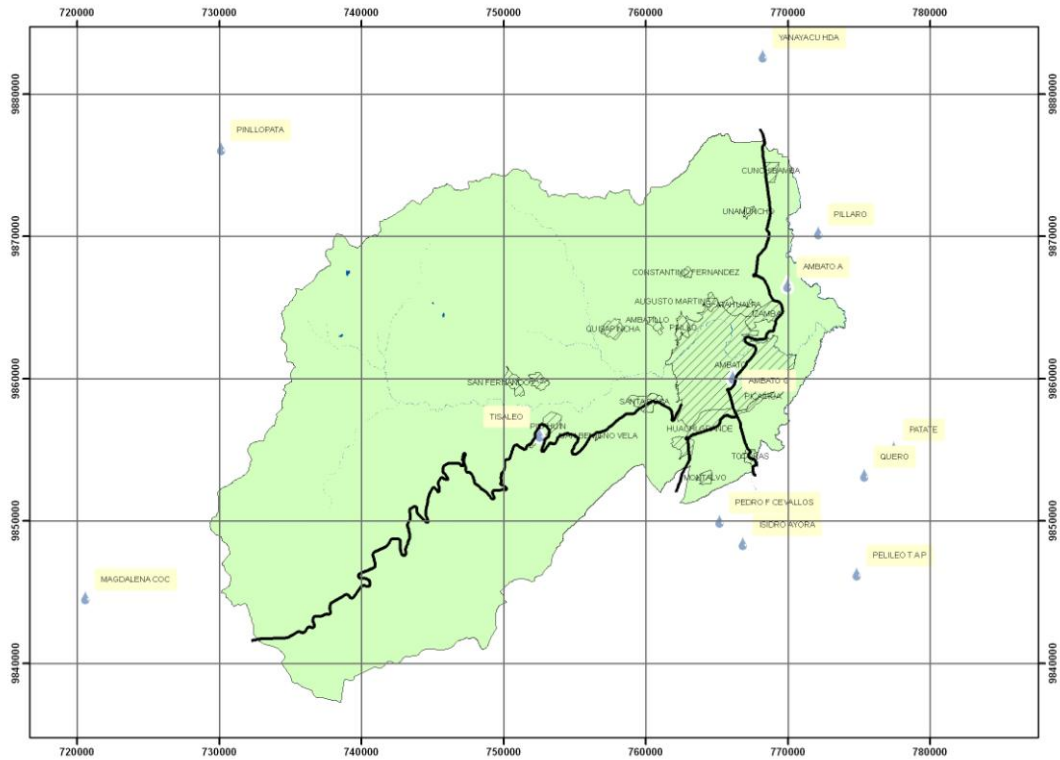
Cuadro 2: Estaciones meteorológicas periféricas al cantón Ambato

Código	Estación	Coordenadas UTM		Clasificación	Altura
		X84	Y84		
M126	Patate	777.418	9.855.135	CO	2.270
M127	Píllaro	772.103	9.870.255	CO	2.770
M128	Pedro F. Cevallos	765.155	9.850.010	CO	2.910
M367	Pillopata	730.101	9.876.189	PV	2.360
M381	Pelileo TAP	774.835	9.846.298	PV	2.525
M382	Quero	775.345	9.853.226	PV	2.870
M386	Magdalena DOC	720.545	9.844.606	PV	2.200
M580	Hda, Yanayacu	768.215	9.882.673	PV	3.100

Fuente: SIGAGRO - Anuarios Meteorológicos INAMHI
Elaboración: CLIRSEN - Sistema Catastral Rural del cantón Ambato

En el área del cantón Ambato, existen 2 estaciones meteorológicas, de las cuales, la estación Ambato - La Granja es una estación climatológica principal y la estación Tisaleo es Pluviométrica. Las estaciones periféricas al área de estudio seleccionadas corresponden a 3 estaciones climatológicas ordinarias y 5 estaciones pluviométricas.

Los cálculos y análisis de los registros meteorológicos de cada estación, se lograron para los períodos más largos, comprendidos del año 1905 al año 2000, de los cuales, para el análisis de los elementos climáticos, se presentan los resúmenes mensuales y anuales.



MAPA 1: Localización de Estaciones meteorológicas para el Análisis climatológico

El Cuadro 3, presenta los promedios de las precipitaciones mensuales y anuales según los períodos de observación y registros históricos.

Cuadro 3: Precipitación media mensual y anual (mm)

Estaciones	Código	Meses												Total
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Ambato - La Granja	M028	35,8	40,1	50,7	63,1	51,3	35,1	23,3	24,1	31,3	48,5	47,8	35,3	486
Tisaleo	M377	40,3	53,6	65,1	79,9	76,4	69,5	60,7	46,7	54,4	56,1	50,1	41,4	694
Patate	M126	26,1	30,7	39,4	47,8	55,5	63,4	43,8	35,2	33,6	35,1	26,9	25,8	452
Píllaro	M127	48,7	63,2	69,0	79,5	63,3	63,5	45,4	39,4	48,2	64,8	58,8	45,2	686
Pedro F. Cevallos	M128	26,4	37,8	42,6	55,3	63,4	49,0	44,4	35,2	40,1	36,1	35,8	26,5	493
Pelileo TAP	M381	19,9	40,0	46,2	63,7	58,1	58,7	48,1	34,1	48,9	30,5	24,5	26,5	499
Quero	M382	26,1	50,2	57,4	98,8	93,7	54,1	47,5	31,7	47,0	39,7	32,3	29,2	608

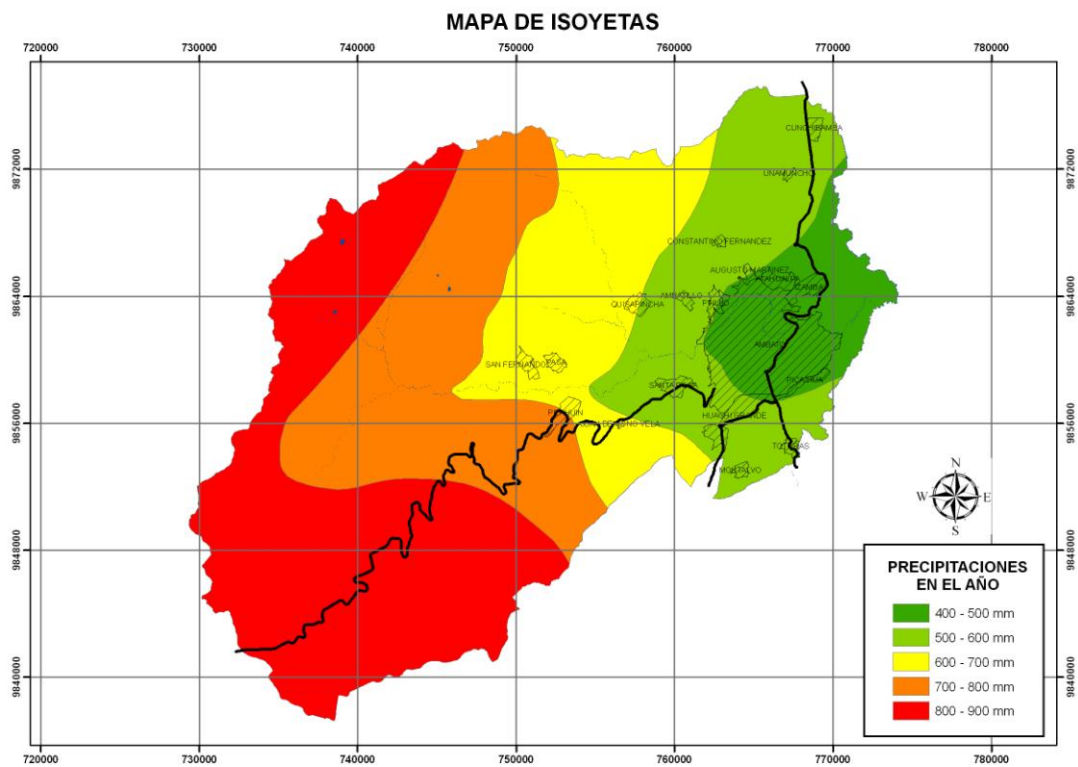
Fuente: SIGAGRO - Anuarios Meteorológicos del INAMHI

Elaboración: CLIRSEN - Sistema Catastral Rural Integral del cantón Ambato

En la Estación Ambato - La Granja, para una precipitación total de alrededor de 486 mm anuales, los valores más altos se presentan en los meses de abril y mayo, en tanto que, los más secos son los de julio y agosto. Al sur de la ciudad de Ambato, la estación de Tisaleo presenta una precipitación media anual de 694 mm, los meses más lluviosos son los de mayo a abril, pero, los más secos son

agosto y septiembre.

Las precipitaciones registradas en las estaciones meteorológicas constituyen a valores puntuales, por lo que, para conocer su distribución de la zona en estudio; se procedió al trazado de las isoyetas (líneas de igual valor de precipitación), para lo cual, se recurrió a los registros de las estaciones meteorológicas internas y periféricas al área y al trazado de isoyetas en el área, determinan la distribución precipitación, variando según la conformación orográfica del relieve.



MAPA 2: Mapa de Precipitaciones

Según los datos de localización de las estaciones meteorológicas ubicadas en el interior del área de estudio, así como de las estaciones periféricas, fueron señaladas, según los valores promedios anuales de la precipitación, entre los cuales, se interpoló y extrapoló los valores y se trazó digitalmente las isoyetas, a intervalos de 100 mm, apoyados con el modelo digital del terreno (MDT), obteniéndose como resultado Mapa de Precipitaciones, a Esc. 1:25.000.

Las isoyetas varían de este a oeste de 400 a 900 mm. La precipitación anual en la

parte baja del área, es de 400 mm; en la parte media, de 600 a 700 mm, y, en la parte alta, la precipitación anual varía de 800 a 900 mm.

6.4.1.1 INUNDACIONES POR LLUVIA Y DESBORDAMIENTOS DE RÍOS

Las inundaciones son amenazas o peligros naturales que se producen por desbordamiento de los ríos en las zonas bajas y planas de las cuencas, como efecto de lluvias copiosas en las cuencas altas de los ríos, que provocan torrentes de agua que superan la capacidad de evacuación de las aguas por el cauce natural de los ríos.



MAPA 3: Peligro de inundaciones por lluvia y desbordamiento de ríos

Se determinó que las áreas más susceptibles a inundaciones por lluvia son los valles glaciares, los cuales, debido a su topografía plana, serían cubiertos por agua, en el caso de producirse lluvias copiosas de alta intensidad en los flancos orientales de la cordillera occidental y del volcán Chimborazo. En su origen, estos valles fueron aplanados por el movimiento lento de los glaciares y, en la actualidad, constituyen pantanos de altura.

A más de lo indicado, el cantón Ambato, en términos generales, tiene una baja amenaza en lo relacionado a las inundaciones. Han ocurrido menos de 20 entre 1988 y el 2010, y no existen zonas significativas potencialmente inundables.

6.4.2 RIESGOS GEOLÓGICOS

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), organismo encargado del monitoreo sísmico y volcánico del país, y basado en los estudios de sismicidad instrumental y neotectónicos realizados, se ha podido determinar la presencia de cinco sistemas tectónicos en el país, los cuales constituyen las principales fuentes generadoras de sismos.

Según la geología histórica, presentada por el CODIGEM, 1997, respecto a la evolución geológica del Ecuador, durante el Mioceno – Plioceno estuvo dominado por la formación de cuencas intramontañosas y volcanismo subaéreo contemporáneo, interpretado como un depósito de cuenca intramontana alimentado por una fuente volcánica intermedia a ácida. Estas cuencas fueron probablemente controladas por fallas de rumbo de desplazamiento horizontal sobre las mayores estructuras regionales de la corteza, aunque Prat, (1997), enfatizan la importancia de una extensión simple en sentido este – oeste. En el Plioceno tardío hace alrededor de 2 Ma, hubo una nueva reorganización del sistema de placas del Océano Pacífico (Rea y Malfait, 1974) muy probablemente a causa de que la dorsal Carnegie entró en contacto con la zona de subducción activa. Esto resultó en una fase importante de reactivación de antiguas estructuras en la cordillera occidental.

Considerando lo señalado, el Ecuador es uno de los países con mayores factores de riesgo del mundo. Esto ha sido comprobado a través de variados desastres que han azotado al país en distintos períodos históricos.

El área del cantón Ambato está ubicada en la Región Interandina del Ecuador y

forma parte de la Hoya del río Patate, está limita al sur y occidente por la Cordillera Occidental de los Andes, al norte se presenta la llanura de rellenos lacustres horizontales y al oriente, el limite del Cantón está constituido por los taludes occidentales del cañón del río Cutuchi.

En el área, la Cordillera Occidental de los Andes, los niveles más altos está representados por los volcanes, como el Chimborazo (6.310 m), el Cariguayrazo (4.960 m), el volcán Sagoatoa y los paisajes glaciares cimeros típicos con modelado cuaternario, que se atenúan en relieves inclinados de glaciares, en cuyo límite inferior terminan los ámbitos de dicha cordillera.

Al concluir los ámbitos de la cordillera, se presenta una posición baja que forma el fondo de la hoya del río Patate, constituida por un graben (hundimiento), denominada también como llanura de rellenos lacustres, con relieves suaves, la cual, está disectada por las entalladuras fluviales de los ríos Cutuchi y Ambato.

En la siguiente tabla, se muestran los hechos más relevantes ocurridos en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua, por efectos geológicos:

Cuadro 4: Hechos ocurridos en el cantón Ambato y lugares cercanos, por efectos geológicos.

FECHA	TIPO DE FENÓMENO	LUGAR AFECTADO	CONSECUENCIAS SOBRE LAS COMUNIDADES Y SUS ASENTAMIENTOS
1687	Terremoto	Ambato, Pelileo y Latacunga	Destrucción de Ambato, Latacunga y pueblos de la comarca - aprox. 7200 muertos
1698	Terremoto	Riobamba, Ambato y Latacunga	Gran destrucción de casas e iglesias aprox. 7000 Muertos.
1703	Terremoto	Latacunga	Estragos notables pero menores a los del terremoto del año 1698.
1736	Terremoto	Provincia y Cotopaxi	Daños graves a casas e iglesias, muchas haciendas afectadas.
1742	Erupción volcán Cotopaxi	Valle Interandino Quito y Latacunga	Haciendas arruinadas, ganados, molinos y obrajes arrebatados, destrozamiento de puentes, centenares de muertos.
1757	Terremoto	Latacunga	Destrucciones materiales considerables, aprox. 4000 personas fallecieron.
1768	Erupción volcán Cotopaxi	Valle Interandino Quito y Latacunga	Pérdidas agrícolas (cebada, ganado), hundimiento de casas bajo el peso de ceniza, destrucción de puentes por las

			avenidas de lodo - unas 10 víctimas.
1840	Terremoto	Patate y Pelileo	Algunos estragos materiales.
1877	Erupción volcán Cotopaxi	Valle Interandino Quito y Latacunga	Las avenidas arrasaron casas, haciendas, factorías, puentes, y los lahares causaron la muerte de 1000 personas aprox.
1886	Erupción volcán Tungurahua	Sectores circundantes del volcán	Perturbación de los cultivos.
1918	Erupción volcán Tungurahua	Baños y otros caseríos cercanos	Aluvión de lodo devastó a algunos sitios, arrebató a casas y animales, destrucción de puentes.
1949	Terremoto	Ambato y Pelileo	Ciudad integralmente destruida , 6.000 muertos y miles de heridos, 100.000 personas sin hogar, consecuencias socioeconómicas grandes y de larga duración.
1999	Erupción volcán Tungurahua	Baños	32 muertos (por la evacuación) – 25.000 evacuados - pérdidas agrícolas estimadas: 17'600.000 USD - pérdidas en el campo turístico : 12'000.000 USD.

Fuente: DEMORAES, Florent y D'ERCOLE, Robert, "Mapas de Amenazas, Vulnerabilidad y Capacidades en el Ecuador. Los Desastres un Reto para el Desarrollo. COOPI/IRD/ Oxfam-GB(2003)

6.4.2.1 RIESGOS POR SISMOS

Los movimientos sísmicos pueden activar deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo existe el triple efecto de aumento de esfuerzo cortante, disminución de resistencia por aumento de la presión de poros y deformación asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación, en el caso de suelos granulares saturados.

Los factores que deben tenerse en cuenta para el análisis de taludes y laderas expuesto a eventos sísmicos son los siguientes:

- a. El valor de las fuerzas sísmicas aplicadas sobre las masas de suelo potencialmente deslizables.
- b. La disminución de la resistencia debida a las cargas vibratorias, las cuales inducen deformaciones cíclicas, esta resistencia puede disminuirse en más del 50% en suelos sensitivos y en la mayoría de los casos, la disminución de resistencia puede llegar a un 20% durante el sismo (Makdisi y Seed, 1978).
- c. El aumento de presión de poros especialmente, en suelos limosos y arenas

finas, en los cuales se puede producir una disminución de resistencia tal que produzca el fenómeno de licuación.

- d. El aumento de fuerza sísmica generado por la amplificación en los mantos de suelos blandos.
- e. La posibilidad de ocurrencia de fenómenos de resonancia relacionados con la similitud entre la frecuencia natural de vibración del talud y la del evento sísmico.
- f. La magnitud de las deformaciones en la masa de suelo.

Las situaciones adquieren un alto grado de criticidad cuando se combinan altas susceptibilidades, debidas a factores topográficos, geológicos, climáticos y sísmicos.

Un caso ocurrido fue el de la avalancha de Páez en Colombia en 1994, en la cual un sismo de magnitud 6.4, ocurrió justo en una temporada de intensas lluvias, encontrándose los suelos residuales saturados e intensamente meteorizados en un área de fuertes pendientes topográficas y se produjo el deslizamiento total de áreas muy grandes.

Cuando se produce la fractura de la roca en una zona de falla geológica, la energía liberada es radiada en todas las direcciones. La fuente del movimiento o zona de liberación de energía no es generalmente, un punto sino una línea o un área comúnmente alargada en la dirección de la falla. Los sismos que generalmente producen un mayor daño son los sismos relativamente superficiales.

El área de superficie inmediatamente encima del área de liberación de energía se le denomina epicentro o área epicentral.

La gran mayoría de los grandes deslizamientos y agrietamientos del suelo de gran magnitud corresponden al área epicentral y van disminuyendo a medida que el punto considerado se aleja del área epicentral y la intensidad del sismo disminuye.

Existen dos parámetros importantes para designar el tamaño y la fuerza de un

sismo que son la magnitud y la intensidad.

Magnitud

La magnitud es una medida cuantitativa e instrumental del tamaño del evento, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura en la falla. La magnitud es una constante única que se asigna a un sismo dado y es independiente del sitio de observación.

Richter definió la magnitud de sismos locales como: El logaritmo en base 10 de la máxima amplitud de la onda sísmica, expresada en milésimas de milímetro (micrones), registrada en un sismómetro estándar a una distancia de 100 kilómetros del epicentro del evento.

Magnitud del sismo	Tipo de deslizamiento producido
4.0	Caidos de roca, deslizamientos de roca, caídos de suelo y alteración de masas de suelo.
4.5	Deslizamiento de translación, rotación y bloques de suelo.
5.0	Flujos de suelo, esparcimientos laterales, deslizamientos subacuáticos.
6.0	Avalanchas de roca.
6.5	Avalanchas de suelo

Cuadro 5: Posibilidad de deslizamientos causados por sismos (Keefer, 1984)

Intensidad

La intensidad sísmica es un concepto que se aplica a la identificación del grado de destrucción o efectos locales de un terremoto.

La intensidad, que es una medida relativa de la fuerza sísmica en un punto determinado, depende de la magnitud del sismo, la profundidad de la zona de liberación de energía, de las características físicas locales del sitio y la distancia del sitio al área epicentral.

Existen fórmulas para relacionar la magnitud y la intensidad como la propuesta

por Gutenberg y Richter (1954): $\text{Magnitud} = 1 + 2/3 \text{ Intensidad}$

Esta fórmula, no tiene en cuenta la profundidad de los temblores pero muestra que existe una relación entre las dos formas de medir los sismos.

La ocurrencia de un deslizamiento relacionado con un sismo depende de la intensidad del sismo y de otros factores topográficos, geológicos e hidrogeológicos.

El efecto de un evento sísmico conduce en ocasiones a la desestabilización de un talud. Es evidente que la incidencia de casos de inestabilidad aumenta con la magnitud del sismo, especialmente, cuando la magnitud del sismo es de seis o mayor y la fuente de liberación de energía es poco profunda, caso en el cual la posibilidad de fallas por licuación aumenta.

La mayoría de los grandes deslizamientos están relacionados con eventos sísmicos de gran magnitud en el cinturón Circun Pacífico de gran magnitud y foco poco profundo.

La ocurrencia de una falla en materiales secos por acción de un sismo es particularmente grave en taludes de gran altura por el aumento de esfuerzos en el pie y la falla a tensión en la mitad superior del talud. Es común que después de un sismo fuerte aparezcan grietas de tensión en taludes de gran altura.

La dificultad que se presenta es la carencia de sistemas que permitan incorporar el análisis sísmico a los métodos matemáticos de análisis de taludes aplicables a suelos residuales.

Cada sismo sensible se manifiesta, en cada punto donde se ha dejado sentir, de determinada manera. Observar tales características permitirá otorgar un determinado grado al sismo en la escala de Mercalli.

El análisis de amenaza sísmica incluye la predicción cuantitativa de la intensidad del sismo en un sitio en particular. Las amenazas pueden analizarse determinísticamente o probabilísticamente.

El primer paso en el análisis es la identificación y evaluación de las fuentes de sismos y para ello se utilizan las evidencias geológicas, la actividad de las fallas, las evidencias tectónicas y la sismicidad histórica e instrumental.

Cuadro 6: Escala de intensidad Mercalli

Intensidad	Descripción
I. Muy débil	Lo advierten muy pocas personas y en condiciones de percepción especialmente favorables (reposo, silencio total, en estado de mayor concentración mental, etc.)
II. Débil	Lo perciben sólo algunas personas en reposo, particularmente las ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III. Leve	Se percibe en el interior de los edificios y casas. No siempre se distingue claramente que su naturaleza es sísmica, ya que se parece al paso de un vehículo liviano.
IV. Moderado	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. Es sentido por todos en el interior de los edificios y casas. La sensación percibida es semejante al paso de un vehículo pesado. En el exterior la percepción no es tan general.
V. Poco Fuerte	Sentido por casi todos, aún en el exterior. Durante la noche muchas personas despiertan. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y pueden derramarse. Los objetos inestables se mueven o se vuelcan.
VI. Fuerte	Lo perciben todas las personas. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran vidrios de ventana, vajillas y objetos frágiles. Los muebles se desplazan y se vuelcan. Se producen grietas en algunos estucos. Se hace visible el movimiento de los árboles y arbustos.
VII. Muy fuerte	Se experimenta dificultad para mantener en pie. Se percibe en automóviles en marcha. Causa daños en vehículos y estructuras de albañilería mal construidas. Caen trozos de estucos, ladrillos, cornisas y diversos elementos electrónicos.
VIII. Destructivo	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y a veces derrumbe parcial de estructuras de albañilería bien construidas. Caen chimeneas, monumentos, columnas, torres y estanques. Las casas de madera se desplazan y se salen totalmente de sus bases.
IX. Ruinoso	Se produce inquietud general. Las estructuras corrientes de albañilería bien construidas se dañan y a veces se derrumban totalmente. Las estructuras de madera son removidas de sus cimientos. Se pueden fracturar las cañerías subterráneas.
X. Desastroso	Se destruye gran parte de la estructura de albañilería de toda especie. Algunas estructuras de madera bien construidas, incluso puentes, se destruyen. Se producen grandes daños en represas, diques y malecones. Los rieles de ferrocarril se deforman levemente.

