



# 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

**“ESTUDIO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL A DETALLE COMO  
BASE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD  
A MOVIMIENTOS EN MASA EN EL BARRIO LOMA REDONDA,  
PERTENECIENTE A LA PARROQUIA OLMEDO, CANTÓN OLMEDO,  
PROVINCIA DE LOJA”**

*Tesis de grado previo a obtener el  
Título de Ingeniera en Geología  
Ambiental y Ordenamiento Territorial*

**AUTORA:**

*Dayana Alejandra Orellana Jiménez*

**DIRECTOR:**

*Ing. Jorge Michael Valareza Riofrío*

LOJA - ECUADOR  
2013

**ESTUDIO GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL A DETALLE COMO BASE  
PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A  
MOVIMIENTOS EN MASA EN EL BARRIO LOMA REDONDA,  
PERTENECIENTE A LA PARROQUIA OLMEDO, CANTÓN OLMEDO,  
PROVINCIA DE LOJA.**

ING. JORGE MICHAEL VALAREZO RIOFRÍO

DIRECTOR DE TESIS

**CERTIFICA:**

Que el presente trabajo ha sido realizado bajo mi dirección y asesoría; por lo que, luego de haber revisado los borradores y cumplidas las sugerencias y observaciones necesarias, autorizo su presentación.

Loja, Julio de 2013



Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrío

**DIRECTOR**

## AUTORÍA

Yo Dayana Alejandra Orellana Jiménez declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autora: Dayana Alejandra Orellana Jiménez

Firma:  .....

Cédula: 1104250541

Fecha: 15 de julio de 2013

La Autora

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo Dayana Alejandra Orellana Jiménez declaro ser autora de la tesis titulada: **“ESTUDIO GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL A DETALLE COMO BASE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN EL BARRIO LOMA REDONDA, PERTENECIENTE A LA PARROQUIA OLMEDO, CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA DE LOJA”**, como requisito para optar al grado de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 15 días del mes de Julio del dos mil trece, firma la autora.

Firma:  .....

Autora: Dayana Alejandra Orellana Jiménez

Cédula: 1104250541

Dirección: Yahuarcoma. Av. Romerillos 27 – 09 y Hualtacos.

Correo Electrónico: d\_alejita\_321@hotmail.com

Teléfono: 2577918                      Celular: 0991817225

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrío, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Nixon Carlomagno Chamba Tacuri, Mg. Sc.

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

## **AGRADECIMIENTO**

Los más sinceros agradecimientos a las autoridades, personal administrativo y docente de nuestra alma mater por haberme concedido la oportunidad de realizar mis anhelos de superación y tener la posibilidad de servir a la sociedad.

Muy particularmente agradezco al Ing. Michael Valarezo, en calidad de director de Tesis, quien ha sabido brindar sus conocimientos científicos y guiarme, para que el presente trabajo tenga los resultados anhelados.

A los docentes de la carrera, por brindarme su colaboración y asesoramiento para el desarrollo del presente proyecto.

La Autora

## **DEDICATORIA**

Inicialmente, doy gracias a DIOS, por otorgarme el regalo tan grande que es la vida, y de esta manera permitirme cumplir mis metas y anhelos planteados. Con todo cariño a mis respetados padres José Orellana y Amanda Jiménez, quienes me han ayudado y brindado todo el apoyo para poder crecer física e intelectualmente, y así culminar mis estudios universitarios. A mis familiares, compañeros y amigos, quienes contribuyeron para poder llevar a cabo este proyecto.

*Dayana*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TEMA .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AUTORÍA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
DEDICATORIA .....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	XII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
RESUMEN.....	XVI
SUMMARY .....	XVIII
ANTECEDENTES.....	XX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1. LA TOPOGRAFÍA EN RIESGOS GEOLÓGICOS .....	4
2.2. LA GEOLOGÍA EN LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS .....	5
2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	6
2.4. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ROCAS SEGÚN BIENIAWSKI.....	8
2.5. INESTABILIDAD DE LADERAS.....	9
2.5.1. Factores Condicionantes (intrínsecos).....	9
2.5.2. Factores Desencadenantes (externos).....	10
2.5.3. Clasificación de Inestabilidad de Laderas.....	11
2.6. SUSCEPTIBILIDAD .....	14
2.7. UTILIZACIÓN DE LOS SIG EN SUSCEPTIBILIDAD .....	16
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA .....	18
3.1. INTRODUCCIÓN .....	18
3.2. MATERIALES DE CAMPO .....	20
3.3. MATERIALES DE OFICINA.....	20
3.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS.....	21
3.4.1. Metodología para desarrollar los Objetivos 1 y 2.....	21
3.4.2. Metodología para desarrollar el Objetivo 3.....	31
3.4.3. Metodología para desarrollar el Objetivo 4.....	32
4. RESULTADOS.....	40
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	40
4.1.1. Ubicación.....	40



4.1.2.	<i>Vialidad</i> .....	42
4.1.3.	<i>Aspectos Socio – Económicos</i> .....	43
4.1.4.	<i>Clima</i> .....	45
4.1.5.	<i>Flora y Fauna</i> .....	47
4.1.6.	<i>Topografía</i> .....	49
4.1.7.	<i>Hidrología</i> .....	50
4.2.	<b>MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	51
4.3.	<b>MARCO GEOLÓGICO LOCAL</b> .....	57
4.3.1.	<i>Depósitos Coluviales</i> .....	66
4.3.2.	<i>Depósitos Aluviales</i> .....	67
4.3.3.	<i>Suelo Residual</i> .....	68
4.4.	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b> .....	69
4.5.	<b>CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO</b> .....	74
4.5.1.	<i>Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 1</i> .....	85
4.5.2.	<i>Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 2</i> .....	86
4.5.3.	<i>Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 3</i> .....	87
4.5.4.	<i>Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 4</i> .....	88
4.5.5.	<i>Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 5</i> .....	89
4.6.	<b>INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA</b> .....	90
4.7.	<b>GEOMORFOLOGÍA</b> .....	102
4.8.	<b>COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO</b> .....	103
4.9.	<b>PENDIENTES</b> .....	108
4.10.	<b>SUSCEPTIBILIDAD</b> .....	109
4.10.1.	<i>Variables, Indicadores y Pesos</i> .....	111
4.10.2.	<i>Análisis de Susceptibilidad a Movimientos en Masa</i> .....	116
5.	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	121
6.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	124
6.1.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	124
6.2.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	127
7.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos .....	15
Tabla 2. Métodos de Clasificación de Macizos Rocosos.....	25
Tabla 3. Resistencia a la Compresión Simple de Roca Intacta .....	26
Tabla 4. Índice de calidad de la Roca .....	27
Tabla 5. Espaciamiento de las discontinuidades .....	27
Tabla 6. Condiciones de las discontinuidades.....	27
Tabla 7. Separación de las discontinuidades.....	28
Tabla 8. Persistencia de las discontinuidades .....	28
Tabla 9. Rugosidad de las discontinuidades .....	28
Tabla 10. Alteración de las discontinuidades.....	29
Tabla 11. Relleno de las discontinuidades .....	29
Tabla 12. Presencia de agua en las discontinuidades.....	29
Tabla 13. Corrección por orientación de discontinuidades.....	30
Tabla 14. Clasificación del RMR.....	30
Tabla 15. Clasificación utilizada para elaborar el mapa de pendientes .....	34
Tabla 16. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos ...	35
Tabla 17. Pesos asignados para pendientes.....	36
Tabla 18. Pesos asignados para litología.....	36
Tabla 19. Pesos asignados para cobertura vegetal y uso del suelo .....	36
Tabla 20. Pesos asignados para geomorfología .....	37
Tabla 21. Pesos asignados para movimientos en masa .....	37
Tabla 22. Clasificación climática.....	46
Tabla 23. Especie arbórea Porotillo .....	47
Tabla 24. Especie arbórea Eucalipto.....	48
Tabla 25. Principales especies de mamíferos existentes en el Barrio Loma Redonda ...	49
Tabla 26. Principales especies de aves existentes en el Barrio Loma Redonda .....	49
Tabla 27. Resultados de ensayos de compresión simple.....	77
Tabla 28. Valores de RQD calculados en los macizos rocosos. ....	78
Tabla 29. Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 1. ....	85
Tabla 30. Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 2. ....	86

Tabla 31. Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 3. ....	87
Tabla 32. Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 4. ....	88
Tabla 33. Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 5. ....	89
Tabla 34. Geomorfología en el sector y área ocupada .....	103
Tabla 35. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo en el sector y área ocupada.....	104
Tabla 36. Pendientes en el sector y área ocupada .....	108
Tabla 37. Peso asignado para geología .....	112
Tabla 38. Peso asignado para deslizamientos .....	113
Tabla 39. Peso asignado para geomorfología .....	114
Tabla 40. Peso asignado para cobertura vegetal .....	115
Tabla 41. Peso asignado para pendientes .....	116
Tabla 42. Susceptibilidad a movimientos en masa en el sector y área ocupada .....	118
Tabla 43. Descripción de las Zonas Susceptibles a Movimientos en Masa del Barrio Loma Redonda.....	119

