



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento
Territorial

“ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS GEOLÓGICAS POR MOVIMIENTOS DE MASA EN EL BARRIO SACAPO DE LA PARROQUIA SAN PEDRO DE VILCABAMBA CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”

*Tesis de grado previo a la obtención del
título de Ingeniero en Geología
Ambiental y Ordenamiento Territorial*

AUTORES:

*Janina Maribel Calle Torres
Miguel Alberto Gaona Gaona*

DIRECTOR:

Ing. Maritza Lorena Domínguez Moreno.

Loja – Ecuador

2010

CERTIFICACIÓN

Sra. Ing. Maritza Lorena Domínguez Moreno

**DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA AMBIETNAL
Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL.**

CERTIFICO:

En calidad de profesor y director del proyecto de tesis titulado, ***“ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS GEOLOGÍCAS POR MOVIMIENTOS DE MASA EN EL BARRIO SACAPO DE LA PARROQUIA SAN PEDRO DE VILCABAMBA CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”***, presentado por los egresados Janina Maribel Calle Torres y Miguel Alberto Gaona Gaona, aspirantes al título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, he revisado y evaluado el desarrollo de la presente investigación, por lo cual me permito autorizar la presentación del documento definitivo.

Loja, julio 2010

Ing. Maritza Lorena Domínguez Moreno
DIRECTOR

AUTORÍA

La originalidad de la investigación, trato de la información, diseños, resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones, así como la metodología de la programación contemplada en esta tesis de grado: **“ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS GEOLÓGICAS POR MOVIMIENTOS DE MASA EN EL BARRIO SACAPO DE LA PARROQUIA SAN PEDRO DE VILCABAMBA CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”**, son de responsabilidad de los autores.

Janina Maribel Calle Torres

Miguel Alberto Gaona Gaona

AGRADECIMIENTO

Nuestros más sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, al Área de la Energía, Las Industrias y Los Recursos Naturales No Renovables y de manera muy especial a la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, con toda su planta docente por habernos formado como profesionales para servicio de la sociedad.

Nuestro agradecimiento a la Ing. Maritza Domínguez directora de la presente investigación, quien ha sabido guiarnos con sus conocimientos, para que el presente trabajo tenga los resultados propuestos.

A los Ingenieros: Jimmy Stalin Paladines, Carlomagno Chamba, Ángel Jiménez, Julio Romero, Hernán Castillo, Michael Valarezo, Karla Castro, Diego Jara, Jorge Gaona, Luis Angamarca, por brindarnos su colaboración y asesoramiento para el desarrollo del presente proyecto.

Finalmente al Ing. Danilo Ortega y a todos quienes de una u otra forma participaron y apoyaron en la elaboración de la presente investigación.

Los Autores

DEDICATORIA

El presente trabajo primeramente lo dedico a Dios y a la Virgen del Cisne, quienes me han bendecido al darme una familia maravillosa y quienes han guiado siempre mi camino, así también lo dedico al sacrificio de mis queridos padres quienes supieron apoyarme siempre y fueron la razón esencial para que pudiera terminar mis estudios, a mis hermanos y demás familiares quienes con su amor, apoyo y comprensión hicieron posible la realización del mismo.

Janina Calle

Este proyecto se lo dedico a Dios, por darme la vida y permitirme así llegar a cumplir cada una de mis metas, a mi *Querida Madre*, Hermanos y demás Familiares por enseñarme a vivir ya que sin su apoyo y comprensión no hubiese sido posible culminar con éxito mi carrera.

Miguel Gaona

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Alcance	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Movimientos en Masa	4
a) Desprendimientos o Caídas	5
b) Vuelcos	5
c) Deslizamientos	5
Deslizamientos Traslacionales	5
Deslizamientos Rotacionales	5
d) Expansión Lateral	6
e) Flujos	6
Flujo en roca	6
Flujo de residuos (Detritos)	7
Flujo de suelo	7
Flujos de lodo	7
2.2 Susceptibilidad	8
2.3 La Zonificación de Movimientos de Masa	9
2.4 Amenaza a los Deslizamientos	11
2.5 Aplicación de un SIG para la zonificación de amenazas	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Materiales	15
3.2 Métodos	16
3.3 Metodología	17

3.3.1 Metodología para el Objetivo 1	17
3.3.2 Metodología para el Objetivo 2	19
3.3.3 Metodología para el objetivo 3	20
3.4 Asignación de Pesos a las variables analizadas para la Zonificación de Amenazas Geológicas	21
4. RESULTADOS	24
4.1 Descripción General del Área de Estudio	24
4.1.1 Acceso	24
4.1.2 Ubicación	24
4.1.3 Topografía	25
4.1.4 Hidrología	25
4.1.5 Clima y Vegetación	26
4.1.6 Suelo	
	28
4.1.7 Infraestructura	30
4.2 Análisis de los Factores Condicionantes	30
4.2.1 Geología General	30
4.2.2 Geología Local	32
4.2.2.1 Estratigrafía	39
4.2.2.2 Mineralización	41
4.2.2.3 Geología Estructural	44
Orientación de las rocas	44
Diaclasas	44
Fallas	46
4.2.3 Pendientes	47
4.2.4 Inventario de Movimientos en Masa	48
4.2.5 Geomorfología	52
4.2.6 Geotecnia	54
4.2.7 Uso del Suelo	61
4.2.7.1 Uso actual del suelo	61
4.2.7.2 Cobertura Vegetal	65
4.3 Análisis de factores desencadenantes	70

4.3.1 Precipitaciones (Isoyetas)	70
4.3.2 Sismicidad	71
4.4 Análisis de Susceptibilidad a Movimientos en Masa	71
4.5 Análisis de Amenaza a Movimientos en Masa	73
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
6. CONCLUSIONES	79
7. RECOMENDACIONES	81
8. BIBLIOGRAFÍA	82
9. ANEXOS	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos (Sarkar y Kanungo, 2004)	9
Cuadro 2. Pesos asignados para Movimientos en Masa.	21
Cuadro 3. Pesos asignados para Pendientes	21
Cuadro 4. Pesos asignados para Litología	22
Cuadro 5. Pesos asignados para Geotecnia	22
Cuadro 6. Pesos asignados para cobertura vegetal	22
Cuadro 7. Pesos asignados para geomorfología	23
Cuadro 8. Pesos asignados para precipitaciones	23
Cuadro 9. Pesos asignados para sismicidad	23
Cuadro 10. Nombre común y científico de los árboles de bosque	27
Cuadro 11. Nombre común y científico de cultivos de ciclo corto	27
Cuadro 12. Nombre común y científico de frutas	27
Cuadro 13. Minerales que se encuentran presentes en la roca filita sana.	42
Cuadro 14. Minerales presentes en la roca filita alterada 1 tomada del primer movimiento en masa.	42
Cuadro 15. Minerales presentes en la roca filita alterada 2 tomada del segundo movimiento en masa.	42
Cuadro 16. Minerales presentes en la roca filita alterada 3 tomada del tercer movimiento en masa.	43
Cuadro 17. Minerales presentes en la roca alterada 4 tomada de las capas de cuarcita.	43
Cuadro 18. Rumbo y foliación de las rocas	44
Cuadro 19. Diaclasas de los macizos rocosos	45

Cuadro 20. Clasificación utilizada para elaborar el mapa de pendientes del área de estudio _____	47
Cuadro 21. Geomorfología del área de estudio. _____	53
Cuadro 22. Resultado del análisis geotécnico realizado a la roca sana, muestra 1. _____	54
Cuadro 23. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 2, tomada del Movimiento 1. _____	54
Cuadro 24. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 3, tomada del Movimiento 2. _____	55
Cuadro 25. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 4, tomada del Movimiento 3. _____	55
Cuadro 26. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 5, tomada del depósito coluvial en el centro del área de estudio _____	55
Cuadro 27. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 6, tomada del conglomerado al Sureste del área de estudio. _____	56
Cuadro 28. Resultado del afloramiento 1 de la clasificación geomecánica según RMR Bieniawski 1989. _____	57
Cuadro 29. Resultado del afloramiento 2 de la clasificación geomecánica según RMR Bieniawski 1989. _____	57
Cuadro 30. Resultado del afloramiento 3 de la clasificación geomecánica según RMR Bieniawski 1989. _____	58
Cuadro 31. Resultado del afloramiento 4 de la clasificación geomecánica según RMR Bieniawski 1989. _____	58
Cuadro 32. Resultado del afloramiento 5 de la clasificación geomecánica según Bieniawski 1989. _____	59
Cuadro 33. Resultado del afloramiento 6 de la clasificación geomecánica según Bieniawski 1989. _____	59
Cuadro 34. Resultado del afloramiento 7 de la clasificación geomecánica según Bieniawski 1989. _____	60

Cuadro 35. Resultado del afloramiento 8 de la clasificación geomecánica según Bieniawski 1989.	60
Cuadro 36. Tipos de rocas del área de estudio.	61
Cuadro 37. Tipos del uso actual del suelo en el área de estudio	62
Cuadro 38. Tipos de Cobertura Vegetal en el área de estudio	65
Cuadro 39. Grados de Susceptibilidad	73
Cuadro 40. Grados de Amenaza	75

ÍNDICE DE FOTOS

Foto Nro. 1.	Río Uchima. _____	26
Foto Nro. 2.	Vegetación del área del área de estudio. _____	28
Foto Nro. 3.	Suelo de coloración gris oscuro, producto de la desintegración de la filita, localizado en la parte Norte del sector de estudio. _____	29
Foto Nro. 4.	Suelo de coloración café amarillento, producto de la desintegración del conglomerado, localizado en la parte Sur del sector de estudio. _____	29
Foto Nro. 5.	Infraestructura del sector de estudio. _____	30
Foto Nro. 6.	Afloramiento de filita, Formación Chiguinda. _____	33
Foto Nro. 7.	Afloramiento de filita con capas de cuarcita, _____	34
Foto Nro. 8.	Esquistos de la formación Chiguinda _____	35
Foto Nro. 9.	Afloramiento de conglomerado de la formación Cerro Mandango _____	36
Foto Nro. 10.	Afloramiento del coluvial. _____	37
Foto Nro. 11.	Afloramiento del aluvial. _____	38
Foto Nro. 12.	Afloramiento de suelo residual. _____	39
Foto Nro. 13.	Vista microscópica de los minerales. _____	41
Foto Nro. 14.	Falla Inversa. _____	46
Foto Nro. 15.	Movimiento 1, Deslizamiento Rotacional ubicado en la vía que conduce al Barrio Sacapo. _____	48
Foto Nro. 16.	Movimiento 2, Deslizamiento Traslacional ubicado en la vía que conduce al Barrio Sacapo. _____	49
Foto Nro. 17.	Movimiento 3, Caída de rocas, este movimiento presenta amenaza a viviendas, ubicado al Noreste del Barrio Sacapo. _____	51
Foto Nro. 18.	Cultivos del sector de estudio. _____	62
Foto Nro. 19.	Actividades ganaderas. _____	63
Foto Nro. 20.	Áreas Verdes. _____	64
Foto Nro. 21.	Zonas Urbanas del sector de estudio. _____	64

Foto Nro. 22.	Complejo pasto - árbol.	66
Foto Nro. 23.	Árboles frutales.	66
Foto Nro. 24.	Pastizales.	67
Foto Nro. 25.	Bosque Natural.	68
Foto Nro. 26.	Cultivos.	69
Foto Nro. 27.	Zonas Denudadas.	69
Foto Nro. 28.	Infraestructura.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nro. 1.	Materiales de campo y escritorio utilizados para la Zonificación de Amenazas Geológicas _____	15
Figura Nro. 2.	Metodología para la elaboración del mapa de susceptibilidad _____	20
Figura Nro. 3.	Columna Estratigráfica del Barrio Sacapo _____	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fichas Técnicas Para Descripción de Afloramientos _____	85
Anexo 2. Fichas Para Descripción de Movimientos de Remoción en Masa _____	86
Anexo 3. Fichas Para la Caracterización de Macizos Rocosos _____	87
Anexo 4. Ficha Para la Clasificación Geomecánica Según Bieniawski 1989 _____	88
Anexo 5. Ficha Para la Descripción de Geomorfología _____	89
Anexo 6. Cortes de los Movimientos en Masa _____	90
Anexo 7. Mapas Generales _____	91
Anexo 8. Resultados de los Análisis de Laboratorio _____	92

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Mapa de Ubicación y Acceso

Mapa 2. Mapa Topográfico

Mapa 3. Mapa Geológico

Mapa 4. Mapa de Pendientes

Mapa 5. Mapa de Movimientos en Masa

Mapa 6. Mapa de Geomorfología

Mapa 7. Mapa de Geotecnia

Mapa 8. Mapa de Muestreo

Mapa 9. Mapa de Cobertura Vegetal

Mapa 10. Mapa de Uso Actual del Suelo

Mapa 11. Mapa de Isoyetas

Mapa 12. Mapa de Sismicidad

Mapa 13. Mapa de Susceptibilidad

Mapa 14. Mapa de Amenazas

RESUMEN EJECUTIVO

La zonificación de amenazas geológicas es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente en las primeras etapas de planeación de un proyecto. El trabajo que se presenta, se realizó en el barrio Sacapo de la Parroquia San Pedro de Vilcabamba del Cantón y Provincia de Loja, en un área de 60 hectáreas, el mismo que está orientado a determinar zonas de amenazas geológicas por movimientos en masa.

El presente trabajo se lo desarrolló mediante la aplicación del método establecido por Mora y Vahrson (1992) para la zonificación de amenazas por movimientos en masa, el mismo que se basa en el análisis de los factores condicionantes (Topografía, Geología, Geomorfología, Geotecnia y Cobertura Vegetal) y los factores desencadenantes (Precipitaciones y Sismicidad), así también se utilizó los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como ForeSight, AutoCAD 2010, ArcGIS 9.2 y Surfer 8, los mismos que permitieron analizar, correlacionar e interpretar los datos de campo y a la vez sectorizar el terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas de acuerdo al grado real o potencial de la amenaza.

La información recopilada y presentada en este trabajo constituye una valiosa herramienta que está encaminada a mejorar las condiciones actuales del barrio, además este proyecto sirve de base para el desarrollo de nuevos proyectos que estén encaminados a tomar las mejores decisiones para implementar las correspondientes obras de mitigación y prevención.

ABSTRACT

The zoning of geological hazards is a very useful tool for decision making, especially in the early planning stages of a project. The work presented was carried out in the Sacapo area of the Parish of San Pedro de Vilcabamba Loja Canton Province in an area of 60 hectares, it is designed to identify areas of geological hazards by mass movements.

This paper is the development through the application of the method introduced by Mora and Vahrson (1992) for zoning enjoyable by mass movements, the right based on the analysis of conditioning factors (topography, geology, geomorphology, geotechnical and Vegetation Cover) and triggers (Precipitation and seismicity) and also use Geographic Information Systems (GIS), to analyze, correlate and interpret data from field while the ground sectorize homogeneous areas and rating each of these areas according to the degree of actual or potential threat.

The information gathered and presented in this paper is a valuable tool that can be used in the technical zoning study area for the purpose of doing the work on mitigation and prevention as well as carry out work to detail that are designed to improve conditions current neighborhood.

1. INTRODUCCION

Los movimientos en masa son con frecuencia los responsables de pérdidas de vidas humanas y económicas considerables alrededor del mundo, cuyo impacto aumenta con el desarrollo urbano y los cambios del uso del suelo.

Wang y Sassa, 2003; Crosta y Frattini, 2008, establecen que los fenómenos de remoción en masa tienen múltiples causas, tales como geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, procesos geodinámicos, vegetación, uso de la tierra y actividades humanas; sin embargo la intensidad de las precipitaciones y la sismicidad, son factores, denominados como detonantes, y son considerados el estímulo externo que pueden generar una respuesta casi inmediata de movilizar los materiales, sea por el rápido incremento de los esfuerzos o por la reducción de la resistencia¹.