<p style="text-align: center;">XI. Muy desastroso</p>	<p>Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles del ferrocarril quedan fuertemente deformados. Las cañerías quedan totalmente fuera de servicio.</p>
<p style="text-align: center;">XII. Catastrófico</p>	<p>El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de rocas. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perfiles de las construcciones quedan distorsionados.</p>

La teoría de placas tectónicas es la base de los análisis sísmico-geológicos o paleosismología. La actividad de las fallas es un elemento muy importante para determinar si una falla representa una amenaza sísmica y es corriente diferenciar las fallas activas de las inactivas.

La sismicidad histórica permite confirmar la ocurrencia de sismos en el pasado y estimar la distribución geográfica de intensidad; sin embargo la sismicidad instrumental es la herramienta más útil para el análisis de amenaza sísmica.

En la actualidad existen instrumentos en la mayoría de las zonas sísmicas del mundo que permiten determinar las características y localización de prácticamente todos los eventos sísmicos que ocurren.

Algunos materiales son susceptibles a fallar por acción de un evento sísmico. Para el análisis de la susceptibilidad sísmica se deben tener en cuenta los siguientes factores:

Subsidencia sísmica

La subsidencia sísmica es una de las más importantes propiedades dinámicas del loess (material geológico sedimentario eólico); Esto se debe principalmente al gran volumen de poros y a la poca cementación de la estructura de estos materiales depositados por el viento. La presencia de macroporos, de tamaño varias veces mayor a la de la partícula (hasta varios cientos de veces) (Yang D.B. – Zhengzhong Z.,1996). Generalmente, la cementación entre partículas es pobre y predominan las partículas de cuarzo.

La susceptibilidad a la subsidencia sísmica puede analizarse realizando un ensayo de consolidación dinámica, en un equipo de compresión triaxial dinámica. Cuando el esfuerzo dinámico alcanza el esfuerzo dinámico crítico (CDS) la estructura del suelo colapsa.

Fragilidad

Algunos materiales relativamente duros tienden a desmoronarse en un evento sísmico debido generalmente, a la fragilidad del sistema de discontinuidades. Esta situación es común en suelos residuales fracturados pero poco meteorizados. Una situación similar ocurre en materiales cementados muy porosos como la piedra Pómez, en la cual la presencia de grandes poros facilita la deformación interna por acción de los esfuerzos sísmicos y se produce la falla de la cementación interna de las partículas.

Un caso muy común de falla en eventos sísmicos corresponde a los taludes de fuerte pendiente en suelos granulares no muy cimentados. Se puede mencionar las fallas en la región de San Francisco (Plant y Griggs, 1990), y en cenizas volcánicas cementadas en el Japón (Yamanouchi, 1977). Generalmente, estas fallas ocurren a tensión produciéndose grandes grietas, las cuales producen deslizamientos de tierra.

Las grietas de tensión aparecen entre 15 y 30 metros detrás de la corona en taludes hasta de 100 metros de altura. O'Rourke y Crespo (1988) describen deslizamientos similares en formaciones volcánicas del sur de Colombia y de Ecuador.

Estudios dinámicos realizados por Ashford y Sitar (1994) muestran una reducción entre el 85 y el 90% de la resistencia estática simple en el caso de carga cíclica.

Licuabilidad

Es la facilidad con que un suelo puede perder toda su resistencia al cortante y comportarse como un líquido. Esta susceptibilidad es propia de los limos o arenas no cementados saturados que se encuentran a poca profundidad. Los rellenos aún compactados son materiales muy susceptibles a licuación.

Para determinar la susceptibilidad de un suelo a licuación existen varios criterios (Kramer, 1996):

Criterio geológico

Los depósitos de suelo que son susceptibles a licuación son los materiales uniformes granulares sueltos tales como depósitos fluviales, coluviales y eólicos saturados. La licuación se ha observado en abanicos aluviales, playas y otros depósitos de semigravedad.

La susceptibilidad a la licuación de depósitos antiguos es generalmente menor que la de los depósitos nuevos. Suelos del Holoceno son más susceptibles que los suelos del Pleistoceno.

La licuación solamente ocurre en suelos saturados, por lo tanto la profundidad del nivel de agua influye en la susceptibilidad a la licuación. La licuación es más común en los suelos donde el nivel freático se encuentra subsuperficial. Los rellenos o depósitos hechos por el hombre en estado suelto son muy susceptibles a la licuación.

Criterio composicional

La forma, tamaño y gradación de las partículas influye en la susceptibilidad a la licuación. La plasticidad tiene un mayor efecto que el tamaño de granos, los suelos no plásticos son muy susceptibles a la licuación, especialmente los limos y las arenas finas.

Algunas arcillas también son susceptibles a la licuación de acuerdo al criterio de Wang (1979). Las arcillas susceptibles a licuación generalmente tienen las siguientes propiedades:

Fracción menor que 0.005 mm \leq 15%

Límite líquido \leq 35%

Contenido de agua \geq 0.9 LL

Índice de liquidez \leq 0.75.

Las gravas también son susceptibles a la licuación, aunque en menor proporción que las arenas.

La susceptibilidad a la licuación también es influenciada por la gradación. Los suelos bien gradados son generalmente, menos susceptibles que los suelos pobremente gradados.

Los suelos de partículas redondeadas son más susceptibles que los suelos con granos angulares.

Criterio de estado

La susceptibilidad a la licuación depende del estado en que se encuentre el material, esfuerzos, densidad, relación de vacíos.

La licuación puede ocurrir en una masa de suelo o puede ocurrir a lo largo de una superficie o línea de falla en las cuales los esfuerzos de cortante son el factor preponderante. En el primer caso, la licuación tiene como resultado un cambio de volumen o asentamiento y en el segundo, se produce un deslizamiento o falla al cortante.

La licuación sobre una superficie de falla fue analizada por Sassa (1996)(Figura 9.6). Esta licuación es causada por la destrucción de la estructura a lo largo de la superficie de falla.

Dilatancia

La deformación asociada con un esfuerzo sísmico es muy importante en suelos granulares y en los enrocados de grandes presas. Se observa en presas de enrocado que la aceleración en la parte superior del terraplén es varias veces mayor que la aceleración en su base y en ocasiones excede el coeficiente sísmico de diseño. Lo que ocurre en estos casos es que el conjunto de partículas gruesas que conforman el enrocado es generalmente, muy resistente a la deformación y aunque se presenta un estado crítico de aceleración, la deformación generada no alcanza a producir la falla del terraplén.

Se han realizado ensayos dinámicos hasta la falla de modelos de taludes en forma de terraplén suelos granulares y se ha observado que el terraplén empieza a fallar con una dilatancia visible (Konagai K. – Matsushima T. 1996). La aceleración que produce la falla al cortante de una superficie depende de la frecuencia de la excitación sísmica y del tamaño de los granos y la falla no ocurre hasta que se ha generado una dilatancia considerable.

Amplificación por efecto topográfico

Los efectos aparentes de amplificación topográfica fueron observados por Celebi (1987) en el sismo de Chile de 1985 de magnitud 7.8, notándose amplificaciones espectrales hasta de 10 en taludes de 20 metros de altura.

Boore (1972) realizó estudios numéricos de la respuesta sísmica de los taludes de gran altura y concluyó que el movimiento en el talud consistía en tres fases: una onda directa, una onda reflejada, y una onda difractada. El resultado mostró que había una amplificación importante en la parte alta del talud y que a lo largo de

los lados del talud podría ocurrir amplificación y atenuación dependiendo en la geometría del talud y la frecuencia del movimiento. La amplificación tenía un valor hasta del 100% y disminuía con el ángulo del talud y la longitud de onda.

Sitar y Clough (1983) encontraron que las aceleraciones tienden a amplificarse en la cercanía de la cara del talud y la amplificación topográfica varía entre 40 y 76%. La mayor amplificación ocurre en la cresta del talud cuando la frecuencia del sismo está cercana a la frecuencia natural de la topografía.

Sitar (1997) menciona un caso en Santa Mónica donde las aceleraciones amplificadas llegaron a obtener valores de 0.93g. de aceleración horizontal y 0.25g. de aceleración vertical, los cuales produjeron deslizamientos importantes. Estas fallas ocurrieron en depósitos de edad Cuaternario de arena pobremente cementada, en taludes de 40 a 60 metros de altura y pendientes de 45° a 60°. Las fallas más severas ocurrieron generalmente, hasta una distancia de 50 metros de la cresta de los taludes, cantidad aproximadamente igual a la altura de los mismos y, la mayoría de las fallas ocurrieron hasta 100 metros arriba de la cresta. Este ejemplo de amplificación demuestra el gran efecto que tiene la topografía sobre el comportamiento sísmico de los suelos.

Ashford (1997) concluyó que el efecto de un talud fuerte sobre la respuesta sísmica puede ser normalizado como una función de la relación entre la altura del talud y la longitud de la onda (λ). Considerando, el efecto del ángulo del talud es aparente que la amplificación tiende a aumentar en taludes de más de 60° y disminuye con el ángulo de inclinación.

Comportamiento de rellenos en caso de sismos

Los rellenos son materiales muy susceptibles a sufrir daño en el caso de sismos. La mayoría de los estudios sobre el comportamiento de rellenos han sido dirigidos a presas de tierra, y muy pocos estudios al comportamiento de rellenos sobre laderas, y específicamente McClure (1973) encontró que ocurre mucho mayor

cantidad de fallas en suelos de relleno que en taludes naturales. Algunos de los rellenos más susceptibles son los rellenos de suelos residuales compactados, tales como el granito meteorizado, materiales en los cuales se produjeron fallas catastróficas en el sismo de Kobe (Sassa, 1996).

Los principales problemas de los rellenos asociados con sismos son los siguientes:

- a. Agrietamiento cosísmico, debido a la falta de resistencia a la tensión
- b. Asentamientos por baja densidad.
- c. Mayor susceptibilidad a la licuación que los suelos naturales.

Los rellenos son muy susceptibles a agrietarse en el momento de un sismo o a deformarse vertical y horizontalmente sufriendo asentamientos diferenciales. Los rellenos de tierra armada resisten en mejor forma los movimientos sísmicos que los rellenos comunes.

El peligro sísmico, es potencialmente, el que más perjuicios puede causar en nuestro país. Los eventos mayores a lo largo de la historia del Ecuador, los sismos son claramente los fenómenos de origen natural que tuvieron mayores consecuencias negativas.

En Tungurahua, la falla geológica ubicada en Poaló, en la parroquia Pisayambo del cantón Píllaro, y la de Huambaló, en Pelileo, serían las causantes de la mayoría de los movimientos tectónicos que afectan a la provincia.

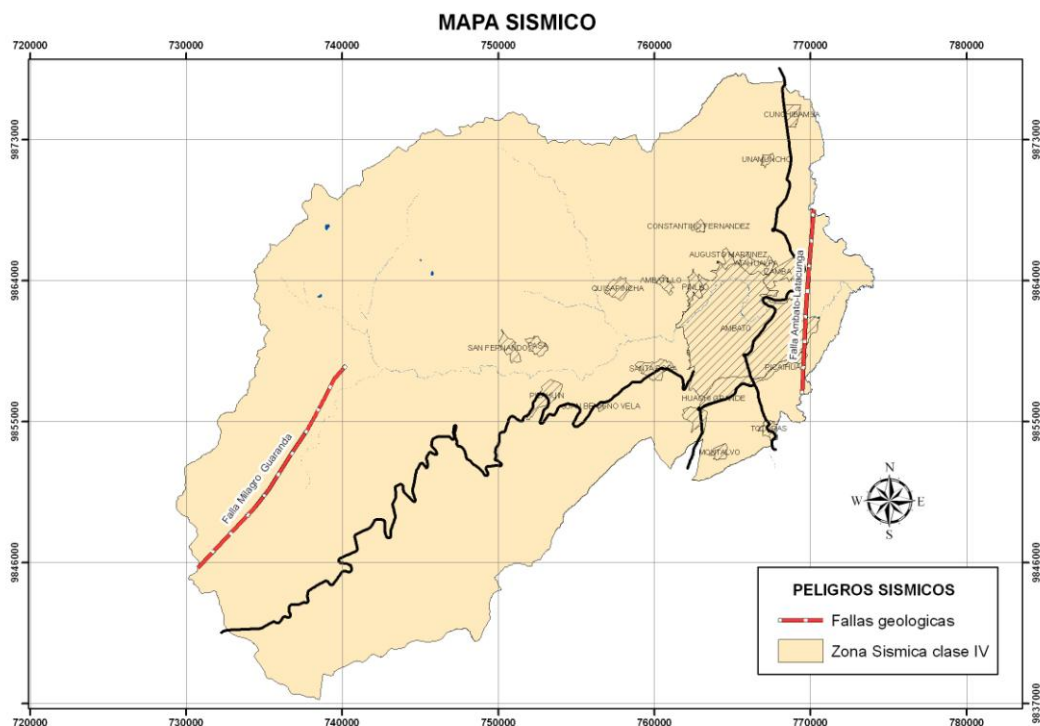
El proyecto Integración del Componente de Riesgos en la Planificación Territorial, realizado por la Escuela Politécnica Nacional y la Agencia de Cooperación Belga, determinó que las provincias de la Sierra Central están ubicadas en las zonas 3 y 4.

Eso implica que la Sierra Centro tiene el más alto nivel de sismicidad. Prácticamente, todo Tungurahua y de manera particular el cantón Ambato, se

encuentra en la zona 4 al igual que la parte andina de la provincia de Cotopaxi y la mitad norte de la provincia de Chimborazo.

Desde que se tiene registros históricos, se reportan una multiplicidad de eventos tectónicos en la localidad ahora denominada Ambato. Sin embargo, por su cercanía temporal, se hace referencia principalmente al terremoto de 6.8 grados en la escala de Richter ocasionado una tarde 5 de agosto de 1949. El sismo fue trágico, la ciudad y sus alrededores quedaron reducidos a escombros. El terremoto afectó gravemente a cincuenta poblaciones que en aquella época conformaban la provincia de Tungurahua. Seis mil muertos y millones de pérdidas fueron el trágico saldo.

De acuerdo a referencias históricas que reposan en el Instituto Geofísico, en el Cantón se han producido algunos movimientos sísmicos, como se lo indica en la tabla No.4.



MAPA 4: Mapa de Riesgo Sísmico

Para determinar los niveles de amenaza física para el Cantón, se tomó como referencia la zonificación sísmica elaborada por el Instituto Geofísico de la

Escuela Politécnica Nacional.

El mapa de “Amenaza sísmica y de tsunami en el Ecuador” contiene cuatro zonas. La zonificación fue definida a partir de la aceleración máxima efectiva en roca esperada para el sismo de diseño. La aceleración está expresada como fracción de la aceleración de la gravedad; es decir, corresponde a una situación potencial. La zona I corresponde a la zona de menor peligro y la zona IV a la de mayor peligro. El cantón Ambato se encuentra ubicado en la **zona IV**.

6.4.2.2 RIESGOS POR ERUPCIONES VOLCÁNICAS

Algunos de los más grandes deslizamientos ocurridos, están relacionados con actividad volcánica.

Previamente a la erupción de un volcán se producen generalmente, sismos frecuentes de pequeña magnitud relacionados con el ascenso de masas de magma debajo del volcán.

Los deslizamientos pueden estar relacionados físicamente con la erupción y coinciden con grandes explosiones en la cabeza del volcán. En las primeras etapas de la erupción se depositan flujos piroclásticos, los cuales forman nuevos domos o amplían alguno de los existentes, generándose deslizamientos en las faldas del volcán. El depósito de materiales aumenta las pendientes de los taludes y los deslizamientos pueden continuar por varios meses después de la erupción.

En ocasiones la altura del domo disminuye debido a los deslizamientos y se produce el movimiento de grandes volúmenes de residuos que cubren varios kilómetros cuadrados de área.

El problema más grave de deslizamientos ocurre en los volcanes-nevados. Al ocurrir erupciones sobre los glaciares o depósitos de nieve o hielo se produce la fusión del hielo o nieve por la alta temperatura de los materiales expulsados que

pueden ser flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas (“surges”), flujos de lava o caída de piroclastos. La erupción sobre glaciares puede generar flujos de lodo.

En todos los casos, para evaluar la cantidad de nieve y hielo que puede ser fundida por los materiales volcánicos, es de vital importancia establecer el área cubierta por la nieve y no el volumen de estos.

Esta situación fue comprobada durante el análisis de los flujos de lodo generados por la erupción del Nevado del Ruíz, en noviembre de 1985, por Pierson (1990) y Thouret (1990) quienes determinaron que la mencionada erupción sólo fundió una capa delgada de los glaciares cubiertos por los productos eruptivos y que las más afectadas fueron la nieve fresca y parte de la nieve fresca recrystalizada conocida como “firn”.

Otro dato aportado por Thouret (1990) es que no toda el agua resultante de la fusión de hielo, nieve y “firn” contribuyó a la formación de flujo de lodo sino que parte de ella, aproximadamente 50%, tuvo los siguientes destinos:

- Quedó incluida en avalanchas de nieve, sedimentos con nieve medio fundida y lodo que fluyó por fuera de los canales de los “lahares” o se incorporó a los depósitos húmedos de las oleadas (“surges”) piroclásticas;
- Fue incorporada en los productos de la explosión freática;
- Fue sublimada como vapor durante el paso de los flujos piroclásticos;
- Se almacenó en cavidades dentro del hielo.

Los flujos de lodo pueden aumentar de tamaño y características a medida que avanzan ladera abajo llevando consigo nieve, hielo, agua, lodo y rocas que encuentra a su paso. Las paredes de los valles son socavadas y los materiales aluviales de los ríos y cañadas pueden ser incorporados al flujo.

El cantón Ambato se encuentra rodeado por los volcanes Chimborazo, Quilotoa Tungurahua (activo en la actualidad) y el Cotopaxi. El Cotopaxi está ubicado a

una distancia aproximada de 75 km al noreste, el Quilotoa en el límite norte del Cantón, el Chimborazo en el límite suroeste y el Tungurahua a 39 km al sureste del Cantón.

Los peligros volcánicos del Quilotoa serían más evidentes hacia el cantón Salcedo, por tanto, no afectan al cantón Ambato localizado al sur de éste.

En el caso de una erupción, los flujos de lodo del Cotopaxi transitarían por el Río Cutuchi y los del Chimborazo transitan por los ríos Colorado y Blanco afluentes del río Ambato y por el río Pachanlica. Los flujos piroclásticos, flujos de lava y lahares del Chimborazo cubren un radio aproximado de 11 km alrededor del cráter.

La ceniza de las erupciones del Tungurahua podría cubrir la mayor parte del cantón Ambato (aproximadamente el 80% del área) y la ceniza del Chimborazo cubriría la mitad del mismo.

A continuación se detalla la actividad volcánica del Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua:

- **Volcán Cotopaxi**

El Cotopaxi es un enorme estratovolcán ubicado en la cordillera Real de los Andes. Durante su historia ha producido dos tipos de erupciones: las andesíticas (erupciones moderadas ocurridas durante los tiempos históricos) y las riolíticas (erupciones prehistóricas de gran extensión y magnitud). Por esto se dice que es volcán de carácter bimodal. El edificio volcánico del Cotopaxi ocupa en su base un área de 16 por 19 km y alcanza una altura de 5897 msnm. Desde aproximadamente los 5000 msnm, el volcán esta cubierto por un importante casquete polar cuya área total esta medida en 14 km² (B. Cáceres, INAMHI, Comm. Pers., 2004). Por debajo de los msnm el cono está cubierto por enormes áreas de ceniza, arena y bloques.

Desde 1532, el Cotopaxi ha presentado unas 14 erupciones importantes, debiendo destacarse las 1742, 1744, 1768 y 1867, durante las cuales se generaron caídas de ceniza de pómez y escoria, flujos de lava, flujos piroclásticos y flujos de escombros y lodo (lahares). Estas erupciones afectaron severamente las áreas aledañas al volcán causando importantes daños a la propiedad, pérdidas de vidas humanas y de animales, así como crisis económicas nacionales.

Uno de los mayores peligros relacionados con la reactivación del volcán Cotopaxi es la formación de grandes y destructivos lahares. Los lahares de mayor alcance estarían generados por flujos piroclásticos o flujos de lava que provoquen la fusión súbita de importantes sectores del casquete glaciar del volcán. Los lahares, podrían alcanzar grandes volúmenes y cubrir extensas áreas (Mothes, 1992; Mothes et. Al., 1998), afectando importantes obras de infraestructura y zonas densamente pobladas ubicadas a decenas de kilómetros aguas abajo del volcán, como es el caso de las ciudades de Latacunga y Salcedo.

Los flujos piroclásticos de las erupciones andesíticas generalmente han recorrido distancias cortas (< 15 km) desde el cráter del Cotopaxi, por lo que representa un peligro solamente moderado, dado que las cercanías del volcán son poca pobladas. En cambio los flujos piroclásticos de las erupciones riolíticas han llegado hasta Lasso, al sureste del cono, por el cauce del río Cutuchi.

Por otra parte, las caídas de ceniza relacionadas con las erupciones andesíticas del Cotopaxi, tanto históricas como prehistóricas, han afectado principalmente los sectores ubicados al suroeste, oeste y noroeste, dejando importantes acumulaciones de cenizas finas, arena, escoria y piedra pómez. Las caídas de cenizas relacionadas con erupciones riolíticas del Cotopaxi siempre tuvieron un alcance mayor; por ejemplo, dichas erupciones dejaron importante

depósitos de cenizas riolíticas en la zona de Quito, Sigchos y en el callejón Interandino.

En los últimos 15 años se han realizado estudios detallados de cartografía geológica, estratigrafía, análisis químico de las rocas y dataciones de radio carbono en los depósitos del Cotopaxi, con lo cual se ha podido identificar y establecer claramente el carácter eruptivo bimodal de volcán (Hall y Mothes, 1992; Hall et al., 2000). Desde hace varias decenas de siglos el volcán Cotopaxi se encuentra en una fase de erupciones andesíticas; así, es muy probable que su actividad futura sea de magnitud moderada (VEI 3) o grande (VEI 4-5, VEI: índice de Explosividad Volcánica). Estas erupciones podrían ser muy destructivas, dada la densidad de la población asentada en las zonas de peligro, particularmente a lo largo de los ríos por donde fluirían los lahares y en los sectores donde se daría la mayor acumulación de ceniza. Durante los últimos 2000 años, el Cotopaxi se ha caracterizado por los estilos eruptivos que se describen a continuación:

Erupciones leves (VEI 1-2), de tipo "estomboliano", cuyas columnas de ceniza ascendieron unos pocos kilómetros sobre el nivel del cráter, son fuentes de lava sostenidas a semi-sostenidas, expulsaron bloques y proyectiles basálticos, y generaron nubes de ceniza pequeñas. Otras, de tipo "vulcanianas", son más fuertes, las columnas de ceniza pudieron llegar hasta 2-6 km por encima del cráter.

En los dos casos, los volúmenes de magma expulsados deben haber sido pequeños, existiendo la posibilidad de la formación de pequeños lahares por un limitado descongelamiento del glaciar.

Erupciones de magnitud moderada (VEI 3) a grande (VEI 4-5), de las cuales, un gran volumen (0.1- 1.0 km) de magma fue expulsado en forma de flujos piroclásticos, enormes nubes de ceniza y eventualmente flujos de lava. Flujos piroclásticos se produjeron mayormente por procesos de

"desbordamiento" del magma desde el cráter (caso de la erupción del 26 de Junio de 1877, reportado por Wolf en 1878), o por el colapso de la columna eruptiva.