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Diagrama que muestra el espaciamiento de las discontinuidades.....	78
Gráfica 2. Diagrama que muestra la abertura de las discontinuidades .....	79
Gráfica 3. Diagrama que muestra la persistencia de las discontinuidades.....	79
Gráfica 4. Diagrama que muestra la rugosidad de las discontinuidades.....	80
Gráfica 5. Diagrama que muestra la alteración de las discontinuidades.....	80
Gráfica 6. Diagrama que muestra el tipo de relleno de las discontinuidades .....	81
Gráfica 7. Diagrama que muestra la presencia de agua en las discontinuidades .....	81
Gráfica 8. Diagrama que muestra el rumbo de los diferentes sets de diaclasas.....	82
Gráfica 9. Diagrama que muestra la inclinación de los diferentes sets de diaclasas .....	82
Gráfica 10. Diagrama que muestra las direcciones preferenciales de los deslizamientos.....	91
Gráfica 11. Diagrama que muestra los valores de pendientes donde se producen los deslizamientos.....	91
Gráfica 12. Diagrama que muestra la geomorfología y sus porcentajes ocupados en la zona.....	103
Gráfica 13. Diagrama que muestra la cobertura vegetal y uso del suelo y sus porcentajes ocupados en la zona.....	104
Gráfica 14. Diagrama que muestra los rangos de pendientes y el área ocupada en la zona.....	109
Gráfica 15. Diagrama que muestra los rangos de susceptibilidad y sus porcentajes ocupados en la zona.....	118

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Realización del levantamiento topográfico. ....	23
Fotografía 2. Ensayo de compresión simple de las muestras obtenidas. ....	26
Fotografía 3. Vía Panamericana hacia la Costa .....	42
Fotografía 4. Viviendas emplazadas en los márgenes de la Vía Panamericana.....	43
Fotografía 5. Cultivo de productos para el consumo. ....	44
Fotografía 6. Actividad ganadera.....	45
Fotografía 7. Viviendas en el Barrio Loma Redonda .....	45
Fotografía 8. Afloramiento de lutitas, fracturadas y fuertemente meteorizadas.....	59
Fotografía 9. Afloramiento de lutitas de color amarillo verdoso.....	60
Fotografía 10. Capa de areniscas de aproximadamente 25 cm. ....	61
Fotografía 11. Afloramiento de lutitas en la Quebrada s/n .....	62
Fotografía 12. Lutitas de color blanquecino a amarillento .....	63
Fotografía 13. Lutitas fuertemente meteorizadas.....	63
Fotografía 14. Afloramiento de lutitas de color gris oscuro a negro en la quebrada sin nombre .....	64
Fotografía 15. Lutitas de color gris café amarillento en afloramiento a un costado de la vía Panamericana. ....	65
Fotografía 16. Lutitas con milimétricas láminas de variados colores.....	65
Fotografía 17. Pequeño deslizamiento presentando coluvial de aproximadamente 1m y cubierto por una capa de suelo de aproximadamente 20cm de espesor.....	66
Fotografía 18. Capa de depósito aluvial con rodados centimétricos.....	67
Fotografía 19. Material aluvial con rodados que superan el metro de diámetro.....	68
Fotografía 20. Calicata donde se presenta suelo residual de color amarillento .....	69
Fotografía 21. Contacto entre areniscas gris verdosa y lutitas de color gris oscuro .....	70
Fotografía 22. Anticlinal cuyo eje tiende a ser NE-SW .....	71
Fotografía 23. Diaclasamiento vertical .....	74
Fotografía 24. Muestras preparadas para el ensayo de compresión simple .....	76
Fotografía 25. Ensayo de compresión simple .....	76
Fotografía 26. Deslizamiento 1 (DLR1) .....	92
Fotografía 27. Deslizamiento 2 (DLR2) .....	94
Fotografía 28. Deslizamiento 3 (DLR3) .....	96
Fotografía 29. Deslizamiento 4 (DLR4) .....	98

Fotografía 30. Deslizamiento 5 (DLR5) .....	100
Fotografía 31. Asociación pastizal-matorral .....	105
Fotografía 32. Cultivos asociados subtropicales .....	105
Fotografía 33. Matorral húmedo alto .....	106
Fotografía 34. Pastizales .....	107
Fotografía 35. Área urbana .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Barrio Loma Redonda .....	41
Figura 2. Esquema de los dominios litotectónicos del sur del Ecuador, incluyendo las principales fallas geológicas, la mayoría de las cuales representan límites entre diferentes dominios litotectónicos. ....	51
Figura 3. Columna estratigráfica de la Cuenca Lancones-Alamor, incluye las Unidades Litológicas o Formaciones que rellenan la cuenca en las regiones oriental y occidental.....	53
Figura 4. Representación estereográfica del diagrama de máxima concentración de Polos de las discontinuidades para el análisis estructural.....	72
Figura 5. Representación estereográfica del diagrama de Densidades de las discontinuidades para el análisis estructural.....	72
Figura 6. Representación estereográfica del diagrama de Rosetas de las discontinuidades para el análisis del estructural.....	73
Figura 7. Representación estereográfica del diagrama de máxima concentración de Polos de las discontinuidades .....	83
Figura 8. Representación estereográfica del diagrama de Densidades de las discontinuidades para el análisis del macizo rocoso.....	83
Figura 9. Representación estereográfica del diagrama de Rosetas de las discontinuidades para el análisis del macizo rocoso.....	84

## RESUMEN

Para desarrollar el presente trabajo de investigación, se realizó un estudio geológico – estructural a detalle como base para la determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa, en el barrio Loma Redonda, perteneciente a la parroquia Olmedo, cantón Olmedo, provincia de Loja.

Se determinó que la zona de estudio es muy accidentada con pendientes abruptas, con variaciones de altitud entre 1626 m s.n.m. y 1456m s.n.m., lo cual condiciona el flujo de cauces a través del sector de estudio.

Este trabajo busca la identificación de zonas que presentan un mayor grado de susceptibilidad de deslizamientos en el Barrio Loma Redonda en base a la caracterización geológico – estructural del mismo.

El sector de estudio se encuentra dentro de la Cuenca Lancones – Alamor y la geología presente corresponde a la Formación Zapotillo Ciano, localmente se tiene una secuencia de rocas sedimentarias tales como lutitas de color gris blanquecino a gris oscuro, las mismas que presentan una calidad de roca mala y las areniscas de color gris verdoso de grano fino a medio, presentan una calidad de roca media, esto se determinó de acuerdo al análisis geomecánico. De igual forma se determinaron sus elementos de yacencia, rumbo y buzamiento de los estratos, con sus respectivos elementos estructurales, entre ellos fallas, fracturas, diaclasas, anticlinales, sinclinales y pliegues identificados en la zona.

En la zona de estudio existen cinco movimientos en masa, tres de los cuales son rotacionales y dos traslacionales, principalmente las direcciones de movimiento del material es hacia el NE y en menor grado al SE y SW, estos ocurren en rango de pendientes que varía de 39° a 71°.

La geomorfología del sector es un relieve montañosos ocupando 33.6 hectáreas, lo cual representa un total de 57.4% de la zona en estudio. La mayor parte de la superficie del Barrio Loma Redonda, está cubierta el 38.83 % de matorral húmedo alto y el 38.40% de pastizales. Así mismo, se observó que en la zona de estudio



existen zonas con pendientes moderadas que ocupan el 33.6% del área, seguidas por pendientes altas que representan el 26.21% de la zona, las cuales son más propensas para la ocurrencia de movimientos en masa, ya que por efectos de gravedad contribuyen a la inestabilidad del terreno.

Todos los factores naturales del sector determinan que la mayor parte del barrio Loma Redonda, presente una susceptibilidad a movimientos en masa baja, en una superficie de 21.4 hectáreas que representan un 36%, moderada con un área de 15.6 hectáreas, que representa un 26.7% y alta con 15.9 hectáreas que representa un 27.2%

Es importante manifestar que el mapa de inventario de deslizamientos que se realizó en toda la zona de estudio debe ser actualizado permanentemente, con el propósito de observar la evolución de los fenómenos de remoción de masa con el tiempo, así mismo, es necesario realizar un estudio geológico - geotécnico detallado para diseñar las obras de estabilización del barrio Loma Redonda a mediano plazo.

Se debe realizar el control de la escorrentía superficial y drenaje a corto plazo y revegetación de los taludes o laderas que puedan representar un riesgo para los pobladores e infraestructuras.

Es también, importante tener un control de los sistemas de drenaje o daños en la carretera por efecto de deslizamientos y llevar un control estricto de estos eventos con el propósito de contar con una base que permita evaluar la evolución de los fenómenos de remoción de masa en todo el sector.

Se debe considerar los niveles de susceptibilidad para el ordenamiento territorial, ya que esto permitirá salvaguardar a los pobladores y reducir el impacto ambiental y pérdidas económicas.

## **SUMMARY**

In order to develop the following research, a geologic - structural study was carried out in detail to determine the susceptibility to mass movements, in the neighborhood Loma Redonda, in the parish Olmedo, canton Olmedo, county of Loja.

It was determined that the study area is very uneven with abrupt slopes, with variations of altitude between 1626 m s.n.m. and 1456m s.n.m., which conditions the flow of beds through the study sector.

This research seeks the identification of areas that present a bigger grade of susceptibility of slips in the neighborhood Loma Redonda based on the geologic - structural characterization of the neighborhood.

The study sector is inside Cuenca Lancones - Alamor and the geology corresponds to the Formation Zapotillo Ciano, there is a local sequence of sedimentary rocks such as shales of gray whitish color to gray dark, which present a quality of bad rock and the gritty ones of gray greenish color of fine grain to half, present a quality of half rock, this was determined according to the geomecanic analysis. It was also determined their yacencia elements, direction and dip of the strata, with their respective structural elements, among them flaws, fractures, joints, anticlines, synclines and pleats identified in the area.

There are five mass movements in the study area, three are rotational and two translational, mainly the directions of movement of the material are toward NE and in smaller grade to the SE and SW, they occur in range of slopes that varies from 39° to 71°.