Según Rivera 2004, dentro de la variedad de Amenazas Geológicas ya sean de carácter endógeno o exógeno; los deslizamientos se han considerado como los más frecuentes que ocurren cada año en nuestro país y han cobrado más víctimas que otros eventos como inundaciones, sismos o erupciones volcánicas y son por tanto una amenaza cuya distribución y magnitud se deben conocer para mejorar el manejo de las zonas propensas a ellos.

La provincia de Loja, no es la excepción ante éste tipo de amenazas más aún la ciudad de Loja que en los últimos años debido al crecimiento urbano acelerado, su topografía irregular, precipitaciones elevadas y materiales geológicos de baja resistencia han aumentado la amenaza a movimientos en masa, y por el desconocimiento de estos factores existen asentamientos humanos y desarrollo de actividades productivas en zonas inestables afectando a la infraestructura vial y de vivienda ocasionando múltiples daños materiales a los pobladores, como sucede en el barrio Sacapo de la parroquia San Pedro de Vilcabamba, del cantón y provincia de Loja.

La población se constituye como un medio vulnerable a movimientos en masa, por lo que la capacitación en estos temas ayudara considerablemente a disminuir la amenaza, en sectores que presentan mayor grado de vulnerabilidad. De la misma manera, las obras físicas de ingeniería y las actividades agrícolas desarrolladas en el sector de estudio al ser también vulnerables requieren ser ubicadas en lugares estables considerando las características topográficas y geológicas del terreno. Es por eso la necesidad de realizar la zonificación de amenazas geológicas por movimientos de masa en el Barrio Sacapo, con el fin de disminuir el grado de amenaza y vulnerabilidad.

¹ WANG Y SASSA, 2003; CROSTA Y FRATTINI, 2008, Análisis de fenómenos de remoción en masa

Objetivos:

Objetivo General.

- Determinar las principales zonas de amenazas geológicas por movimientos de masa en el barrio Sacapo de la parroquia San Pedro de Vilcabamba, cantón y provincia de Loja.

Objetivos Específicos:

- Desarrollar un mapa topográfico y geológico a detalle del barrio Sacapo.
- Desarrollar un inventario detallado de los movimientos en masa existentes en el sector de estudio.
- Elaborar el mapa de susceptibilidad del sector de estudio en base al análisis de las condiciones del terreno.

Alcance.

Los deslizamientos de tierra son uno de los fenómenos geológicos más recurrentes y que afecta a diversas zonas del Ecuador y del mundo. Muchos poblados están asentados en las cercanías de deslizamientos conformando zonas de alta vulnerabilidad.

Por este motivo nuestro trabajo se enfocara a realizar la zonificación de amenazas geológicas por movimientos de masa en el barrio Sacapo de la parroquia San Pedro de Vilcabamba perteneciente al cantón y provincia de Loja para delimitar zonas de amenaza, y definir el uso adecuado del terreno.

Para alcanzar la meta del presente proyecto se necesita elaborar:

- Un Mapa Topográfico y Geológico detallado a escala local, que nos permitirá conocer el relieve y la litología característica del sector.
- Mapa de Susceptibilidad por Deslizamientos del sector de estudio, el que expresara la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.
- Mapa de Amenazas Geológicas por Movimientos de Masa, que permitirá conocer la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en el área de estudio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Movimientos en Masa.

Gray y Sotir, 1996; Tragsa y Tragsatec, 1994, definen a los movimientos en masa como el transporte pendiente abajo de masas de suelo o roca por la acción directa de la gravedad. Este tipo de procesos gravitatorios se interrelacionan mutuamente con las precipitaciones altas, de tal forma que frecuentemente las lluvias torrenciales son causantes de los movimientos en masa, ya que aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del material al deslizamiento².

Los movimientos gravitacionales de masa, pueden ocurrir tanto por fenómenos de dinámica natural como por procesos inducidos artificialmente. Existen dos tipos de factores asociados a los movimientos de masa, estos son los factores condicionantes o factores desencadenantes.

Los **factores condicionantes** son aquellos factores intrínsecos que condicionan el suelo o roca, estos pueden ser: litológicos, estructurales (discontinuidades), presencia de agua, sismicidad, topografía.

Los **factores desencadenantes** son aquellos factores que aceleran o retardan la ocurrencia del fenómeno, estos se dan por intervención antrópica como: excavaciones, voladuras, sobrecarga, urbanismos, procesos industriales, actividad minera: a cielo abierto y subterránea, cortes al pie de los taludes o laderas, aumento de la sobrecarga en la cresta y por fenómenos geodinámicos, precipitaciones intensas y prolongadas, sismicidad, vulcanismo³.

Los movimientos en masa han sido clasificados por varios autores (Baltzer, 1975; Varnes, 1978; Helm 1982), sin embargo la clasificación más utilizada es la de Varnes (1978), que considera los siguientes tipos: desprendimientos o caídas, vuelcos, deslizamientos, expansión lateral y flujos.

- a) **Desprendimientos o Caídas.-** La caída es un tipo de movimiento de masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable, dependiendo del material desprendido se habla de una caída de suelo o roca. Una característica importante de las caídas de roca es que el movimiento no es

² GRAY Y SOTIR, 1996; TRAGSA Y TRAGSATEC, 1994, Descripción de los Movimientos en Masa.

³ Texto tomado del estudio de Evaluación y Zonificación de Riesgos Geodinámicos en el Distrito Minero de Zaruma y Portovelo

masivo ni del tipo flujo y las velocidades alcanzadas por las caídas de roca pueden exceder los 100m/s.

- b) **Vuelcos.-** Tipo de movimiento en el cual hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas, los movimientos en este caso pueden ser lentos o graduales.
- c) **Deslizamientos.-** Son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movilizada se desplaza como un bloque único, y según la trayectoria descrita los deslizamientos pueden ser rotacionales o traslacionales.
- **Deslizamientos Traslacionales.-** Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella.
 - **Deslizamientos Rotacionales.-** Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava, autoestabilizante y ocurre en rocas poco competentes, muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal estos deslizamientos pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1m/s.
- d) **Expansión Lateral.-** Son movimientos que relacionan procesos de rotura y erosivos, en los cuales el agua actúa como factor detonante, generalmente relacionan pendientes bajas, consideran velocidades extremadamente lentas que van en cm/año, y cubren grandes áreas.

e) **Flujos.-** Estos movimientos se producen en rocas, escombros y suelos; en los últimos dos casos están relacionados a una saturación de agua principalmente en periodos de lluvia intensa. El movimiento generalmente es muy rápido y por ende muy peligroso⁴.

- **Flujo en roca.-** Los movimientos de flujo en roca comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. La distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Este tipo de movimiento ocurre con mucha frecuencia en zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación, especialmente en la cordillera de los Andes.

Se observa la relación de estos flujos con perfiles de meteorización poco profundos en los cuales las fallas están generalmente, relacionadas con cambios de esfuerzos y lixiviación, ocasionados por la filtración momentánea del agua en las primeras horas después de una lluvia fuerte. Las pendientes de estos taludes son comúnmente muy empinadas (más de 45°).

Su ocurrencia es mayor en rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas y pueden estar precedidos por fenómenos de inclinación. Estos flujos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad tiende a ser rápida a muy rápida.

- **Flujo de residuos (Detritos).-** Por lo general, un flujo de rocas termina en uno de residuos. Los materiales se van triturando por el mismo proceso de flujo y se puede observar una diferencia importante de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento.

El movimiento de los flujos de detritos puede ser activado por las lluvias, debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debidas al movimiento del agua subterránea (Collins y Znidarcic, 1997).

Los daños causados por los flujos de detritos abarcan áreas relativamente grandes. El flujo típico de detritos es una honda larga de materiales sólidos y líquidos entremezclados, que se mueve en forma constante a través de un

⁴ VARNES, 1978, Clasificación de los movimientos en los taludes.

canal con algunas ondas menores súper impuestas que se mueven a velocidades superiores a aquellas del flujo mismo.

Cuando el canal es más pequeño que el flujo, se forman ondas horizontales o depósitos laterales a los lados del canal.

- **Flujo de suelo.-** Los flujos de suelo también pueden ser secos y más lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia.

En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños pero de velocidades altas.

- **Flujos de lodo.-** Dentro de los flujos de tierra están los “flujos de lodo”, en los cuales los materiales de suelo son muy finos y las humedades muy altas y ya se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegándose al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad.

Un flujo de lodo posee tres unidades morfológicas: un origen que generalmente es un deslizamiento, un camino o canal de flujo y finalmente una zona de acumulación. El origen consiste en una serie de escarpes de falla o deslizamientos de rotación o translación, el camino o canal es generalmente un área estrecha, recta o una serie de canales a través del cual fluye el material viscoso, el ancho, profundidad y pendiente del camino del flujo varía de acuerdo a las condiciones topográficas y morfológicas.

La zona de acumulación es generalmente, un área de menor pendiente en la cual el flujo pierde velocidad y forma un abanico de depositación.

2.2. Susceptibilidad.

Crozier, 1986, indica que la Susceptibilidad expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno, (Topografía, Geología, Geomorfología, Geotecnia y Cobertura Vegetal). La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos.

El mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van de estable a inestable. El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos.

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad se tienen en cuenta los factores condicionantes que indican las condiciones naturales del terreno los cuales son:

- Relieve y mapa de pendientes.
- Características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno.
- Uso del suelo
- Inventario de deslizamientos.

La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad⁵.

Cuadro 1. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos (Sarkar y Kanungo, 2004)⁶

Susceptibilidad	Criterio
Muy Alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente y saturadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe una alta posibilidad de que ocurran.
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Moderada	Laderas 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
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades desfavorables, donde no existen

⁵ CROZIER, 1986, Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo.

⁶ SARKAR Y KANUNGO, 2004, Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos, Cuadro tomado de la Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo.

	indicios que permitan predecir deslizamientos.
Muy Baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

2.3. La Zonificación de Movimientos de Masa.

La zonificación indica la subdivisión de un área geográfica, país, región y ciudad, en sectores homogéneos con respecto a ciertos criterios, como por ejemplo: la intensidad de la amenaza, el grado de riesgo, requisitos en materia de protección contra una amenaza dada, capacidad productiva y tipo de construcciones permitidas.

La ocurrencia de los deslizamientos es el producto de las condiciones geológicas, hidrológicas, geomorfológicas y la modificación de éstas por procesos geodinámicos, vegetación, uso de la tierra y actividades humanas, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la sismicidad.

Morgenstern, 1997, establece que la presencia de deslizamientos es un fenómeno sujeto a muchos grados de incertidumbre, debido a que éstos incluyen diferentes tipos de movimientos, velocidades, modos de falla, materiales y restricciones geológicas, etc., y el valor del factor de seguridad, puede no ser confiable, debido a que no tiene en cuenta la incertidumbre de la ignorancia con respecto a la confiabilidad de los datos para el análisis, las incertidumbres de los modelos matemáticos y las incertidumbres humanas. Cuando existe incertidumbre sobre la posibilidad o no, de la ocurrencia de un fenómeno, generalmente se toman decisiones equivocadas de diseño.

La zonificación de amenazas permite evaluar, parcialmente, esa incertidumbre y es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente, en las primeras etapas de planeación de un proyecto. La zonificación permite dividir el terreno en áreas homogéneas y calificar cada una de estas áreas de acuerdo con el grado real o potencial de amenaza.

La zonificación de amenazas generalmente es imprecisa debido a que la inestabilidad de los taludes y las laderas es un problema de alta complejidad y todavía muy poco entendido⁷.

De acuerdo con Hartlen y Viberg, 1996, un mapa ideal de amenazas a movimientos en masa debería suministrar información sobre la probabilidad espacial y temporal de ocurrencia, el tipo, la magnitud, la velocidad, la distancia de viaje y el límite de avance retrogresivo de los movimientos en masa⁸.

2.4. Amenaza a los Deslizamientos.

Varnes, 1984, describe que Amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo.

Audemard, 2002, indica que entre las amenazas naturales, los deslizamientos son los de mayor frecuencia y más amplia distribución geográfica. Pueden ocurrir como fenómenos recurrentes a corto plazo, de baja intensidad pero cubriendo extensas áreas, o como eventos de más largo intervalo de retorno, mas localizados pero con intensidad catastrófica.

Una evaluación de amenaza a los deslizamientos, incluye un estudio previo de la susceptibilidad y de la posibilidad de que ocurra un evento detonante. Para que se presente la amenaza, se requiere que se presenten conjuntamente la susceptibilidad y el evento detonante⁹.

En el mapa de amenaza se toman en cuenta los factores detonantes, estos son aquellos que activan el movimiento en masa en un momento determinado. Entre los principales factores desencadenantes se encuentran:

- **Hidrología.**

Se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la [atmósfera](#) y en la [corteza terrestre](#). Esto incluye las [precipitaciones](#), la [escorrentía](#), la humedad del [suelo](#), la [evapotranspiración](#), infiltración, flujo subterráneo y el equilibrio de las masas [glaciares](#).

⁷ MORGENSTERN, 1997, Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo.

⁸ HARTLEN Y VIBERG, 1996, Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa, guía metodológica.

⁹ AUDEMARD, 2002, Metodología para la elaboración de mapas de amenaza por deslizamientos.

Se debe conocer las precipitaciones, debido que se considera como el principal factor detonante para que se generen los movimientos en masa.

- **Factores Antrópicos.**

Los factores antrópicos están vinculados a la acción humana, que no solo produce cambios en el paisaje, sino que algunos de esos cambios, a su vez, influyen en el modo como actúan los agentes externos.

La intensidad, frecuencia y ocurrencia de los movimientos en masa están influenciadas por la intervención antrópica de los terrenos lo que los convierte en un fenómeno socio natural. Las acciones antrópicas que inducen los movimientos en masa incluyen: cortes para la construcción de carreteras, terraceos (aplanamiento de ladera) para urbanizaciones, instalación de redes de infraestructura, infiltraciones de agua por fugas en los sistemas de acueducto y alcantarillado, ausencia o insuficiencia de sistemas de recolección de aguas lluvias, deforestación y minería subterránea y a cielo abierto.

- **Tectónica y Sismicidad.**

Se debe identificar la cercanía a las fallas geológicas, volcanes y otras fuentes de energía sísmica y realizar un análisis de la sismicidad histórica para definir la intensidad de los fenómenos sísmicos que puedan activar los deslizamientos.

Existen algunos métodos para determinar el valor de las fuerzas y las aceleraciones sísmicas que permiten definir los valores diferentes de amenaza. Generalmente, se trabaja con un valor de sismo-aceleración, el cual se integra a los cálculos de estabilidad.

2.5. Aplicación de un SIG para la zonificación de amenazas.

Los sistemas de información geográfica se han constituido durante los últimos 20 años en una de las importantes herramientas de trabajo para investigadores, analistas y planificadores, en todas sus actividades que tienen como insumo el manejo de información (Base de Datos) relacionada con diversos niveles de agregación espacial o territorial.

Como se sabe las funciones principales de un SIG son la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y despliegue de información georeferenciada. Esta

funcionalidad puede aprovecharse para generar mapas de zonificación de amenazas por movimientos en masa mediante los siguientes procesos¹⁰:

- **Estructuración de la información temática.-** Durante este proceso se recopila toda la información cartográfica disponible en formato digital de los mapas base y temáticos, al igual que la información tabular de los mismos para el área de estudio. De esta manera se conforma el mapa base digital, que se compone de diferentes capas correspondientes a cada tema (curvas de nivel, quebradas, ríos, infraestructura, vías y demás).

Por otra parte se digitalizan todos los mapas temáticos necesarios para la modelación en el SIG, cada uno con su topología y atributos para conformar la base de datos geográfica.

- **Generación de mapas temáticos.-** Durante este proceso se generan mapas temáticos, producto del cruce de dos o más capas de información base o temática, éste es el caso de los mapas de pendientes, uso del suelo, ingeniería geológica y otros.