En ambos casos, los flujos piroclásticos se desplazaron por los flancos del volcán, fundiendo varios metros de espesor de la superficie del volcán y generando grandes lahares. Estas erupciones estuvieron acompañadas por caídas regionales de escoria o pómez gruesa, con acumulaciones de hasta varios centímetros de espesor, particularmente en las cercanías del cono donde las acumulaciones alcanzaron más de 1 metro de espesor.

Erupciones que resultan en la emisión de un flujo de lava (erupción 1853-54) y caída de ceniza limitada. En este caso se trató de un magma mayormente desgasificado, por lo tanto, menos explosivo. En futuras erupciones la ubicación del centro de emisión del magma (en el cráter o de una grieta en los flancos) determinará la formación de glaciares por fusión parcial del glaciar.

- **Volcán Chimborazo**

El volcán Chimborazo (6.310 m), localizado en la Cordillera Occidental, es el volcán más alto del Ecuador. Es un estratovolcán antiguo, entre cuyas cumbres está situado el cráter correspondiente a su actividad más reciente. Se encuentra cubierto por enormes glaciares que descienden por los flancos, ocupando un área de 20 km², cuyo volumen de hielo se estima en 2 km³.

El Chimborazo no registra actividad histórica y sus últimas erupciones habrían ocurrido hace unos 7000 años, por tanto, no se espera una reactivación volcánica en un futuro próximo. Sin embargo, dado el gran volumen de hielo existente y lo escarpado de sus flancos, presenta grandes peligros potenciales no solamente por una posible reactivación volcánica, sino por la inestabilidad de sus flancos. A continuación se describen los diferentes fenómenos volcánicos que podrían afectar al cantón Ambato:

Flujos Piroclásticos

En base a estudios detallados de erupciones del Chimborazo, se conoce que los flujos piroclásticos no son comunes y que en la mayoría de los casos se han restringido al pie del volcán. La zona de máximo peligro de flujos piroclásticos se determinó combinando los límites de los depósitos, aplicando el concepto de la línea de energía, asumiendo que su origen sería por colapso de la columna eruptiva a los 500 m sobre la cumbre y una línea de energía de 15°. Para la zona de menor peligro, el colapso de la columna ocurriría a los 1000 m y una línea de energía de 15°; pero, la posibilidad de que se produzca una erupción de esta magnitud es remota.

El riesgo de flujos piroclásticos es bajo, debido a que las zonas potencialmente afectadas son poco pobladas y no existe obras de infraestructura importantes. Sin embargo, se podrían generar flujos de lodo, al fundirse el hielo y la nieve. Los flujos piroclásticos al entrar en los ríos que podrían causar la muerte y destrucción, especialmente aquellas que alimentan el río Ambato.

Flujos de Lava

En el pasado reciente, los flujos de lava han sido uno de los fenómenos más comunes del volcán Chimborazo. Estos han sido de composición andesítica y emitidos desde el cráter occidental y las fisuras localizadas del flanco oriental desde donde han descendido alcanzando el pie del cono. En la zona de mayor peligro, la densidad de población es muy baja y las obras de infraestructura son mínimas.

Flujos de Lodo (Lañares)

Debido al gran volumen de hielo y nieve existentes en el volcán Chimborazo, los lahares e inundaciones son los peligros naturales más importantes que

podría presentar el volcán, que se deslizarían por los ríos que se originan en sus flancos.

Caídas de Piroclastos

Los límites de las zonas que podría ser afectar estos eventos, están basados en la distribución espacial de los depósitos de caídas en el volcán Chimborazo y en otros volcanes del Ecuador, así como en datos de direcciones y velocidades del viento.

- **Volcán Tungurahua**

Durante su historia reciente, el volcán Tungurahua ha evidenciado un largo proceso de construcción de su edificio volcánico, que se ha caracterizado por la alternancia de flujos de lava y productos piroclásticos (depósitos de flujos piroclásticos y de las caídas de ceniza), y períodos cortos de destrucción por erupciones explosivas mayores.

Hace 3000 años, un cono anterior del edificio actual fue destruido en gran parte por una de éstas erupciones, dando resultado del gran deslizamiento de la parte occidental del cono antiguo. Los depósitos de esta enorme avalancha (alrededor de 8 km³) rellenaron los valles de los ríos Chambo al sur y Patate al norte, afectando las localidades actuales de Penipe y Patate, a distancias de 15-20 km de la cumbre del volcán. Desde entonces, un volumen de productos que representa el 50% del volumen del material llevado por dicha avalancha ha sido emitido por el volcán, dando al Tungurahua su forma y altura actual.

Durante las erupciones, que tienen una recurrencia de 80 a 100 años, el volcán alterna tres estilos de actividad:

- Eventos explosivos en la parte superior del volcán provocarían la caída de bloques y bombas cerca del cráter, y, ceniza en los alrededores, como la

actividad eruptiva de octubre-noviembre de 1999.

- Eventos explosivos mayores con producción de flujos piroclásticos estarían acompañados por importantes caídas de ceniza y pómez sobre la región, como las registradas en 1773, 1886 y 1916-1918.
- La emisión de flujos de lava como los de 1773 y 1886.

Adicionalmente, las erupciones producen flujos de lodo y escombros (lahares), cuya frecuencia y volumen son proporcionales a la cantidad de ceniza e intensidad de las lluvias.

La información cartográfica de los Peligros volcánicos del área del cantón Ambato proviene de los mapas temáticos realizados y publicados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

- **Flujos de Piroclásticos, Flujos de Lava y Lahares del Volcán Chimborazo**

- **Zona de Mayor Peligro**

Esta es la zona de máximo peligro y se presenta con un color rojo. Durante una erupción grande, el área aquí representada podría ser devastada por flujos calientes y rápidos y/o flujos de lodo que también se propagan a grandes velocidades; además será afectada por la caída de rocas, ceniza y polvo. Las probabilidades de supervivencia son muy bajas siendo necesaria la evacuación de todas las personas de esta zona antes de la erupción.

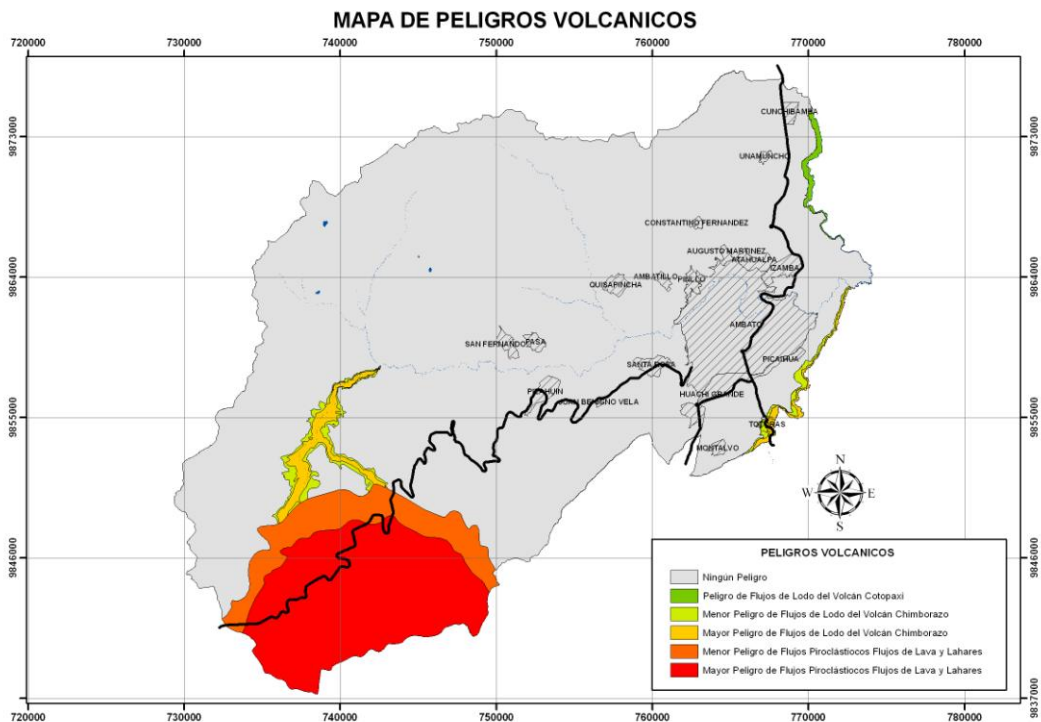
- **Zona de Menor Peligro**

Esta zona podría ser afectada por nubes de ceniza del flujo piroclástico, pero si ocurriera una erupción de mayor, podría ser devastada por flujos

volcánicos calientes y rápidos y/o lañares. Se podría permanecer dentro de esta zona, siempre y cuando se mantenga vigilante y abandone inmediatamente la zona si una erupción mayor es inminente.

- **Flujos de Lodo**

Si ocurre una erupción, lahares peligrosos podrían bajar por estos valles y extenderse hasta grandes distancias del volcán. Las personas que viven y trabajan en estas áreas deben mantenerse vigilantes y estar de guardia de día y de noche. Durante una crisis volcánica, se debe evitar los fondos de los valles hacia zonas altas. Es importante instalar un sistema de alarma para avisar a los moradores aguas abajo en caso de existir un peligro inminente. En la zona de mayor peligro, están representadas las áreas que serían afectadas por lahares en el caso de una erupción grande.



MAPA 5: Mapa de Peligros Volcánicos que afectarían al cantón Ambato

- **Caída de Piroclastos**

Si ocurre una erupción, las zonas indicadas podrán ser afectadas por caídas de

rocas, ceniza y/o polvo, conocidos como piroclastos.

- **Zona de Mayor Peligro**

En esta zona, los espesores de ceniza son mayores a 25 cm y esta podría causar el colapso de los techos de las casas.

- **Zona de Peligro Intermedio**

En esta zona los espesores de ceniza son de 15 a 25 cm.

6.4.3 REMOCIONES EN MASA O INESTABILIDAD DE TERRENOS

Las remociones en masa son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb-1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Los fenómenos de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de ‘movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores’ (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991).

Existen numerosas clasificaciones para los distintos tipos de eventos de remoción en masa, las cuales han sido proporcionadas, entre otros, por Varnes (1978).

- **DESPRENDIMIENTOS O CAÍDOS**

En este tipo una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando.

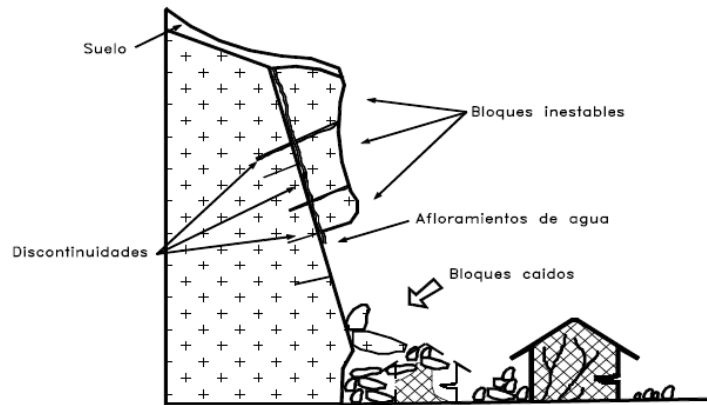


GRAFICO 2: Caídos de bloques por gravedad en roca fracturada.

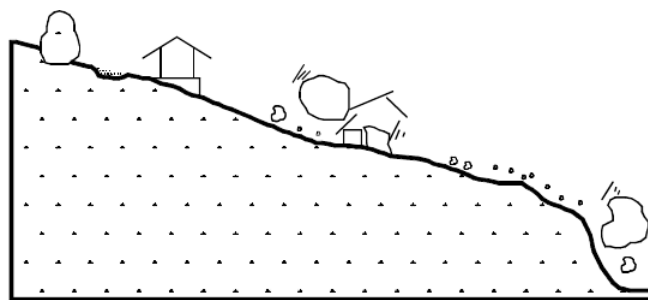


GRAFICO 3: Caídos de bloques rodando.

El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido y puede o no, ser precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material.

La observación muestra que los movimientos tienden a comportarse como caídos de caída libre cuando la pendiente superficial es de más de 75 grados. En taludes de ángulo menor generalmente, los materiales rebotan y en los taludes de menos de 45 grados los materiales tienden a rodar.

Los “caídos de roca” corresponden a bloques de roca relativamente sana, los caídos de residuos o detritos están compuestos por fragmentos de materiales

pétreos y los caídos de tierra corresponden a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas.

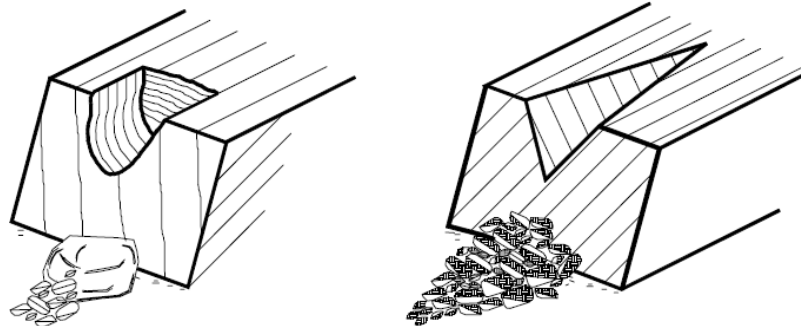


GRAFICO 4: Esquema de caídos de Roca y Residuos.

El material caído, una vez desparramado por la ladera, no suele experimentar nuevos movimientos. Cuando las caídas son frecuentes, los bloques se acumulan al pie de los escarpes rocosos formando pedregales que ocasionalmente experimentan roturas y originan corrientes de derrubios. El área fuente de desprendimientos es de difícil acceso. Por este motivo, aunque es posible la sujeción de los bloques en origen, el tratamiento suele consistir en la interposición de obstáculos en el recorrido (pantallas dinámicas, zanjas). En ocasiones, los desprendimientos rocosos son fenómenos precursores de roturas de ladera de grandes proporciones.

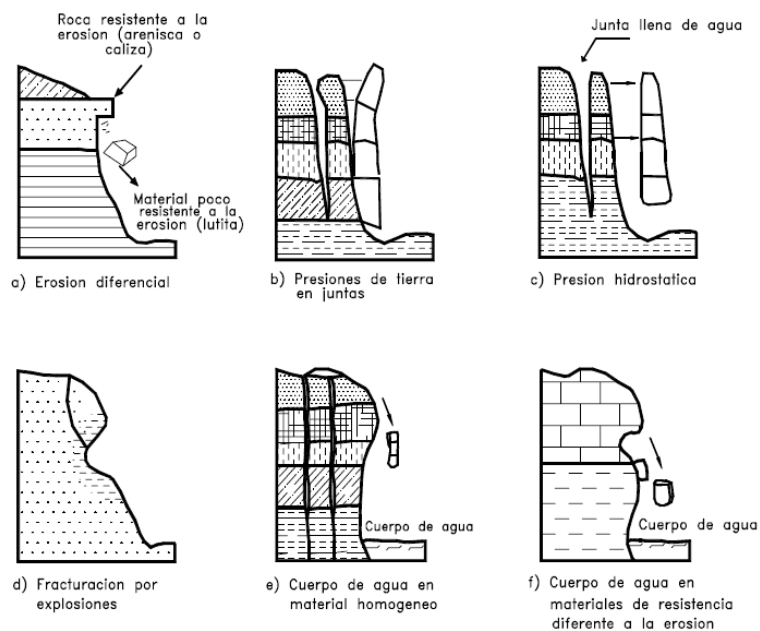


GRAFICO 5: Algunos mecanismos de fallas de caídos.

DESLIZAMIENTOS

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

Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.

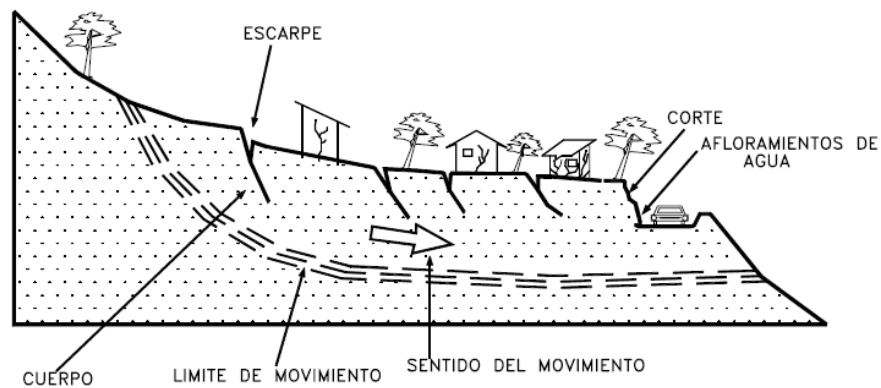


GRAFICO 6: Deslizamientos en suelos blandos.

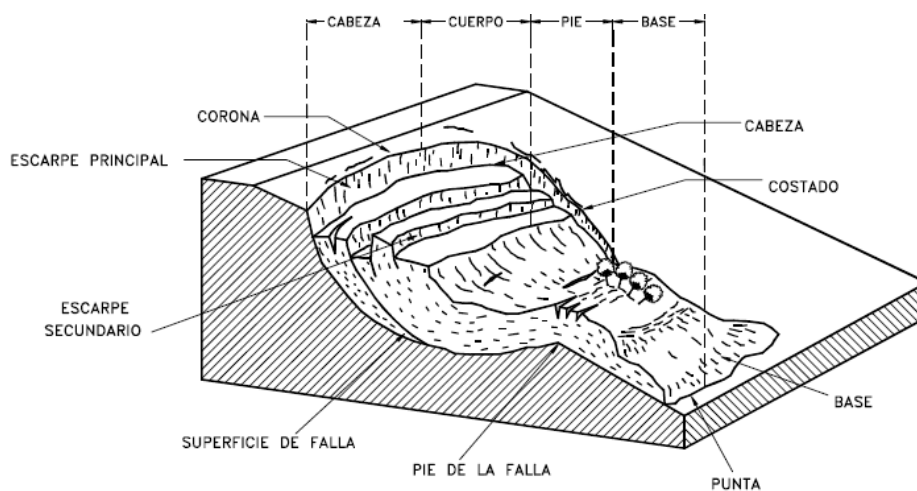


GRAFICO 7: Nomenclatura de un deslizamiento.

Escarpe principal.- Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

Escarpe secundario.- Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

Cabeza.- Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Cima.- El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Corona.- El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

Superficie de falla.- Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

Pie de la superficie de falla.- La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

Base.- El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

Punta o uña.- El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

Costado o flanco.- Un lado (perfil lateral) del movimiento.

Superficie original del terreno.- La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

Derecha e izquierda.- Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

Los deslizamientos se pueden a su vez dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales o planares.

La distinción entre deslizamientos rotacionales y traslacionales es importante en lo que se refiere a los análisis de estabilidad y el diseño de medidas de control y estabilización. Este tipo de movimientos es el que dispone de métodos de análisis y modelización más desarrollados.

Deslizamiento Rotacional

En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento.

En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos.

El movimiento aunque es curvilíneo no es necesariamente circular, lo cual es común en materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad.

En la cabeza del movimiento, el desplazamiento es aparentemente semi-vertical y tiene muy poca rotación, sin embargo se puede observar que generalmente, la superficie original del terreno gira en dirección de la corona del talud, aunque otros bloques giren en la dirección opuesta.

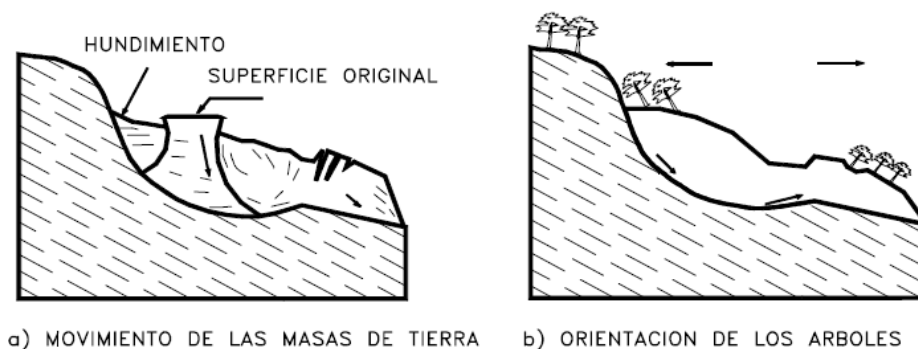


GRAFICO 8: Deslizamiento rotacional típico.

Frecuentemente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación. El efecto de estas discontinuidades debe tenerse muy en cuenta en el momento que se haga el análisis de estabilidad.

Los deslizamientos estrictamente rotacionales ocurren usualmente, en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y por su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiados.

En zonas tropicales este tipo de suelos no es común y cuando existe rotación, la superficie de falla es usualmente curva pero no circular; Sin embargo, en zonas de meteorización muy profunda y en rellenos de altura significativa algunas superficies de falla pueden asimilarse a círculos.

Dentro del deslizamiento comúnmente, ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente ocurren varios deslizamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de deslizamientos rotacionales independientes.

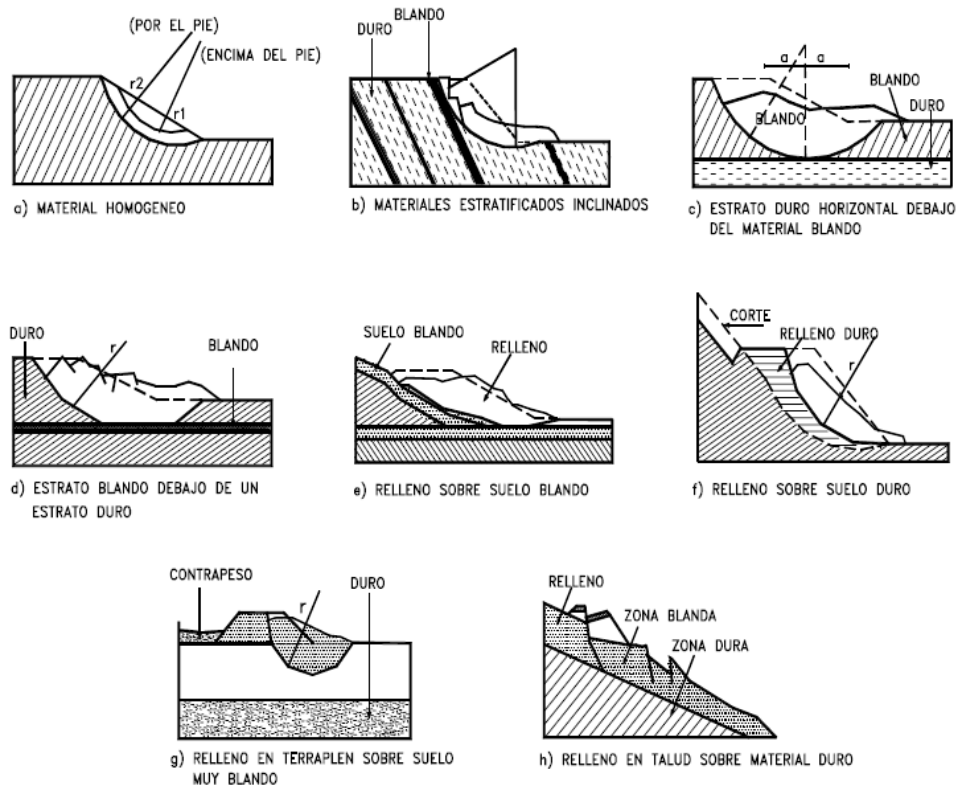


GRAFICO 9: Efectos de la estructura en la formación de deslizamientos a rotación.