The geomorphology of the sector is a mountainous relief occupying 33.6 hectares, which represents a total of 57.4% of the area in study. Most of the surface of the neighborhood Loma Redonda, is covered 38.83% of humid high heath and 38.40% pastizales. Likewise, it was observed that in the study area there are moderate slopes that occupy 33.6% of the area, followed by high slopes that represent 26.21% of the

area, which are prone for the occurrence of mass movements, since for effects of gravity contribute to the uncertainty of the land.

All natural factors of the area determine that most of Loma Redonda neighborhood, present a susceptibility to mass low movements, in a surface of 21.4 hectares that represent 36%, moderate with an area of 15.6 hectares that represents a 26.7% and high with 15.9 hectares that represents a 27.2%.

It is important to point out that the map of inventory of slips that was carried out in the whole study area should be upgraded permanently, with the purpose of observing the evolution of the phenomena of removal of mass with the time, likewise, it is necessary to carry out a geologic - geotechnical study detailed to design the stabilization works in Loma Redonda neighborhood to medium term.

A superficial runoff control should be carried out and short term drainage and reforest of the banks or hillsides that can represent a risk for the residents and infrastructures.

It is also, important to have a control of the drainage systems or damages in the highway for effect of slips and take a strict control of these events with the purpose of having a base that allows evaluating the evolution of the phenomena of removal of mass in the whole sector.

It should be considered the levels of susceptibility for the territorial classification, since this will allow safeguarding the residents and reducing the environmental impact and economic losses.

## ANTECEDENTES

El Cantón Olmedo lleva este nombre como homenaje al destacado guayaquileño José Joaquín de Olmedo; en sus inicios formaba parte del espacio geográfico habitado por una etnia aborígen preincaica y precolombina, la Nación Palta, por esta razón en diferentes lugares se encuentran restos arqueológicos sumamente importantes para la historia de Loja.

El 25 de octubre de 1909 fue elevado a la categoría de Parroquia Civil, perteneciente en ese entonces al Cantón Paltas y con el nombre de Olmedo, y fue declarado Cantón el 24 de febrero de 1997, publicado en el registro oficial N° 9.

El Cantón Olmedo se encuentra ubicado al noroeste de la provincia de Loja, región sur del Ecuador, a una distancia aproximada de 92,5 Km. de la ciudad de Loja, capital provincial, tiene una extensión de 114,89 Km<sup>2</sup> de superficie, que constituye el 1.04% de la superficie de la provincia de Loja. Limita al norte con el cantón Chaguarpamba; al sur y oeste con Paltas y al este con Catamayo.

Dentro de su jurisdicción se desarrollan dos parroquias con 41 barrios. Olmedo (parroquia urbana) con su cabecera cantonal Olmedo con 62.63 Km<sup>2</sup> de extensión y 33 barrios. La Tingue (parroquia rural), con su cabecera parroquial La Tingue con 51.76 Km<sup>2</sup> de extensión y ocho barrios.

El Barrio Loma Redonda perteneciente a la parroquia Olmedo se ubica en la parte Oeste del mencionado Cantón, en los márgenes de la Vía Panamericana a 6 km del Barrio “La Y de Olmedo”, sector donde se bifurca dicha vía e inicia el acceso hacia la cabecera cantonal, cuenta con una extensión de 58.5 Has., lo que representa el 0.51% de la superficie total del Cantón, las coordenadas UTM de referencia son: N: 9565567,304, E: 648243,016.

El área de estudio abarca todo el Barrio Loma Redonda, en el cual se ha visto la necesidad de realizar un estudio geológico estructural, para de esta forma obtener una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la gestión de riesgos y que permita identificar los potenciales, limitantes y la problemática del territorio, así

como la zonificación más adecuada para un mejor aprovechamiento de cada uno de sus espacios físicos, la protección del ambiente y la prevención y mitigación de los desastres naturales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Al globalizar el concepto de desarrollo, el cual forma parte de las aspiraciones históricas de una población, se debe comprender inicialmente la interrelación que existe entre su espacio territorial, los recursos naturales, el ambiente y su población; estos, se han incorporado progresivamente a las preocupaciones centrales del desarrollo y más aún, han sido sujetos a estudios minuciosos en los últimos años. Sin embargo a esto, y considerando el espacio territorial, en nuestro país existe actualmente una serie de asentamientos poblacionales no planificados, sin ningún tipo de estudio técnico que sustenten dichas construcciones o urbanizaciones, lo que ha ocasionado problemas de inestabilidad de los suelos, poblaciones sin servicios básicos y la proliferación de conflictos.

Esta situación de inestabilidad se acentúa más si se toma en cuenta que la región del Noroeste del Perú y Sur del Ecuador, está sometida a los esfuerzos derivados del contacto de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, con una zona de subducción bien marcada en el borde continental del Pacífico, por lo que se ha determinado defectos de origen geológico en diversas zonas del país, donde existen deslizamientos inesperados de tierras producto del sistema andino joven del Ecuador, que producen levantamientos de la corteza terrestre, lo que se traduce en fallas y deformaciones de la superficie.

Sin embargo de esta problemática regional, estos movimientos se desarrollan independientemente de otros, es decir existen diferentes escenarios o condiciones para su ocurrencia, de esta forma y atendiendo a la litología, la diversidad de propiedades físicas y mecánicas de los suelos y rocas, los materiales reaccionan de manera diferente a cambios de su situación física (contenido de agua, aceleración sísmica, inclinación de la ladera, entre otros) lo que está relacionado en algunas situaciones con la pérdida de su estabilidad, por ello es de gran importancia realizar estudios geológicos-geotécnicos que se constituyan en el sustento para la caracterización y análisis de los procesos geodinámicos, específicamente movimientos en masa y hundimientos.

Durante las últimas décadas se han implementado numerosas estrategias para la gestión de riesgos por movimientos en masa. La experiencia obtenida en muchos países estimula el uso de mapas de zonificación de amenaza y riesgo para el ordenamiento territorial y la gestión de emergencias (Cascini et al., 2005).

En este contexto, el Gobierno Ecuatoriano a través de organismos como la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos -SNGR- y la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo -SENPLADES-, busca promover la identificación de estrategias de gestión que permitan a las instituciones y comunidades evitar o enfrentar los desastres, sin embargo el desconocimiento, la falta de conciencia, el crecimiento acelerado y desordenado de la población, entre otros, hacen que principalmente en poblaciones rurales, los movimientos de masa sigan representando un riesgo a la integridad de las personas y existan daños materiales y ambientales.

En este sentido, se hace necesario atender estas áreas en forma prioritaria, implementando en ella las políticas y acciones definidas por la Estrategia de Desarrollo Sostenible, que permita identificar los potenciales, limitantes y la problemática del territorio, así como la zonificación más adecuada para un mejor aprovechamiento de cada uno de sus espacios físicos, la protección del ambiente y la prevención y mitigación de los desastres naturales. Estos lineamientos introductorios han permitido desarrollar el presente trabajo como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la gestión de riesgos en el Cantón Olmedo, basado en el cumplimiento de los siguientes objetivos:

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Desarrollar un estudio geológico – estructural a detalle como base para la determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa en el Barrio Loma Redonda, perteneciente a la Parroquia Olmedo, Cantón Olmedo, Provincia de Loja.

## **Objetivos Específicos**

- Realizar un levantamiento Topográfico y Geológico en el barrio Loma Redonda, perteneciente a la Parroquia Olmedo, Cantón Olmedo, Provincia de Loja.
- Identificar los diferentes tipos de estructuras geológicas presentes en el sector de estudio.
- Realizar un inventario y caracterizar los movimientos de masa existentes en el sector de estudio.
- Definir los factores de inestabilidad que determinen si el Barrio Loma Redonda se encuentra en áreas propensas a movimientos de masa.



## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. La Topografía en Riesgos Geológicos

Cazanova, L. 2004 describe a la topografía como un conjunto de métodos e instrumentos necesarios para representar el terreno con todos sus detalles naturales o artificiales. Indica que uno de los mayores avances que ha tenido esta rama ha sido la revolución de la informática y la electrónica en los últimos años, es por ello que todos los estudios geológicos, geotécnicos parten de una topografía a detalle con el mínimo de error.

La combinación de equipos informáticos e instrumentos topográficos, el desarrollo de avanzados programas de cálculos topográficos y modelado digital de terrenos, la utilización generalizada de estaciones totales que permiten combinar una toma de datos automática con programas de cálculo topográfico y de CAD (Computer Aided Design, o diseño asistido por ordenador), así como la gran revolución que ha supuesto el sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System), han aumentado considerablemente el campo abarcado por la topografía, permitiendo precisiones antes sólo alcanzables por métodos geodésicos, pero que son imprescindibles para las nuevas exigencias que plantea la ingeniería en general<sup>1</sup>.

**Los levantamientos topográficos a detalle**, que son la base para los estudios geológicos-geotécnicos, se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno, relieves y para determinar la posición de ciertos elementos sobre la superficie de la tierra, esto permitirá ubicar al Barrio Loma Redonda del Cantón Olmedo en todo su contexto espacial.

Al realizar levantamientos topográficos con estación total la toma y registro de datos es automática, eliminando así los errores de lectura, anotación, transcripción y cálculo; ya que con estas estaciones la toma de datos es en forma digital y los cálculos de coordenadas se realizan por medio de programas de computación incorporados a dichas estaciones, esto permitirá el levantamiento de las 58.6

---

<sup>1</sup> REY J. Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía. 2000. España.

hectáreas del Barrio Loma Redonda a escalas cercanas a 1:1 000. Los datos serán archivados en formato ASCII para poder ser traducidos por diferentes programas de topografía, diseño geométrico y diseño y edición gráfica.