La generación de cada uno de estos mapas es diferente y puede involucrar una o más capas y operaciones diferentes entre ellas. También se pueden crear capas intermedias que necesiten ser reclasificadas, generalizadas o simplificadas, para generar finalmente la capa temática resultante o todo el análisis.

- **Generación de mapas de susceptibilidad.-** En este proceso se realiza el cruce y sumatoria de todas las capas temáticas de análisis (Movimientos en Masa, Geología, Pendientes, Geomorfología, y Uso de Suelo) para obtener el mapa de susceptibilidad total de terreno.
- **Generación de mapas de amenazas.-** Para obtener el mapa de zonificación de amenazas, al mapa de susceptibilidad obtenido se le integran los factores detonantes: la sismicidad y la precipitación. A partir de este mapa final se pueden hacer recomendaciones de uso, de acuerdo con la aptitud del suelo frente a la amenaza presente.

¹⁰ INGEOMINAS, Guía metodológica, Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales.

Para el desarrollo del presente proyecto y cumplimiento de los objetivos planteados se utilizaron materiales de campo y gabinete, los mismos que se describen a continuación:

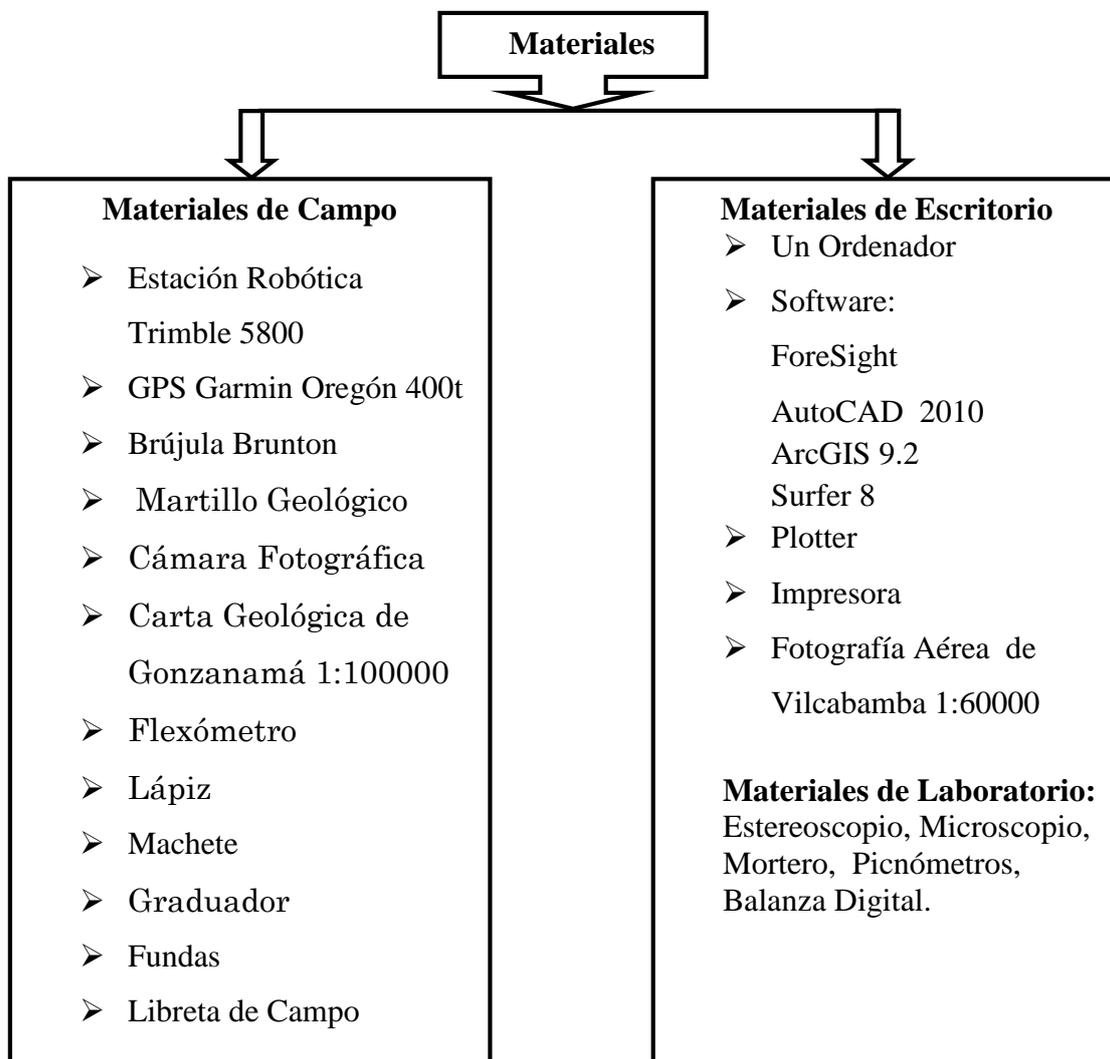


Figura Nro. 1. Materiales de campo y escritorio utilizados para la Zonificación de Amenazas Geológicas

3.2. Métodos.

Para la zonificación de amenazas geológicas por movimientos en masa se siguió un procedimiento empírico, el cual consiste en asignar a un terreno un grado de susceptibilidad o posibilidad de ocurrencia de deslizamientos a partir de la observación y ponderación directa en campo de aquellos factores que el especialista considera determinantes en la susceptibilidad del terreno, tomando en cuenta los posibles factores que pueden detonar el fenómeno.

Además se aplicará el método de Mora y Vahrson 1992, para la obtención del mapa de amenaza total, el cual se basa en el análisis e interrelación de los factores condicionantes (Topografía, Geología, Geomorfología, Geotecnia y Uso del Suelo) y los factores desencadenantes (Precipitaciones y Sismicidad).

Considerando la metodología de Mora y Vahrson 1992, se utilizó la siguiente expresión¹¹:

$$\text{Amenaza} = (\text{Pp} + \text{Pl} + \text{Pg} + \text{Pc} + \text{Pgt}) * (\text{Ts} + \text{Tp})$$

Donde:

- Pp.-** Peso dado a las pendientes del terreno
- Pl.-** Peso dado a las características geológicas
- Pg.-** Peso dado a las características geomorfológicas
- Pc.-** Peso dado al uso del suelo
- Pgt.-** Peso dado a las características geotécnicas
- Ts.-** Peso dado por amenaza sísmica
- Tp.-** Peso dado por intensidad de precipitación

3.3. Metodología.

La metodología utilizada para conseguir los objetivos propuestos en este proyecto se dividen en los pasos siguientes:

- **Recopilación de la información.-** Esta etapa comprende en consultar, recopilar y clasificar la información del lugar de estudio, con el fin de obtener datos que sirvan a los investigadores, la información se la obtendrá de instituciones como el Municipio de Loja, Universidades y la comunidad.

¹¹ MORA,S; Y VAHRSON, W; 1992, Método para la determinación de la amenaza por deslizamientos.

- **Trabajo de campo.-** Es la recopilación de la información y toma de muestras de campo mediante la visita y observación directa del área de estudio con el fin de obtener datos precisos y a detalle como son: la topografía, geología, morfología, uso de suelos, y geotecnia.
- **Análisis de laboratorio.-** Comprende el análisis de las muestras de campo en el laboratorio con el fin de determinar sus características y propiedades como son: compresión simple de las rocas y clasificación del suelo.
- **Trabajo de gabinete.-** Es la última parte del proyecto la cual consta en el análisis y procesamiento de los datos obtenidos en el campo y laboratorio con el fin de cumplir con el objetivo de la investigación la cual es determinar zonas de amenazas geológicas por movimientos de masa del área de estudio.

3.3.1. Metodología para el Objetivo 1

- Desarrollar un mapa topográfico y geológico a detalle del barrio Sacapo.

Para el cumplimiento de este objetivo, en primer lugar se analizó la zona, objeto de estudio mediante una observación de campo, para luego organizar adecuadamente todo el trabajo que se realizó en un plazo acordado.

Metodología para desarrollar el Mapa Topográfico

Una vez analizada la zona, para realizar el levantamiento topográfico se procedió a establecer la ubicación de la estación robótica Trimble 5800, en la parte más alta del sector, esta estación consta de una base fija y una base móvil, éstas bases fueron niveladas y georeferenciadas, con el fin de obtener datos precisos del terreno.

Mediante la utilización de la base móvil se fueron codificando y tomando los puntos necesarios que nos permitieron representar con un mayor detalle los rasgos topográficos del sector de estudio.

Una vez concluido el trabajo de campo a través de la recolección de puntos por medio de la utilización de estación robótica Trimble 5800, se procedió a ordenar los datos en un computador por medio del software denominado “Microsoft Office Excel 2007”, seguidamente estos datos obtenidos de este software se procesan nuevamente por medio del programa “ForeSight Versión 2.2.1”, para generar las curvas de nivel, este nuevo archivo obtenido se lo exporta al programa “AutoCAD” guardándolo como extensión “.dxf de AutoCAD”. Aquí se procede a editar el dibujo por medio de la creación

de capas que contengan información de la totalidad del levantamiento topográfico realizado y finalmente se elaboró una base de datos en el programa ArcGIS 9.2 lo que permite un mejor manejo de la información.

Metodología para desarrollar el Mapa Geológico.

Para la elaboración de la geología del área de estudio primeramente se procedió a elaborar un formato de campo (Ver Anexo 1, Ficha Técnica Para Descripción de Afloramientos) que sirvió para realizar la recolección de datos, observados y tomados in situ.

Con la utilización de un GPS se procedió a la ubicación de los diferentes afloramientos; además mediante la utilización de la brújula y un flexómetro se ha determinado los elementos estructurales (Rumbo y buzamiento, dirección del buzamiento y presencia de contactos) éstos datos obtenidos fueron detallados en la ficha de campo, en la cual se realizó una columna estratigráfica indicando la diferencia litológica (Suelo - Roca), con sus respectivas capas y potencias, además se hizo la descripción de cada capa indicando sus diferentes características como: color de material, granulometría, orientación, buzamiento, grado de humedad, potencia y grado de meteorización.

La topografía del área de estudio previamente realizada sirvió de base para delimitar sobre ella el detalle geológico, en ésta base topográfica se ubicaron los diferentes afloramientos analizados con sus respectivas características y medidas estructurales, estos datos fueron ingresados al software ArcGIS 9.2 con el fin de delimitar las formaciones geológicas encontradas en el sector de estudio.

La aplicación de la metodología antes descrita que se basó en trabajo de campo y escritorio permitió desarrollar el mapa topográfico y geológico a detalle del barrio Sacapo.

3.3.2. Metodología para el objetivo 2.

- Desarrollar un inventario detallado de los movimientos en masa existentes en el sector de estudio.

Para el desarrollo del inventario de movimientos en masa a través del método de observación directa se realizó la ubicación de cada uno de éstos con la utilización de un GPS, además se caracterizó individualmente cada uno de los movimientos en masa encontrados, para lo cual se utilizó un formato de campo propuesto por Álvaro E. Escobar. (Ver anexo 2, Ficha Para Descripción de Movimientos de Remoción en Masa), en el mismo que se indican características del movimiento como ubicación, dirección, ángulo de inclinación, tipo, longitud, ancho, velocidad, estilo, actividad, forma y estado de la masa desplazada, factor disparador, entre otros. Estos datos obtenidos fueron digitalizados en el software ArcGIS 9.2, mediante la

utilización de la herramienta *Editor* sobre la base topográfica previamente realizada, además se asignaron los pesos a cada uno de los movimientos encontrados.

3.3.3. Metodología para el objetivo 3.

- Elaborar el mapa de susceptibilidad del sector de estudio en base al análisis de las condiciones del terreno.

Para elaborar el mapa de susceptibilidad se utilizó el programa ArcGIS 9.2, en el cual se procedió a asignar pesos a las diferentes variables de los mapas temáticos, posteriormente mediante la herramienta *Spatial Analyst* en *Convert y Features to Raster* se procedió a convertir de Shapefile a raster los mapas temáticos (Mapa de Movimientos en Masa, Mapa de Pendientes, Mapa Geológico, Mapa Geomorfológico, Mapa Geotécnico y Mapa de Cobertura Vegetal.), los mismos que fueron sumados mediante la herramienta *Raster Calculator*, para obtener el mapa de susceptibilidad, el mismo que se lo clasifica y reclasifica de acuerdo a la clasificación estándar de susceptibilidad establecida por “Sarkar y Kanungo, 2004”. (Ver Cuadro 1).

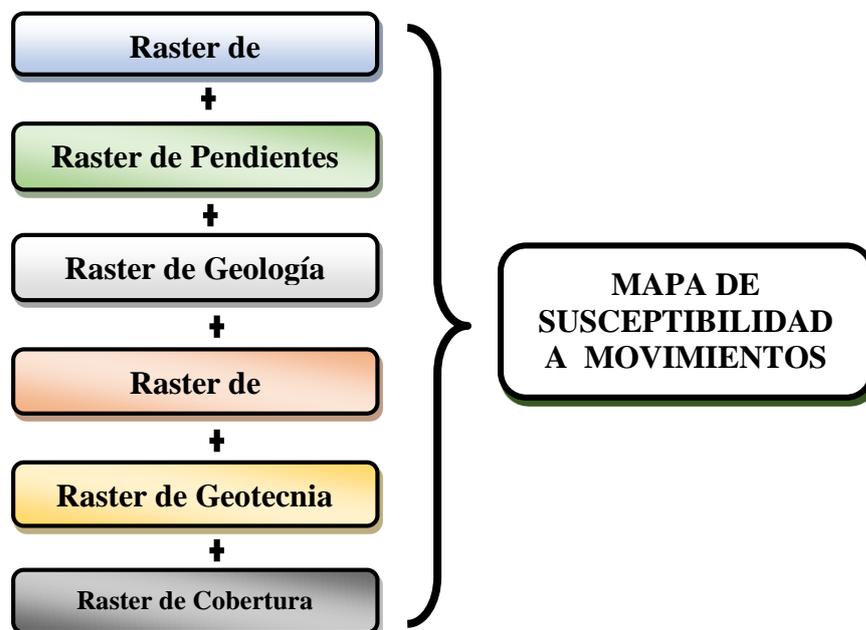


Figura Nro. 2. Metodología para la elaboración del mapa de susceptibilidad

3.4. Asignación de Pesos a las variables analizadas para la Zonificación de Amenazas Geológicas.

Para la zonificación de amenazas geológicas, a cada una de las variables (Movimientos en Masa, Pendientes, Geología, Geomorfología, Geotecnia y Cobertura Vegetal) se les asigna pesos relativos cuyos rangos van de 1 a 5; en donde el valor 1 se refiere a las condiciones menos favorables para que se produzcan los movimientos en masa, y por el contrario el valor 5 se refiere a las condiciones favorables para que se produzcan los movimientos en masa las cuales hacen que aumente la amenaza a estos movimientos.

Se tomo los pesos de los diferentes factores para tener en cuenta en la evaluación de amenazas por deslizamientos.