Deslizamiento de Traslación

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización.

Sin embargo, un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo.

Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo.

Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos de bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como deslizamiento de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar falla en escalera.

- **VOLCAMIENTOS**

Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. La fuerza desestabilizadora es la gravedad así como el empuje ejercido por el terreno adyacente o los fluidos (agua o hielo) en las grietas. Dentro del mecanismo de vuelco pueden distinguirse dos procesos:

Vuelco por flexión.- Tiene lugar en rocas con un sistema preferente de discontinuidades, formando vigas semicontinúas en voladizo. Las columnas continuas cuando se doblan hacia delante, rompen por flexión. Este tipo de movimiento es característico en esquistos, filitas, pizarras y en secuencias rítmicas finamente estratificadas.

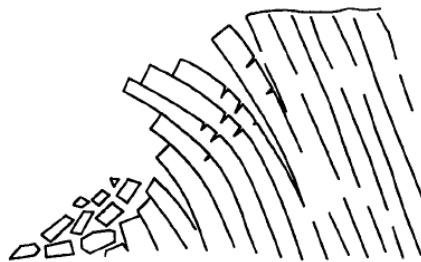


GRAFICO 10: Vuelco por flexión.

Desplome.- La parte movida cae con un movimiento brusco de giro, al menos inicial, apoyado en su base externa. Estos movimientos se producen en bordes acantilados rocosos o de materiales areno-arcillosos compactados. Si la ladera es empinada, las roturas por vuelco pueden transformarse en caídas.

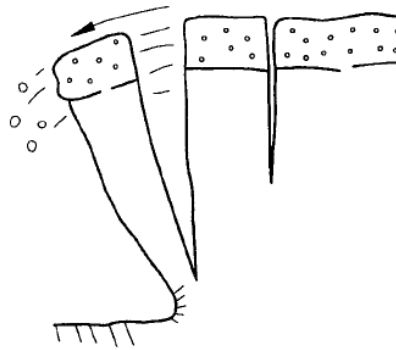


GRAFICO 11: Vuelco por desplome.

En formaciones detríticas (terrazas aluviales) y en rocas blandas (arcillitas y limolitas) los desplomes suelen darse en taludes empinados que han sufrido excavaciones rápidas (por ejemplo, en las márgenes cóncavas de los meandros) a favor de grietas de tracción que se desarrollan paralelamente al acantilado. La generación de un mecanismo de vuelco en macizos rocosos es poco frecuente en la naturaleza. Su desarrollo está asociado sobre todo a excavaciones artificiales y en este caso, su ocurrencia suele indicar la presencia sistemática de discontinuidades adversamente orientadas que requieren su estabilización mediante anclaje. La progresión del vuelco hacia la parte alta de la ladera podría conducir a la rotura generalizada de la misma.

El desarrollo de un vuelco a gran escala en la ladera puede comportar cambios significativos en la permeabilidad del macizo rocoso tanto en el espacio como en el tiempo. La abertura de grietas puede facilitar el drenaje del macizo y ayudar a la auto estabilización.

- **FLUJOS**

En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra.

Los flujos muy lentos o extremadamente lentos pueden asimilarse en ocasiones, a los fenómenos de reptación y la diferencia consiste en que en los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación la velocidad del movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura.

La ocurrencia de flujos está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un flujo.

Algunos flujos pueden resultar de la alteración de suelos muy sensitivos tales como sedimentos no consolidados.

Recientemente se han realizado estudios para cuantificar el nivel de lluvias que se requieren para producir flujos y es frecuente la ocurrencia de los flujos simultáneamente en sitios diferentes, dentro de una misma formación en el momento de una determinada lluvia de gran intensidad o de un evento sísmico.

Reptación.- La reptación es un movimiento extremadamente lento que es imperceptible excepto para largos períodos de tiempo. No muestra superficies de cizalla definidas. El término reptación se ha utilizado en diversos sentidos en estudios sobre la estabilidad de las laderas, como por ejemplo: (1) desplazamiento estacional de partículas aisladas o delgadas capas de suelo por efecto de la gravedad con la ayuda de ciclos de hielo-deshielo o humectación-deseccación. Al helarse el suelo se expande para contraerse durante la fase de deshielo generando el desplazamiento neto de las partículas según la pendiente de la ladera. Los

movimientos disminuyen progresivamente con la profundidad; (2) desplazamiento muy lentos pero continuos a gran profundidad. Está relacionado con el concepto ingenieril de fluencia, que ocurre esencialmente a tensión constante por debajo de la resistencia límite del material involucrado. Zischinsky (1966) considera que la reptación por fluencia es un mecanismo importante en la deformación de laderas de alta montaña; (3) desplazamientos, inicialmente muy lentos, que se aceleran progresivamente y que preceden a la rotura de la ladera. Este tipo de reptación ha sido incluido dentro del grupo de deformaciones previas a la rotura.

Unas formas atribuidas a los fenómenos de reptación son las *terracillas* que aparecen en las vertientes de alta montaña en ambientes periglaciares. La velocidad de desplazamiento del suelo es lo suficientemente lenta para que la vegetación de los prados alpinos resista y crezca al mismo tiempo que el avance de las partículas, dando lugar a guirnaldas herbáceas paralelas a las curvas de nivel.

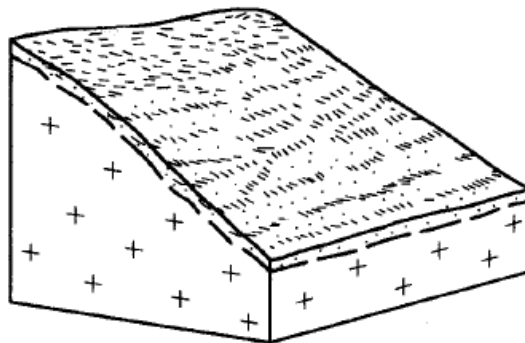


GRAFICO 12: Movimiento de flujo por reptación.

Coladas de tierra.- Es la deformación plástica, lenta y no necesariamente muy húmeda, e tierra o rocas blandas (flysch, pizarras, filitas), en laderas de inclinación moderada. Cuando predominan los materiales cohesivos con un elevado contenido de limos y arcillas, se les denomina coladas de barro (mudflows) (Corominas y Alonso, 1984; Ayala et al. 1987). En este caso, adoptan una forma elongada, lobulada en el pie (lengua), formando un volumen positivo sobre la superficie original del terreno. El estiramiento del material y el correspondiente cambio de forma caracterizan el movimiento como un flujo.

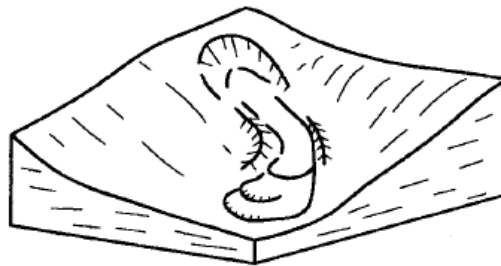


GRAFICO 13: Movimiento de flujo colada de tierra.

En numerosas ocasiones se ha observado que las coladas de tierra y de barro tienen su inicio al pie de deslizamientos. Algunos autores han observado que algunas formas de coladas de barro progresan principalmente por deslizamiento sobre superficies de cizalla con moderada deformación interna (Hutchinson, 1988), en este caso se denominan deslizamiento de tierras.

Solifluxión.- Término utilizado a menudo para describir deformaciones de pequeñas dimensiones en suelos cohesivos y de poco espesor, que dan lugar a formas lobuladas. Contienen superficies de cizalla de poca extensión. La solifluxión abunda en ambientes periglaciares donde la fusión estacional del hielo en el terreno provoca el aumento de las presiones de agua en los poros, dando lugar al movimiento del material superficial, limitado en profundidad por la capa activa (Ferrer, 1988). Puede ser considerada como una colada de tierras de pequeñas dimensiones.

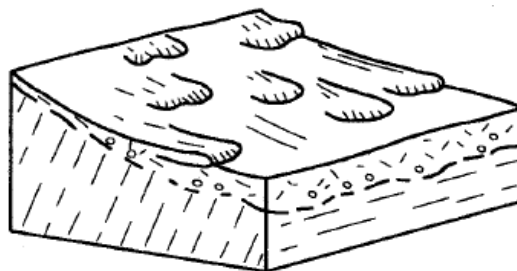


GRAFICO 14: Movimiento de flujo por Solifluxión.

Corriente de Derrubios.- Son movimientos rápidos de material detrítico en el que predomina la fracción gruesa, es decir, arenas, gravas y bloques. El contenido de

agua es elevado y la fracción sólida puede llegar a constituir el 80% en peso de la masa en movimiento. La corriente puede bajar tanto por laderas abiertas como canalizada por vaguadas u hondonadas del terreno dando lugar a morfologías diferentes.



GRAFICO 15: Movimiento de flujo por Corriente de Derrubios.

Debido a la baja de cohesión de sus componentes, se desparrama en la parte inferior de las laderas sin generar un depósito de forma específica, pero cuando se canaliza por barrancos suelen dar lugar a conos de deyección.

Golpes de arena y limo.- Movilización brusca de estos materiales, a veces en estado seco. Normalmente se producen por colapso estructural por efecto de una sacudida sísmica o al iniciarse la rotura del suelo por deslizamiento.

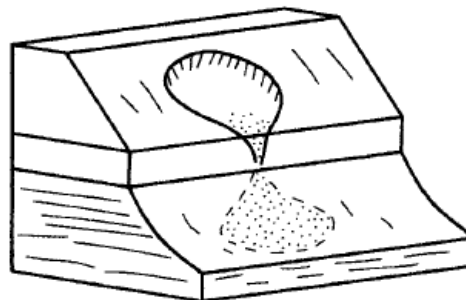


GRAFICO 16: Movimiento de flujo por golpes de arena y limo.

Avalanchas.- Movilización de grandes masas de tierra, fragmentos de rocas o derrubios a gran velocidad, en ocasiones, superiores a los 50 m/s. El término avalancha no implica necesariamente un mecanismo distinto al de los previamente definidos en otros flujos como las corrientes de derrubios. De todos modos su

gran velocidad ha sugerido la existencia de otros mecanismos como el flujo granular turbulento, el desplazamiento sobre colchones de aire o la transferencia de momentos entre las partículas en movimiento. Igual que ocurre con los desprendimientos, el relieve es el que condiciona que la rotura de grandes volúmenes de roca o suelos derive hacia una avalancha o se mantenga como un deslizamiento o una corriente. En las avalanchas de derrubios, por el contenido de agua o por efecto de la pendiente, el conjunto puede licuefacer, al menos parcialmente, fluir y precipitarse hacia abajo, a menudo a través de una vaguada, alcanzando grandes distancias, a veces, decenas de kilómetros.

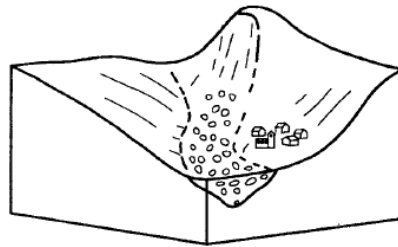


GRAFICO 17: Movimiento de flujo por Avalanchas.

- **EXTENSIONES LATERALES**

En las extensiones laterales el modo de movimiento dominante es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión. El mecanismo de falla puede incluir elementos no solo de rotación y translación sino también de flujo. Generalmente, los movimientos son complejos y difíciles de caracterizar.

El movimiento es por lo general extremadamente lento. Las extensiones laterales pueden ocurrir en masas de roca sobre suelos plásticos y también se forman en suelos finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remodelarse.

La falla es generalmente progresiva, o sea, que se inicia en un área local y se extiende.

Los esparcimientos laterales son muy comunes en sedimentos glaciales y marinos pero no los son en zonas de suelos tropicales residuales. Se deben distinguir dos tipos así:

- ✓ *Movimientos distribuidos en una extensión pero sin una superficie basal bien definida de corte o de flujo plástico.* Esto ocurre predominantemente en rocas, especialmente en las crestas de serranías. La mecánica de este movimiento no es bien conocida.
- *Movimientos que envuelven fracturas y extensión de roca o suelo, debido a licuación o flujo plástico del material subyacente.* Las capas superiores pueden hundirse, trasladarse, rotarse, desintegrarse o pueden licuarse y fluir.

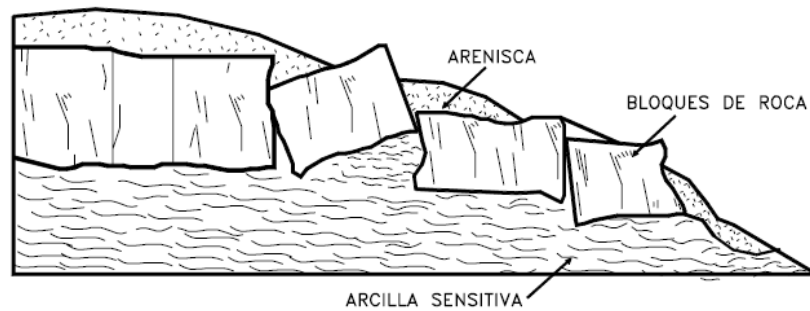


GRAFICO 18: Esquema de una extensión lateral.

• MOVIMIENTOS COMPLEJOS

Con mucha frecuencia los movimientos de un talud incluyen una combinación de dos o más de los principales tipos de desplazamiento descritos anteriormente, este tipo de movimientos se les denomina como “Complejo”. Adicionalmente, un tipo de proceso activo puede convertirse en otro a medida que progresa el fenómeno de desintegración; es así como una inclinación puede terminar en caída o un deslizamiento en flujo.

Estas clasificaciones consideran diversos factores, como por ejemplo, los tipos de materiales involucrados (suelo o roca), el mecanismo de ruptura, el grado de

saturación que alcanza. Estos factores, junto con las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del entorno, condicionan la potencial generación de remociones en masa, así como las velocidades de desplazamiento y el volumen de material desplazado. Son frecuentes además, los procesos combinados, como por ejemplo deslizamientos que derivan en flujos.

Si bien es cierto que existe una serie de factores condicionantes para el desarrollo de los eventos que deben ser identificados y estudiados, es asimismo de crucial importancia identificar el factor que se encarga de desencadenarlo. Entre los principales factores desencadenantes de estos fenómenos se encuentran los sismos, responsables principalmente de deslizamientos y caídas, las erupciones volcánicas y lluvias intensas, que generan en su mayoría flujos y deslizamientos.

Para el análisis y zonificación de la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa se aplica un modelo paramétrico con los siguientes factores: litología y estructura geológica, pendientes, cobertura vegetal, y humedad del suelo.

6.4.3.1 FACTORES CONDICIONANTES

Existen ciertos factores que serán condicionantes para la generación de los diferentes tipos de remoción en masa. Los factores condicionantes corresponden a aquéllos que generan una situación potencialmente inestable. Estos corresponden principalmente a la litología, pendientes, cobertura del suelo y humedad del suelo, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa, donde la susceptibilidad se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado.

Cada uno de los distintos procesos de remoción en masa tiene génesis y comportamientos distintos, por lo cual cada uno podrá ser influenciado por diversos factores de maneras y grados diferentes.

6.4.3.1.1 LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA GEOLÓGICA

Cada formación geológica posee una susceptibilidad específica a los deslizamientos y los mapas de inventario de deslizamientos presentan densidades de número o tamaño de los movimientos que son característicos de determinadas áreas dentro de cada formación geológica.

Tipo de material	Formación	Características	Detalles prioritarios
Roca	Ignea Metamórfica	Rocas formadas por cristales de minerales	Estructura geológica. Fracturas.
	Sedimentaria (debe definirse el tipo de roca en la forma más detallada posible).	Rocas formadas por granos cementados, depositados en capas.	Planos de estratificación.
Roca meteorizada (saprolito)	Ignea Metamórfica Sedimentaria	Permanecen algunos rasgos de la roca pero ésta se encuentra descompuesta, en las discontinuidades.	Estructura geológica Discontinuidades Estado de meteorización.
Suelo	Residual	Roca meteorizada en la cual ya no aparecen las características físicas de la roca.	Estructura geológica. Discontinuidades. Propiedades fisicoquímicas.
	Aluvial. Coluvial. Glacial Loess	Grupos de partículas o bloques de suelo o roca.	Propiedades físicas.
Materiales heterogéneos	Roca, roca meteorizada, suelo.	Mezcla de diversos materiales en un mismo perfil.	Estructura geológica. Discontinuidades. Meteorización. Propiedades fisicoquímicas.

Cuadro 7: Clasificación general de ingeniería de los diversos materiales litológicos.

Cuando un talud está formado por varios tipos de roca, el comportamiento geotécnico del conjunto es diferente al de cada material por separado. Deben estudiarse las propiedades de cada tipo de roca, las características de sus discontinuidades y a su vez la interacción de las propiedades y discontinuidades dentro del conjunto.

Desde el punto de vista litológico los materiales se clasifican de acuerdo a su génesis o formación (Abramson, 1996) diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son: la roca y el suelo. Las rocas a su vez se clasifican de acuerdo a su origen así:

- **ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS**

Las rocas Ígneas intrusivas son el producto del enfriamiento del Magma, antes de aflorar este a la superficie. Las rocas ígneas forman el 98% del volumen de la corteza terrestre, aunque en superficie son más comunes las rocas sedimentarias y en menor proporción las ígneas y metamórficas.

Las rocas ígneas intrusivas poseen generalmente, una micro estructura desordenada e isotrópica con uniones muy fuertes entre los cristales, en su estado intacto.

Generalmente, son rocas muy duras y densas, y en su estado natural inalterado poseen una resistencia al cortante muy alta, sin embargo, al fracturarse y meteorizarse pueden ser blandas y débiles. El comportamiento de las rocas ígneas sanas o no meteorizadas en los taludes es controlado por su estructura, conformada por las juntas o diaclasas, fallas y zonas de corte, las cuales actúan como superficies de debilidad. Las principales rocas ígneas intrusivas son el Granito, la Diorita, la Dolerita, y el Gabro.

Granito.- El Granito es una roca ígnea ácida de grano grueso, compuesto principalmente por cuarzo, feldespatos y algo de mica con algunos otros componentes secundarios.

El granito se forma por la cristalización lenta del magma, debajo de las cadenas montañosas que se encuentran en proceso de elevación, ocasionado por los intensos movimientos de la corteza terrestre. Las grandes masas graníticas se llaman Batolitos.

Las inclusiones menores forman diques, generalmente, de textura fina. La Pelmatita es de composición similar al granito pero posee cristales mucho más gruesos.

El granito es muy importante como roca estructuralmente sana, dura y relativamente resistente a la descomposición.

Diorita.- La Diorita es una roca ígnea intermedia de grano grueso compuesta principalmente, de feldspatos, plagioclasa, así como hornblenda, que es un material ferromagnesiano de color verde. El contenido del cuarzo puede llegar hasta el 10%. La roca tiene un color que varía de blanco verdoso a verde, dependiendo del contenido de Hornblenda. La granodiorita es una roca intermedia entre el granito y la diorita y su textura es generalmente gruesa. La diorita se encuentra en masas más pequeñas que los granitos, y frecuentemente forma modificaciones locales a granodiorita, tonalita e inclusiones de granito.

Gabro.- El Gabro está compuesto esencialmente por plagioclasas y piroxeno y puede tener pequeñas cantidades de cuarzo, su color es un gris moteado. El tamaño de los cristales es mayor que el de la Dolerita.

Dolerita.- La Dolerita es una roca ígnea básica con alto contenido de magnesio, calcio o sodio en su composición química. Aproximadamente la mitad de la composición mineral, está constituida por los ferromagnesianos olivino, piroxeno y hornblenda. Su color varía de verde grisáceo a verde oscuro. El color más oscuro indica un mayor contenido de hierro. Al meteorizarse produce hidróxidos de hierro y arcilla color café.

Las Doleritas son rocas muy resistentes porque su estructura cristalina se compone de cristales de feldspato de forma tubular y orientada al azar, de modo que toda la masa se comporta como un elemento reforzado.

Las discontinuidades en las Doleritas tienen densidad y orientaciones regulares, a diferencia de los sistemas regulares de juntas que se observan en los granitos. Los planos de las diaclasas son irregulares y es difícil de

excavar en la roca porque se requieren generalmente, la utilización de explosivos.

- **ROCAS VOLCÁNICAS O ÍGNEAS EXTRUSIVAS**

Las rocas Volcánicas o Piroclásticas también conocidas como rocas Ígneas extrusivas son producto de la cristalización de los materiales expulsados por los volcanes. Las propiedades ingenieriles de las rocas volcánicas dependen del grado de solidificación y de acuerdo a ésta presentan una variedad de resistencias y permeabilidades. El principal problema de las rocas volcánicas es su fácil desintegración al secarse y humedecerse y la presencia de arcillas activas como la Montmorillonita como subproducto del proceso de meteorización.

Las principales rocas volcánicas son la riolita, la andesita y el basalto y las tobas. La microestructura es muy variada de acuerdo a su proceso de formación.

Riolita.- La Riolita es el componente exclusivo de grano fino, del magma granítico que escapó de la superficie a través de una erupción volcánica y presenta algunas características similares a un granito. La roca líquida pudo haber emergido formando una masa de Riolita que se enfrió y solidificó. Muestra un bandeamiento formado por el flujo viscoso de la lava durante la destrucción. Los megacristales de cuarzo o feldespatos le dan a las Riolitas diferencias de carácter y comportamiento.

Tobas.- Las Tobas volcánicas son rocas formadas por material suelto arrojado por un volcán en erupción. Son materiales muy porosos y ricos en vidrio. En ocasiones, las tobas presentan depósitos de materiales arcillosos, expansivos o arcillas inestables.

Andesita.- La Andesita es una roca de grano fino volcánica, que se le encuentra como flujo de lava y ocasionalmente, como pequeñas inclusiones. Generalmente, es de color marrón y es muy común en las

áreas volcánicas de Sur América. Los minerales constituyentes son esencialmente plagioclasa, hornblenda y biotita con muy poco cuarzo. Tiene básicamente la misma composición de la Diorita, pero tiene un grano más fino y puede contener algunos cristales de Plagioclasa de varios milímetros de largo.

Basalto.- El Basalto es una roca ígnea básica de grano fino, formada por la erupción volcánica que se cristaliza en forma muy rápida. El tamaño de los cristales es menor de 0.05 mm. y para observarlo se requiere microscopio (Figura 5.3). La composición mineral del basalto es aproximadamente mitad piroxeno y mitad plagioclasa, hasta con 5% de óxido de hierro.

El Basalto en las zonas volcánicas forma grandes depósitos. Por general, el color es negruzco o verde oscuro pero en ocasiones puede ser rojizo o marrón, debido a la oxidación de los minerales que se convierten en óxidos de hierro. El suelo formado por los Basaltos es muy rico en nutrientes como el potasio y el fósforo.

El Basalto sano es duro y difícil de excavar y se requiere el uso de explosivos. Es generalmente, un material excelente para construcción. Se puede esperar que durante las excavaciones se encuentren capas o lentes de Basalto meteorizado y pueden desprenderse grandes bloques. El Ingeniero debe estar preparado para manejar las zonas de debilidad que se encuentran debajo de la roca.

Acidez de las rocas ígneas.- La acidez es una de las características de las rocas ígneas que más afecta su comportamiento, especialmente por su efecto sobre la meteorización.

Las rocas ígneas ácidas son aquellas que poseen un alto contenido de cuarzo y las básicas son las que contienen poco o ningún cuarzo; este se meteoriza con mayor dificultad que los Feldespatos y forma suelos más

granulares. El contenido de cuarzo se reconoce como acidez.