## 2.2. La Geología en los Estudios Geotécnicos

Werner, A (1749-1817) establece que la geología es una de las ciencias de la tierra y que ésta, se encarga del estudio de su composición, estructura, los fenómenos de toda índole que en ella tienen lugar y su pasado mediante los elementos que de él han quedado en las rocas. Indica que la geología no es una ciencia meramente descriptiva, sino que cada caso busca el porqué de la forma, que establece esa mutua dependencia las leyes que lo rigen y el encadenamiento de hecho que constituye la historia de la tierra<sup>2</sup>

En este mismo contexto de geología física, se reconoce a la fisiografía y la geomorfología como el estudio de las funciones que modelan la superficie terrestre y constituyen parte de la dinámica externa del globo terráqueo, junto con la meteorología y la oceanografía que estudian respectivamente la atmósfera y los mares. La geodinámica interna estudia la disposición de las rocas en lechos o estratos horizontales o inclinados, plegamientos o dislocaciones, la presencia de macizos graníticos o de rocas eruptivas, las coladas de lava procedentes de una erupción volcánica<sup>3</sup>. Estos conocimientos de materiales naturales, sus características, origen y modos de ocurrencia permitirán entregar la primera evaluación del sector de estudio y de su grado de riesgo-vulnerabilidad.

El objetivo general del *levantamiento geológico* es el desarrollo de un mapa geológico que explique las condiciones y procesos geológicos de la forma más acertada posible. En un mapa geológico se representan las características geológicas de un región (una parte de la superficie terrestre) a una determinada escala utilizando una proyección determinada y una superficie de referencia que normalmente es un plano<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> Werner, Abraham Gottlob (1749-1817). Texto tomado de <http://www.mcnbiografias.com>

<sup>3</sup> Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Fundamentos de Geología. 2007.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Levantamiento y Carteo Geológico. 2004.

El levantamiento comprende todas las operaciones que se realizan, aplicando métodos y técnicas para efectuar mediciones que permitan definir las posiciones de puntos característicos del terreno para representarlos en un mapa. Si el levantamiento tiene por objeto representar el relieve de una región, se trata de un levantamiento topográfico. En cambio sí se obtienen las posiciones de puntos que sirven para representar las características geológicas, litológicas y génesis de rocas de una región, es un levantamiento geológico.

El levantamiento geológico incluye las tareas de toma de información geológica en cada uno de los puntos de referencia

### **2.3. Geología Estructural**

Martínez, J. 2003. Indica que la geología estructural trata de la forma, distribución y estructura interna de las rocas, haciendo especial énfasis en los procesos que intervienen en su deformación tanto a pequeña como a mediana escala, así como la descripción de las rocas y los procesos que tienen lugar en la corteza terrestre<sup>5</sup>.

Se manifiesta que la geología estructural utiliza, sobre todo, la observación directa de las rocas, describiendo los resultados de los distintos procesos que tienen lugar e infiriendo cuáles de los mismos han tenido lugar y en qué momentos, mientras que, por otro lado, la Tectónica necesita, en muchos casos, de los métodos propios de otras Ciencias de la Tierra además de los de la Geología Estructural, como pueden ser la Geofísica o la Geodesia.

Además, dentro de la Geología estructural se individualiza un cuerpo de doctrina especializado que se denomina *Análisis Estructural* que tiene como fin aportar a la Geología Estructural y la Tectónica, métodos avanzados que incorporen de la física, la química o las matemáticas, los principios necesarios para abordar el estudio de las estructuras y de los procesos que las producen.

**Las Estructuras Geológicas**, por su parte, son los rasgos físico-geométricos mayores que presentan las rocas, sedimentos y suelos. Incluye deformaciones como

---

<sup>5</sup> MARTÍNEZ J. Geología Estructural y Dinámica Global. 2003.

los pliegues, así como los planos de estratificación, discordancias, diaclasas, fallas, entre otros. Las estructuras indican las condiciones de formación de las rocas, sedimentos o suelos, así como los cambios físicos posteriores que los han afectado<sup>6</sup>.

En el campo se pueden encontrar diversos *tipos de estructuras*, entre las cuales existen:

- **Falla geológica**, entendida como una discontinuidad que se forma por fractura en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 km de profundidad) cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano.
- **Falla inversa**, que son fallas que se generan por compresión. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30° respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un manto inferior a 45°, estas se denominan cabalgamiento.
- **Falla normal**.- Este tipo de fallas se generan por tracción. El movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60° respecto a la horizontal. El bloque que se desliza hacia abajo se le denomina bloque de techo, mientras que el que se levanta se llama bloque de piso.
- **Diaclasas**.- Son fracturas no visibles a simple vista. La diferencia entre falla y diaclasa reside en la escala de observación, ya que una falla a escala local puede resultar una diaclasa a escala regional.
- **Pliegues**.- Son estructuras de deformación, producto generalmente de esfuerzos compresivos. Se producen cuando las rocas se pliegan en

---

<sup>6</sup> Oyarzún J. Léxico sobre procesos y estructuras geológicas. 2009

condiciones de presión y temperatura altas, lo que les confiere la ductilidad necesaria para que se generen los pliegues.

- **Fractura.-** Una fractura tectónica también llamada litoclasa, es una grieta del terreno producida por fuerzas tectónicas. Muchas fracturas se deben a que el terreno carecía de la necesaria flexibilidad para plegarse al ser sometido a empujes laterales. En las fracturas simples o diaclasas, los dos bordes conservan, uno frente a otro, sus posiciones respectivas.

#### 2.4. Clasificación Geomecánica de las Rocas según Bieniawski

Un macizo rocoso es la combinación de matriz rocosa y las discontinuidades. Los macizos presentan carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico.

Bieniawski (1979, 1989) establece la clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “Rock Mass Rating” que considera los dominios estructurales del macizo. Esta estimación de la calidad del macizo rocoso tiene en cuenta los siguientes factores:

- **Resistencia Compresiva de la roca.** Son los parámetros que se pueden obtener mediante ensayos de campo o de laboratorio, sobre muestras o probetas de roca matriz, siendo estas últimas las más eficientes.
- **Índice de la Calidad de la Roca (RQD).** Factor indispensable en geotecnia y se describe como la relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total de maniobra, se mide en testigos de sondeos, diámetro mínimo 48 mm, perforados con doble tubo.
- **Espaciamiento de Juntas.** Es la distancia media perpendicular entre planos consecutivos de la misma familia. Infiere en el comportamiento del macizo, la resistencia y permeabilidad.
- **Condición de Juntas.** Es el parámetro que relaciona los siguientes parámetros:

- **Persistencia.** Es la longitud o extensión superficial del plano de la discontinuidad.
- **Rugosidad.** Es la ondulación de la superficie, irregularidades a pequeña escala.
- **Abertura.** Es la distancia perpendicular que separa las paredes de una discontinuidad, sin relleno.
- **Relleno.** Es el material distinto de la roca que aparece entre las paredes de una discontinuidad.
- **Presencia de Agua.** Relaciona el flujo en discontinuidades en rocas sedimentarias, puede haber también filtración en la matriz rocosa.

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros preestablecidos, cuya valoración depende del tipo de macizo rocoso y el resultado de la sumatoria total es igual al índice de Calidad del RMR que varía entre 0 a 100.

## **2.5. Inestabilidad de Laderas**

La inestabilidad de laderas se define como el movimiento de masas de roca, detritos, o tierra a favor de la pendiente, bajo la influencia directa de la gravedad (Cruden, 1991).

La rotura de los materiales en las laderas ocurre cuando la fuerza de gravedad excede el esfuerzo de la roca o suelo que conforman la ladera, es decir, ocurren cambios en el equilibrio de las fuerzas de resistencia al corte y motrices. Los factores que contribuyen a crear una situación de inestabilidad en una ladera son múltiples; rara vez actúa uno solo, estos se dividen en factores condicionantes y factores desencadenantes.

### **2.5.1. Factores Condicionantes (intrínsecos)**

Existen una variedad de factores condicionantes que inciden en los procesos de inestabilidad de laderas y son relativos a la propia naturaleza o características de las laderas, esos factores pueden ser:

- **Geológicos**, que representan un factor de inestabilidad permanente ya sea considerando la litología, la estratigrafía de la roca (orientación y ángulo de inclinación), discontinuidades estratigráficas y estructurales y la alteración de las rocas (alteración hidrotermal y/o meteorización).
- **Hidrológicos e hidrogeológicos** cambio en las presiones de poros o hidrostáticas y el comportamiento geomecánico (resistencia a la deformabilidad, compresibilidad, cohesión, entre otros).
- **Geomorfológicos** áreas con altas pendientes, geometría de los taludes, topografía irregular, análisis morfométrico.

### 2.5.2. Factores Desencadenantes (externos)

Son aquellos que disparan o detonan la inestabilidad en la ladera. Una causa desencadenante pequeña puede ser suficiente para provocar la inestabilidad, esos factores pueden ser:

- **Naturales:** las precipitaciones pluviales normales y extraordinarias, la filtración de agua pluvial en el terreno, las variaciones de temperatura, sismos.

Suarez, J. 2009. Indica que atendiendo al factor hidrológico se debe considerar Aumento de peso por aumento de humedad, Infiltración relacionada con las lluvias, Infiltración en canales, cuerpos de agua e irrigación. Infiltraciones concentradas. Los niveles freáticos. Aumento de la presión de poros. Presión de agua en grietas, expansión y contracción por cambio de humedad, disolución, desintegración de las arcillas sensitivas, lavado interno (Leaching), erosión superficial.

- **Antrópicos:** están la deforestación, quemas e incendios forestales, cortes de taludes para construcción de carreteras u otra infraestructura, el asentamiento

humano en las laderas, la actividad minera, el uso indebido del suelo, entre otros.