Cuadro 2. Pesos asignados para Movimientos en Masa

MOVIMIENTOS EN MASA	
Variable	Peso
Deslizamiento	2
Caída de Rocas	4

Cuadro 3. Pesos asignados para Pendientes

CLASES DE PENDIENTES		
Categoría	Clases (%)	Peso
Muy Baja	0 a 15	1
Baja	15 a 30	2
Media	30 a 50	3
Alta	50 a 100	4
Muy Alta	> 100	5

Cuadro 4. Pesos asignados para Litología

LITOLOGÍA	
Variable	Peso
Filita Meteorizada	4
Conglomerado	3
Coluvial	2
Aluvial	2
Suelo Residual	4

Cuadro 5. Pesos asignados para Geotecnia

GEOTECNIA	
Variable	Peso
Muy Mala	5
Mala	4
Regular	3

Cuadro 6. Pesos asignados para cobertura vegetal

COBERTURA VEGETAL	
Variable	Peso
Zonas Denudadas	5
Cultivos, Pastizal	3
Complejo Pasto-Árbol	2
Árboles Frutales, Bosque Natural	1

Cuadro 7. Pesos asignados para geomorfología

GEOMORFOLOGÍA	
Variable (mm)	Peso
Escarpe de talud de vía	5
Laderas cóncavas escarpadas	3
Laderas irregulares escarpadas	3
Laderas rectas escarpadas	4
Laderas cóncavas suaves, Valle coluvio – aluvial	2
Cauce de río	1

Cuadro 8. Pesos asignados para precipitaciones

PRECIPITACIONES	
Variable (mm)	Peso
850 – 860	1
860 – 870	2
870 – 880	3
880 – 890	4

Cuadro 9. Pesos asignados para sismicidad

SISMICIDAD	
Categoría	Peso
Baja	2

4. RESULTADOS

4.1. Descripción General del Área de Estudio

4.1.1. Acceso.

El acceso al área de estudio se lo puede efectuar de la siguiente manera:

Desde la capital del Ecuador se puede acceder por vía aérea hasta el aeropuerto Camilo Ponce Enríquez ubicado en el cantón Catamayo, luego se desplaza por vía terrestre por un tiempo aproximado de 45 minutos hacia la ciudad de Loja, desde ahí se dirige hacia el Sur, 36 kilómetros tomando la vía Loja – Vilcabamba llegando a la parroquia San Pedro de Vilcabamba y tomando una vía de segundo orden a cinco minutos se llega al área de estudio.

También se puede llegar por vía terrestre desde la capital del Ecuador, tomando la vía de primer orden la Panamericana Sur, llegando al terminal terrestre de la ciudad de Loja y dirigiéndose 36 kilómetros hacia el Sur por la vía Loja - Vilcabamba. (Ver Mapa N°1).

4.1.2. Ubicación.

La parroquia San Pedro de Vilcabamba se encuentra ubicada al sur del cantón Loja, de la provincia de Loja; El centro urbano parroquial se encuentra a 36 Km. del centro de Loja por la vía ínter-parroquial, (Loja - Vilcabamba).

Sus coordenadas geográficas UTM son:

Longitud X = 697589

Latitud Y = 9531164

El barrio Sacapo se encuentra ubicado al Noreste de la parroquia San Pedro de Vilcabamba del cantón y provincia de Loja, y comprende una superficie de 64 Hectáreas.

4.1.3. Topografía.

La orografía característica de la parroquia San Pedro de Vilcabamba es de tipo irregular y compleja, con relieves que varían de fuertes a muy fuertes con una altura promedio de 2600 m.s.n.m, siendo sus extremos Cerro Toronche con 3600 m.s.n.m que es la parte más alta y el río Uchima con una altura de 1600 m.s.n.m., que representa la parte más baja (Ver Anexo 7, Topografía de San Pedro de Vilcabamba).

El barrio Sacapo presenta una topografía bastante accidentada con pendientes muy pronunciadas que superan el 100% de inclinación, y relieves variados, que alcanzan una altura promedio de 1647 m s.n.m., encontrándose al sur del área de estudio la parte más alta con una elevación de 1720 m s.n.m., y la parte más baja se localiza en el río Uchima con una elevación de 1574 m s.n.m. (Ver Mapa N° 2).

4.1.4. Hidrología.

La cuenca principal que atraviesa la parroquia San Pedro de Vilcabamba lo constituye el Río Uchima, el mismo que es abastecido por las diferentes micro cuencas hidrográficas entre las cuales están: Toronche, Banderilla, Colanuma, Culebrilla y Sacapo¹² (Ver Anexo 7, Hidrología de San Pedro de Vilcabamba).

El drenaje principal del sector de estudio lo constituye el río Uchima que atraviesa totalmente el barrio Sacapo, que fluye con dirección NE - SW, recibiendo el aporte principal de la quebrada Sacapo y de quebradas intermitentes las mismas que se activan en periodos de lluvia, dándole a la hidrografía del sector una forma dendrítica.



Foto Nro. 1. Río Uchima.

¹² CINFA, Informe Técnico

4.1.5. Clima y Vegetación.

El clima de la región es del tipo seco subtropical, con temperaturas medias que varían de 17 a 21 grados centígrados, sin existir cambios bruscos de temperatura ya sea en verano o en invierno. Los meses más cálidos son Noviembre y Diciembre con temperaturas medias de 20 y 21 grados centígrados respectivamente y el más frío es el mes de Septiembre con una temperatura promedio de 19 grados centígrados. La precipitación media anual en el área de estudio es de 870 mm. De acuerdo con el análisis meteorológico de las estaciones meteorológicas: Cajanuma, San Francisco, Malacatos y Vilcabamba¹³.

La vegetación del sector es característica de la zona seca subtropical, conformada principalmente de árboles de bosque como:

Cuadro 10. Nombre común y científico de los árboles de bosque

Nombre Común	Nombre Científico
Faique	Acacia macracantha
Romerillo	Bidens pilosa
Cedro	Cedrela odorata
Eucalipto	Eucalyptus camaldulensis Dehn
Pino	Pinus pinea

Además puede encontrarse pastizales y cultivos variados principalmente en las partes bajas así como bosques secos intervenidos.

El área de estudio posee tierras muy fértiles lo que facilita la práctica de la agricultura produciendo principalmente:

Cuadro 11. Nombre común y científico de cultivos de ciclo corto

Nombre Común	Nombre Científico
Maíz	Zea mays
Yuca	Manihot esculenta crantz
Café	Coffea arabica
Guineo, Plátano	Musa sapientum

¹³ CINFA, Informe Técnico

También se cultivan frutas como naranja, lima, limón míspero, mango, maracuyá, papaya

Cuadro 12. Nombre común y científico de frutas

Nombre Común	Nombre Científico
Lima	Citrus aurantifolia
Limón	Citrus limonum Risso
Naranja	Citrus aurantium
Míspero	Mespilus germanica
Mango	Mangifera indica
Maracuya	Passiflora edulis
Papaya	Carica papaya



Foto Nro. 2. Vegetación del área del área de estudio.

4.1.6. Suelo

En el sector de estudio los suelos en las partes altas se presentan muy erosionados cuya potencia es inversamente proporcional a la pendiente ($>$ pendiente $<$ potencia), son suelos que presentan severas limitaciones en la retención de agua, lo cual reduce su uso potencial para agricultura; en estos sectores las rocas metamórficas (filitas y esquistos) que es el material parental, se encuentran aflorando en grandes extensiones, cubiertos de una cobertura vegetal poco desarrollada, son zonas totalmente degradadas por la erosión.

De acuerdo con los análisis de laboratorio realizados se determino la presencia de suelos A-2-6 que de acuerdo a la clasificación AASHTO son suelos gravosos y arenas arcillosas o limosas y de acuerdo a la clasificación S.U.C.S., son suelos areno arcillosos con grava, estos suelos presentan un 11% de plasticidad, que de acuerdo a la clasificación de Burmister 1949, son suelos de plasticidad media, además su capacidad máxima de carga es de 1.33Kg/cm^2 y presentan una cohesión baja de 0.67 Kg/cm^2 Por características macroscópicas se determino que el suelo en la parte Sur del área de estudio es de color café amarillento, debido a la desintegración del conglomerado de la Formación Mandango, y en la parte central es de color gris oscuro debido a la desintegración de la filita perteneciente a la Unidad Chiguinda.

Foto Nro. 3. Suelo de coloración gris oscuro, producto de la



desintegración de la filita, localizado al Norte del sector de estudio.



Foto Nro. 4. Suelo de coloración café amarillento, producto de la desintegración del conglomerado, localizado al Sur del sector de estudio.

4.1.7. Infraestructura

El sector de estudio se caracteriza por la presencia de infraestructuras de tipo lineal y vertical, entre las que se destacan principalmente, vía, alcantarillado, viviendas, postes de luz y canal de riego su estructura de hormigón, tiene una longitud de 935 metros, una profundidad de 0.50 metros y un ancho de 0.50 metros, se encuentra en buenas condiciones y no se evidencia fisuras en él por lo que no existen infiltraciones hacia el terreno. Además cuenta con todos los servicios básicos como alumbrado público, agua potable, telecomunicación, recolección y eliminación de basura.



Foto Nro. 5. Infraestructura del sector de estudio.

4.2. Análisis de los Factores Condicionantes

4.2.1. Geología General

Geológicamente la parroquia San Pedro de Vilcabamba se caracteriza por la presencia de la Unidad Chiguinda, Formación Mandango, y Depósitos Aluviales (Ver Anexo 7, Geología de San Pedro de Vilcabamba).

- **Unidad Chiguinda (Paleozoico Inferior al Superior 544 a 245 ma).**

Las Rocas Metamórficas forman la Cordillera Central o Real a través del Ecuador, y constituyen las rocas más antiguas de la Cuenca de Loja.

La Unidad Chiguinda comprende filitas, pizarras, esquistos grafiticos cuarcitas y escasas metagrauwacas. Forma un cinturón en la parte Sur de la Cordillera Central, aflora a lo largo de la vía Loja – Vilcabamba. Esta franqueada hacia el Oeste por metagranitos del intrusivo Tres Lagunas presentes en la Hoya de Saraguro, y hacia el Este por migmatitas de Sabanilla. Se acuña hacia el Norte y aflora en las carreteras Cuenca – Limón, Catamayo – Loja, Loja – Zamora, Loja – Zumba y Sigsig – Chiguinda. También aflora en la parte Norte de la cordillera sobre el complejo de Napas Cuyuja. Se desconoce su espesor pero se supone que es de kilómetros.

Los principales minerales metamórficos presentes en la Unidad Chiguinda son: stilpnoelano, cloritoide y granate. Se asume que se deriva de una cuenca intracratónica y se considera similar a rocas carbonatíficas y devónicas de la depresión Perú – Bolivia. (Litherland et al., 1994).

- **Formación Cerro Mandango (Mioceno – Tardío 23 a 5 ma)**

Las principales rocas expuestas en la Formación Cerro Mandango se presentan en dirección SSE y NNW orientadas en forma de pliegues entre Vilcabamba y Malacatos. Esta formación está aflorando principalmente en el Cerro Mandango de la parroquia Vilcabamba por esta razón se la denomino Formación cerro Mandango, y tiene una potencia de 1000 metros de espesor aproximadamente (Kennerley, 1973),

La formación está dominada por conglomerados muy granulados con pocas intercalaciones de areniscas. El conglomerado comprende clastos sostenidos y muestran también desarrollados imbricaciones. Están compuestos por clastos metamórficos redondeados: filitas, cuarcitas, vetas de cuarzo y esquistos de hasta 50 cm de diámetro.

Por la litología similar a la Formación Quillollaco de la Cuenca de Loja tienen una similar historia de deformación, lo que sugiere una edad mioceno - Tardío.

- **Depósitos Aluviales (Holoceno 11.000 años)**

Amplias zonas a lo largo de drenajes principales en la Cordillera Central o Real se encuentran cubiertos por depósitos aluviales de origen fluvial cubren principalmente las riveras de los ríos: Uchima, Colanuma,

Malacatos y Vilcabamba, así como abanicos aluviales importantes, depósitos coluviales son visibles en toda el área.

4.2.2. Geología Local

El área de estudio Geológicamente se caracteriza por la presencia de la Unidad Chiguinda, Formación Cerro Mandango, Depósitos Aluviales, Coluviales y Suelos Residuales.

Las rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda que constituyen el basamento del área de estudio se presentan muy fracturadas de las cuales sobresalen las filitas y esporádicamente capas de esquistos las mismas que se intercalan entre sí. Sobre estas rocas se puede observar suelo residual formado por el intemperismo que se da en el lugar.

Este basamento metamórfico se encuentra aflorando en el sector norte del área de estudio; en la parte central del área sobre el basamento (Unidad Chiguinda) se encuentran los depósitos coluviales provenientes del mismo metamórfico por diferentes procesos de erosión, en la parte sur se encuentra el conglomerado que yace sobre el mismo basamento.

Para la elaboración del respectivo mapa geológico se ha limitado zonas donde cada tipo de roca predomina. (Ver Mapa N° 3).

A continuación su respectiva descripción:

- **Filitas**

Las filitas se encuentran predominando en toda el área de estudio pero siempre están intercaladas con capas de potencias centimétricas y direcciones variadas de cuarcitas, esquistos y esporádicamente con pizarras. Son de color gris oscuro, su granulometría es de grano fino a medio, la foliación es definida e inclinada.

En su mineralogía presentan un gran porcentaje de sílice, muscovita, cuarzo, sericita, óxidos de hierro, limonita, hematita y magnetita. Ocasionalmente se observa en estas rocas, pequeñas vetillas de cuarzo que en algunas contienen sulfuros como pirita y calcopirita.

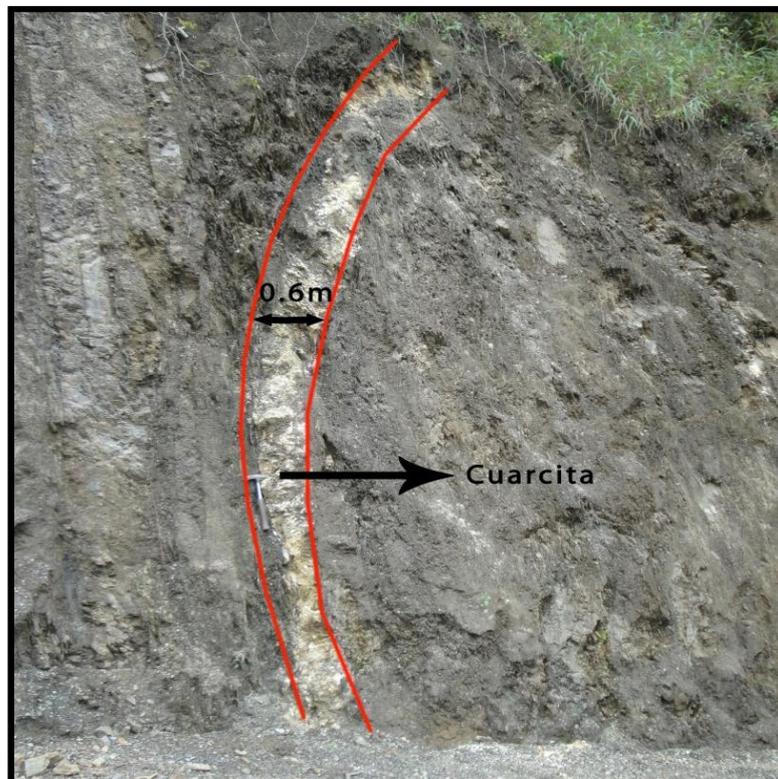
Foto
6.



Nro.

Afloramiento de filita, Formación Chiguinda.

Foto



Nro. 7.

Afloramiento de filita con capas de cuarcita con direcciones variadas

- **Esquistos**

En el área de estudio existe poca presencia de esquistos, son de potencias centimétricas menores a 40 centímetros dificultando ser mapeadas, presentan direcciones variadas, tienen una coloración gris oscura, su granulometría es de grano grueso y contienen principalmente minerales de muscovita, biotita, cuarzo, sericita y magnetita, estos esquistos son resultado del cambio gradacional granulométrico que van desde la pizarra, filitas, esquistos hasta cuarcitas.



Foto Nro. 8. Esquistos de la formación Chiguinda,

- **Conglomerado.**

El conglomerado generalmente presenta una coloración Café – Amarillenta, esto se debe a la presencia de óxidos de hierro, se encuentra intercalado con capas de baja potencia de areniscas y arcillas, y está formado por clastos bien redondeados de origen metamórfico e ígneo como, granitos, filitas y esquistos, estos clastos van desde los 2 cm hasta los 35cm de diámetro, se encuentran cementados por una matriz areno – arcillosa, y alcanza una potencia de hasta 140 metros.