La mayoría de las rocas ígneas en estado sano son muy competentes pero al meteorizarse forman suelos que pueden ser poco resistentes.

- **ROCAS METAMÓRFICAS**

Son el resultado del Metamorfismo o recristalización de rocas ígneas y sedimentarias.

En este proceso las rocas son sometidas a cambios texturales y mineralógicos, en tal forma que sus características originales son alteradas o completamente perdidas. Como consecuencia de esto, las rocas metamórficas exhiben un alto rango de características ingenieriles y comúnmente son muy útiles como materiales de construcción.

Las características de comportamiento de los taludes en rocas metamórficas sanas dependen de sus patrones de fracturación y bandeamiento (Microestructura textura y estructura). La foliación y la esquistosidad presente en algunas rocas metamórficas las hacen muy susceptibles a la meteorización. Las rocas metamórficas más comunes son la Cuarcita, el Neiss, el Esquisto, La Serpentina, la Pizarra, la Filita y el Mármol.

Neiss.- El Neiss es una roca bandeada o foliada, en la cual bandas de color claro, de cuarzos y feldespatos forman microestructuras paralelas con bandas de otros minerales como biotita y hornblenda y en algunos casos piroxeno. La biotita está generalmente, acompañada de moscovita.

El ortoneiss es una roca derivada del granito por metamorfismo regional y el paraneiss es derivado de sedimentos. Algunos ortoneisses tienen la composición de un granito o granodiorita. Los Neisses son más resistentes que los esquistos, aunque menos que los granitos.

Esquisto.- Los Esquistos son rocas metamórficas que se componen de cristales planos de micas, clorita verde, hornblenda, cuarzo. Los cristales son tubulares y se alinean, de tal manera que las rocas se rompen con facilidad en fragmentos planos. Esta roca es muy físil y se parte muy fácilmente. Las superficies de las fracturas son menos lisas que las pizarras. Los esquistos son materiales muy inestables en los taludes debido a su microestructura y a la facilidad con que se meteoriza.

Pizarra.- La Pizarra es una roca dura formada bajo la influencia de esfuerzos muy altos sobre sedimentos arcillosos. El proceso de cristalización forma minerales laminares tales como clorita y sericita y algunos granos de cuarzo. Algunas pizarras son derivadas de rocas volcánicas finas como las tobas. En ocasiones, la roca tiene muchos planos de clivaje, de tal manera que se forman láminas planas de roca que se utilizan como material de construcción. En ocasiones, estas capas o láminas son muy delgadas y físilas. La pizarra es una roca relativamente resistente a la meteorización pero se resquebraja muy fácilmente.

Filita.- La Filita es una roca similar a la pizarra pero posee cristales planos ovalados como hojas de árbol, que dan a los planos de clivaje una textura característica. Estos planos de clivaje están cruzados por fracturas que a menudo presentan un dibujo geométrico regular, ocasionando que la roca se rompa en forma romboédricas o rectangulares.

Chert.- El Chert es un precipitado orgánico e inorgánico de sílica. La sílica es principalmente cuarzo criptocristalino. El chert puede presentarse en forma de precipitación o nodular.

- **ROCAS SEDIMENTARIAS**

Las rocas Sedimentarias están formadas por la sedimentación y cementación de

partículas de arcilla, arena, grava o cantos. Sus características de estabilidad dependen generalmente, del tamaño de los granos, los planos de estratificación, las fracturas normales a la estratificación y el grado de cementación. Las rocas sedimentarias más comunes son el Conglomerado, Breccia, las Lutitas, Areniscas Limolitas, Calizas, Dolomitas, y Evaporitas.

Cuadro 8: Características de las rocas sedimentarias.

Roca	Componente	Características
Conglomerado	Partículas grandes redondeadas de roca y fragmentos de minerales.	Más del 50% de los granos mayores de 2 mm y menos del 25% de arcilla
Breccia	Partículas angulares de roca y fragmentos de minerales	Más del 50% de los granos mayores de 2 mm y menos del 25% de arcilla
Arenisca	Partículas redondeadas menores de roca	Más del 50% de los granos entre 2 y 0.06 mm y menos del 25% de arcilla.
Limolita	Partículas del tamaño de limos	Más del 50% de los granos menores de 0.06 mm y menos del 25% de arcilla
Arcillolita	Partículas de arcilla	Más del 50% de arcilla.
Lodolita	Rocas arcillosas con alto contenido de limos	Más del 50% de los limos.
Caliza	Granos de calcita	Más del 50% de calcita y menos del 25% de arcilla.

Conglomerado y Breccia.- El Conglomerado y la Breccia son dos variedades de roca sedimentarias de grano grueso. Se compone de guijarros de materiales resistentes cementados por otros materiales más finos. El nombre depende de la forma de los guijarros, si son redondeados se les llama conglomerados y si son angulosos se les denomina breccias o brechas. En algunos casos contienen material tanto redondeado como anguloso. La porosidad de estas rocas es muy alta y pueden conformar acuíferos importantes.

Los conglomerados son bastante estables y permiten cortes relativamente pendientes debido a su cementación y a que los materiales gruesos tienen un efecto de refuerzo sobre la masa de roca.

Areniscas.- Las areniscas son una forma de arena endurecida por procesos geológicos. El tamaño de los granos varía de 60µm. a varios mm. y están cementados por otros minerales, con frecuencia por el cuarzo precipitado.

Las Areniscas se clasifican de acuerdo al tamaño de sus granos como fina, media o gruesa y de acuerdo a la naturaleza de los materiales cementantes. Las areniscas aunque tienden a ser resistentes, en ocasiones son relativamente débiles cuando su cementación ha sido pobre.

El comportamiento de la arenisca meteorizada depende de la clase de cemento. Si es de calcita se disuelve con mayor facilidad que el de sílice. El cemento de óxido de hierro puede dar un color rojo a la roca y el dióxido de hierro un color marrón a amarillo.

Algunas areniscas son de color verde grisáceo, debido a cambios ligeros en la composición química. Las areniscas compuestas casi de puro cuarzo se denominan Cuarzitas.

Lutitas o Arcillolitas.- Las rocas que contienen cantidades importantes de arcilla se les denomina genéricamente como Lutitas, y a ellas pertenecen las Limolitas, Arcillolitas y Lodolitas.

Las Lutitas son uno de los materiales más complejo desde el punto de vista de estabilidad de taludes. De acuerdo con el grado de solidificación las Lutitas varían en su comportamiento. Las lutitas de grado bajo tienden a desintegrarse después de varios ciclos de secado y humedecimiento. Algunas Lutitas son muy resistentes pero la mayoría presentan una resistencia al cortante, de mediana a baja. Las Lutitas pueden ser arcillosas, limosas, arenosas o calcáreas de acuerdo a los tamaños y composición de las partículas. En ocasiones tienen una presencia de roca cementada y en otras el de un suelo con capas relativamente sueltas.

Las arcillolitas son las Lutitas con alto contenido de arcilla, lo cual las hace muy físciles y susceptibles a deslizamiento. Es muy común encontrar lodolitas negras con alto contenido de carbón de grano fino y sulfuro de

hierro, las cuales son muy fítiles y producen una gran cantidad de deslizamientos.

Calizas y Dolomitas.- La Caliza es una roca sedimentaria con más del 50% de carbonato de calcio. Esta roca es por lo general dura y compacta, pero se presentan problemas geotécnicos relacionados con la disolución del CaCO_3 .

Existe una variedad de rocas de la familia de la caliza dependiendo de las cantidades de carbonato de calcio, arena, limos, conchas de animales marinos y arcilla. Las calizas generalmente, son de color gris azulado pero las hay también blancas y de otras coloraciones. En las calizas se pueden formar grandes cavernas que actúan como conductos internos del agua subterránea, las cuales pueden conducir cantidades importantes de agua de un sitio a otro y facilitar la infiltración general.

La denudación de las rocas calizas ocasionada por la infiltración del agua de lluvia conforma una topografía kárstica. En una zona kárstica la mayoría de la precipitación pluvial se infiltra a través de fracturas y cavernas.

Las arcillolitas calcáreas o margas son arcillolitas cementadas con material calcáreo.

Las calizas en las cuales la calcita es reemplazada por dolomita, un producto con alto contenido de magnesio se les llaman dolomitas.

Evaporitas.- Las Evaporitas incluyen el yeso, la anhidrita y halita. Ellas, generalmente están asociadas con las arcillolitas, las limolitas y las calizas, formando capas de evaporitas.

- **SUELOS RESIDUALES**

La definición de “suelo residual” varía de un país a otro pero una definición razonable podría ser la de un suelo derivado por la meteorización y descomposición de la roca in situ, el cual no ha sido transportado de su localización original (Blight, 1997). Los términos residual y tropical se usan indistintamente pero en los últimos años se está utilizando con mayor frecuencia el término residual.

Los suelos residuales son el producto de la meteorización de las rocas y su comportamiento depende de las propiedades de la roca original y del grado de descomposición.

Las características de los suelos residuales son muy diferentes a las de los suelos transportados. Por ejemplo, el concepto convencional de grano de suelo o tamaño de partícula es inaplicable a muchos suelos residuales, debido a que las partículas de suelo residual con frecuencia consisten en agregados o cristales de mineral meteorizado que se rompen y se vuelven progresivamente finos, si el suelo es manipulado. Lo que parece en el sitio como una grava arenosa puede convertirse en un limo fino durante las actividades de excavación, mezclado y compactación.

Las propiedades de los suelos residuales son generalmente, controladas por la fábrica micro o macro, las juntas y demás detalles estructurales, los cuales eran parte integral de la masa de roca original y son heredados por el suelo.

La estabilidad de taludes es particularmente complicada en un medio tropical, debido a que la mayoría de los suelos son residuales, el régimen hidrológico complejo, la humedad ambiental y la temperatura muy altas, la geología compleja, la topografía escarpada y los demás factores ambientales generalmente, desfavorables.

Los suelos residuales se les encuentra predominantemente en las zonas tropicales, donde aparecen en grandes espesores y con frecuencia se les denomina como

“suelos tropicales” y son escasos en las regiones no tropicales.

La mayor parte de las teorías y desarrollos en la geotecnia han tenido su origen en trabajos realizados sobre suelos en climas no tropicales, generalmente, en depósitos de suelos sedimentarios especialmente, arenas y arcillas y por lo tanto están condicionados al comportamiento de ese tipo de suelos. La aplicabilidad de las teorías y los criterios de diseño geotécnico que existen actualmente, podría no ser completamente válida en el caso de suelos residuales, debido a diferencias importantes que existen en la constitución y estructura de los suelos y de las formaciones residuales, y las de los suelos que sirvieron de modelo para el desarrollo de la mecánica de suelos tradicional.

Esta diferencia es debida principalmente, al fenómeno de la meteorización que es extenso y profundo en la mayoría de las formaciones de suelos tropicales.

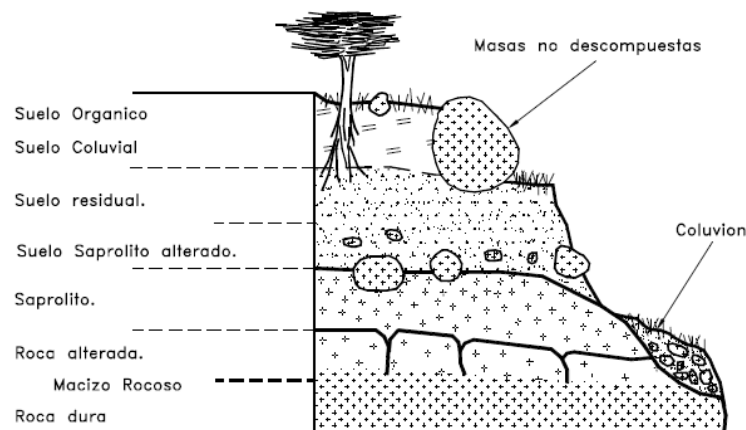


GRAFICO 19: Esquema general de una ladera en un suelo residual de granito.

Debido a la alta concentración de hierro, los suelos resultantes son de tendencia a coloración roja en el proceso más completo de meteorización y por esta razón algunos autores los denominan como “suelos rojos tropicales”.

Los suelos residuales son el producto de la meteorización en el sitio de las formaciones rocosas. También en algunas formaciones de suelos aluviales, estos han sido meteorizados en tal forma que pueden asimilarse en su comportamiento a

los suelos residuales. Adicionalmente, a los suelos residuales comúnmente se les encuentra acompañados por coluviones y un gran porcentaje de los movimientos de las laderas de suelos residuales están relacionados con la inestabilidad de los coluviones.

El resultado es un perfil compuesto por materiales muy heterogéneos que van desde la roca sana pasando por rocas meteorizadas o "Saprolitos", hasta el "suelo" o material completamente meteorizado (Brand y Phillipson -1985) y a coluviones.

Como características de los suelos residuales pueden mencionarse las siguientes (Brand, 1985):

- ✓ No pueden considerarse aislados del perfil de meteorización, del cual son solamente una parte componente. Para definir su comportamiento y la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos, pueden ser más importantes las características del perfil que las propiedades del material en sí.
- ✓ Son generalmente muy heterogéneos y difíciles de muestrear y ensayar.
- ✓ Comúnmente, se encuentran en estado húmedo no saturado, lo cual representa una dificultad para evaluar su resistencia al corte.
- ✓ Generalmente, poseen zonas de alta permeabilidad, lo que los hace muy susceptibles a cambios rápidos de humedad y saturación.

Los deslizamientos de tierra son muy comunes en suelos residuales, especialmente en los periodos de lluvias intensas.

• SUELOS ALUVIALES

Los suelos aluviales son depósitos transportados por el agua en movimiento y depositados cuando la velocidad del agua ha disminuido; estos materiales pueden ser de origen fluvial o lacustre y pueden contener partículas finas, gruesas o entremezcladas.

Los depósitos aluviales generalmente, son estratificados y la permeabilidad en la dirección horizontal es mayor que en la dirección vertical.

Los suelos aluviales, compuestos por arcilla tienden a ser blandos y los de arena tienden a ser sueltos. Debido a su poca cementación, los materiales aluviales son propensos a erosión y deslizamientos.

En ocasiones, los suelos aluviales presentan una matriz de arcilla cementando los granos de arena, grava y limos. Estos cementantes son generalmente, óxidos de hierro o arcillas. Los suelos aluviales cementados forman, en ocasiones, terrazas altas con niveles freáticos colgados muy susceptibles a los deslizamientos.

- **SUELOS GLACIALES**

Los depósitos glaciales son transportados por los glaciales, los cuales al aumentar la temperatura, se deshielan y se forman estos depósitos de suelo de origen glacial. Los depósitos glaciales pueden variar en composición de tamaño de granos, desde grandes cantos hasta las arcillas.

- **SUELOS EÓLICOS**

Los suelos Eólicos son transportados por el viento y varían desde Dunas de arena hasta Loess, que son depósitos de arena fina y limos. Generalmente, tienen muy poca vegetación y los materiales son muy ricos en cuarzo y poco densos.

El principal problema de los depósitos Eólicos es la erosión.

- **DEPÓSITOS ORGÁNICOS**

Son depósitos de materiales orgánicos, los depósitos de turba o material orgánico que no se ha descompuesto totalmente, debido a su alto contenido de agua. Los depósitos orgánicos en ocasiones se encuentran estratificados con otros elementos

tales como limos o arenas o entremezclados con arcilla. Estos materiales son muy problemáticos para la ejecución de excavaciones por su muy baja resistencia al cortante. Es común, que los materiales orgánicos fluyan al realizar excavaciones o se licúen en los eventos sísmicos.

- **SUELOS COLUVIALES**

Los suelos coluviales o coluviones son depósitos de ladera, producto de desprendimientos o deslizamiento de roca o suelo y son materiales muy susceptibles a los deslizamientos.

Según el sistema americano de clasificación taxonómica Soil Taxonomy, los grandes grupos de suelos que se presentan en el área del cantón Ambato son:

- C** Suelos sobre ceniza dura (Cangahua)
- J** Suelos arenosos de ceniza.
- H** Suelos limosos, negros, con menos de 30% de arcilla.
- M** Suelos limoso, negro, con más de 30% de arcilla.
- D** Suelos con alófana.
- A** Suelos orgánicos.
- S** Suelos No derivados de ceniza o ceniza muy vieja, poco profundos.

Conjunto de Suelos “C”

Suelos sobre cangahua a menos de 1 m de profundidad. La Cangahua se define como una ceniza muy fina, dura, de 10 a 100 m o más de espesor. Generalmente, no es un duripan actual, pero, el material original del suelo está en proceso de meteorización o desagregación. En algunos casos es un duripan con acumulación de sílice o carbonatos, en la superficie original del suelo o enterrado. Se llama Cangahua a la ceniza con la dureza y características del duripan. Si la Cangahua se encuentra meteorizada o fisurada, sin todas las características del duripan se denomina “*Cangahua suave*”.

Conjunto de Suelos J

Suelos arenosos derivados de ceniza volcánica, sin limo ni arcilla, baja retención de agua.

Conjunto de Suelos H

Suelos derivados de ceniza volcánica, negro, sobre 1 m de espesor. Textura limosa o limo arenoso, con menos de 30% de arcilla en el primer metro de profundidad, con más del 70% de material piroclástico. Saturación de bases mayor al 50%. El tipo de arcilla presente es Halloysita, en menor proporción algunas veces se presenta mezclado con montmorillonita o material alofánico. No presentan reacción al NaF por lo corresponden a suelos más evolucionados que los anteriores. Densidad aparente de 0,9 a 1,9 g/cc. No presentan ninguna capa dura en continuidad en el primer metro.

Conjunto de Suelos M

Suelos derivados de ceniza volcánica, negros, sobre 1 m de espesor. Textura areno limo arcillosa, con más de 30% de arcilla en todo el perfil y sobre todo en el primer metro de profundidad, con menos del 70% de material piroclástico. El horizonte superficial de 0 a 25 cm, con estructura granular y consistencia friable, buena estructura (epipedón Móllico), color del suelo en seco con croma de menos de 5,5. Saturación de bases mayor al 50% de 20 a 70 cm de profundidad. Arcilla tipo montmorillonita o halloysita o mezclado. Temperatura del suelo de 13 a 20 °C.

Conjunto de Suelos D

Suelos derivados de ceniza volcánica. Humedad del suelo superior al pF 4.2, todo el año. Régimen de humedad del suelo údico o perúdic, negro, sobre 1 metro de espesor. Textura fina de pseudo limo (arenoso), adherente, friable.

Densidad aparente menor a 0,85 g/cc de 0 a 35 cm de profundidad. Saturación de bases menor al 50% de 0 a 75 cm o hasta un contacto lítico o paralítico. Alta retención de humedad en el suelo, superior a 20 g/100g de suelo seco a 105 °C a pF 4,2 sobre muestra sin desecación. Variación de la capacidad de intercambio total con el pH y con el grado de humedad del suelo. Fuerte reacción al NaF, rojo en menos de 30 segundos.

Conjunto de Suelos A

Suelos con horizonte superior con más de 30% de materia orgánica. Generalmente saturado con agua una gran parte del año.

Conjunto de Suelos S

Suelos poco profundos de 20 a 30 cm de espesor, erosionados sobre pendientes desarrollados sobre un material más o menos duro.

Tierras misceláneas (Tm)

Corresponden a unidades con pendiente mayor al 70%, que poseen baja capacidad productiva, por lo cual, no merecen reconocimientos de suelos, son unidades indiferenciadas de suelos, que presentan materiales rocosos expuestos en superficie.

Cuadro 9: Susceptibilidad del terreno según la textura del suelo

COMPOSICION GEOLOGICA	TEXTURA	SUSCEPTIBILIDAD
Areniscas tobáceas de grano grueso, ácidas a intermedias. Mioceno medio a tardío	Afloramientos Rocosos	0.00
Ceniza volcánica y Pómez	Afloramientos Rocosos	0.00
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Afloramientos Rocosos	0.00
Lavas muy antiguas, andesititas fíricas con piroxenos	Afloramientos Rocosos	0.00
Sedimentos y Piroclastos	Franco	0.12
Areniscas tobáceas de grano grueso, ácidas a intermedias. Mioceno medio a tardío	Franco	0.16
Andesitas piroxénicas y Tobas	Franco Arcillo Limoso	0.18
Ceniza volcánica y Pómez	Franco	0.18
Lavas muy antiguas, andesititas fíricas con piroxenos	Franco Arcillo Limoso	0.18
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Franco	0.20
Areniscas tobáceas de grano grueso, ácidas a intermedias. Mioceno medio a tardío	Franco Arcillo Limoso	0.24
Lavas muy antiguas, andesititas fíricas con piroxenos	Franco Arcilloso	0.24
Ceniza volcánica y Pómez	Franco Arcillo Limoso	0.27
Ceniza volcánica y Pómez	Franco Arcillo Arenoso	0.27
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Franco Arcillo Limoso	0.30
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Franco Arcillo Arenoso	0.30
Lavas muy antiguas, andesititas fíricas con piroxenos	Franco Limoso	0.30
Areniscas tobáceas de grano grueso, ácidas a intermedias. Mioceno medio a tardío	Franco Arcilloso	0.32
Andesitas piroxénicas y Tobas	Franco Arenoso	0.36
Ceniza volcánica y Pómez	Franco Arcilloso	0.36
Lavas muy antiguas, andesititas fíricas con piroxenos	Franco Arenoso	0.36
Sedimentos y Piroclastos	Franco Arenoso	0.36
Areniscas tobáceas de grano grueso, ácidas a intermedias. Mioceno medio a tardío	Franco Limoso	0.40
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Franco Arcilloso	0.40
Andesitas piroxénicas y Tobas	Areno Franco	0.42
Sedimentos y Piroclastos	Areno Franco	0.42
Ceniza volcánica y Pómez	Franco Limoso	0.45
Areniscas tobáceas de grano grueso, ácidas a intermedias. Mioceno medio a tardío	Franco Arenoso	0.48
Lavas muy antiguas, andesititas fíricas con piroxenos	Arcillo Arenoso	0.48
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Franco Limoso	0.50
Ceniza volcánica y Pómez	Franco Arenoso	0.54
Areniscas tobáceas de grano grueso, ácidas a intermedias. Mioceno medio a tardío	Areno Franco	0.56
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Franco Arenoso	0.60
Lavas muy antiguas, andesititas fíricas con piroxenos	Areno Gravilloso	0.60
Sedimentos y Piroclastos	Areno Gravilloso	0.60
Ceniza volcánica y Pómez	Areno Franco	0.63
Areniscas tobáceas de grano grueso, ácidas a intermedias. Mioceno medio a tardío	Arcillo Arenoso	0.64
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Areno Franco	0.70
Ceniza volcánica y Pómez	Arcillo Arenoso	0.72
Areniscas tobáceas de grano grueso, ácidas a intermedias. Mioceno medio a tardío	Areno Gravilloso	0.80
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Arcillo Arenoso	0.80
Ceniza volcánica y Pómez	Areno Gravilloso	0.90
Lahares, avalanchas de escombros, labas y tobas de grano grueso pumíticas; andesitas a dacíticas	Areno Gravilloso	1.00

Areno Gravilloso (Ao - Gr).- Material producto de la meteorización y erosión de las rocas.

Arenoso (Ao).- La arena es suelta de granos simple. Los granos individuales pueden sentirse y a veces mirarse, no se adhiere en nada a los dedos y no se puede formar ninguna figura con ellos. Al tacto se siente áspero y sonoro. Si se aprietan mejor el agregado se rompe al tocarlo.