Suarez, J. (2009) detalla que entre los factores antrópicos más evidentes se encuentran: excavaciones o cortes que modifican, cortes en el pie de los taludes, los rellenos o depósitos de materiales sobre el talud, disposición de residuos, la irrigación que facilita la infiltración, las fugas de agua de las redes de servicios y el mantenimiento inadecuado de los sistemas de drenaje y sub - drenaje.

### **2.5.3. Clasificación de Inestabilidad de Laderas**

Terzaghi (1950), hizo una diferenciación entre los factores externos e internos que afectan la ocurrencia de los deslizamientos. Tanto las causas internas como las externas, afectan el estado de equilibrio de un talud de dos maneras diferentes o por la combinación de estas dos formas:

- Disminución de la resistencia al cortante
- Aumento de los esfuerzos de cortante<sup>7</sup>

Las inestabilidades de laderas son fenómenos que no necesariamente ocurren de manera individual, sino que generalmente evolucionan hacia mecanismos complejos que combinan diversas tipologías, siendo por ello muy difíciles de clasificar.

Sin embargo, algunos autores como David Varnes (1978), J.N. Hutchinson (1968), Skempton y Hutchinson (1969) y otros, han propuesto clasificaciones para las inestabilidades de laderas de ocurrencia más frecuente.

Entre las clasificaciones existentes están: por el contenido de agua, la velocidad del movimiento, la profundidad de la superficie de ruptura, el tipo de rotura, estado de la actividad y el tipo de movimiento. A continuación se muestra una propuesta de varios tipos de clasificación:

---

<sup>7</sup> Suarez, J. Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Volumen I. 2009



- **Por el grado de actividad**

**Inactivo:** No presenta movimientos actualmente.

**Poco activo:** Presenta poco movimiento

**Activo:** Presenta movimientos actualmente, con movimientos primarios y reactivaciones

- **Por la velocidad de propagación de materiales**

**Extremadamente rápido:** >5 m / s

**Rápido:** > 1.5 m / día a 5m / s

**Moderado:** 1.5 m/mes a 1.5 m / día

**Lento:** 1.5 m/año a 1.5 m/mes

**Muy lento:** <1.5 m/ año

- **Por la profundidad de la superficie de rotura**

**Superficial:** entre 0 y 2 m.

**Semi-profundo:** entre 2 y 10 m.

**Profundo:** mayor de 10 m.

Una de las clasificaciones de inestabilidad de laderas más utilizadas en la actualidad es la de Varnes:

**a) Derrumbes y caída de bloques (*Rockfall*).** Fenómenos que presentan una ruptura brusca y caída más o menos libre y a gran velocidad de un bloque o una masa rocosa “en seco”. Gran parte del transporte se da en el medio aéreo, pero también existe un componente de salto y rodamiento. La zona de origen corresponde prioritariamente a acantilados rocosos o laderas de fuerte pendiente, donde la roca esta fracturada y alterada.

**b) Volcamiento o basculamiento (*topple, toppling, rock topple*).** Es el doblamiento de la parte superior de estratos o niveles de rocas afectadas por disyunciones. Es causado por acción de la gravedad terrestre o de procesos tectónicos distensivos.

Existen dos variantes: el doblamiento plástico (en rocas metamórficas y, en menor medida, en pelíticas) y el doblamiento rígido, que podría ser llamado, más apropiadamente, basculamiento.

**c) Reptación de suelos (*Soil creep*).** Es el desplazamiento lento, prácticamente imperceptible, que afecta a los materiales menos cohesivos de la cubierta de suelo (edáfica), es decir, a los materiales poco consolidados (particularmente a los terrenos de cultivo), afecta los suelos hasta una profundidad promedio de un metro.

Es un fenómeno prácticamente invisible a nivel morfológico, por lo que puede ser reconocido sólo en cortes o a través de signos indirectos.

**d) Deslizamientos (*Slides*)**

- ***Deslizamientos rotacionales o circulares (slump)*.** Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o ambos, a lo largo de una superficie de ruptura en forma circular (que coincide con la de transporte) sobre la cual se mueve una masa.

En su fase inicial, existe poca distorsión de los materiales. En algunos casos, a medida que la masa se desplaza, los materiales se dislocan progresivamente y el mecanismo de inestabilidad deviene complejo.

- ***Deslizamientos traslacionales (Dip slope)*.** Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de deslizamiento planar.

Se originan en zonas que presentan superficies de discontinuidad, de niveles poco competentes; también en bloques tabulares o paquetes de estratos dentro de estructuras conformes de estratificación o esquistosidad; sobre capas poco competentes o niveles de alteración; sobre planos de fallas o sistemas de diaclasas conformes (a favor de la pendiente).

**e) Coladas de flujos.** Son masas de material sin cohesión que fluye como un fluido viscoso al sobrepasar su límite líquido, pueden formarse en cualquier material poco

consolidado (inclusive puede llegar a afectar los niveles superiores de roca alterada o intemperizada) y hasta en rocas, especialmente pelíticas y esquistosas más o menos descompuestas. Se pueden desplazar grandes distancias.

**f) Deslizamientos compuestos.** Cuando un movimiento de ladera presenta más de un mecanismo de movilización de los materiales en diferentes lugares de la masa en movimiento.

## **2.6. 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).

Cruden, 1991, la susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos.

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

Suarez, J. 2009, el término susceptibilidad hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno.

Para evaluar el grado de susceptibilidad del terreno frente a los movimientos en masa existen diversas aproximaciones, basadas la mayor parte de ellas, en la determinación de los factores que influyen en la aparición de las roturas.

En general, estos factores se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica mediante los mapas de susceptibilidad.

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 y geomorfológicas 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 susceptibilidad.

**Tabla 1.** Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos

SUSCEPTIBILIDAD	CRITERIO
<b>MUY ALTA</b>	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.
<b>ALTA</b>	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
<b>MODERADA</b>	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
<b>BAJA</b>	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades desfavorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
<b>MUY BAJA</b>	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

**Fuente:** Sarkar y Kanungo, 2004<sup>8</sup>

<sup>8</sup> SARKAR Y KANUNGO. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos, Cuadro tomado de la Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. 2004

## 2.7. Utilización de los SIG en Susceptibilidad

La zonificación de amenazas y riesgos requiere del manejo de una serie de herramientas como son la lógica difusa, los modelos digitales de elevación y los Sistemas de Información Geográfica SIG's.

La Lógica Difusa (*Fuzzy Logic*), la cual fue introducida por Zadeh en 1965 y es una de las herramientas utilizadas en el mapeo de amenazas. La idea de la lógica difusa es considerar los objetos espaciales sobre un mapa como miembros de un conjunto.

Los modelos digitales de elevación (MED) son capas “*raster*” en los Sistemas de Información Geográfica (SIG's), donde la elevación es representada como pixeles que cubren un área rectangular específica en una determinada escala. Los modelos digitales de elevación se utilizan para elaborar mapas del relieve del terreno en tres dimensiones.

La utilización de SIG's para el análisis de susceptibilidad a los deslizamientos, ha sido reportada en varias ocasiones por el U.S. Geological Survey (Brabb 1978, 1984, 1995).

Estos estudios tuvieron en cuenta otros factores como geología, pendientes y deslizamientos activos. Posteriormente, se realizaron trabajos basados en el análisis estadístico multivariado, especialmente por Carrara, en Italia. Recientemente, se ha popularizado la utilización de SIG's para modelos determinísticos, con el uso de Factores de Seguridad (FS).<sup>9</sup>

Domínguez B., define a los S.I.G. como una herramienta, técnica y/o metodología capaz de combinar información gráfica (mapas) y alfanumérica (estadísticas) para obtener una información derivada sobre el espacio, realizando esta labor a partir de un conjunto de personas que diseñan y controlan el proceso, y que se apoyan en un conjunto de máquinas y paquetes informáticos. Las ventajas esenciales:

---

<sup>9</sup> Suarez, J. 2009. Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Volumen 1.

- Un S.I.G. nos permite diferenciar entre cambios cualitativos y cuantitativos
- Permite gestionar un gran volumen de información a diferentes escalas y proyecciones, integra espacialmente datos tabulares y geográficos junto a cálculos sobre variables (topología) y admite multiplicidad de aplicaciones y desarrollos.

### **3. MATERIALES Y METODOLOGÍA**

#### **3.1. Introducción**

Toda investigación (científica, experimental, operacional) es de suma importancia que los hechos y relaciones que establecen los resultados obtenidos y nuevos conocimientos, tengan el grado máximo de exactitud y confiabilidad.

Para ello se planeó una metodología o procedimiento ordenado para establecer lo significativo de los hechos y fenómenos hacia los cuales está encaminado el objetivo de la investigación. Científicamente la metodología es un procedimiento general para lograr de una manera precisa el objetivo de la investigación. De ahí, que la metodología en la investigación nos presenta los métodos y técnicas para la investigación.

El desarrollo de cada fase del proyecto requirió de la aplicación del método científico, que incluye elementos centrales del proceso de investigación como: conceptos relacionados al levantamiento geológico-estructural, movimientos en masa y susceptibilidad del terreno, afloramientos, compilación de datos mediante fichas técnicas, entre otros.

La información recolectada mediante la observación directa de campo fue posteriormente procesada, editada y manejada en el software ArcGIS versión 10 correspondiente a cada mapa temático. Validando con ello los resultados que certifican la eficiencia de los materiales y métodos materializados en la calidad de información generada.