Foto Nro. 9. Afloramiento de conglomerado de la Formación Cerro Mandango

- **Coluvial**

Es un depósito superficial que se presentan de forma irregular, se encuentran sobre el basamento metamórfico (Unidad Chiguinda) y es resultado de la erosión hídrica de las filitas y esquistos que se encuentran al Norte del área de estudio, el depósito es de coloración gris clara, su granulometría es heterogénea con presencia de clastos angulares que varían desde 0.5 cm hasta 30 cm de diámetro cementados por una matriz limo arcillosa, alcanza una potencia de 30m, la formación de este depósito coluvial se le atribuye a las fases húmedas del Cuaternario ligadas a la glaciación.

Cabe señalar que la mayor parte de las construcciones se encuentran cimentadas en este depósito coluvial.



Foto Nro. 10. Afloramiento del coluvial.

- **Aluvial**

El depósito aluvial que se encuentra presente en la zona de estudio se debe a la presencia del Rio Uchima que a través del gran caudal que presentan sus aguas arrastran materiales ígneos y metamórficos y los depositan en los márgenes del río en especial en la parte norte del mismo debido a la topografía que presenta el área. El aluvial se encuentra constituido por cantos redondeados de rocas como el granito, filita, esquistos y cuarzo, el diámetro de los cantos va desde 0.5cm hasta los 50cm de diámetro, se encuentran cementados por arenas y limos, la dirección que se encuentran depositados los cantos es la misma que presenta el Rio NE – SW, además existe presencia de clastos de hasta 2 metros.



Foto Nro. 11. Afloramiento del aluvial.

- **Suelos Residuales**

Los suelos residuales que están presentes en el área de estudio son resultado de los movimientos en masa y procesos de meteorización en situ a las que han estado expuestas las rocas de la zona, estos suelos contienen clastos angulares que van desde los 0.5 a 10 cm en una matriz arcillo arenosa de color café amarillenta debido a la presencia de óxidos.

La potencia de los suelos residuales va desde los 0.4 m hasta 1 m y se encuentran presentes en toda el área, presentan un grado de meteorización que va de moderada a alta.



Foto Nro. 12. Afloramiento de suelo residual.

4.2.2.1. Estratigrafía

La geología del sector de estudio corresponde con los rasgos geológicos regionales de la parroquia San Pedro de Vilcabamba.

Estratigráficamente en el área de estudio afloran rocas metamórficas pertenecientes a la Unidad Chiguinda de la Era Paleozoica (544 a 245 ma), y del periodo Devónico \pm 416 ma.; además afloran rocas sedimentarias de la Formación Cerro Mandango de la Era Cenozoica \pm 65 ma, Periodo Neógeno (23 a 1.8 ma), abarcando el Mioceno; también se encuentran depósitos aluviales y coluviales que se hallan encuadrados dentro de la Era Cenozoica, Periodo Cuaternario (1.8 ma. a hoy), abarcando el Holoceno \pm 11000 ma.

En concreto, las principales formaciones geológicas que afloran en la zona de estudio ordenadas de mayor a menor antigüedad se sintetizan en la siguiente columna estratigráfica:

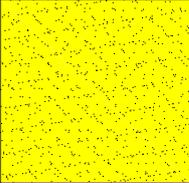
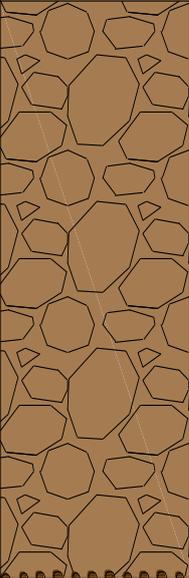
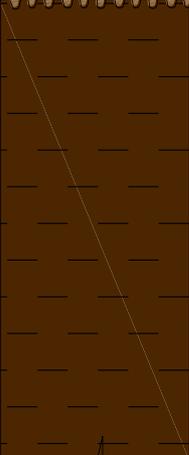
COLUMNA ESTRATIGRAFICA						
ERA	PERIODO	EPOCA	POTENCIA (m)	NOMBRE	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno 10.000 Años	1	Suelo Residual		Suelo Residual. - presenta una coloración gris oscura, compuesto por clastos angulares que se encuentran cementados por una matriz limo arcillosa y tiene presencia de materia orgánica
			4	Aluvial		Aluvial. - se encuentra constituido por clastos cantos redondeados de rocas como el granito, filitas, esquistos y cuarzos, con diámetros que varían desde 0.5cm hasta los 50cm y se encuentra cementado por arenas y limos.
			30	Coluvial		Coluvial. - se encuentra constituido por clastos angulares que varían desde 0.5cm hasta 30cm de diámetro están cementados por una matriz limo arcillosa y presentan una coloración gris clara.
CENOZOICO	NEOGENO	Mioceno 23 m.a	140	Conglomerado		Conglomerado. - presenta una coloración café amarillenta esta formado por clastos bien redondeados de origen metamórfico e ígneo con diámetros que varían desde los 2cm hasta los 2m y se encuentran cementados por una matriz arenosa arcillosa.
			CONTACTO DISCORDANTE			
PALEOZOICO	DEVONICO 416 m.a		90	Filita		Filitas. - Son de color gris oscuro de grano fino a medio, presentan foliación definida e inclinada, están intercaladas con capas de potencias de hasta 1m de cuarcitas esquistos y esporádicamente con pizarras.

Figura Nro. 3. Columna Estratigráfica del Barrio Sacapo.

4.2.2.2. Mineralización.

La mayor parte del área de estudio está constituida por filitas que representan un grado de metamorfismo intermedio entre la pizarra y el esquisto. La filita está compuesta por minerales como: cuarzo, hematita y micas, principalmente moscovita.

El análisis mineralógico se realizó en cinco muestras, de las cuales se tomó una muestra de roca sana, tres muestras de rocas alteradas obtenidas de los movimientos en masa y una de la veta de cuarcita, (Ver mapa N° 8) esto, con el fin de determinar los minerales originales de la roca sana y los minerales de las rocas alteradas que están siendo afectados por los procesos físicos (agua y calor) y procesos químicos (hidratación).

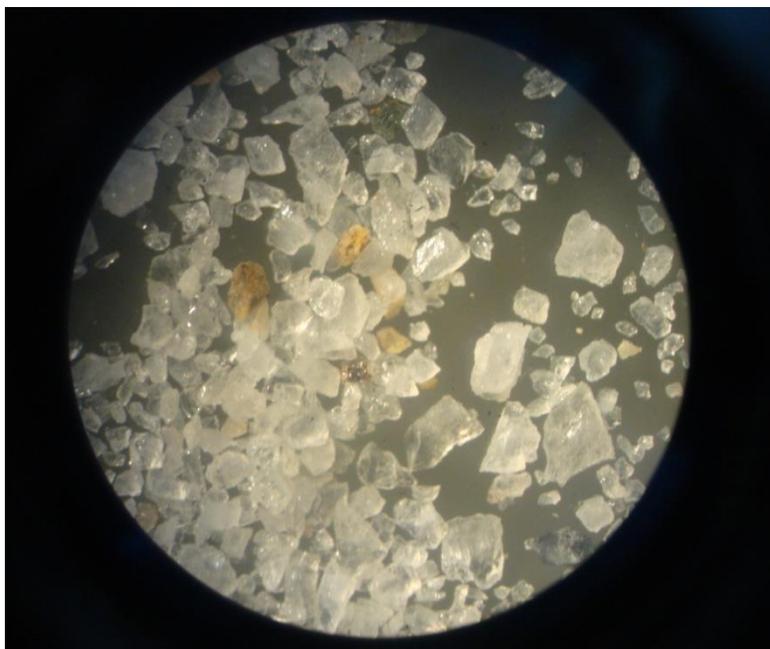


Foto Nro. 13. Vista microscópica de los minerales.

De acuerdo al análisis realizado a las distintas muestras de roca se determinaron los siguientes minerales que se indican en los siguientes cuadros:

Cuadro 13. Minerales que se encuentran presentes en la roca filita sana.

MUESTRA DE ROCA SANA		
X = 697 800		Y = 9 531 640
Peso Especifico = 2.67		
Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Cuarzo	SiO ₂	80
Moscovita	(AlSi ₃ O ₁₀)KAl ₂ (OH) ₂	5
Hematita	Fe ₂ O ₃	2
Magnetita	Fe ₃ O ₄	10

Cuadro 14. Minerales presentes en la roca filita alterada 1 tomada del primer movimiento en masa.

MUESTRA DE ROCA ALTERADA 1		
X = 697 815		Y = 9 531 464
Peso Especifico = 2.43		
Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Cuarzo	SiO ₂	90
Moscovita	(AlSi ₃ O ₁₀)KAl ₂ (OH) ₂	1
Hematita	Fe ₂ O ₃	0.5
Limonita	FeO(OH) ₄ H ₂ O	4
Sericita	(AlSi ₃ O ₁₀)KAl ₂ (OH) ₂ H ₂ O	3

Cuadro 15. Minerales presentes en la roca filita alterada 2 tomada del segundo movimiento en masa.

MUESTRA DE ROCA ALTERADA 2		
X = 698 115		Y = 9 531 650
Peso Especifico = 2.11		
Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Cuarzo	SiO ₂	90
Moscovita	(AlSi ₃ O ₁₀)KAl ₂ (OH) ₂	2
Limonita	FeO(OH) ₄ H ₂ O	4
Sericita	(AlSi ₃ O ₁₀)KAl ₂ (OH) ₂ H ₂ O	4

Cuadro 16. Minerales presentes en la roca filita alterada 3 tomada del tercer movimiento en masa.

MUESTRA DE ROCA ALTERADA 3		
X = 698 115		Y = 9 531 650
Peso Especifico = 2.39		
Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Cuarzo	SiO ₂	90
Moscovita	(AlSi ₃ O ₁₀)KAl ₂ (OH) ₂	2
Hematita	Fe ₂ O ₃	1
Limonita	FeO(OH) ₄ H ₂ O	3
Sericita	(AlSi ₃ O ₁₀)KAl ₂ (OH) ₂ H ₂ O	4

Cuadro 17. Minerales presentes en la roca alterada 4 tomada de las capas de cuarcita.

MUESTRA DE ROCA ALTERADA 4		
X = 698 115		Y = 9 531 650
Peso Especifico = 2.12		
Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Cuarzo	SiO ₂	97
Hematita	Fe ₂ O ₃	2
Limonita	FeO(OH) ₄ H ₂ O	1.5
Pirita	Fe ₂ S	0.5

4.2.2.3. Geología Estructural.

- **Orientación de las rocas**

En el área de estudio existe la presencia de filitas intercaladas con capas centimétricas de esquistos y cuarcitas, y por tratarse de rocas metamórficas se tomaron datos estructurales como el rumbo y foliación de la roca. A continuación se presentan los datos de los afloramientos encontrados.

Cuadro 18. Rumbo y foliación de las rocas

Nº de Afloramiento	Rumbo	Foliación
1	N 5° E	61° SE
2	N 24° E	57° SE
3	N 50° E	59° SE
4	N 80° E	65° SE
5	N 80° E	67° SE
6	S 26° E	46° SW
7	S 20° E	75° SW
8	S 20° E	39° SW
9	S 57° E	55° SW
10	S 30° E	72° SW

Los datos del cuadro indican que el rumbo de las rocas en los cinco primeros afloramientos es desde el NE hacia el SW mientras que en los cinco últimos el rumbo es del SE al NW, presentan una foliación que va de 39° a 75°, estas medidas

estructurales que presentan las rocas se deben al proceso de metamorfismo y tectónica que presenta el sector.

- **Diaclasas**

Debido a que en el sector existen procesos tectónicos y de metamorfismo se encuentran afectando a las rocas metamórficas y provocan la presencia de diaclasas en los macizos rocosos (Ver anexo 3, Ficha Para la Caracterización de Macizos Rocosos), disminuyendo la resistencia de los mismos, ha sido necesario tomar medidas estructurales (rumbo y buzamiento) de las diaclasas las mismas que se detallan a continuación.

Cuadro 19. Diaclasas de los macizos rocosos

Nº de Afloramiento	Nº de Set	Rumbo (acimutal)	Buzamiento
1	1	350	55 NE
	2	98	68 SW
	3	240	60 NW
2	1	40	60 SE
	2	246	53 NW
	3	135	30 SW
3	1	80	62 SE
	2	312	45 NE
	3	216	54 NW
4	1	116	46 SW
	2	216	78 NW
	3	158	58 SW
5	1	112	70 SW
	2	230	32 NW
6	1	100	39 SW
	2	290	78 NE
	3	4	77 SE
7	1	200	35 SW
	2	112	70 NW
	3	36	61 SW
8	1	186	49 NE
	2	97	56 SW

Como se observa en el cuadro 19 en el área de estudio las diaclasas se presentan en general en grupos de 3 set, esto representa que el macizo rocoso tiene un grado de

diaclasamiento moderado según la clasificación de Palmstrom 1995.

Además existe la presencia de bloques que tiene diferentes tamaños y formas que resultan del diaclasamiento irregular que existe en el lugar.

- **Fallas**

En el área de estudio se ha determinado la presencia de una falla geológica con dirección SW-NE, esta se constituye como una falla de contacto entre las rocas metamórficas (filita), y las rocas sedimentarias (conglomerado).

Es una falla inversa debido a que se evidencia que el piso (conglomerado) se está levantando con respecto al techo (filita), presenta una inclinación de 80° por lo que se considera como una falla casi vertical. (Ver Mapa N° 3)

En el sector donde se localiza la falla geológica no existe la presencia de movimientos en masa, por lo que se considera que esta falla no está influyendo en la generación de los mismos

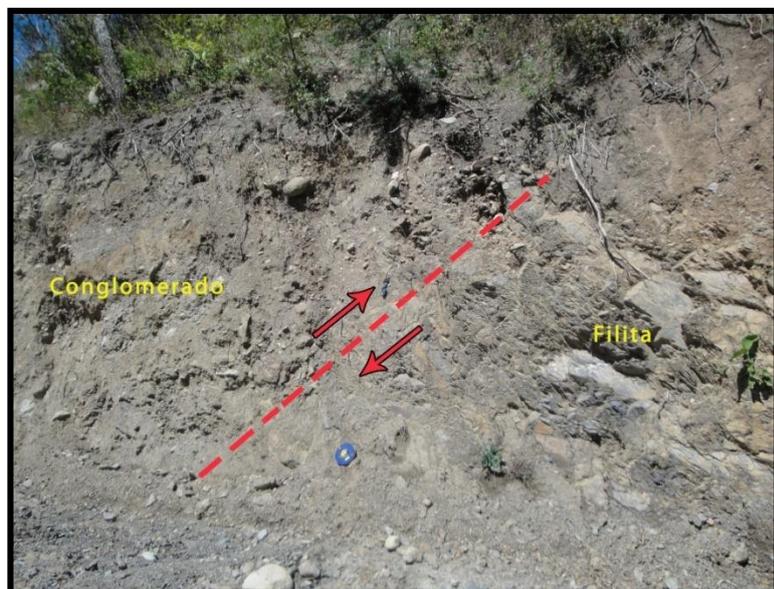


Foto
Nro. 14. Falla Inversa

4.2.3. Pendientes.

El sector de estudio se caracteriza por presentar terrenos con pendientes que varían de muy bajas a muy altas; en el área de estudio predominan las pendientes Altas las cuales ocupan 22.15 hectáreas que equivale al 34.61% del total del área de estudio, estas áreas en su mayoría son ocupadas por

pastizales, se localizan al norte y sur del área y presentan rocas y suelos de baja resistencia. Las pendientes Muy Bajas ocupan el 31.25 % del total del área de estudio que corresponde a 20 hectáreas, se localizan en la parte central del área de estudio, en donde se desarrollan la mayoría de las actividades productivas, y en donde se encuentran las diferentes infraestructuras (casas, canal de riego), este sector está constituido por el depósito coluvial cuyos materiales son de resistencia baja. Las pendientes Medias ocupan el 17.67% del total del área de estudio que corresponde a 11.31 hectáreas; las pendientes Bajas ocupan el 13.16% del total del área de estudio que corresponde a 8.42 hectáreas. Y finalmente las pendientes Muy Altas, que combinada con factores como la baja resistencia que presentan las rocas y la escasa presencia de vegetación, han influido directamente en la generación de los diferentes movimientos en masa, los mismos que han sido encontrados dentro de esta clasificación de pendientes, estas áreas ocupan el 3.31% del total del área de estudio que corresponde a 2.12 hectáreas. (Ver mapa N° 4)

Cuadro 20. Clasificación utilizada para elaborar el mapa de pendientes del área de estudio

PENDIENTES			
CATEGORÍAS	CLASES (%)	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Muy Baja	0 a 15	20	31.25
Baja	15 a 30	8.42	13.16
Media	30 a 50	11.31	17.67
Alta	50 a 100	22.15	34.61
Muy Alta	>100	2.12	3.31

4.2.4. Inventario de Movimientos en Masa.

En el barrio Sacapo se identificó la presencia de tres movimientos en masa, de los cuales dos se caracterizan por ser de tipo deslizamiento y uno caída de rocas (Ver mapa N° 5), los mismos que serán descritos a continuación:

MOVIMIENTO 1.- Ubicado en las coordenadas geográficas UTM (WGS 84 Zona 17 S):

X	Y	Z
697 819	9 531 469	1 575



Foto Nro. 15. Deslizamiento Rotacional ubicado en la vía que conduce al barrio Sacapo.