Arenoso Franco (Ao Fo).- Es un suelo que tiene bastante arena pero tiene la

suficiente cantidad de arcilla y limo para hacerlo ligeramente más coherente. Los granos se ven y se sienten. Si se aprietan en seco se forma un agregado que se separa, cuando se aprieta se forma un agregado que si se deja sin moverlo, no se romperá.

Franco arenoso (Fo Ao).- La proporción de arcilla y limo aumenta lo que le da mucha más cohesión que la anterior. Al apretarlo en seco se forma un agregado, pero se rompe al moverlo. Si está húmedo se forma un agregado, en forma de "lulo" (cilindro) o "cinta" (plano), pero si se hace pasar entre el pulgar, índice y mayor se rompe al medio en lo largo. Si se logra formar una bolita (esfera), esta se rompe rápidamente.

Franco (Fo Ao).- Corresponde a la mejor textura, tiene proporciones adecuadas de arena, limo y arcilla, que le da al suelo una excelente condición para el uso para plantas. Al apretarlo húmedo entre los dedos es posible fabricar, el "lulo", la "cinta" y la "bolita" y tienen mayor duración que las anteriores. Antes se llamaba "textura de migajón" y se suponía que tenía un excelente nivel de fertilidad y condiciones adecuadas de drenaje.

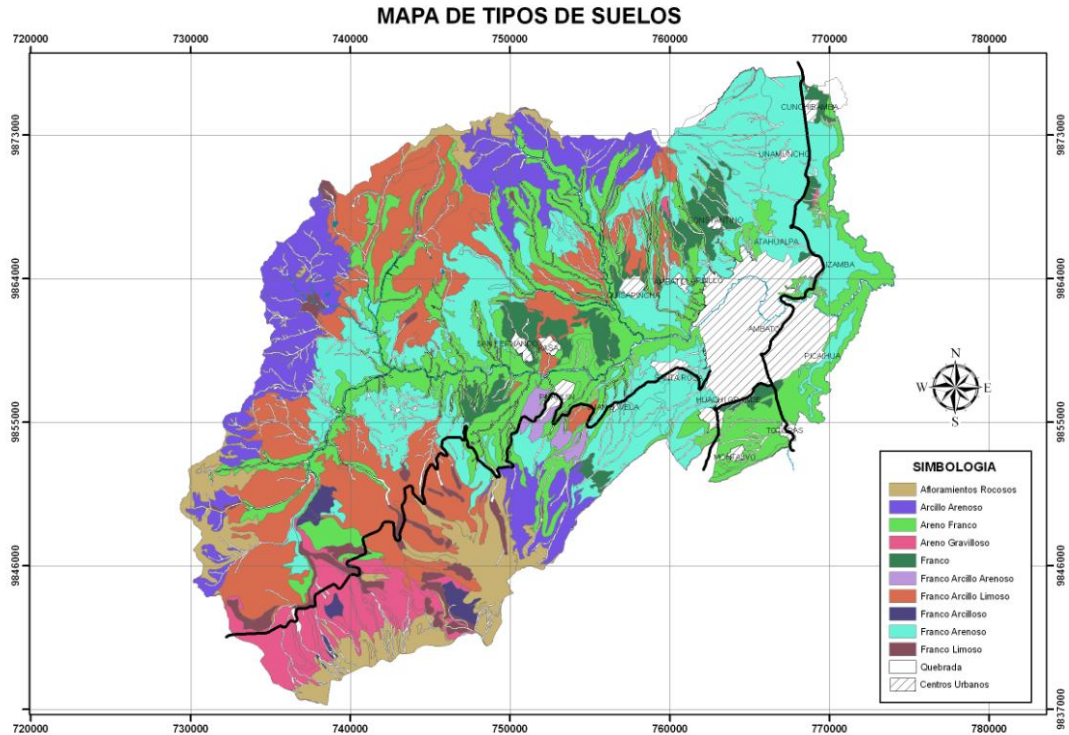
Franco Limoso (Fo Lo).- En estas texturas empieza a mostrarse la suavidad del limo. El suelo presenta más consistencia y es más suave entre los dedos. Cuando se humedece se puede formar el "lulo", la "cinta" y la "bolita", pero se rompe a la presión suave o restregándolo entre los dedos a la distancia de medio centímetro se rompen.

Limoso (Lo).- Textura que se da muy ocasionalmente. Es muy suave al tacto y parece que se estuviera tomando la textura al Talco. No se adhiere a los dedos.

Franco arcillo arenoso (Fo Ar Ao) y franco arcillo limoso (Fo Ar Lo).- Esta textura junto con franco arcillo limoso, tienen más consistencia. Se puede fabricar el "lulo", la "cinta" y la esfera, pero se rompen a la presión. La diferencia entre las dos es que la primera es más áspera al tacto y adhiere moderadamente a los dedos,

mientras que la segunda es suave y no se adhiere a los dedos.

Franco arcilloso (Fo Ar).- Esta textura ya tiene bastante arcilla que la hace bastante coherente. Se pueden hacer todas las figuras pero se rompen a presión moderada. Se adhiere usualmente a los dedos y es muy común en los suelos más desarrollados. Es plástica.



MAPA 6: Clases de Suelos

Arcillo arenoso (Ar Ao) y arcillo limoso (Ar lo).- Estas texturas tienen ya la suficiente cantidad de arcillas para hacerlas coherentes. Se hacen todas las figuras y se moldean muy bien. Son plásticas. La diferencia es que la primera es más áspera y se sienten los gránulos de arena, mientras que la segunda es más suave y se adhiere poco a los dedos.

Arcilloso (Ar).- Esta textura es la más fácil de calibrar en el campo pues es plástica, adhesiva y permite efectuar toda clase de figuras entre los dedos. Es como una plasticina.

Afloramiento Rocoso (Afr).- Son rocas volcánicas que están expuestas en la superficie, debido a un evento estructural, tectónico o de erosión.

6.4.3.1.2 PENDIENTE

Los rasgos geomorfológicos que condicionan eventos de remoción en masa son principalmente la topografía, pendientes de las laderas, cambios fuertes de pendientes de las laderas y la extensión y altura de las laderas. Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse. Así también, cualquier modificación de ellos puede transformar una ladera estable en inestable y generar remociones.

La topografía escarpada y ángulos altos de pendientes de laderas es el primer factor geomorfológico a considerar, siendo propicios principalmente para la generación de flujos, deslizamientos y derrumbes. En casos específicos, la generación de flujos se ve favorecida por la existencia de laderas de topografía abrupta que disminuyen la estabilidad de los depósitos, donde el escurrimiento de agua superficial actúa como agente desestabilizador. Las pendientes tanto de laderas como de cauces (ejes hidráulicos), mientras mayores son, otorgan una alta capacidad de transporte y energía a los flujos. Así, tributarios cortos de alta pendiente, rectos, y estrechos (o encajonados) concentran el transporte del material incrementando su energía cinética. Pendientes mayores a 45% en las cabeceras de las hoyas hidrográficas, son favorables para el desarrollo de flujos o 'aluviones', aunque algunos podrían generarse sobre pendientes menores que no sobrepasan el 25%.

En el caso de deslizamientos, se genera una situación naturalmente inestable, donde para el caso de suelo se generará un deslizamiento en un talud si una pendiente supera el ángulo de fricción interna del material. Se estima que en presencia de sismos de intensidades superiores a IV (Escala de Mercalli), taludes mayores o iguales al 25% serán susceptibles de generar deslizamientos en suelos de tipo traslacional, en tanto que en taludes mayores o iguales al 15% serían

suficientes para generar deslizamientos rotacionales. Para laderas de roca, las pendientes altas son las que controlan la generación de deslizamientos, donde taludes mayores o iguales al 70% serían susceptibles a generarlos, y pendientes mayores o iguales al 25% podrían generar deslizamientos de roca masivos o en bloques para el caso sísmico.

Por otro lado las caídas de rocas ante un sismo pueden generarse a partir de rocas fracturadas, meteorizadas, poco resistentes, en zonas donde los taludes son mayores o iguales al 80%. También pueden darse desprendimientos de suelos, a partir de material arenoso o gravoso levemente cementado o arcillas no compactas. Estos desprendimientos, se podrían generar para los mismos taludes que en roca, es decir, taludes de ángulo mayor o igual al 80%.

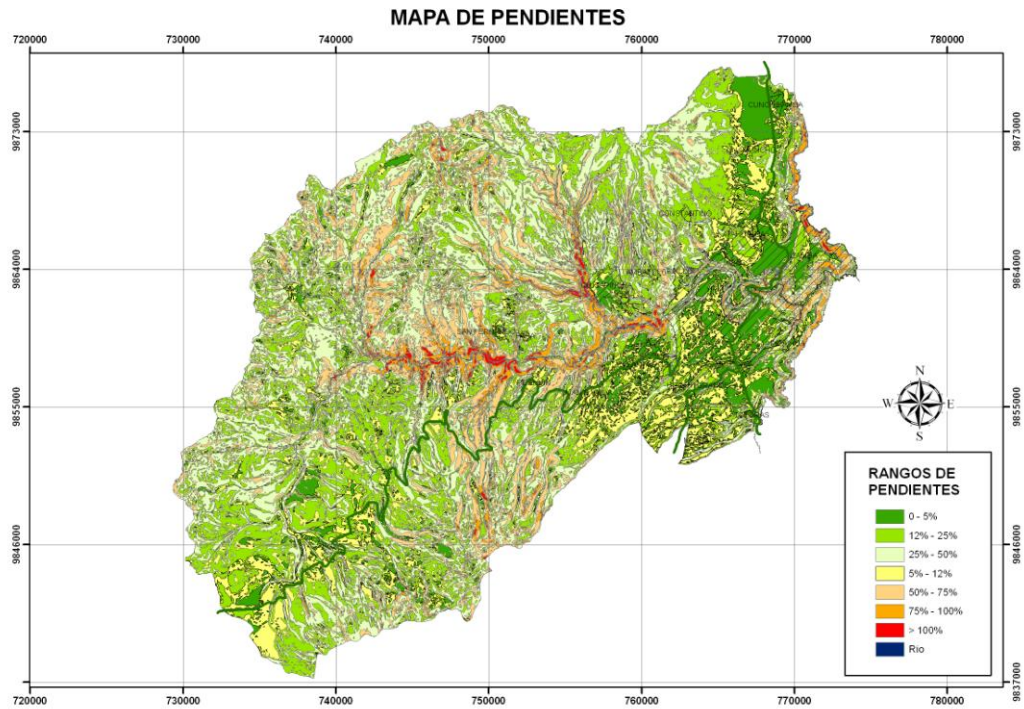
Naturalmente, para que alguna remoción se genere debe existir material susceptible a ser movilizado. Dentro de este punto, se hace necesario lograr identificar depósitos de antiguos deslizamientos o flujos, principalmente si se encuentran en estado suelto, o la identificación de depósitos coluviales que se ubican en general en los pies de laderas y quebradas, donde su condición de equilibrio límite los hace muy propensos a generar deslizamientos (o flujos).

Cuadro 10: Grado de susceptibilidad según la Pendiente

Clase	Rango de la Pendiente	Clase	Susceptibilidad
1	0 - 5%	Plano - Ligeramente Ondulado	0.05
2	5% - 12%	Inclinado	0.15
3	12% - 25%	Fuertemente Inclinado	0.30
4	25% - 50%	Ligeramente escarpado	0.45
5	50% - 75%	Escarpado	0.60
6	75% - 100%	Muy escarpado	0.80
7	> 100%	Fuertemente escarpado	1.00

La geometría de la ladera en tanto es uno de los factores más importantes en la evaluación de generación de deslizamientos, por cuanto determinará las orientaciones de las fuerzas resistentes y las solicitantes.

Considerando que la pendiente es uno de los factores dinámicos de los movimientos en masa, ya que determina el potencial de la energía cinética de una masa inestable, la susceptibilidad específica de este factor, se calificó según el grado de inclinación de la pendiente, a mayor grado de inclinación de la pendiente, mayor susceptibilidad.



MAPA 7: Mapa de Pendientes

6.4.3.1.3 COBERTURA VEGETAL DEL SUELO

El tipo, la densidad, la capacidad de interceptación y el área de protección de la cobertura vegetal constituyen factores de resistencia o favorece los procesos morfodinámicos como erosión y movimientos en masa.

La cubierta vegetal del suelo que lo protege contra la agresividad de la lluvia o el viento, influye considerablemente en la erosión, aunque la relación no es lineal, es decir, que una reducción sustancial de la erosión puede presentarse aún cuando el suelo está protegido por una cubierta vegetal de densidad relativamente baja, ésta relación es bastante compleja de calcular.

En teoría la vegetación se trata como un factor condicionante de la estabilidad de laderas, sin embargo los eventos de remoción en masa generados en zonas climáticas lluviosas con poca vegetación, demuestran que no siempre la vegetación contribuye a disminuir la erosión sobre las laderas. Un ejemplo de su poca influencia, en la estabilidad de laderas, en zonas climáticas lluviosas con abundante vegetación, es el caso de los deslizamientos ocurridos en el sur de Chile, en la Región de Aisén, producto de un sismo ocurrido en abril del 2007, donde una parte de un cerro con frondosa vegetación deslizó provocando un tsunami.

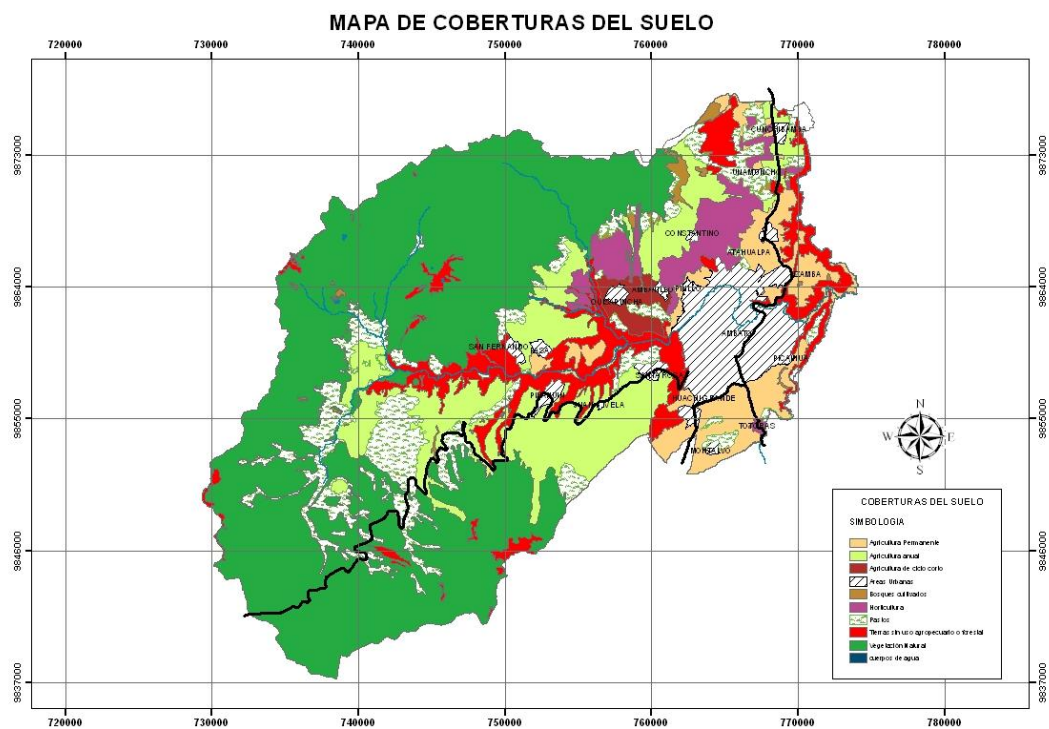
En este contexto, se establece que la estabilidad dada por la vegetación, está fuertemente condicionada por el efecto del clima y topografía, pues, por ejemplo en zonas que sufren de fuertes vientos, si la pendiente es fuerte, los árboles remueven el terreno provocando su desestabilización. Además, en zonas de climas lluviosos, con abundante vegetación, puede ocurrir que la evapotranspiración no alcance a compensar la alta infiltración, por lo que el nivel freático asciende saturando el material.

Según Selby (1993), la vegetación contribuiría a disminuir el efecto erosivo sobre las laderas, generado por factores como el clima, propiedades del suelo y topografía. La existencia de árboles en las laderas permitiría la absorción de agua por parte de estos disminuyendo el grado de saturación del suelo. Además, sus raíces en general ayudarían a la estabilización de las laderas actuando como anclajes de reforzamiento, sin dejar de considerar que en algunos casos esta estabilización es sólo superficial.

Además establece, que la vegetación ideal para la estabilización de laderas correspondería a bosques con suelos cubiertos de pasto o hierba, exponiendo los principales efectos de la vegetación sobre la estabilidad del suelo, los cuales incluyen: que la vegetación interceptaría el agua caída, disminuiría la capacidad de erosión provocada por el agua en las laderas y aumentaría la resistencia del

suelo y su porosidad. Además, aumentaría la evapotranspiración del agua disminuyendo el grado de saturación del suelo y produciría compactación del suelo más profundo (Greenwood & Norris, 2006). En tanto, el escaso desarrollo de vegetación pareciera contribuir a restar estabilidad a las laderas, además de demostrar una alta sensibilidad a la erosión hídrica, puesto que en general las raíces tenderían a actuar como agentes estabilizadores.

Existen pocos índices para calcular cuantitativamente la relación entre la vegetación y la pérdida de suelo, el más conocido y utilizado es el índice de protección de la cubierta vegetal frente a la erosión hídrica. Para estudios más detallados, el factor cobertura vegetal puede evaluarse con base en ecuaciones matemáticas establecidas para el cálculo de la biomasa.



MAPA 8: Mapa de cobertura de suelos

La vegetación presenta dos funciones respecto a los procesos erosivos, por una parte cubre con su follaje el suelo, protegiéndolo de las gotas de lluvias especialmente las más intensas, las cuales al caer sobre el suelo desnudo, rompen los agregados del suelo, facilitando de esta manera el arrastre de partículas con el agua de escorrentía. De otro lado el enraizamiento de las plantas, amarra el suelo

de tal manera que contrarresta el desprendimiento y arrastre de materiales.

La cobertura vegetal se calificó de acuerdo al índice de protección que ésta brinda al suelo de acuerdo al diagnóstico físico conservacionista en cuencas hidrográficas.¹

Mientras más protegido este el suelo menor susceptibilidad tiene éste ante los movimientos en masa.

Cuadro 11: Grado de susceptibilidad según la Cobertura del Suelo

COBERTURA DEL SUELO	SUSCEPTIBILIDAD
Areas Urbanas	0.00
cuerpos de agua	0.00
Bosques cultivados	0.10
Vegetación Natural	0.10
Agricultura anual	0.20
Agricultura de ciclo corto	0.30
Agricultura Permanente	0.40
Horticultura	0.60
Pastos	0.70
Tierras sin uso agropecuario o forestal	1.00

Descripción de las unidades de Uso de las tierras

○ **Tierras con Horticultura - H**

El uso de estas tierras comprende el cultivo de especies como lechuga, zanahoria, remolacha, rábano, cebolla, etc., de ciclos vegetativos menores a 4 meses

¹ Diagnóstico Físico Conservacionista en Cuencas Hidrográficas, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, Merida-Venezuela, 1954.

- **Tierras con usos de Agricultura de ciclo corto - Ac**

Las tierras con agricultura de ciclo corto (**Ac**), ocupan las áreas con altitudes de 2.800 a 3.000 msnm, incluye los cultivos con ciclos vegetativos de 4 a 5 meses, como, tomate de mesa, cebolla, pimiento, arveja y col.

- **Agricultura anual - Aa**

Las tierras con agricultura anual (**Aa**), se presentan de 3000 a 3.600 msnm, incluyen cultivos de maíz, papa, haba y arveja, con ciclos vegetativos de 5 a 6 meses.

- **Agricultura permanente - Ap**

Las tierras con agricultura permanente (**Ap**), con ciclos de producción de más de 2 años, ocupan tierras con altitudes de 2.800 a los 3.000 msnm, incluye plantaciones de frutales, entre los que se encuentran: Claudia, peras, durazno, manzana y mora.

- **Pastos cultivados - Pc**

Las tierras con Pastos cultivados (**Pc**), ocupan las áreas con altitudes de 3.000 a 3.400 msnm, con pastos entre los que se presenta el Rye grass y Kikuyo (*Pennisetum cladestinum*) y otras especies de gramíneas. Los sistema de pastoreo, presentan divisiones de potreros o corresponden a grandes cuarteles.

- **Bosques cultivados - Bc**

Los Bosques cultivados incluyen las especies de Eucalipto (*Eucalitus globulus*) y Pino (*Pinus radiata*). Los Bosques de Eucalipto se presentan en parcelas de 2 a 5 ha, a altitudes inferiores a 3.000msnm, pues, a mayores alturas. En tanto que, los bosques de Pino se presentan en grandes parcelas,

sobre los 3.200 m de altura.

- **Vegetación Natural - Vn**

Las tierras con vegetación natural comprende varios tipos de **páramo** entre los que se encuentran: páramo de pajonal, páramo de almohadillas, el páramo de arenal, páramo gélido, páramo de pajonal y de afloramientos rocosos, y, el páramo de pajonal y de arenal. Este tipo de cobertura vegetal se presenta entre los 3.600 y 4.500 msnm, presenta grandes unidades con altos grados de pureza.

El páramo de pajonal o páramo herbáceo, se presenta sobre 3.400 msnm, está compuesto por un conjunto de gramíneas altas entre las que sobresale la *Stipa icchu*, otras de hasta 40 cm de altura como la Festuca y Calamagrostis y otras especies bajas de 10 a 20 cm de altura como Poa Anua, Bromus y Agrostis, (Cañadas, 1987), que se presenta sobre suelos de origen volcánico en los entablamientos de la cordillera de los andes.

La categoría de Vegetación natural incluye tierras sin usos agropecuarios o forestales como son las áreas cubiertas por matorral húmedo y pastos naturales.

- **Tierras Sin usos agropecuarios o forestales**

Comprende las tierras que, debido a sus limitaciones, no son aptas para la producción de cultivos, pastos o bosques, incluyen las áreas de los nevados con nieves perpetuas (con menos de 0 °C), las áreas rocosas, canteras, humedales, vegetación natural herbácea (en los escarpes de los ríos Ambato y Cutuchi), las áreas consolidadas, el área del aeropuerto y los eriales con suelos poco y moderadamente erosionados.

6.4.3.1.4 HUMEDAD DEL SUELO

Un agente desencadenante, es un factor externo que genera una respuesta traducida en una remoción en masa mediante el rápido incremento de esfuerzos o la reducción de la resistencia del material de una ladera.

Un agente detonante, se caracteriza principalmente por la existencia de un corto lapso entre causa y efecto y entre ellos el más común son las lluvias de gran intensidad.

El suelo saturado presenta variaciones en los rangos de cohesión dependiendo de su granulometría. De todas maneras, la incorporación de agua en la estructura del suelo, que en ciertos casos puede llegar a la saturación, genera una disminución en la resistencia del material, disminuyendo su tensión efectiva producto de la generación de presiones de poros. En roca, el agua puede contribuir a la pérdida de resistencia al infiltrarse en las estructuras, ejerciendo tensiones en estas estructuras que se oponen a las tensiones que la mantienen estable.