La metodología utilizada para conseguir los objetivos propuestos en el presente proyecto se dividieron en los pasos siguientes:

- **Recopilación de información**

Es la etapa previa, que consiste en la revisión y búsqueda de la documentación y de la cartografía disponible de la zona de estudio, y de los temas a considerar.

Esta fue una tarea laboriosa que consistió en reunir la información dispersa existente sobre el tema. Se ha recurrido a los departamentos de documentación de los organismos oficiales como Ministerios, Municipios, Universidades, bibliotecas, laboratorios y publicaciones como tesis de grado, compilaciones, páginas web, entre otros.

- **Trabajo de campo**

Es la primera etapa técnica de sustento de las diversas fases del estudio, que pretende representar la realidad físico - biológica del territorio. La decisión clave es la elección de los elementos a representar y la definición del nivel adecuado de prospección.

En esta etapa se ha cartografiado cada uno de los elementos inventariados y de la elaboración de fichas de aquellos elementos que lo requieren, localizando los datos siempre espacialmente; dejando abierta la posibilidad de complementación y modificación posterior de la información contenida en la investigación.

La toma de datos resulta siempre costosa tanto en tiempo como en dinero, por lo cual debe seleccionarse solamente lo que aporte información pertinente a los objetivos perseguidos, relativos a temas tales como restauración, planificación o evaluación. Esta etapa es de gran importancia, por ser la base primordial del proyecto investigativo, donde se recopila la información de todo el contexto geológico – estructural y de todos los factores que influyen en la susceptibilidad del terreno.

- **Trabajo de oficina**

El producto final de la investigación es recoger la información en forma gráfica y descriptiva. Esta quedó almacenada para su utilización en etapas posteriores y elaborar un banco de datos de forma que pueda ser recuperada y utilizada en cualquier momento.

Las actividades que contempla este apartado están orientadas a clasificar, organizar y procesar la información recopilada ya sea en fuentes bibliográficas o en el trabajo



ejecutado en el sector de estudio, cuyo producto se traduce en la realización de informes, análisis y evaluación de las condiciones del terreno, elaboración de cartografía, entre otras; todas estas actividades se efectuaron mediante la ejecución de programas especializados para estos efectos.

Para el desarrollo del presente proyecto y el cumplimiento de los objetivos planteados, se hizo necesaria la utilización de materiales de campo, oficina y la aplicación de diversos métodos y técnicas de trabajo:

### **3.2. Materiales de Campo**

Los materiales utilizados para la recolección de muestras, interpretación de información; así como las técnicas de investigación e instrumentos, se detallan a continuación:

- Estación Total TRIMBLE R4.
- GPS Garmin 60
- Brújula Brunton
- Martillo Geológico
- Lupa
- Cámara Fotográfica
- Carta Geológica de Zaruma, Escala 1:100 000
- Cinta de 50m
- Fundas Herméticas y resaltador para codificar muestras
- Libreta de Campo

### **3.3. Materiales de Oficina**

- Ordenador
- Software:
  - ArcGIS versión 10
  - Auto CAD versión 2011
  - Microsoft Office 2010

- Impresora
- Plotter
- Material Bibliográfico:
  - Libros
  - Tesis
  - Compilaciones
  - Páginas Web

### **3.4. Metodología por objetivos**

#### **3.4.1. Metodología para desarrollar los Objetivos 1 y 2**

*“Realizar un levantamiento Topográfico y Geológico en el barrio Loma Redonda, perteneciente a la Parroquia Olmedo, Cantón Olmedo, Provincia de Loja”*  
*“Identificar los diferentes tipos de estructuras geológicas presentes en el sector de estudio”*

Para el cumplimiento de estos objetivos, inicialmente se debe analizar la zona objeto de estudio mediante una observación administrativa y de campo, describiendo: espacio físico, espacio y división político administrativa, relación con otras poblaciones. Esto permitirá organizar adecuadamente todo el cronograma de trabajo.

- **Metodología para desarrollar el Mapa Topográfico**

El manejo de la estación total para la elaboración de levantamientos topográficos es una práctica de fundamental importancia como base para la elaboración de cualquier tipo de proyecto, interesa sobre todo la comprensión del proceso y del tipo de datos obtenidos lo cual optimizará las condicionantes de la información para el proyecto, a su vez se comprenderá las características de la información que se obtienen en el dibujo digital.

El área determinada fue recorrida detalladamente para desarrollar el levantamiento topográfico, inicialmente se empezó con la observación directa y la identificación de

los lugares estratégicos donde se colocaron las estaciones. Se parte de la ubicación de la Estación Total Trimble R4 en la parte más alta del sector, esta estación consta de una base fija y una base móvil, éstas son niveladas y georeferenciadas, con el fin de obtener datos precisos del terreno.

Mediante el recorrido con la base móvil, se codifican y toman los puntos necesarios que permiten representar con un mayor detalle los rasgos topográficos del sector de estudio; así como el levantamiento de infraestructura lineal (vías), e infraestructura vertical (viviendas, centros de estudio, iglesias), cuerpos de agua, entre otros.

Una vez concluido el trabajo de campo se transfieren los datos contenidos en la memoria interna del equipo a un computador y se ordenan utilizando el software “Microsoft Office Excel 2010”, a continuación esta información se procesa en el programa “ForeSight”, con el cual se generan las curvas de nivel, este nuevo archivo obtenido se lo exporta al programa “AutoCAD” guardándolo con el formato “\*.dxf de AutoCAD” para editar el dibujo por medio de la creación de capas que contengan información de la totalidad del levantamiento topográfico realizado y finalmente se elabora una base de datos en el programa ArcGIS versión 10, lo que permite un mejor manejo de la información.

Luego de obtenido el mapa topográfico se procedió a generar el mapa de pendientes mediante la clasificación propuesta por Brabb 1984, el cual se lo obtiene a partir del mapa topográfico de la zona de estudio y del límite urbano del barrio, para elaborar un modelo de elevación digital, donde se distinguen varias clases de intervalos que sub clasifican al terreno en igual número de partes.

El método utilizado para esta clasificación fue el 3D análisis (*Slope*), utilizado el software ArcGIS 10, luego mediante la opción “*reclassify*” se categorizó las clases de pendientes; finalmente convertir dicho tema en archivo *shape* para editarlo y manejarlo desde el software Arc Map 10.



**Fotografía 1.** Realización del levantamiento topográfico.

- **Metodología para desarrollar el Mapa Geológico e identificación de estructuras.**

El objetivo general del levantamiento geológico es obtener el mapa geológico; en éste se representan las características geológicas de un región (una parte de la superficie terrestre) a una determinada escala, utilizando una proyección determinada y una superficie de referencia que normalmente es un plano.

En primera instancia se planificó las actividades que se va a realizar en el sector de estudio, pues de esta actividad depende en gran parte la efectividad del trabajo de campo. Por lo tanto, se seleccionó el objetivo de su estudio y planificó el trabajo de modo que se recolectaron los datos más pertinentes a dicho objetivo. Estas actividades incluyeron principalmente la recopilación de informes, mapas y fotografías aéreas de la región para obtener una comprensión de las características generales de la geología y topografía.

De igual forma fue necesario seleccionar información contenida en libros o publicaciones que presenten ideas básicas y métodos congruentes con el proyecto. Adicionalmente, se analizó la información fotogeológica con la finalidad de obtener indicios de las rocas existentes mediante la morfología del terreno.

La descripción del componente geológico del área de estudio se realizó mediante un formato de campo (*Ver Anexo 1: Ficha Técnica Para Descripción de Afloramientos*), que recoge información de datos observados en el terreno y medidos in situ.

Con la utilización de un GPS se ubicaron los diferentes afloramientos; además mediante la utilización de la brújula y una cinta se determinaron los elementos estructurales (Rumbo y buzamiento, dirección del buzamiento y presencia de contactos), éstos datos se detallaron en la ficha de campo, con sus respectivas capas y potencias, además se realiza la descripción de sus diferentes características como: color, granulometría, orientación, buzamiento, grado de humedad, potencia, grado de meteorización, entre otros.

Sobre la topografía del área de estudio se ubicaron los diferentes afloramientos analizados con sus respectivas características y medidas estructurales, estos datos son ingresados al software ArcGIS, versión 10 con el fin de delimitar las formaciones geológicas encontradas en el sector de estudio.

Posteriormente, se identificaron estructuras como fallas, fracturas, diaclasas, contactos, estratificación, anticlinales, sinclinales y monoclinales para lo cual se buscan rasgos superficiales lineales (rectos o curvos); como escalones topográficos, drenajes o contactos litológicos, los cambios súbitos de dirección en los cauces naturales de los ríos. La recolección de datos estructurales se obtienen utilizando un GPS para la ubicación; una brújula, empleada en la determinación de medidas estructurales; una cinta métrica que permite determinar la longitud de los diferentes tipos de discontinuidades.

Las discontinuidades están presentes en la roca y afectan la resistencia, permeabilidad y durabilidad de la masa. Es importante evaluar la geometría, naturaleza, estado y condición de las discontinuidades, porque ellas definen la fábrica estructural del macizo rocoso, estos factores fueron cuantificados mediante la utilización de un formato de campo (*Ver Anexo 2: Ficha para determinación de la Calidad de Macizo Rocosos*).