Se trata de un deslizamiento rotacional simple con dirección Sur - Este, en donde el suelo residual se desplaza sobre la base de las filitas; la masa desplazada tiene una longitud menor al ancho, presenta una secuencia de repetición ampliándose hacia sus flancos, la actividad en que se encuentra es activo, donde la velocidad del movimiento es rápido.

Este deslizamiento presenta un escarpe semicircular evidente claro, el área del escarpe es mediana (200m^2 a 500m^2), con escasa presencia de vegetación. La masa desplazada se encuentra desintegrada en fragmentos, no presenta zonas húmedas, la superficie de falla es el contacto entre suelo y roca, la misma que presenta discontinuidades que buzcan en dirección Sur – Este, hacia la vía.

El factor disparador o activador del deslizamiento se encuentra asociado al periodo de lluvias, la causa probable de este deslizamiento son las excavaciones profundas o cortes para el desarrollo de la vía.

Los principales daños ocasionados por este deslizamiento son: afectaciones a la carretera local, cultivos, fincas y canal de riego, siendo a su vez vulnerables ante este deslizamiento, mismo que no presenta estabilización visible. (Ver anexo 2, Ficha Para Descripción de Movimientos de Remoción en Masa, Ficha 1).

MOVIMIENTO 2.- Ubicado en las coordenadas geográficas UTM (WGS 84 Zona 17 S):

X	Y	Z
698 139	9 531 650	1 559

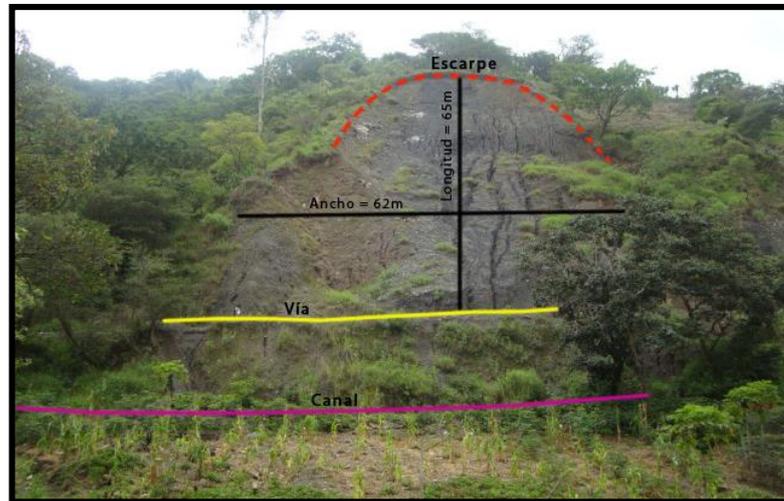


Foto Nro. 16. Deslizamiento Traslacional ubicado en la vía que conduce al barrio Sacapo.

Se trata de un deslizamiento traslacional simple con dirección Sur - Este, en donde el suelo residual se desplaza sobre la base de las filitas; la masa desplazada tiene una longitud mayor al ancho, presenta una secuencia de repetición ampliándose hacia sus flancos, la actividad en que se encuentra es activo, donde la velocidad del movimiento es rápido.

Este deslizamiento presenta un escarpe semicircular evidente claro, el área del escarpe es mediana (200m^2 a 500m^2), sin presencia de vegetación. La masa desplazada se encuentra desintegrada en fragmentos, presenta zonas húmedas, la superficie de falla es el contacto entre suelo y roca.

El factor disparador o activador del deslizamiento se encuentra asociado al periodo de lluvias, la causa probable de este deslizamiento son las excavaciones profundas o cortes para el desarrollo de la vía.

Los principales daños ocasionados por este deslizamiento son: afectaciones a la carretera local, cultivos, fincas y canal de riego, siendo a su vez vulnerables ante este deslizamiento, mismo que no presenta estabilización visible. (Ver Anexo 2, Ficha Para Descripción de Movimientos de Remoción en Masa, Ficha 2).

MOVIMIENTO 3.- Ubicado en las coordenadas geográficas UTM (WGS 84 Zona 17 S):

X	Y	Z
698 374	9 531 861	1 514



Foto Nro. 17. Caída de rocas, este movimiento presenta amenaza a viviendas, ubicado al Noreste del barrio Sacapo.

El tipo de movimiento que se presenta en este sector es caída de rocas, con dirección Sur - Oeste, la masa desplazada tiene una longitud mayor al ancho, presenta una secuencia de repetición ampliándose, la actividad en que se encuentra es activo, donde la velocidad del movimiento es rápido.

Este movimiento en masa presenta un escarpe semicircular evidente claro, el área del escarpe es pequeña $< 200\text{m}^2$ sin presencia de vegetación. La masa desplazada, presenta zonas húmedas, y se encuentra parcialmente vegetada, la superficie de falla presenta discontinuidades en la roca.

El factor disparador o activador del momento en masa se encuentra asociado al periodo de lluvias, la causa probable de este movimiento en masa son la disposición de las discontinuidades en la roca.

Los principales daños ocasionados por este deslizamiento son: afectaciones a las viviendas, cultivos, siendo a su vez vulnerables ante este movimiento, mismo que no presenta estabilización visible. (Ver Anexo 2, Ficha Para Descripción de Movimientos de Remoción en Masa, Ficha 3).

4.2.5. Geomorfología.

La parroquia San Pedro de Vilcabamba, es una región geomorfológicamente activa, se trata de un valle en forma de “V” estrecho, en donde los aluviones ocupan una faja estrecha en ambos márgenes de los ríos, que presentan pendientes bajas menores al 30%, además existen zonas montañosas con pendientes grandes mayores al 100%, estos terrenos en su mayor parte son ocupados por pastizales y matorrales.

En el área de estudio se han identificado variedad de subpaisajes, (Ver mapa N° 6), los mismos que se detallan a continuación:

- **Valle coluvio- aluvial.**

Ocupan la mayor parte del área, presentan secciones relativamente planas con pendientes no mayores al 30%, donde se asientan viviendas y se desarrolla la mayor parte de las actividades de producción agrícola del sector, ocupan un área de 23,6 hectáreas que representa el 36,86% del total del área de estudio.

- **Laderas rectas escarpadas.**

Se presentan sobre rocas metamórficas (filitas) de la Unidad Chiguinda, y rocas sedimentarias (conglomerado), de la Formación Cerro Mandango, presentan pendientes altas (50 – 100%), siendo ocupadas en su mayoría por bosques naturales, comprenden un área de 16,82 hectáreas, que representa el 26,28% del total del área de estudio.

- **Laderas irregulares escarpadas.**

Se localizan en su mayoría al Sur del área de estudio, ocupan 10,48 hectáreas equivalente al 16,38%, presenta pendientes variadas que van desde media a muy alta.

- **Laderas cóncavas escarpadas.**

Se presentan sobre rocas metamórficas, se localizan en la parte norte del área de estudio, ocupan un área de 5,98 hectáreas que representa el 9,34%, la pendiente en estas áreas varía de media a muy alta, y se encuentran cubiertas principalmente por pastizales.

- **Laderas cóncavas suaves.**

Se localizan al Sur del área de estudio, presentan pendientes que van de baja a media están cubiertas por bosques naturales, y se encuentran ocupando 4.58 hectáreas que representa el 7,16% del total del área de estudio.

- **Escarpe de talud de vía.**

La pendiente en estos sectores es pronunciada mayor al 100%, presenta zonas denudadas, en estos sectores se ha encontrado los movimientos en masa, ocupan un área de 1.18 hectáreas que representa el 1,84% del total del área de estudio.

Cuadro 21. Geomorfología del área de estudio.

G E O M O R F O L O G Í A				
Gran Paisaje	Paisaje	Sub Paisaje	Area (Ha)	Area (%)
Formas Estructurales	Estructuras Monoclinales	Laderas cóncavas suaves	4.58	7.16
		Laderas rectas escarpadas	16.82	26.28
		Laderas irregulares escarpada	10.48	16.38
		Laderas cóncavas escarpadas	5.98	9.34
Formas de Origen Estructural Fluvio Erosional	Estructuras Monoclinales	Escarpe de talud de vía	1.18	1.84
Formas de origen Fluvial	Pie de Ladera	Valle Coluvio Aluvial	23.6	36.86
	Llanura de inundación y terrazas	Cauce de Río	1.36	2.14

4.2.6. Geotecnia.

Para el análisis geotécnico se recolectó seis muestras representativas del sector de estudio, (Ver mapa N° 8) a con el fin de determinar las características geotécnicas de las rocas y suelos, el resultado del análisis de laboratorio se presenta en los siguientes cuadros.

Cuadro 22. Resultado del análisis geotécnico realizado a la roca sana, muestra 1.

Muestra 1 (Filita)	
X = 697 815	Y = 9 531 464
Contenido Humedad	0.58%
Densidad Húmeda	2.625 gr/cm ³
Densidad Seca	2.610 gr/cm ³
Resistencia	77.11 Kg/cm ²
Cohesión	38.55 Kg/cm ²

Cuadro 23. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 2, tomada del Movimiento 1.

Muestra 2 (Filita)	
X = 698 155	Y = 9 531 650
Contenido Humedad	0.97%
Densidad Húmeda	2.605 gr/cm ³
Densidad Seca	2.580 gr/cm ³
Resistencia	126.98 Kg/cm ²
Cohesión	63.49 Kg/cm ²

Cuadro 24. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 3, tomada del Movimiento 2.

Muestra 3 (Filita)	
X = 698 382	Y = 9 531 858
Contenido Humedad	0.80%
Densidad Húmeda	2.546 gr/cm ³
Densidad Seca	2.526 gr/cm ³
Resistencia	109.87 Kg/cm ²
Cohesión	54.94 Kg/cm ²

Cuadro 25. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 4, tomada del Movimiento 3.

Muestra 4 (Filita)	
X = 698 000	Y = 9 531 339
Contenido Humedad	0.31%
Densidad Húmeda	2.653 gr/cm ³
Densidad Seca	2.645 gr/cm ³
Resistencia	281.62 Kg/cm ²
Cohesión	140.80 Kg/cm ²

Cuadro 26. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 5, tomada del depósito coluvial en el centro del área de estudio

Muestra 5 (Suelo)	
X = 698 200	Y = 9 531 600
Contenido Humedad	7.43%
Limite Liquido	31%
Limite Plástico	20%
Índice de Plasticidad	11%
Clasificación SUCS	SC (arena arcillosa con grava)
Clasificación AASHTO	A-2-6 (grava y arena arcillosa o limosa)
Resistencia	1.33 Kg/cm ²
Cohesión	0.67 Kg/cm ²

Cuadro 27. Resultado del análisis geotécnico realizado a la muestra 6, tomada del suelo al Sureste del área de estudio.

Muestra 6 (Suelo)	
X = 698 200	Y = 9 531 600
Contenido Humedad	8.02 %
Limite Liquido	30 %

Limite Plástico	19 %
Índice de Plasticidad	10 %
Clasificación SUCS	CP GC (suelo mal graduado con arcillas, limo y arena)
Clasificación AASHTO	A-1-a (gravas con arcillas limos y arenas)
Resistencia	1.45 Kg/cm ²
Cohesión	0.71 Kg/cm ²

Con los resultados de laboratorio antes mencionados y con la caracterización de los macizos rocosos (Ver anexo 3, Fichas Para la Caracterización de Macizos Rocosos) se realizó la clasificación geomecánica RMR establecida por Bieniawski, 1989, (Ver anexo 4, Ficha Para la Clasificación Geomecánica Según Bieniawski 1989) con el fin de determinar el tipo de roca. Los tipos de roca establecidos por Bieniawski están definidos en rangos del I al V, en donde la Clase I la considera como roca muy buena y la Clase V como roca Muy mala.

A continuación se detallan los resultados de la clasificación RMR para los diferentes afloramientos:

Cuadro 28. Resultado de la clasificación geomecánica según RMR Bieniawski 1989.

AFLORAMIENTO 1		
X = 697 585		Y = 9 531 297
Parámetros		Val o r e s
1	Resistencia de la Roca	4
2	RQD %	13
3	Espaciado de las discontinuidades	15

4	Condición de las discontinuidades	20
5	Aguas Subterráneas	15
RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - Correcciones		
RMR = 4+13+15+20+15-5		
RMR = 62		
Tipo de Roca = II		
Descripción de la roca: Buena		

Cuadro 29. Resultado de la clasificación geomecánica según RMR Bieniawski 1989.

AFLORAMIENTO 2		
X = 697 836		Y = 9 531 488
Parámetros		Valores
1	Resistencia de la Roca	2
2	RQD %	8
3	Espaciado de las discontinuidades	8
4	Condición de las discontinuidades	20
5	Aguas Subterráneas	10
RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - Correcciones		
RMR = 2+8+8+20+10-5		
RMR = 43		
Tipo de Roca = III		
Descripción de la roca: Regular		

Cuadro 30. Resultado de la clasificación geomecánica según RMR Bieniawski 1989.

AFLORAMIENTO 3		
X = 698 265		Y = 9 531 658

Parámetros		Valores
1	Resistencia de la Roca	4
2	RQD %	13
3	Espaciado de las discontinuidades	8
4	Condición de las discontinuidades	20
5	Aguas Subterranas	10
RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - Correcciones		
RMR = 4+13+8+20+10-25		
RMR = 30		
Tipo de Roca = IV		
Descripción de la roca: Mala		

Cuadro 31. Resultado de la clasificación geomecánica según RMR
Bieniawski 1989.

AFLORAMIENTO 4		
X = 698 374		Y = 9 531 861
Parámetros		Valores
1	Resistencia de la Roca	2
2	RQD %	8
3	Espaciado de las discontinuidades	15
4	Condición de las discontinuidades	20
5	Aguas Subterranas	10
RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - Correcciones		

RMR = 2+8+15+20+10-25
RMR = 30
Tipo de Roca = IV
Descripción de la roca: Mala

Cuadro 32. Resultado de la clasificación geomecánica según Bieniawski 1989.

AFLORAMIENTO 5		
X = 698 531		Y = 9 531 766
Parámetros		Val
		o
		r
		e
		s
1	Resistencia de la Roca	2
2	RQD %	8
3	Espaciado de las discontinuidades	15
4	Condición de las discontinuidades	10
5	Aguas Subterráneas	15
RMR = (1) + (2)+ (3) + (4) + (5) – Correcciones		
RMR = 2+8+15+10+15-25		
RMR = 25		
Tipo de Roca = IV		
Descripción de la roca: Mala		

Cuadro 33. Resultado de la clasificación geomecánica según Bieniawski 1989.