En el caso de los flujos, éstos en su gran mayoría se generan por saturación del material, lo cual al provocar un aumento en la presión de poros disminuye su resistencia efectiva. La identificación de zonas húmedas o saturadas es de gran importancia para la identificación de áreas críticas para la generación éstos. La posición del nivel freático y sus variaciones en este ámbito es importante, ya que al encontrarse a poca profundidad, mediante la incorporación de agua ya sea por lluvias o fusión de nieve, éste puede ascender rápidamente llegando a generar la saturación del material superficial. Asimismo, en suelos arenosos afectados por sollicitaciones sísmicas, el nivel freático puede ascender hasta el punto de saturar el material, generando en el suelo un comportamiento del tipo fluido viscoso (licuefacción del suelo) producto de la vibración.

Aunque los flujos de detritos se asocian a un suelo saturado, el flujo puede ir incorporando líquido en el trayecto, generándose en un principio por la inestabilidad del suelo condicionada por la resistencia, el ángulo de fricción

interna y el grado de saturación del suelo. Pueden existir movimientos de ladera complejos, que pueden derivar en un flujo de detritos o un flujo seco, dependiendo si hay o no incorporación de agua al material transportado.

Así como las precipitaciones mensuales son los aportes de agua, la evapotranspiración potencial (ETPmm), son los egresos de agua.

Este elemento del clima depende de aquellos componentes, del ambiente que incluyen en la demanda evaporativa (radiación, temperatura) y, por ser de difícil medición, suele estimarse, con fórmulas empíricas desde las más simples a las más complejas.

Para la estación Ambato – La Granja, se calculó la evapotranspiración potencial mensual y anual:

Cuadro 12: Promedio mensual y anual de Evapotranspiración potencial (ETP mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
MEDIA	82	74	81	75	72	66	67	74	77	83	81	82	914
MAXIMA	95	86	92	84	82	74	77	84	84	97	95	92	97
MINIMA	68	62	68	64	63	59	60	66	72	74	72	71	59

Fuente: SIGAGRO - Anuarios Meteorológicos del INAMHI
Elaboración: CLIRSEN - Sistema Catastral Rural Integral del cantón Ambato

La temperatura aumenta en el mismo sentido que disminuye la disponibilidad hídrica (N-S) los valores mensuales de la ETP tienen esa misma tendencia. En la zona de estudio, el valor medio anual de la evapotranspiración de 914, que es alta respecto a la precipitación media del sector que está en el orden de los 450 mm anuales.

Balance hidrológico climático

Según Thornwaite y Mather, los ingresos de agua como precipitaciones se comparan con los egresos de la evapotranspiración potencial, según la máxima capacidad de retención de agua, la curva de desecación del suelo y una retención máxima del suelo de 300 mm.

El Balance Hidrológico Climático (BHC) se determinó para la estación climatológica principal de Ambato - La Granja, interna al área, según las temperaturas medias mensuales y las precipitaciones medianas mensuales, más representativas que las medias mensuales:

Cuadro 13: Balance Hídrico - Estación Ambato – La Granja

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETP	81	73	81	75	72	65	67	74	77	83	81	82	911
Precipitación	21	38	50	57	49	35	23	23	35	48	41	32	452
(P - ETP)	-60	-35	-31	-18	-23	-30	-44	-51	-42	-35	-40	-50	-459
Suma (P - ETP)	-60	-95	-126	-144	-167	-197	-241	-292	-334	-369	-409	-459	
Almacenaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Var. de Almacenaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Evaporación real	21	38	50	57	49	35	23	23	35	48	41	32	452
Déficit de agua	60	35	31	18	23	30	44	51	42	35	40	50	459
Exceso de agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Escurrimiento total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Humedad total retenida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: SIGAGRO - Anuarios Meteorológicos del INAMHI
Elaboración: CLIRSEN - Sistema Catastral Rural Integral del cantón Ambato

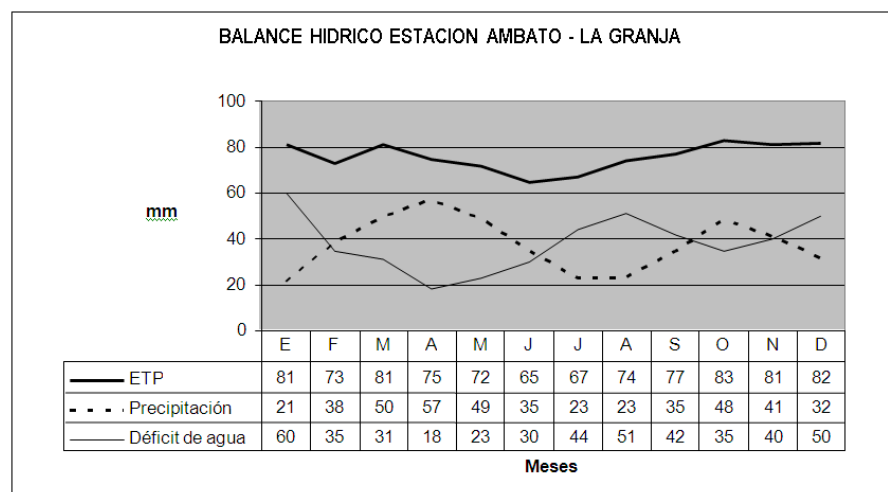
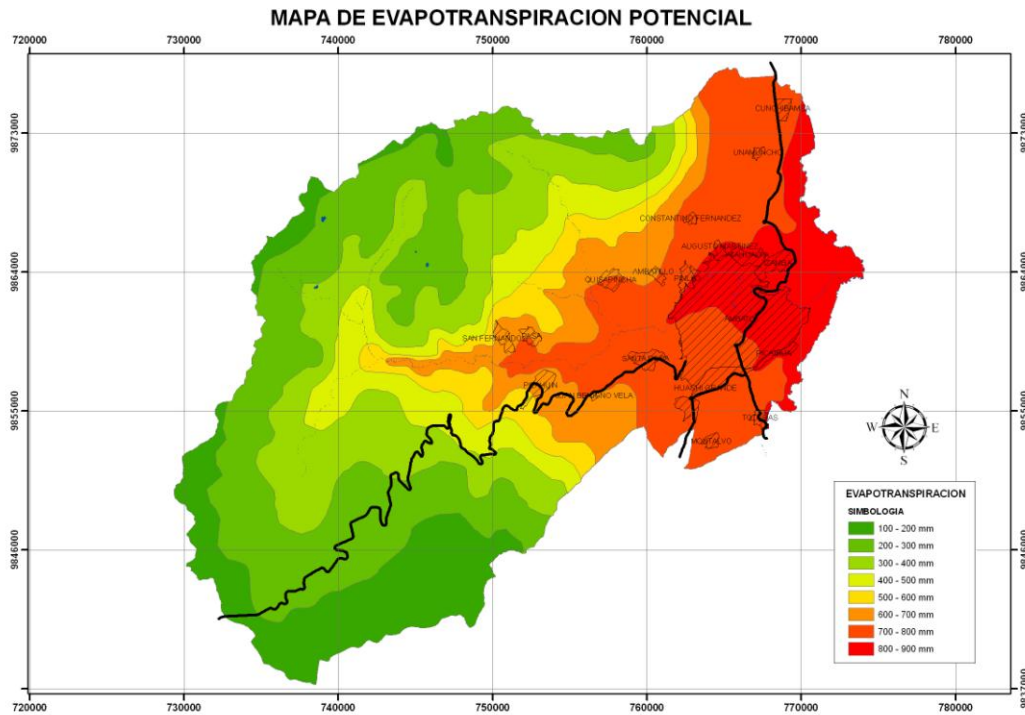


GRAFICO 20: Balance hídrico estación Ambato – La Granja

En el sector de influencia de la Estación Ambato La Granja, la evapotranspiración supera a la precipitación los 12 meses del año, con un déficit hídrico de 452 mm anuales, siendo los meses más deficitarios, julio, agosto y septiembre y el menos deficitario, abril.

Deficiencias hídricas en el cantón Ambato

La determinación de las deficiencias hídricas del área, se basan en el análisis comparativo entre la distribución de las precipitaciones expresadas como isoyetas y la distribución de las isolíneas de la evapotranspiración potencial.



MAPA 9: Mapa de Evapotranspiración

La distribución de la evapotranspiración potencial (ETP), se calculó en función de la temperatura media anual, según la fórmula empírica propuesta por Holdridge, así:

$$ETP = T (^{\circ}C) \times 58.93$$

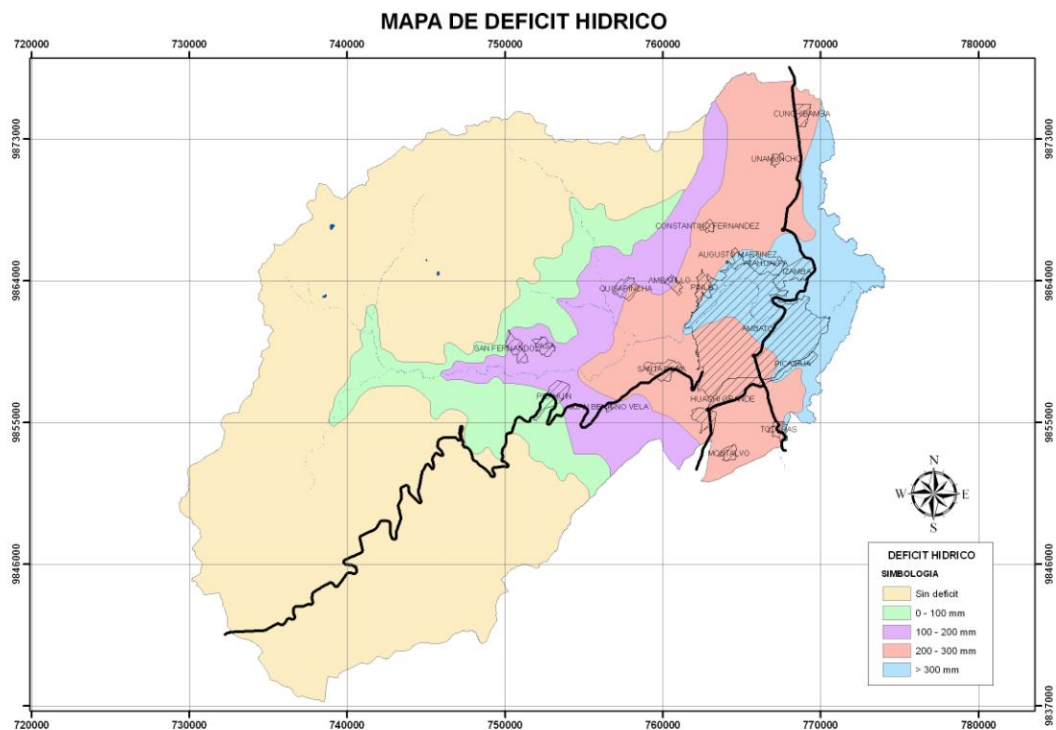
Cuadro 14: ETP (mm anuales) según Isotermas

ETP =	T °C	X	58.93
200	= 3.0	x	58.93
300	= 5.0	x	58.93
400	= 7.0	x	58.93
500	= 8.5	x	58.93
600	= 10.0	x	58.93
700	= 12.0	x	58.93
800	= 14.0	x	58.93

Las deficiencias hídricas se establecen en base a las diferencias entre la Precipitación media anual y la Evapotranspiración, así:

$$DH \text{ mm} = P \text{ mm} - ETP \text{ mm}$$

Las deficiencias hídricas se establecieron cartográficamente mediante cruce y corte, entre las isoyetas y las isolíneas de ETP, según los rangos de deficiencias hídricas a intervalos de 100 mm.



MAPA 10: Mapa de Deficiencia Hídrica

Según la relación entre la temperatura y la ETP, se define que, el área con deficiencias hídricas en el cantón Ambato, se presenta entre los 2200 y 3400 msnm.

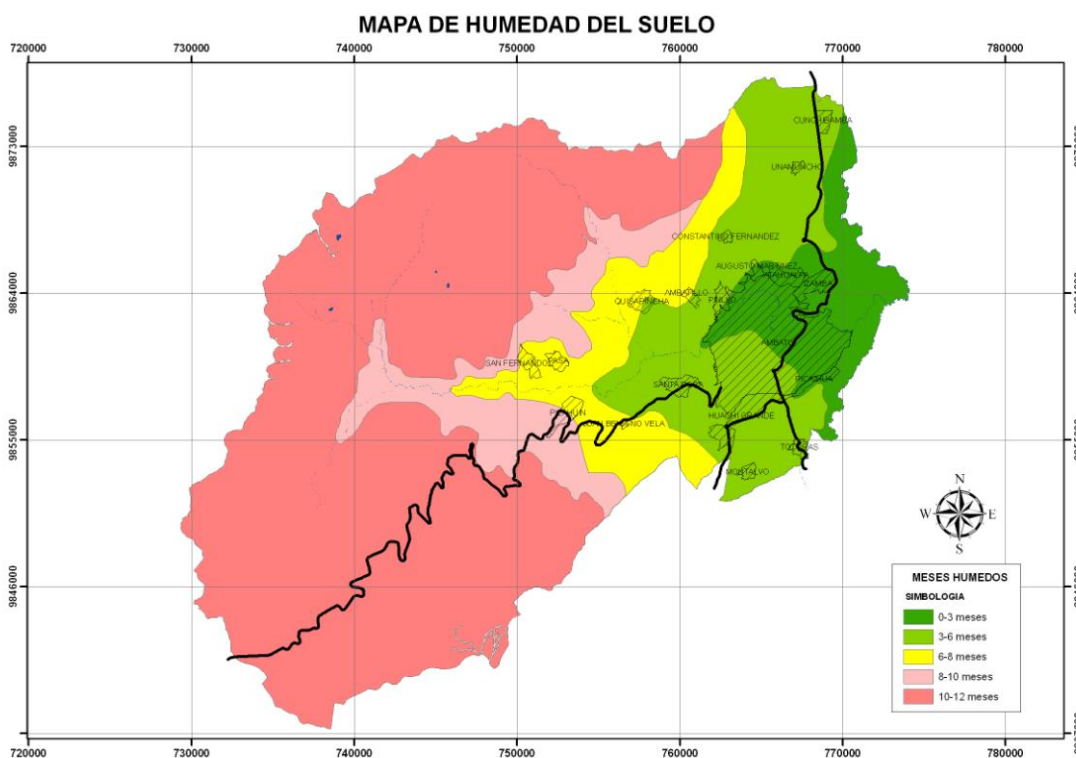
Como resultado del análisis de los procesos cartográficos y la base de datos obtenida se define las clases de deficiencias hídricas y el No. de meses secos, Cuadro 15, que se presentan en el cantón Ambato.

Cuadro 15: Déficit hídrico - cantón Ambato

Clase	Déficit (mm)	No. Meses secos
1	Sin déficit	Sin déficit
2	0 - 100	2 a 4 meses
3	100 - 200	4 a 6 mese
4	200 - 300	6 a 9 meses
5	> 300	Más de 11 meses

Fuente: CLIRSEN - Sistema Catastral Rural Integral del cantón Ambato

La mejor forma de determinar los contenidos de humedad del suelo, es a través de mediciones directas "in situ", seguida por balances detallados de agua. Pero debido a que esta información no está disponible, para determinar la humedad en el suelo se aplica la metodología del balance de agua del suelo, usando las isolíneas de la precipitación media mensual y de evapotranspiración.



MAPA 11: Mapa de Humedad del Suelo

Sobre la base de los registros mensual de la distribución de la precipitación media anual y evapotranspiración, se determinó el número de meses húmedos, a los

cuales, se les asignó coeficientes de susceptibilidad, deduciendo que mientras más húmedo está el suelo es más susceptible a movimientos en masa.

Cuadro 16: Susceptibilidad del Suelo en función del Número de Meses Húmedos

Meses Húmedos	Susceptibilidad
0 a 3 meses	0.2
3 a 6 meses	0.4
6 a 8 meses	0.6
8 a 10 meses	0.8
10 a 12 meses	1.0

6.4.3.2 INCIDENCIA DE LOS FACTORES CONDICIONANTES EN LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA.

La susceptibilidad generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia, una erupción o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad.

Teniendo en cuenta que cada factor o parámetro del terreno influye en forma diferente sobre la estabilidad o susceptibilidad de los terrenos a los movimientos en masa, se analizaron espacial y digitalmente los diferentes mapas de susceptibilidad de los factores condicionantes, y se establecieron los siguientes pesos:

Cuadro 17: Pesos de los Factores de Susceptibilidad del Terreno

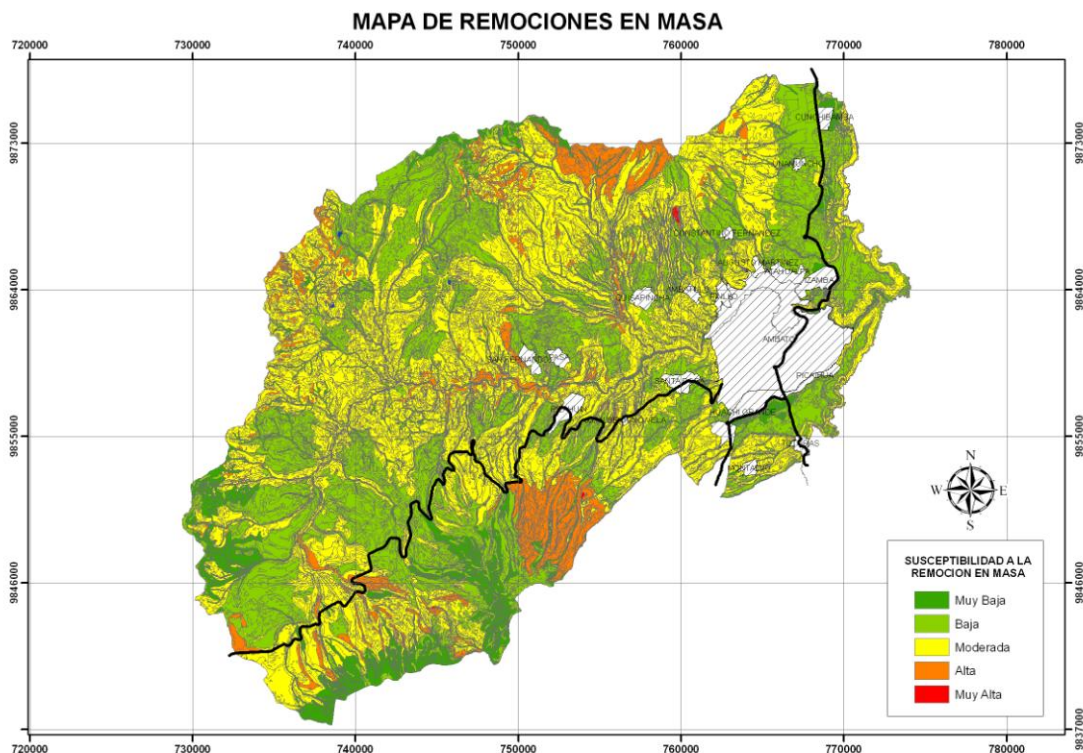
Factores	Pesos
Litología y Estructura Geológica	60%
Pendientes	20%
Cobertura Vegetal	10%
Humedad del Suelo	10%

Tomando en consideración el mapa geológico, el de topografía o pendientes, el de cobertura de suelo y el de humedad natural, en los que asignó el grado de

susceptibilidad individual correspondiente, se combinaron dentro de un sistema de información geográfica con los pesos indicados en el cuadro No. 17, y se obtuvieron los siguientes grados de susceptibilidad:

Cuadro 18: Criterios para determinar el grado de susceptibilidad

GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN
Muy baja (0-0.20)	Zonas con suelos no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.
Baja (0.20-0.40)	Zonas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
Moderada (0.40-0.60)	Zonas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Alta (0.60-0.80)	Zonas que tienen falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Muy alta (0.80-1.00)	Zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran.



MAPA 12: Mapa de Remociones en Masa

6.4.4 FACTORES DETONANTES

Un agente detonante o desencadenante es un factor externo que genera una respuesta traducida en una remoción en masa mediante el rápido incremento de esfuerzos o la reducción de la resistencia del material de una ladera. Un agente detonante se caracteriza principalmente por la existencia de un corto lapso entre causa y efecto.

Entre los agentes desencadenantes más comunes de remociones en masa se cuentan principalmente las lluvias de gran intensidad, los sismos y las erupciones volcánicas; secundariamente, la intervención antrópica, la fusión de nieve, la erosión de canales, entre otros.

6.4.4.1 PRECIPITACIONES

Las lluvias como factor detonante de remociones en masa se encuentran relacionadas con su intensidad, duración y distribución. Así, precipitaciones de poca intensidad en periodos prolongados de tiempo y precipitaciones de gran intensidad en periodos cortos de tiempo podrían desencadenar eventos de remociones en masa en zonas donde el escenario sea favorable para ello. Dentro de este aspecto, las precipitaciones cortas e intensas serían susceptibles a provocar eventos superficiales, en tanto remociones más profundas serían provocadas por eventos distribuidos en largo periodo de tiempo.

Las precipitaciones actúan aumentando el grado de saturación de los materiales, tanto en suelo como en fracturas, aumentando temporalmente la presión de fluidos (μ).

Teniendo en cuenta que el stress efectivo (σ') se define como $\sigma' = \sigma - \mu$, entonces es la disminución de este esfuerzo el que genera un descenso en la resistencia de los materiales durante un periodo de tiempo, con ello una baja en la estabilidad y un eventual fenómeno de remoción en masa. Además, las precipitaciones intensas

aumentan la escorrentía superficial, aumentando con esto la erosión del material en laderas con suelo suelto, y asociado se genera socavación y/o disolución de la ladera.

En general, distintas zonas necesitarán lluvias de intensidad y/o duración que superen un umbral característico para generar remociones en masa. El conflicto radica en la estimación de estos umbrales, para lo cual se requiere de datos idealmente continuos de precipitaciones o con alta frecuencia que permitan la realización de análisis estadísticos para la zona de estudio.