Además de su génesis, la influencia en el comportamiento del macizo, exige evaluar la génesis de los rellenos, la cantidad de agua, las cicatrices y revestimientos en las paredes por materiales solubles, la abertura, rugosidad, persistencia de las discontinuidades, y el número de familias, con lo que se consigue definir un valor del RMR (*Rock Mass Rating*) en un macizo rocoso, cuya finalidad es cuantificar su calidad, estimar sus propiedades desde el punto de vista de la ingeniería, proporcionar las bases de referencia para las condiciones previstas de construcciones. Existen diferentes criterios provenientes de expertos de indiscutible trayectoria, que han propuesto una serie de método evaluación y valoración de la calidad del macizo rocoso, entre ellos:

**Tabla 2.** Métodos de Clasificación de Macizos Rocosos

<b>MÉTODOS CUALITATIVOS</b>	TERZAGHI (1946) LAUFFER (1958)
<b>MÉTODOS CUALI / CUANTITATIVOS</b>	DEER “RQD” (1941) BIENIAWSKY (1973) BARTON, LIEM y LUNDE “Q” (1974) JACOBS ASSOC. “RSR” (1984) BIENIAWSKY “RMR” (1989)

**Fuente:** Geotecnia I. Universidad Nacional de Córdoba.

En la presente investigación, se aplicó la metodología desarrollada por Bieniawski en 1973, siendo modificada sucesivamente por el autor en 1976, 1979, 1984 y 1989. El método se aplica asignando la valoración correspondiente para cada parámetro. El factor de ajuste, definido cualitativamente, depende de la orientación de las discontinuidades. El resultado de la resta (el factor de ajuste es negativo) es el índice final RMR, que puede variar entre 0 y 100, y que clasifica los macizos rocosos en cinco clases. El parámetro que define la clasificación es el denominado RMR (Rock Mass Rating), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

### **1) Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.**

Se determina la resistencia compresividad de la roca intacta mediante el ensayo de compresión simple, cuyo valor máximo es 15. (*Ver Anexo 3. Resultados de Ensayos de Laboratorio*).

**Tabla 3.** Resistencia a la Compresión Simple de Roca Intacta

Descripción	Resistencia a Compresión Simple RCS [MPa]	Valoración
Extremadamente dura	>250	15
Muy dura	100 – 250	12
Dura	50 – 100	7
Moderadamente dura	25 – 50	4
Blanda	5 – 25	2
Muy blanda	1 – 5	1
Extremadamente Blanda	<1	0

Fuente: Determinación del RMR (Bieniawski 1989)



**Fotografía 2.** Ensayo de compresión simple de las muestras obtenidas.

## 2) R.Q.D. Grado de fracturación del macizo rocoso.

Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de la alteración del macizo rocoso. Se cuenta solamente fragmentos iguales o superiores a 100 mm de longitud, en regiones estructurales que se analizan individualmente. La ecuación empleada para este propósito es:

$$= \frac{\sum_{\geq 100}}{\text{Total}} \times 100$$

**Tabla 4.** Índice de calidad de la Roca

R.Q.D. [%]	Calidad	Valoración
90 – 100	Excelente	20
75 – 90	Buena	17
50 – 75	Regular	13
25 – 50	Mala	8
<25	Muy mala	3

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

### 3) Espaciado de las discontinuidades.

Definido como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, se mide en dirección perpendicular a dichos planos. La separación o espaciamento está clasificada según la tabla que a continuación se observa:

**Tabla 5.** Espaciamiento de las discontinuidades

Descripción	Espaciamiento [m]	Tipo de macizo rocoso	Valoración
<b>Muy separadas</b>	>2	Sólido	20
<b>Separadas</b>	0.6 – 2.0	Masivo	15
<b>Moderadamente juntas</b>	0.2 – 0.6	En bloques	10
<b>Juntas</b>	0.06 – 0.2	Fracturado	8
<b>Muy juntas</b>	<0.06	Machacado	5

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

### 4) Condiciones de las discontinuidades, el cual debe considerar parámetros como continuidad, apertura, rugosidad, relleno y alteración:

**Tabla 6.** Condiciones de las discontinuidades

ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES	VALORACIÓN
Muy rugosas, no continuas, sin separación, bordes sanos y duros	30
Ligeramente rugosas, separación <1mm, bordes algo meteorizados	25
Ligeramente rugosas, separación <1mm, bordes muy meteorizados	20
Espejos de falla con relleno <5mm o abiertas 1-5mm, diaclasa continua	10
Relleno blando >5mm o abertura >5mm, diaclasa continua	0

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)



- **Abertura de las caras de la discontinuidad.** Se obtiene midiendo la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad.

**Tabla 7.** Separación de las discontinuidades

Grado	Descripción	Separación de las caras	Valoración
1	Abierta	>5mm	0
2	Moderadamente abierta	1-5mm	1
3	Cerrada	0.1-1mm	4
4	Muy cerrada	<0.1mm	5
5	Ninguna	0	6

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

- **Continuidad o persistencia de la discontinuidad.** Es la extensión superficial de un plano de discontinuidad, medida por la longitud según la dirección del plano y su buzamiento.

**Tabla 8.** Persistencia de las discontinuidades

Grado	Descripción	Continuidad	Valoración
1	Muy baja	<1m	6
2	Baja	1-3m	4
3	Media	3-10m	2
4	Alta	10-20m	1
5	Muy alta	>20m	0

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

- **Rugosidad.** Tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos. La rugosidad incrementa la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y el espesor del relleno.

**Tabla 9.** Rugosidad de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

- **Alteración de la discontinuidad.** Hace referencia al grado de meteorización que puede presentar.

**Tabla 10.** Alteración de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

- **Relleno de las discontinuidades.** Puede ser de materiales blandos o alterados, que pueden sufrir variaciones en sus propiedades de acuerdo al contenido de humedad o algún movimiento a lo largo de las juntas.

**Tabla 11.** Relleno de las discontinuidades

Grado	Descripción	Valoración
1	Blando >5mm	0
2	Blando <5mm	2
3	Duro >5mm	2
4	Duro <5mm	4
5	Ninguno	6

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

- 5) **Presencia del Agua**, en un macizo rocoso, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, para calcular la valoración según la presencia de agua se toma como referencia la tabla que a continuación se especifica:

**Tabla 12.** Presencia de agua en las discontinuidades

FLUJOS DE AGUA EN LAS DISCONTINUIDADES	VALORACIÓN
Completamente seco	15
Ligeramente Húmedo	10
Húmedo	7
Goteando	4
Fluyendo	0

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

## 6) Orientación de las discontinuidades.

Previo a la recolección de muestras se establecen los lugares idóneos para éste propósito, de acuerdo al análisis a realizar. Se mapea y recolecta todos los datos estructurales de las diferentes familias que se puedan encontrar con el fin de analizar la orientación principal de las discontinuidades.

**Tabla 13.** Corrección por orientación de discontinuidades

EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN	VALORACIÓN
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

Para obtener el Índice de RMR de Bieniawski se realiza lo siguiente:

- Se suma los 5 variables o parámetros calculados, eso da como resultado un valor índice (RMR básico).
- El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades respecto al talud.

El valor del RMR varía entre 0 a 100, en la tabla siguiente se muestra la clasificación de la calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR:

**Tabla 14.** Clasificación del RMR

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN
I	Muy buena	81-100
II	Buena	61-80
III	Media	41-60
IV	Mala	21-40
V	Muy mala	<20

**Fuente:** Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

### 3.4.2. Metodología para desarrollar el Objetivo 3

#### ***“Realizar un inventario y caracterizar los movimientos de masa existentes en el sector de estudio”***

Un inventario de movimientos en masa es un registro ordenado de la localización y las características individuales de una serie de movimientos ocurridos en un área dada. La utilidad de un inventario es variada, algunos autores manifiestan, por ejemplo, que un inventario es la aproximación más directa a una zonificación de la amenaza por movimientos en masa, (Cascini et al. 2005). Igualmente, los inventarios son necesarios para establecer correlaciones tales como lluvia-deslizamiento, o sismo-deslizamiento.

En general y como lo manifiestan Soeters y Van Westen (1996), un inventario confiable de deslizamientos es esencial para cualquier análisis de ocurrencia de deslizamientos y el establecimiento de la relación entre estos y sus condiciones ambientales.

El inventario de movimientos en masa es el segundo elemento más importante en el mapeo de susceptibilidad. El inventario debe compilarse combinando el análisis multi - temporal de fotografías aéreas, trabajo de campo y entrevistas a testigos. Se deben idear símbolos adecuados para el mapa de inventario. En general, deben representarse por polígonos aquellos sitios con movimientos en masa que sean mayores a 5 mm en la escala del mapa o en caso contrario, por puntos.

En el mapa se deben incluir las referencias de la base de datos de información relevante, tipos de movimientos en masa, tiempo de ocurrencia de éstos, área, espesor promedio, volumen, material y otros parámetros.

El formato para la obtención de datos que se emplea en la presente investigación es el propuesto para el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas -PMA:GCA- elaborado por el Grupo de Estándares para Movimientos en Masa -GEMMA- y se divide en catorce grandes temas de información sobre el movimiento en masa, (*Ver Anexo 4. Formato para Inventario*

*de Movimientos en Masa*), que a su vez agrupan aspectos particulares de cada uno de ellos:

- 1) Localización geográfica y documental del evento
- 2) Actividad del movimiento
- 3) Litología y estratigrafía
- 4) Clasificación del movimiento
- 5) Morfometría
- 6) Causas del movimiento
- 7) Cobertura y uso del suelo
- 8) Documentos de referencia
- 9) Efectos secundarios
- 10) Importancia del evento
- 11) Daños
- 12) Notas y apreciación del riesgo
- 13) Esquema
- 14) Registro fotográfico

#### **3.4.3. Metodología para desarrollar el Objetivo 4**

***“Definir los factores de inestabilidad que determinen si el barrio Loma Redonda se encuentra en áreas propensas a movimientos de masa”***

La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.

La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir movimientos en masa.

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 movimientos en masa. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como precipitaciones o sismos no se considera en un análisis de susceptibilidad.