AFLORAMIENTO 6		
X = 698 074		Y = 9 531 380
Parámetros		Val
		o
		r

		e s
1	Resistencia de la Roca	4
2	RQD %	17
3	Espaciado de las discontinuidades	10
4	Condición de las discontinuidades	25
5	Aguas Subterranas	10
RMR = (1) + (2)+ (3) + (4) + (5) – Correcciones		
RMR = 4+17+10+15+10-25		
RMR = 41		
Tipo de Roca = III		
Descripción de la roca: Regular		

Cuadro 34. Resultado de la clasificación geomecánica según Bieniawski 1989.

AFLORAMIENTO 7		
X = 698 082		Y = 9 531 394
Parámetros		Val o r e s
1	Resistencia de la Roca	4
2	RQD %	17
3	Espaciado de las discontinuidades	10
4	Condición de las discontinuidades	20
5	Aguas Subterranas	10
RMR = (1) + (2)+ (3) + (4) + (5) – Correcciones		
RMR = 4+17+10+20+10-5		
RMR = 56		

Tipo de Roca = III
Descripción de la roca: Regular

Cuadro 35. Resultado de la clasificación geomecánica según Bieniawski 1989.

AFLORAMIENTO 8		
X = 698 397		Y = 9 531 490
Parámetros		Val o r e s
1	Resistencia de la Roca	4
2	RQD %	17
3	Espaciado de las discontinuidades	20
4	Condición de las discontinuidades	20
5	Aguas Subterráneas	10
RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) – Correcciones		
RMR = 4+17+20+20+10-5		
RMR = 46		
Tipo de Roca = III		
Descripción de la roca: Regular		

De los estudios realizados para determinar las características geotécnicas de las rocas en el barrio Sacapo y de la calificación R.M.R. de Bieniawsky, se definen tres tipos de rocas; roca mala, de clase IV, que se encuentran distribuidas en la mayor parte del área de estudio, tanto al Norte como al Sur del área, además alcanzan pendientes que van de alta a muy alta, lo que ha influido en la generación de los movimientos en masa, ocupan un total de 27,09 hectáreas que corresponde al 42,33%, del total del área de estudio; roca muy mala de clase V que ocupan 23,66 hectáreas que representa el 36,97%, este tipo de roca se localiza en la parte central del área, se trata de

depósitos coluviales con pendientes muy bajas que no superan el 15%, en esta área se desarrolla la mayor parte de las actividades de producción agrícola, y roca regular de clase III, se trata de rocas metamórficas (filita), se localizan al noroeste del área, alcanzan pendientes que van de media a alta, se encuentran ocupando 13,25 hectáreas que representa el 20.70%, del área total de estudio. (Ver mapa N° 7)

Cuadro 36. Tipos de rocas del área de estudio.

GEOTECNIA			
Tipo de Roca	Clase	Área (Ha)	Área (%)
Mala	IV	27.09	42.33
Muy Mala	V	23.66	36.97
Regular	III	13.25	20.70

4.2.7. Uso del Suelo.

4.2.7.1. Uso actual del suelo.

El uso actual del suelo en el sector de estudio tiene diferentes usos, entre los cuales la mayor parte del área, lo ocupa la agricultura y ganadería, y en menor proporción es ocupado para el desarrollo urbanístico. (Ver mapa N° 10).

A continuación se detallan los usos del suelo:

Cuadro 37. Tipos del uso actual del suelo en el área de estudio

USO ACTUAL DEL SUELO		
Tipo	Área (Ha)	Área (%)
Agricultura	28.05	43.82
Ganadería	23.29	36.39
Áreas Verdes	6.48	10.13
Zona Urbana	5.12	8.06
Agua	1.06	1.6

- **Agricultura**

Son las áreas ocupadas por las diferentes clases de cultivos tanto de ciclo corto (hasta 12 meses) y largo (> a un año), este tipo de actividades comprenden un área de 28.05 hectáreas, que corresponden al 43,82 % del total del área de estudio.



Foto Nro. 18. Cultivos del sector de estudio.

- **Ganadería.**

Son áreas ocupadas por las diferentes actividades ganaderas, esta actividad productiva, en su mayor parte comprende el cuidado y cría de ganado vacuno, esta actividad comprende un área de 23.29 hectáreas, que corresponden al 36.39 % del total del área de estudio.



Foto Nro. 19. Actividades ganaderas.

- **Áreas Verdes.**

Las áreas verdes se localizan en diferentes pisos altitudinales del sector de estudio en pequeños parches que han quedado en hondonadas, laderas de pendientes fuertes, junto a los cauces de las quebradas, entre los extensos pastizales. Las áreas verdes corresponden a una área de 6.48 hectáreas que representan el 10.13% con respecto al área total de estudio. Según el criterio del campesino las deja porque “protegen los arroyos”, estas pequeñas áreas constituyen fuentes de madera y leña para satisfacer las necesidades del agricultor.

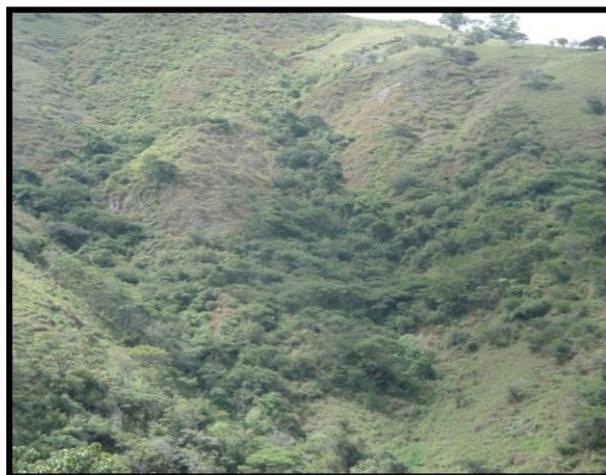


Foto Nro. 20. Áreas Verdes.

- **Zonas Urbanas.**

Relaciona áreas ocupadas por la población en donde se encuentra el asentamiento de todo tipo de construcciones civiles tales como; casas, vías, colegio, escuela, iglesia, canal de riego, y canchas, los cuales corresponden a una área de 5.12 hectáreas que representan el 8.06% con respecto al área total de estudio.



Foto Nro. 21. Zonas Urbanas del sector de estudio.

4.2.7.2. Cobertura Vegetal.

La cobertura vegetal constituye un factor fundamental en las condiciones de estabilidad de un terreno, existe generación de mayores problemas de movimientos en masa en terrenos desnudos o cubiertos con vegetación herbácea, lo contrario ocurre en zonas con vegetación boscosa en donde las raíces contribuyen a la estabilidad del suelo. El sector de estudio se encuentra cubierto por diferente tipo de vegetación (Ver mapa N° 9), los mismos que se indican a continuación:

Cuadro 38. Tipos de Cobertura Vegetal en el área de estudio

COBERTURA VEGETAL		
Tipo	Área (Ha)	Área (%)
Complejo Paso-Árbol	24,19	37,79
Árboles Frutales	13.13	20.51
Pastizal	8.81	13.76
Bosque Natural	7.3	11.41
Cultivo	5.31	8.3
Zona Denedada	2.85	4.45
Infraestructura	1.35	2.11
Agua	1.06	1.67

- **Complejo Pasto – Árbol.**

Ocupa la mayor parte del área de estudio, comprende amplias zonas de pastos y pequeñas extensiones de árboles, se localizan en sectores donde las pendientes varían de alta a muy alta, además se encuentran asentados sobre materiales de baja resistencia de acuerdo con los estudios geotécnicos realizados, comprende 24,19 hectáreas que representa el 37,79% con respecto al total del área de estudio.



Foto Nro. 22. Complejo pasto - árbol.

- **Árboles Frutales.**

Son áreas dedicadas a la plantación de árboles frutales entre los que se destacan, naranja, lima, limón míspero, mangos, maracuyá, comprenden un área total de 20.51 hectáreas que corresponde al 20,51%, este tipo de plantaciones se localizan en su mayoría en la parte central del área de estudio cuyas pendientes no superan el 15%, además se encuentran asentados sobre el depósito coluvial, cuyos materiales presentan resistencias bajas.

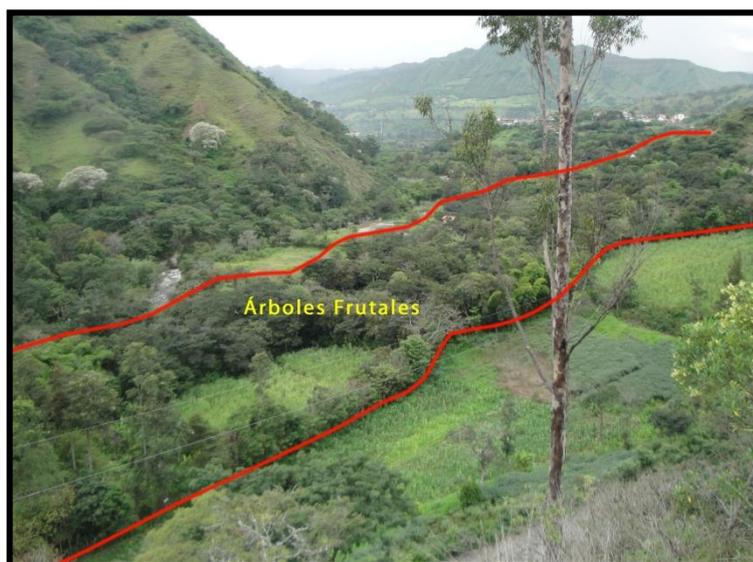


Figura Nro. 23. Árboles frutales.

- **Pastizal.**

Son aquellos terrenos de cubierta herbácea, usados fundamentalmente para la actividad ganadera, se localizan al norte y centro del área de estudio, con pendientes que va de muy bajas a altas, además se encuentran asentados sobre las rocas metamórficas (filitas) y depósito coluvial en donde las clases de rocas van de mala a muy mala, ocupan un área 8,81 hectáreas que corresponde al 13,76 % del total del área de estudio.



Foto Nro. 24. Pastizales.

- **Bosque Natural**

Los bosques naturales andinos se caracterizan por estar formados por árboles grandes de hasta 20 m de altura, se localizan en la parte Sureste y Suroeste del área de estudio, sobre el conglomerado de la formación Cerro Mandango.

El bosque natural se encuentra en pendientes que varían de medias a altas y ocupan un área de 7.3 hectáreas que representa el 11.41% del total del área de estudio, entre las especies predominantes están: faique, romerillo, cedro, eucalipto, pino.



Foto Nro. 25. Bosque Natural.

- **Cultivo.**

Son áreas que se trabajan de forma intensa, destinadas principalmente al cultivo de maíz, yuca, café guineo y plátano, para consumo propio; estas áreas se localizan principalmente en las partes planas con pendientes no mayores al 15%, asentadas sobre el depósito coluvial, que ocupa la parte central del área de estudio, comprende un área de 5.31 hectáreas que corresponde al 8.3% del total del área de estudio.



Foto Nro. 26. Cultivos.

- **Zona Denuada.**

Se localizan junto a la vía principal del área, comprende áreas en donde han ocurrido fenómenos naturales como los movimientos en masa, y procesos de erosión, ocupan 2,85 hectáreas que representa el 4,45% del área total, son áreas que en su mayoría se encuentran en pendientes que van de alta a muy alta.



Foto Nro. 27. Zonas Denuadas.

- **Infraestructura.**

Comprende construcciones civiles tales como casas, vías, colegio, escuela, iglesia, canal de riego, y canchas, se encuentran asentadas en su mayoría en las partes bajas, sobre el depósito coluvial, comprende un área de 1,35 hectáreas que representa 2.11% del total del área de estudio.



Foto Nro. 28. Infraestructura.

4.3. Análisis de factores desencadenantes

4.3.1. Precipitaciones (Isoyetas).

Para considerar los efectos de la precipitación dentro de la zonificación de amenazas geológicas, se determinó la precipitación media anual registrada por las estaciones meteorológicas (Cajanuma, Malacatos, Vilcabamba y San Francisco), de los 10 últimos años.

De acuerdo con los datos obtenidos de los anuarios meteorológicos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI en los últimos 10 años periodo 1992 – 2002, en el área de estudio se ha determinado que las precipitaciones van de los 850 a 890 mm por año, con una media anual de 870 mm/año. (Ver mapa N° 11).

4.3.2. Sismicidad

El factor sísmico es un factor importante en la ocurrencia de fenómenos geológicos superficiales en toda clase de terreno, la ocurrencia de estos fenómenos depende de la severidad y duración del movimiento del suelo y de la susceptibilidad del material geológico afectado por el sismo, la severidad del sacudimiento del suelo depende de la sismicidad del lugar, en el Ecuador la principal fuente de generación de energía sísmica está relacionada con la subducción de la Placa de Nazca, que se introduce bajo la Placa Sudamericana, a este hecho se añade un complejo sistema de fallamiento local superficial que produce sismos en gran parte del territorio ecuatoriano. El mapa de zonas sísmicas del Ecuador indica el grado de

sismicidad en las diferentes partes del país (Ver Anexo 7, Mapa de Sismos del Ecuador).

El área de estudio por encontrarse en la parte Sur del país, se localiza en una zona sísmica que presenta un bajo grado de sismicidad, el cual representado en la escala de Richter tiene un rango de 3.5 – 5.4, este grado de sismicidad se debe a que el sector de estudio se encuentra alejado de la zona de subducción y actividades volcánicas. (Ver Mapa N° 12)

4.4. Análisis de Susceptibilidad a Movimientos en Masa.

En base a las condiciones del terreno analizadas (Topografía, Geología, Geomorfología, Geotecnia y Cobertura Vegetal), se obtuvo el mapa de susceptibilidad que agrupa áreas con mayor o menor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, dividiéndose en cinco categorías que van desde muy alta a muy baja susceptibilidad, (Ver Mapa N° 13), dichas categorías se describen a continuación.

- **Susceptibilidad Muy Baja.**

Son zonas relativamente estables y poco susceptibles a que en ellas ocurran movimientos en masa. Se identifican por presentar las siguientes características: presentan pendientes del terreno menores al 15%, son terrenos de tipo coluvial y aluvial sin evidencia de deslizamientos antiguos o recientes, y no se evidencia procesos erosivos.

Son las zonas en que por sus condiciones de pendiente y de estabilidad se encuentran la mayor parte de las viviendas y actividades productivas, esta zona tiene 25.45 hectáreas que corresponden al 39.76% del área total.

- **Susceptibilidad Baja.**

Corresponde a zonas que se encuentran adyacentes a las aéreas de Muy Baja Susceptibilidad, donde las condiciones son poco susceptibles a Movimientos en Masa, comprende pendientes bajas de 15 a 30% y suelos relativamente estables, en la mayor parte de estas áreas se encuentran los bosques naturales que tiene poca intervención de la mano del hombre, esta zona ocupa 19 hectáreas que corresponden al 29.68% del total del área de estudio.

- **Susceptibilidad Media.**

Zonas medianamente susceptibles a que en ellas ocurra o puedan ser afectadas por movimientos de masa. Estas zonas se Caracterizan por presentar Pendientes del terreno entre 30% y 50%, en estos terrenos existe presencia de pastizales, la mayor parte de estas áreas se encuentran en la parte Norte ocupando 16.62 hectáreas que corresponden al 25.97% del total del área de estudio.

- **Susceptibilidad Alta.**

Corresponde a zonas donde las condiciones del terreno son favorables para que se produzcan movimientos en masa, estas zonas están presentes a lo largo de la vía , así como también en zonas donde existe pendientes pronunciadas que van desde 50% a 100%. Esta zona ocupa el 2.46% del total del área en estudio a lo cual le corresponde 1.57 hectáreas.