Cuadro 19: Efectos de la saturación por precipitaciones (Prieto, 1985)

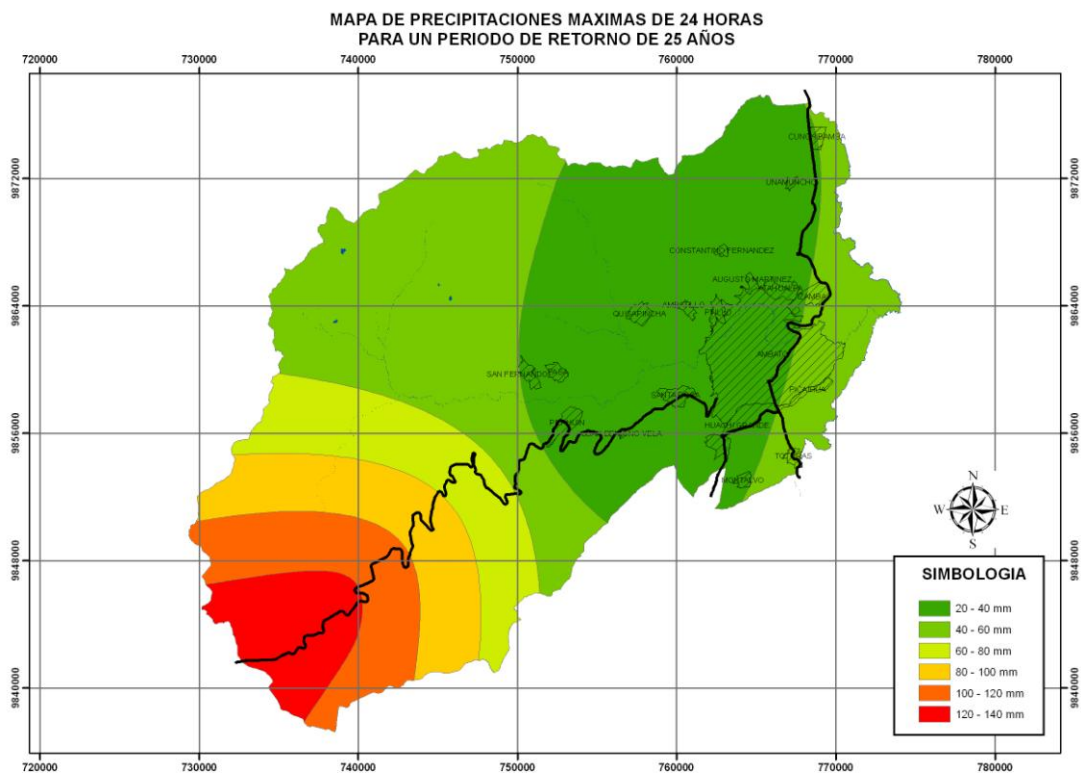
EFFECTOS ASOCIADOS	CONSECUENCIAS	INESTABILIDADES PRODUCIDAS
Lluvias intensas -Infiltración-	Elevación del nivel freático	Deslizamientos (planos) de suelo sobre roca.
		Deslizamientos circulares por empuje
	Carga de fisuras	Deslizamiento de taludes en suelo o en roca blanda
		Vuelco de masas rocosas
	Saturación	Movilización de taludes en equilibrio estricto. Reptaciones
		Hundimiento. Desplazamiento de bloques
Inundación de la base del talud	Disminución de resistencia en zonas críticas	Deslizamiento por falta de resistencia
	Efectos de desembalse	Deslizamientos por tracción de pie
	Arrastres superficiales	Flujos sólidos en torrentes
Erosión de laderas	Acumulaciones en pie de conos de deyección	Deflación del cono
	Erosión interna	Hundimientos generalizados
Socavación	Eliminación de zonas resistentes	Deslizamientos progresivos desde el pie
		Vuelco de cornisas
Disolución	Creación de cavernas y túneles	Hundimientos en la cima
		Retroceso de cantiles

Para el cantón Ambato, este factor debe ser considerado estrictamente como temporal, pues, depende de la frecuencia de la distribución de las lluvias, su duración e intensidad de las mismas.

Para la determinación del factor detonante se consideró la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años.

Cuadro 20: Intensidades de lluvia para un periodo de retorno de 25 años

Intensidad de lluvia (mm/h)	Pesos
20 – 40 mm	0.75
40 – 60 mm	0.80
60 – 80 mm	0.85
80 – 100 mm	0.90
100 – 120 mm	0.95
120 – 140 mm	1.00



MAPA 13: Mapa de Precipitaciones para un periodo de retorno de 25 años

6.4.4.2 SISMOS

Los sismos son otros grandes factores detonantes o desencadenantes de remociones en masa en diversos escenarios geológicos y topográficos. Las

aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad, lo que ha sido descrito en la sección 5.4.2.1.

Keefner (1984) ha realizado estudios a partir de sismos ocurridos principalmente en Los Ángeles, EEUU., estableciendo que los tipos de remociones más abundantes generados por terremotos corresponderían a caídas de rocas, deslizamientos desagregados (*disrupted landslides*) de suelos con pendientes de laderas >25% y deslizamientos de roca con pendientes de laderas $\geq 80\%$, y secundariamente derrumbes en suelo, deslizamientos en bloques de suelo y avalanchas de tierra. Los flujos y avalanchas de roca son estadísticamente los que han generado mayor cantidad de muertes y daños.

Cuadro 21: Tipos de remociones en masa generadas por sismos

Magnitudes mínimas aproximadas (ML) según Keefner (1984)	Magnitudes mínimas aproximadas (ML) según Rodríguez (1999)	Tipo de remoción en masa
4.0	5.5	Caídas de rocas, deslizamientos de roca, caídas de suelo, deslizamientos desmembrados de suelo
4.5	5.5	Subsidencias de suelo, deslizamiento de suelo en bloques.
5.0	6.5	Subsidencias de roca, deslizamientos de roca en bloque, flujos lentos de tierra, extensiones laterales de suelo, flujos rápidos de suelo, deslizamientos submarinos.
6.0	6.5	Avalanchas de roca.
> 6.5	> 6.0	Avalanchas de suelo.

En sus estudios, Keefner (1984) estableció magnitudes mínimas aproximadas para la generación de cierto tipo de fenómenos de remociones en masa (cuadro No.21), en base a observaciones de eventos de remoción en masa generados por sismos de magnitud menores o iguales a 5,3, estableciendo distancias máximas de 50 km entre el epicentro del sismo y zonas con ocurrencia de caídas de rocas y deslizamientos desagregados, para un evento sísmico de magnitud cercana a 5,5 y de 10 km para flujos de detritos y deslizamientos masivos, ante similares eventos sísmicos. Así mismo, se establece que otros factores, y no sólo la magnitud,

tendrían influencia en la distancia máxima entre el epicentro del sismo y el lugar donde se genera la remoción, como son las variaciones que podría tener el movimiento del suelo durante un sismo y las condiciones geológicas locales.

Otros autores como Rodríguez (1999), han realizado estudios que permitieron ampliar la fuente de datos de remociones en masa provocados por terremotos con la que contaba Keefer (1984) y actualizar algunos de sus umbrales, como lo señala el mismo el cuadro No. 21.

6.4.4.3 ERUPCIONES VOLCÁNICAS

En ambientes volcánicos, las erupciones pueden desencadenar deslizamientos producto de la fusión de la nieve acumulada en las laderas de los volcanes, las cuales actuando por sí solas o en conjunto con precipitaciones intensas podrían generar flujos de gran magnitud al arrastrar el material depositado en las laderas durante la erupción volcánica, lo que ha sido detallado en la sección 5.4.2.2.

6.4.5 INCIDENCIA DE LOS FACTORES DETONANTES EN LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA.

Considerado los factores detonantes descritos (lluvias, sismos y las erupciones volcánicas), resulta casi improbable la actuación conjunta al mismo tiempo de estos fenómenos. De producirse este escenario, es casi improbable que quede alguna zona sin ser afectada gravemente. Lo que sí es probable son las actuaciones individuales de los fenómenos señalados como detonantes, por tal razón para el análisis se lo hizo de manera separada y combinada, con su respectiva incidencia, de acuerdo al siguiente detalle:

Cuadro 22: Pesos de las combinaciones entre los factores condicionantes y detonantes

CASO	FACTOR	PESOS	REFERENCIA
1	CONDICIONANTE	50%	Mapa 14
	DETONANTE: Lluvia	50%	

CASO	FACTOR	PESOS	REFERENCIA
2	CONDICIONANTE	80%	Mapa 15
	DETONANTE: Sismo	20%	

CASO	FACTOR	PESOS	REFERENCIA
3	CONDICIONANTE	95%	Mapa 16
	DETONANTE: Erupción Volcánica	5%	

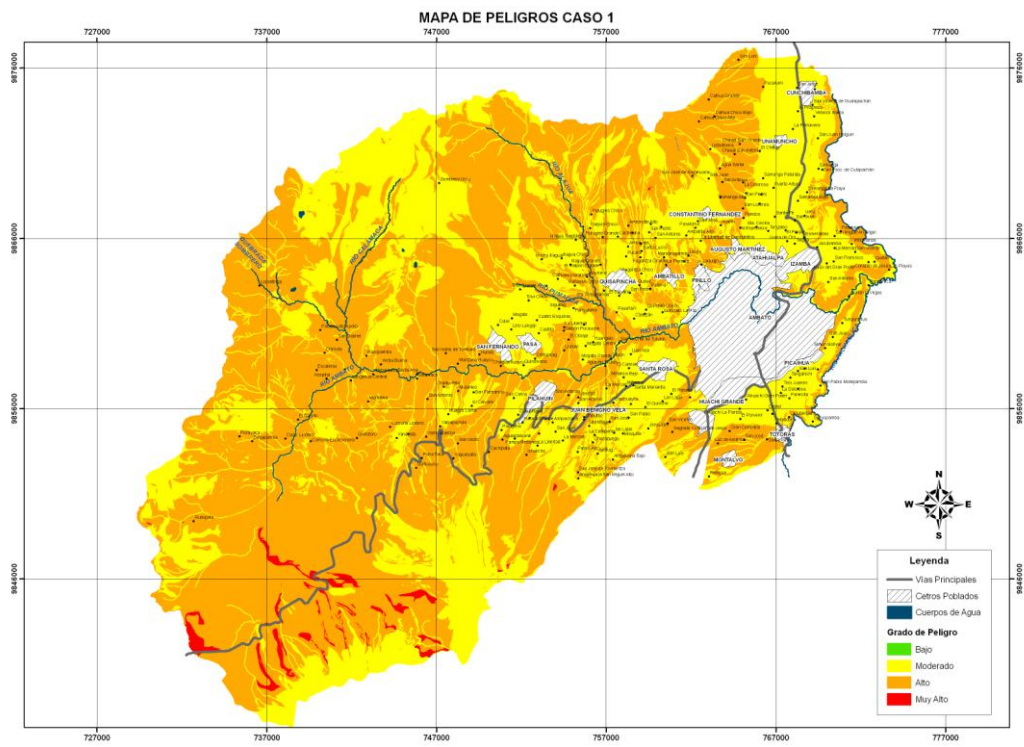
CASO	FACTOR	PESOS	REFERENCIA
4	CONDICIONANTE	40%	Mapa 17
	DETONANTE: Lluvia y Sismo	60%	

6.4.6 RESULTADOS

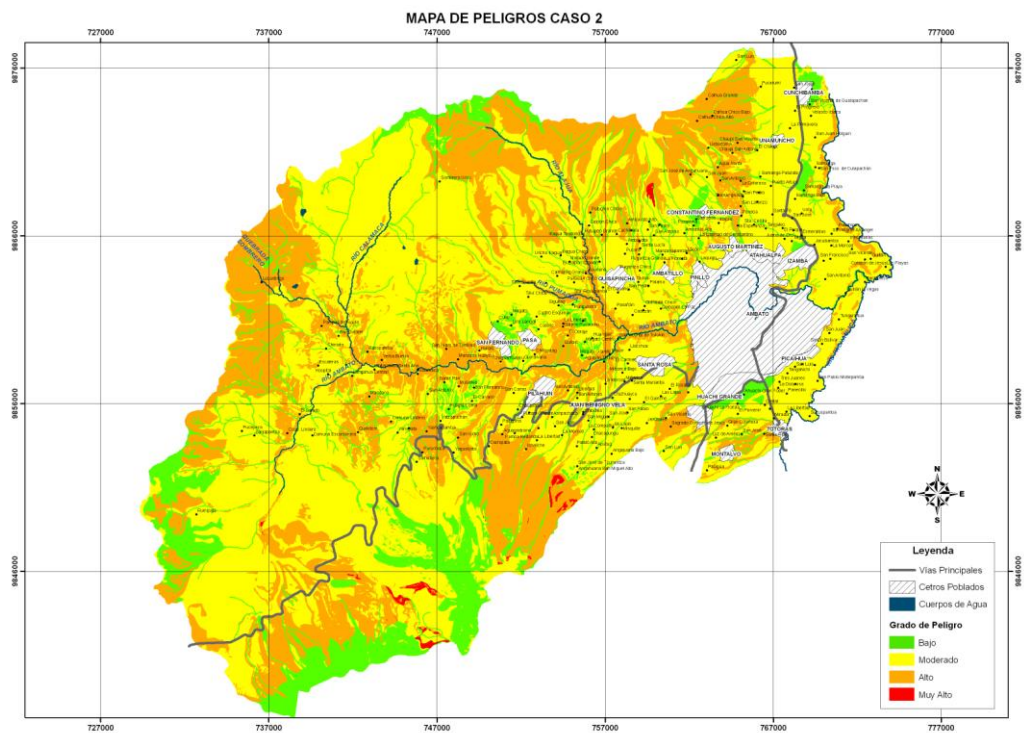
Los peligros en el cantón Ambato, se presentan en los mapas de peligros a los movimientos en masa 14, 15, 16 y 17, provenientes de los factores condicionantes (Litología, pendientes, cobertura del suelo y humedad natural del suelo), frente a la acción de los factores condicionantes considerados como son las lluvias, sismos y erupciones volcánicas, definidas como zonas de peligros de la siguiente manera:

Cuadro 23: Grados de Peligro

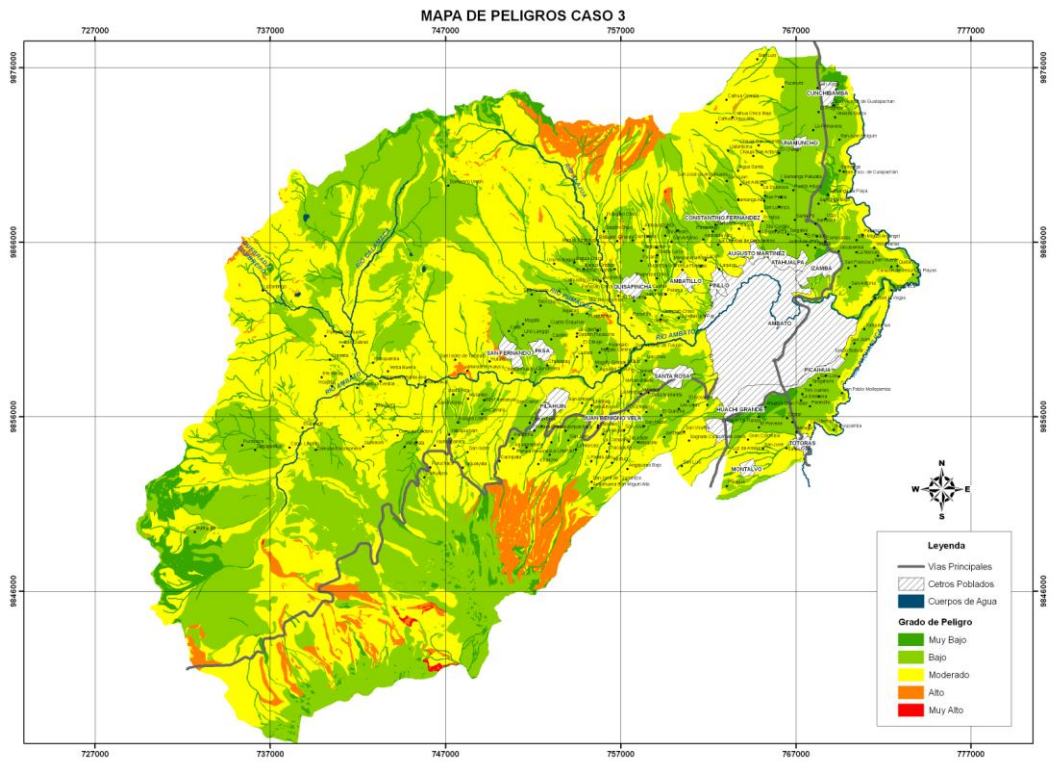
ZONAS	GRADO DE PELIGRO
1	Muy Bajo
2	Bajo
3	Moderado
4	Alto
5	Muy Alto



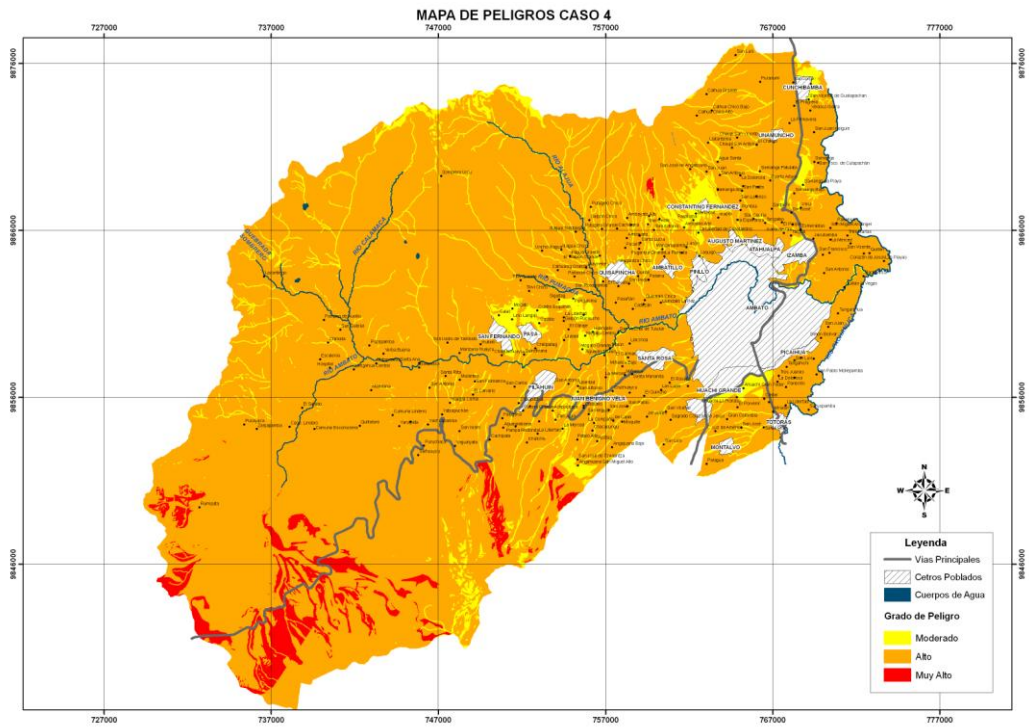
MAPA 14: Mapa de peligros Caso 1



MAPA 15: Mapa de Peligros Caso 2



MAPA 16: Mapa de Peligros Caso 3



MAPA 17: Mapa de Peligros Caso 4

6.4.7 DESCRIPCIÓN DE LOS PELIGROS EN LAS VÍAS PRINCIPALES DEL CANTÓN

Realizado el análisis espacial de la información de acuerdo a los conceptos y consideraciones detalladas, y utilizando para el efecto un Sistema de Información Geográfico, se develaron los resultados descritos en los mapas temáticos 14, 15, 16 y 17, cuyo uso puede ser multifinalitario.

Como el presente estudio tiene la finalidad de determinar la vulnerabilidad vial en función de los riesgos naturales para el cantón Ambato, a continuación se describen estos riesgos para cada una de las vías consideradas en el presente estudio, sin querer decir que los resultados sirvan para el análisis de otras obras de infraestructura que cualquier lector quiera analizar.

6.4.7.1 PANAMERICANA NORTE

De lo descrito en los respectivos mapas, podemos decir que la Panamericana Norte hasta el inicio del Paso Lateral presenta:

- Para el caso 1 (Mapa 14) y 2 (Mapa 15), que representan la combinación de los factores condicionantes y como detonantes la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años y sismo respectivamente, presentan un nivel de peligro moderado, en razón de entre otras consideraciones, estar construida sobre una topografía ondulada, y no presentar taludes de consideración.
- Para el caso 3 (Mapa 16) donde el factor detonante son las erupciones volcánicas, los resultados demuestran un nivel de peligro bajo por no tener ninguna influencia por este factor detonante.
- Para el caso 4 (Mapa 17), que representa la combinación de los factores condicionantes y dos factores detonantes al mismo tiempo, como es la

intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años y los sismo, la vía está expuesta a un nivel de peligro alto casi en un 70%.

6.4.7.2 PASO LATERAL AMBATO

En lo relacionado con el Paso Lateral de Ambato, que es una continuidad de la Panamericana Norte en sentido Sur Este tenemos:

- Existen tramos críticos por tener taludes de consideración, y suelos inestables, cuya descripción gráfica señalan peligros moderados y altos.
- Para el caso 1 (Mapa 14) que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años, aproximadamente el 50% de su tramo presenta un peligro alto, y el otro 50% un peligro moderado
- Considerando el caso 2 (Mapa 15), que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante el Sismo, el peligro disminuye casi en su totalidad en todo el tramo a moderado, pues solo en ciertos tramos que representan un 10% de su totalidad, mantiene con respecto al anterior un peligro alto.
- Para el caso 3 (Mapa 16) que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante las erupciones volcánicas, el peligro resultante es solo lo que representan los factores detonantes (bajo), pues solo en ciertos tramos que representan un 10% de su totalidad, tiene un peligro moderado.
- El caso 4 que es el evento más crítico que podría presentarse, por ser la combinación de los factores condicionantes y dos factores detonantes al mismo tiempo como es la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años y los sismo, la vía está expuesta a un nivel de

peligro alto en un 95% y 5% aproximadamente con peligro moderado.

6.4.7.3 VÍA AMBATO TOTORAS

En la vía a Baños, correspondiente al tramo entre el redondel del sector llamado Terremoto y el centro urbano de la parroquia rural Totoras tenemos:

- Para el caso 1 (Mapa 14) que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años, la totalidad del tramo, presenta moderado.
- Considerando el caso 2 (Mapa 15), que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante el Sismo, el peligro disminuye pues un 70% presenta un peligro moderado y el restante 30% tiene un peligro bajo.
- Para el caso 3 (Mapa 16) que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante las erupciones volcánicas, el peligro resultante es muy bajo en un 30% del tramo y el 70 % restante peligro bajo.
- El caso 4 (Mapa 17), que como ya se lo ha mencionado, es el evento más crítico que podría presentarse, por ser la combinación de los factores condicionantes y dos factores detonantes al mismo tiempo como es la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años y los sismo, la vía está expuesta a un nivel de peligro alto en un 70% y moderado en un 30% aproximadamente.

6.4.7.4 PANAMERICANA SUR

Corresponde a un tramo de la vía a Riobamba, desde la parroquia rural Huachi Grande y el sector Alobamba:

- Para el caso 1 (Mapa 14) que representan la combinación de los factores condicionantes más el detonante de la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años, el 95% del mismo, presenta un peligro alto, y solo el 5% presenta un peligro moderado.
- Considerando el caso 2 (Mapa 15), que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante el Sismo, el peligro disminuye pues un 10% presenta un peligro bajo, el 80% un peligro moderado y el 10% restante un peligro alto.
- Para el caso 3 (Mapa 16) que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante las erupciones volcánicas, el peligro resultante es bajo en un 10% y el 90 % restante peligro moderado.
- El caso 4 (Mapa 17), que es la combinación de los factores condicionantes y dos factores detonantes al mismo tiempo como es la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años y los sismo, la vía está expuesta en un 95% de peligro alto, y solo el 5% presenta un peligro moderado.

6.4.7.5 VÍA A GUARANDA

Es la vía más extensa del estudio, con 61 km. de longitud. Tiene una dirección sur oeste y presenta una topografía en términos generales con mayores pendientes longitudinales que las descritas anteriormente. Su geometría presenta tramos con deficiencias en la visibilidad horizontal y vertical, lo que de haber caída de escombros, acarrearía peligro para los vehículos:

- Para el caso 1 (Mapa 14) que representan la combinación de los factores condicionantes más el detonante de la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años, el 35% presenta un peligro moderado, el 60% un peligro alto y el 5% presenta un peligro muy alto.

- Considerando el caso 2 (Mapa 15), que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante el Sismo, el 5% presenta un peligro bajo, el 80% un peligro moderado y el 15% restante un peligro alto.

- Para el caso 3 (Mapa 16) que representa la combinación de los factores condicionantes y como detonante las erupciones volcánicas, el peligro resultante es muy bajo en el 1%, bajo en un 40%, moderado en un 50% y el 9% restante representa un peligro alto.

- El caso 4 (Mapa 17), que es la combinación de los factores condicionantes y dos factores detonantes al mismo tiempo como es la intensidad de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años y los sismo, la vía está expuesta a un peligro alto del 80% de peligro alto, y del 20% de un peligro muy alto, que corresponde específicamente a la zona alta del Cantón.

ANEXOS