- **Susceptibilidad Muy Alta.**

Son zonas muy susceptibles a que en ellas ocurra o puedan ser afectadas por movimientos en masa. En términos generales estas zonas se identifican por presentar: zonas denudadas con pendientes del terreno mayor al 100%, laderas en macizo rocoso muy fracturado con bloques rocosos sueltos, terreno con evidencia de deslizamientos recientes y caída de rocas, Estas áreas ocupan el 2.23% del total del área en estudio a lo cual le corresponde 1.36 hectáreas.

Cuadro 39. Grados de Susceptibilidad

SUSCEPTIBILIDAD		
Indicador	Área (Ha)	Área (%)
Muy Baja	25,45	39,76
Baja	19,00	29,68
Media	16,62	25,97
Alta	1,57	2,46
Muy Alta	1,36	2,13

4.5. Análisis de Amenaza a movimientos en Masa.

Para el análisis de amenaza a movimientos en masa se requiere que se presenten conjuntamente la susceptibilidad y el evento detonante (precipitaciones y sismos). El mapa de Amenazas agrupa áreas con mayor o menor probabilidad de ocurrencia de Movimientos en Masa, dividiéndose en cinco categorías que van desde muy alta amenaza a muy baja amenaza (Ver Mapa N° 14), dichas categorías se describen a continuación.

- **Amenaza Muy Baja.**

Son áreas que por sus condiciones de pendiente y de estabilidad se encuentran la mayor parte de las viviendas y actividades productivas, se localizan en la parte central del área de estudio, comprende áreas relativamente estables y son poco probables a que en ellas ocurran Movimientos en Masa. Se caracterizan por presentar las siguientes características: presentan pendientes del terreno bajas no mayores al 30%, son terrenos de tipo coluvial y aluvial sin evidencia de movimientos en masa, no se evidencia procesos erosivos, estas áreas ocupan 38.00 hectáreas que corresponden al 59.37% del área total.

- **Amenaza Baja.**

Éstas áreas se caracterizan por presentar pendientes bajas de 15 a 30%, la mayor parte de estas áreas están constituidas por complejos de tipo pastizal – árbol que son utilizados para el desarrollo de actividades ganaderas, esta zona ocupa 13.71 hectáreas que corresponden al 21.42% del total del área de estudio.

Estas zonas se encuentran adyacentes a las áreas de muy baja amenaza, donde las condiciones son poco favorables para que se produzcan Movimientos en Masa.

- **Amenaza Media.**

Corresponde a áreas que presentan un grado de amenaza media en las que existe la probabilidad de que en ellas ocurra o puedan ser afectadas por movimientos de masa. Estas zonas se caracterizan por presentar pendientes que varían de media a alta, se encuentran ocupando 6.31 hectáreas que corresponden al 9.86% del total del área de estudio.

- **Amenaza Alta.**

Corresponde a zonas donde las condiciones del terreno son favorables para que se produzcan movimientos en masa especialmente en temporadas de lluvia y activados por la ocurrencia de sismos, estas áreas están presentes en la parte norte y a lo largo de la vía, estas zonas presentan pendientes pronunciadas que van desde 50% a 100%. Esta zona ocupa el 7.26% del total del área en estudio a lo cual le corresponde 4.65 hectáreas.

- **Amenaza Muy Alta.**

Estas áreas se caracterizan por presentar zonas denudadas con pendientes altas mayores al 100%, laderas en macizo rocoso muy fracturado con bloques rocosos sueltos, terreno con evidencia de deslizamientos recientes y caída de rocas, relacionadas con la falla geológica regional de la cordillera Central o Real de los Andes. Estas áreas ocupan el 2.1% del total del área en estudio a lo cual le corresponde 1.33 hectáreas.

Son zonas, que, por las características antes mencionadas representan una amenaza potencial a las personas, viviendas, a la vía principal, canal de riego y actividades productivas.

Cuadro 40. Grados de Amenaza

GRADOS DE AMENAZA		
Indicador	Área (Ha)	Área (%)
Muy Baja	38,00	59,37
Baja	13,71	21,42
Media	6,31	9,86
Alta	4,65	7,26
Muy Alta	1,33	2,1

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el área de estudio mediante la utilización de la estación robótica trimble 5800 se procedió a realizar el levantamiento topográfico a detalle escala 1:2500, a partir de este levantamiento topográfico se determinó que existen pendientes que varían de muy bajas a muy altas, en donde predominan las pendientes altas que se encuentran ocupando 22.15 hectáreas que representa el 34.61% del total del área, estos datos han sido corroborados a través de visitas de campo, las cuales confirman la veracidad de dicho levantamiento.

En base a la topografía del área de estudio, y con el complemento de visitas de campo a través de la descripción de afloramientos y de macizos rocosos, se puede observar una geología no muy compleja, compuesta por filitas que están intercaladas con capas de potencias centimétricas y direcciones variadas de cuarcitas y esquistos, además se determinó la presencia de conglomerados de la formación Cerro Mandango éstos se encuentran cementados por una matriz areno arcillosa con clastos de diámetro que va desde 2cm hasta 35cm, de igual manera se pudo observar la presencia de depósitos cuaternarios como coluviales que se encuentran conformados por clastos angulares que van desde 0.5 hasta 30 cm y aluviales los mismos que se encuentran conformados por gravas y cantos redondeados con diámetros de 0.5cm a 50cm los mismos que están cementados por arenas y limos, todo este material se localiza a lo largo de la rivera del río Uchima.

Mediante el análisis de la geología y la toma de datos estructurales se determinó la existencia de diaclasas que son resultado de procesos tectónicos y de metamorfismo que se encuentran disminuyendo la resistencia del macizo rocoso, además se determinó la presencia de una falla geológica inversa de dirección SW - NE en este sector donde se presenta la falla geológica no existe la presencia de movimientos en masa, por lo que se considera que esta falla posee una baja influencia en la generación de los mismos.

Con la utilización de la base topográfica y fichas para descripción de movimientos de remoción en masa se realizó el inventario de deslizamientos en donde se identificó tres movimientos en masa localizados a lo largo de la vía, estos son originados por actividades antrópicas y activados por el incremento de precipitaciones adicional a esto se suman las altas pendientes y la ausencia de cobertura vegetal en estas zonas, las cuales incrementan la inestabilidad del terreno.

Los factores condicionantes son aquellos denominados como factores pasivos ya que dependen de su propia naturaleza, forma y estructura del terreno por lo que en el área de estudio de acuerdo al análisis de estos factores (Pendientes, Geología, Geomorfología, Geotecnia y Cobertura Vegetal) y la utilización del Software ArcGIS 9.2 se pudo obtener el mapa de susceptibilidad de terreno que agrupa áreas con mayor o menor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, dividiéndose en cinco categorías que van desde muy alta a muy baja susceptibilidad, en donde las áreas de muy baja susceptibilidad comprenden el 39.76%; áreas de baja susceptibilidad comprenden el 29.68%; áreas de susceptibilidad media comprenden el 25.97%; áreas de alta susceptibilidad comprenden el 2.46% y por último se tiene áreas de muy alta susceptibilidad que corresponde al 2.13%; la susceptibilidad alta y muy alta tienen porcentajes bajos y se caracterizan por presentar zonas denudadas y pendientes mayores al 100% es por esto que en estas áreas al momento de desarrollar proyectos de planificación territorial se debe poner mayor interés.

Mediante la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (ForeSight, AutoCAD 2010, ArcGIS 9.2, Surfer 8) y la aplicación del método de Mora – Varhson 1992 el cual se basa en el análisis de la susceptibilidad y de los factores desencadenantes (Precipitación y Sismicidad) se determinó las principales zonas de amenaza geológicas por movimientos en masa, en donde las áreas de amenaza muy baja comprenden el 59.37%; áreas de amenaza baja comprenden el 21.42%; áreas de amenaza media comprenden el 9.86%; áreas de amenaza alta comprenden el 7.26% y por último se tiene áreas de amenaza muy alta que corresponde al 2.1%; en las áreas de amenaza alta y muy alta se encuentran los movimientos en masa, pendientes pronunciadas y las precipitaciones van de 870 – 890 mm/año, debido a estas características se deben desarrollar estudios como estabilidad de taludes, implementación de medidas de prevención y mitigación con el fin de disminuir la vulnerabilidad a las personas, obras de infraestructura y actividades socioeconómicas.

La geomorfología que se obtuvo en el área de estudio fueron sustentados en la base topográfica, fotointerpretación, así como con observación directa de las mismas, lo cual como resultado de la base geomorfológica se obtiene la presencia de valle coluvio – aluvial, laderas rectas, irregulares, cóncavas y escarpe de talud de vía.

Para determinar la meteorización química que se produce en el área se analizó la mineralogía de la roca metamórfica sana y la mineralogía de la roca alterada, obteniendo el siguiente resultado: en la roca sana (filita) contiene un 5% de moscovita, en la roca alterada (filita) se observó la sericita; analizando estos resultados se determina que la sericita es producto de la moscovita hidratada, por lo tanto el agua que se infiltra por las diaclasas satura las rocas y al ponerse en contacto con la moscovita se produce la hidratación que es un proceso de la meteorización química.

6. CONCLUSIONES

- El levantamiento topográfico a escala 1: 2500 permitió representar las principales características del terreno como el relieve, infraestructuras y río, todos estos elementos comprenden una superficie total de 64 hectáreas, donde la cota más baja es 1574 msnm y la más alta 1720 msnm.
- Geológicamente el área de estudio está constituida por: la Unidad Chiguinda, Formación Cerro Mandango, depósitos coluviales y aluviales. La Unidad Chiguinda consta de filitas intercaladas con capas centimétricas de esquistos y cuarcitas. La Formación Cerro Mandango consta de conglomerados con clastos diámetro que van de 2 a 35cm y se encuentran cementados por una matriz areno – arcillosa, los depósitos coluviales son el resultado de la erosión hídrica de las filitas, presentan clastos angulares que varían desde 0.5 cm hasta 30 cm de diámetro cementados por una matriz limo arcillosa, y los depósitos aluviales se encuentran constituidos por cantos redondeados con diámetros que van desde 0.5cm hasta los 50cm.
- En el área de estudio se ha determinado la presencia de una falla geológica inversa, de dirección SW - NE, en este sector donde se presenta la falla geológica no existe la presencia de movimientos en masa, por lo que se considera que esta falla posee una baja influencia en la generación de los mismos.
- Del resultado del inventario de deslizamientos se determinó la existencia de tres movimientos en masa de los cuales, el primero es deslizamiento rotacional superficial, el segundo se trata de un deslizamiento traslacional superficial y el tercero se trata de caída de rocas, estos son originados por actividades antrópicas como la apertura de la vía, deforestación y activados por el incremento de precipitaciones.
- En base al análisis de las condiciones del terreno se zonificó el área en cinco categorías de susceptibilidad que van desde muy baja a muy alta, determinando que existe la concentración de áreas de mayor susceptibilidad a lo largo de la vía y en los sectores donde se encuentran ubicados los movimientos en masa.

- Se zonifico el área en cinco categorías de amenaza que van desde muy baja a muy alta, determinando que existe la concentración de áreas de amenaza alta y muy alta en la parte Norte y en los sectores donde se encuentran ubicados los movimientos en masa, afectando principalmente a personas, viviendas, vía principal, canal de riego y actividades productivas.
- Según las características de los materiales geológicos y su comportamiento geotécnico, se determino que existe mayor inestabilidad en lugares donde la filita tiene baja resistencia a la compresión y presenta mayor fracturamiento y diaclasamiento, lo provoca el desplazamiento del material.
- Dentro del área de estudio existen zonas con pendientes que van desde muy baja a muy alta, siendo las pendientes altas y muy altas más propensas para que se generen movimientos en masa, estas zonas ocupan el 37.92% presentando terrenos con laderas rectas escarpadas, cóncavas escarpadas laderas irregulares escarpadas y escarpes de talud de vía.
- Las obras de infraestructura como viviendas, canal de riego, postes de luz por encontrarse en las partes bajas del área de estudio no influyen en la generación de los movimientos de masa, sin embargo estos elementos al igual que la población presentan un alto grado de vulnerabilidad a los mismos.
- En el sector de estudio las pendientes elevadas, características geológicas, escasa vegetación, alteraciones de los minerales por procesos físicos y químicos, desarrollo de actividades antrópicas como la apertura de la vía, y las precipitaciones son factores que han dado origen a los movimientos en masa.

7. RECOMENDACIONES

- Obedeciendo a las características geológicas y deslizamientos observados, el sector de estudio se zonificó en cinco categorías de amenaza a los movimientos en masa. Se recomienda que el mapa elaborado se utilice únicamente con fines de ordenamiento o planificación territorial, esto es para definir reglamentaciones sobre uso del suelo, establecer proyectos, planes y programas de relocalización de viviendas o para el reforzamiento de algunas y para el manejo de aguas.
- Desarrollar un estudio a detalle de carácter hidrogeológico y estabilidad de taludes de los diferentes movimientos en masa con el fin de diseñar e implementar las correspondientes medidas de prevención y mitigación como drenes superficiales, retaludamientos, muros de contención, geomallas y programas de reforestación que son soluciones a mediano y largo plazo.
- El área de estudio, por sus características litológicas, climáticas y la ocupación de las tierras, requieren atención particular para evitar la degradación de las mismas, debiendo ser este un tema prioritario para el gobierno local.
- Capacitar a los moradores del sector sobre este tema con el fin de que desarrollen sus actividades productivas en sectores estables, y no en sectores donde incrementen la inestabilidad del terreno y puedan dar origen a nuevos movimientos en masa.

8. BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- AUDEMARD, 2002, Metodología para la elaboración de mapas de amenaza por deslizamientos
- CROZIER, 1986, Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo.
- ESCOBAR, Álvaro, 1992, Manual de campo de Ingeniería Geológica Santafé de Bogotá – Colombia.
- GRAY Y SOTIR, 1996; TRAGSA Y TRAGSATEC, 1994, Descripción de los Movimientos en Masa.
- HUNGERBÜHLER, STEIMAN, WINKLER, 2002, Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of souther Ecuador.
- HARTLEN Y VIBERG, 1996, Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa, guía metodológica MORA,S; Y VAHRSON, W; 1992, Método para la determinación de la amenaza por deslizamientos.
- INGEOMINAS, 2001, Guía metodológica, Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa.
- INGEOMINAS, 1992, Evaluación de Amenazas geológicas y Zonificación Geotécnica.
- MORGENSTERN, 1997, Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo.
- PESANTES CARRIÓN, 2007, Estudio de Evaluación y Zonificación de Riesgos Geodinámicos en el Distrito Minero de Zaruma y Portovelo
- POZO, Manuel, 2003, Geología práctica, introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas.
- RAMÓN, Rafael, 2001, Introducción a la cartografía geológica.

- SARKAR Y KANUNGO, 2004, Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos, Cuadro tomado de la Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo.
- SUAREZ, Jaime, 2002, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Colombia. Ingeniería de Suelos.
- VARNES, 1978, Clasificación de los movimientos en los taludes.
- WANG Y SASSA, 2003; COSTA Y FRATTINI, 2008, Análisis de fenómenos de remoción en masa.

Sitios Web:

- www.geovirtual.cl/geologíageneral
- www.ingenieríageologica.com
- www.mineranet.com.ar/educa.asp

9. ANEXOS.

Anexo 1. Fichas Técnicas Para Descripción de Afloramientos

Anexo 2. Fichas Para Descripción de Movimientos de Remoción en Masa

Anexo 3. Fichas Para la Caracterización de Macizos Rocosos

Anexo 4. Ficha Para la Clasificación Geomecánica Según Bieniawski 1989

Anexo 5. Ficha Para la Descripción de Geomorfología

Anexo 6. Cortes de los Movimientos en Masa

Anexo 7. Mapas Generales

Anexo 8. Resultados de los Análisis de Laboratorio

MAPAS