Los mapas de “susceptibilidad” a los deslizamientos fueron desarrollados por primera vez por Brabb en San Mateo County California, para el USGS en 1978.

Los primeros mapas se realizaban superponiendo mapas con los diferentes factores geológicos que influían en las fallas de los taludes.

En 1988, se inició el uso de Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de mapas de susceptibilidad, desde entonces se han desarrollado gran cantidad de programas de *software* geotécnico con subrutinas que facilitan el análisis de susceptibilidad<sup>10</sup>.

El mapa de susceptibilidad es un mapa en el cual se zonifican las unidades de terreno que muestran una actividad de movimientos en masa similar o de igual potencial de inestabilidad, que se obtiene de un análisis multi - variable entre los factores del terreno que afectan la susceptibilidad a los movimientos en masa y el mapa de inventario de movimientos en masa.

Investigadores de INGEOMINAS de Colombia, adaptaron diferentes métodos para zonificar la susceptibilidad por procesos de remoción en masa en laderas, según el nivel de estudio y los factores que se deben considerar en una zonificación.

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, morfológicas y geotécnicas del terreno.
- Uso del suelo

---

<sup>10</sup> Suarez, J. 2009. Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Volumen 1.

- Inventario de deslizamientos.

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad es importante dibujar previamente, un mapa de pendientes adicional a los mapas geológicos y de uso del suelo. El objetivo es generar una planta topográfica del área a estudiar, delimitando las áreas de pendiente diferente, en los sectores o fajas de valores previamente establecidos. (Tabla 15).

**Tabla 15.** Clasificación utilizada para elaborar el mapa de pendientes

CLASIFICACIÓN	PENDIENTE (ÁNGULO DE INCLINACIÓN)
<b>Muy Baja</b>	0 a 15% (0 a 8.5 grados)
<b>Baja</b>	15 a 30% (8.5 a 16.7 grados)
<b>Mediana</b>	30 a 50% (16.7 a 26.6 grados)
<b>Alta</b>	50 a 100% (26.6 a 45 grados)
<b>Muy Alta</b>	Mayor a 100% (mayor a 45 grados)

**Fuente:** Clasificación de pendientes (Brabb 1984)

Se recomienda realizar un plano geológico - geotécnico en el cual se indiquen los suelos o materiales más susceptibles a sufrir procesos de deslizamiento.

El objetivo principal es definir cuales áreas tienen un comportamiento crítico si estas se encuentran localizadas en zonas de influencia de corrientes de agua reales o eventuales provenientes de los sistemas de drenaje natural y artificial.

Un elemento esencial en la zonificación de susceptibilidad es el inventario de movimientos de masa, puesto que muestra la localización y magnitud de los movimientos en masa ocurridos en el pasado, generando una idea objetiva de la susceptibilidad.

El producto final presenta la distribución espacial de los deslizamientos en forma de áreas afectadas o símbolos. La distribución de deslizamientos puede presentarse en forma de mapa de densidades o zonas de igual cantidad de deslizamientos.

Para la obtención del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, se emplea el método de (Sarkar y Kanungo, 2004), el cual consiste en el análisis e interrelación de los factores condicionantes.

La información recopilada, es integrada y procesada mediante el programa ArcGIS versión 10, el cual permite la elaboración de mapas temáticos para la zonificación de susceptibilidad, la misma que requiere la superposición de los siguientes mapas:

- Mapa de Pendientes
- Mapa Geológico
- Mapa Geomorfológico
- Mapa de Cobertura Vegetal
- Mapa de inventario de los movimientos de masa

Los mapas se rasterizan y suman con la opción “*Spatial Analyst / Raster Calculator*”, se multiplica a cada factor de análisis por un factor de ponderación o peso.

De esta forma se considera que el grado o nivel de susceptibilidad es el producto de la interpolación de dichos mapas.

#### ***Asignación de pesos a las variables***

La asignación de pesos se aplica a cada una de las variables a utilizar para la zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa (Pendientes, Geología, Geomorfología, Cobertura Vegetal y Movimientos en Masa), cuyos rangos varían de 1 a 5.

**Tabla 16.** Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos

SUSCEPTIBILIDAD	RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD	CRITERIO
MUY ALTA	V	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	IV	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	III	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	II	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades desfavorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
MUY BAJA	I	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

**Fuente:** Sarkar y Kanungo, 2004



El rango de valores usados en las ponderaciones es de 1 a 5 para identificar con facilidad el significado de la susceptibilidad creciente, es decir el valor 1 corresponde a una susceptibilidad “muy baja” con menor grado de inestabilidad y con condiciones menos favorables para que se produzcan los movimientos en masa y por el contrario el valor 5 corresponde a una susceptibilidad “muy alta” y se refiere a las condiciones más favorables para que se produzcan los movimientos en masa.

**Tabla 17.** Pesos asignados para pendientes

<b>PENDIENTES</b>		
<b>CATEGORÍA</b>	<b>CLASES (%)</b>	<b>PESOS</b>
Muy Baja	0 – 15	1
Baja	15 – 30	2
Media	30 – 50	3
Alta	50 – 100	4
Muy Alta	> 100	5

**Fuente:** Sarkar y Kanungo, 2004

**Tabla 18.** Pesos asignados para litología

<b>LITOLOGÍA</b>	
<b>VARIABLE</b>	<b>PESOS</b>
Lavas, riolitas, andesitas porfíricas	1
Esquistos, grafitos, gneis	2
Roca granítica, granodiorita alterada	3
Limolita, arcilla, arenisca, conglomerado	4
Depósitos coluviales, aluviales, terrazas	5

**Fuente:** Sarkar y Kanungo, 2004

**Tabla 19.** Pesos asignados para cobertura vegetal y uso del suelo

<b>COBERTURA VEGETAL</b>	
<b>VARIABLE</b>	<b>PESOS</b>
Bosque Húmedo Denso	1
Matorral Húmedo Alto	2
Plantación de Pino	3
Pastizal	4
Área Urbana	5

**Fuente:** Sarkar y Kanungo, 2004

**Tabla 20.** Pesos asignados para geomorfología

<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	
<b>VARIABLE</b>	<b>PESOS</b>
<b>Relieve montañoso</b>	1
<b>Colinas medianas</b>	2
<b>Colinas altas</b>	3
<b>Vertientes irregulares</b>	4
<b>Relieve escarpado</b>	5

**Fuente:** Sarkar y Kanungo, 2004

**Tabla 21.** Pesos asignados para movimientos en masa

<b>DESLIZAMIENTOS</b>	
<b>VARIABLE</b>	<b>PESO</b>
<b>Caída de rocas</b>	1
<b>Deslizamiento rotacional</b>	2
<b>Deslizamiento traslacional</b>	2
<b>Flujos</b>	4

**Fuente:** Sarkar y Kanungo, 2004

Concluido los lineamientos metodológicos de desarrollo de los objetivos, se procederá consecutivamente a analizar los Resultados; estos serán la presentación clara y sintética de los datos recolectados y de tratamiento (informático, procedimentales, entre otros). Los resultados expresaron:

- Descripción de los aportes y hallazgos de la investigación
- Detalles de los resultados expresadas en tablas, gráficas, figuras y mapas, acompañados en cada caso por una descripción analítica.

### ***Definición de los rangos de susceptibilidad***

Para los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada. Por este motivo, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos, para el área de estudio, en cinco clases de susceptibilidad y asignar los calificativos que se muestran a continuación:

**Muy alta (V):** Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran.

Probabilidad de deslizamiento muy alta ( $> 50\%$ ) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda emplearlos como áreas de protección.

**Alta (IV):** Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.

La probabilidad de deslizamiento es alta ( $< 50\%$ ) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.

**Moderada (III):** 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. No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos urbanos de baja densidad.

**Baja (II):** Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.

Los sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos

para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.

**Muy baja (I):** Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos. Estos sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, entre otros.

Se debe enfatizar en que esta clasificación de susceptibilidad, se basa en la influencia que tienen las diferentes condiciones examinadas en un área específica; es decir, las áreas de susceptibilidad determinadas para un sitio son válidas únicamente para este sitio; condiciones similares, encontradas fuera del sitio, pueden producir un resultado diferente por una pequeña diferencia en alguno de los factores.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Descripción General del Área de Estudio

#### 4.1.1. Ubicación

El cantón Olmedo es uno de los 16 cantones de la provincia de Loja, se ubica en la parte central y Nor-Occidental de la provincia. Tiene una extensión territorial de 114,89 km<sup>2</sup>, constituyéndose como el más pequeño de la provincia de Loja. Se encuentra a una altura de 1500 m s.n.m. y a una distancia de 92.5 km de la ciudad de Loja. En cuanto a su división política, consta de una parroquia urbana y una parroquia rural, Olmedo y La Tingue, respectivamente.

Geográficamente el cantón Olmedo limita al norte con el cantón Chaguarpamba, al este con el cantón Catamayo, al sur y al oeste con el cantón Paltas.

El Barrio Loma Redonda, objeto de la presente investigación se ubica en la parte Oeste del mencionado Cantón, en los márgenes de la Vía Panamericana a 6 km del Barrio “La Y de Olmedo”, sector donde se bifurca dicha Vía e inicia el acceso hacia la cabecera cantonal.

Forma parte de la parroquia Olmedo, cuenta con una extensión de 58.5 Has., lo que representa el 0.51% de la superficie total del Cantón, las coordenadas UTM de referencia son las siguientes:

<b>Latitud:</b>	9565567,304
<b>Longitud:</b>	648243,016
<b>Altitud:</b>	1544,669

En el mapa siguiente se muestra la ubicación del Barrio Loma Redonda dentro de los límites parroquiales, cantonales y provinciales.

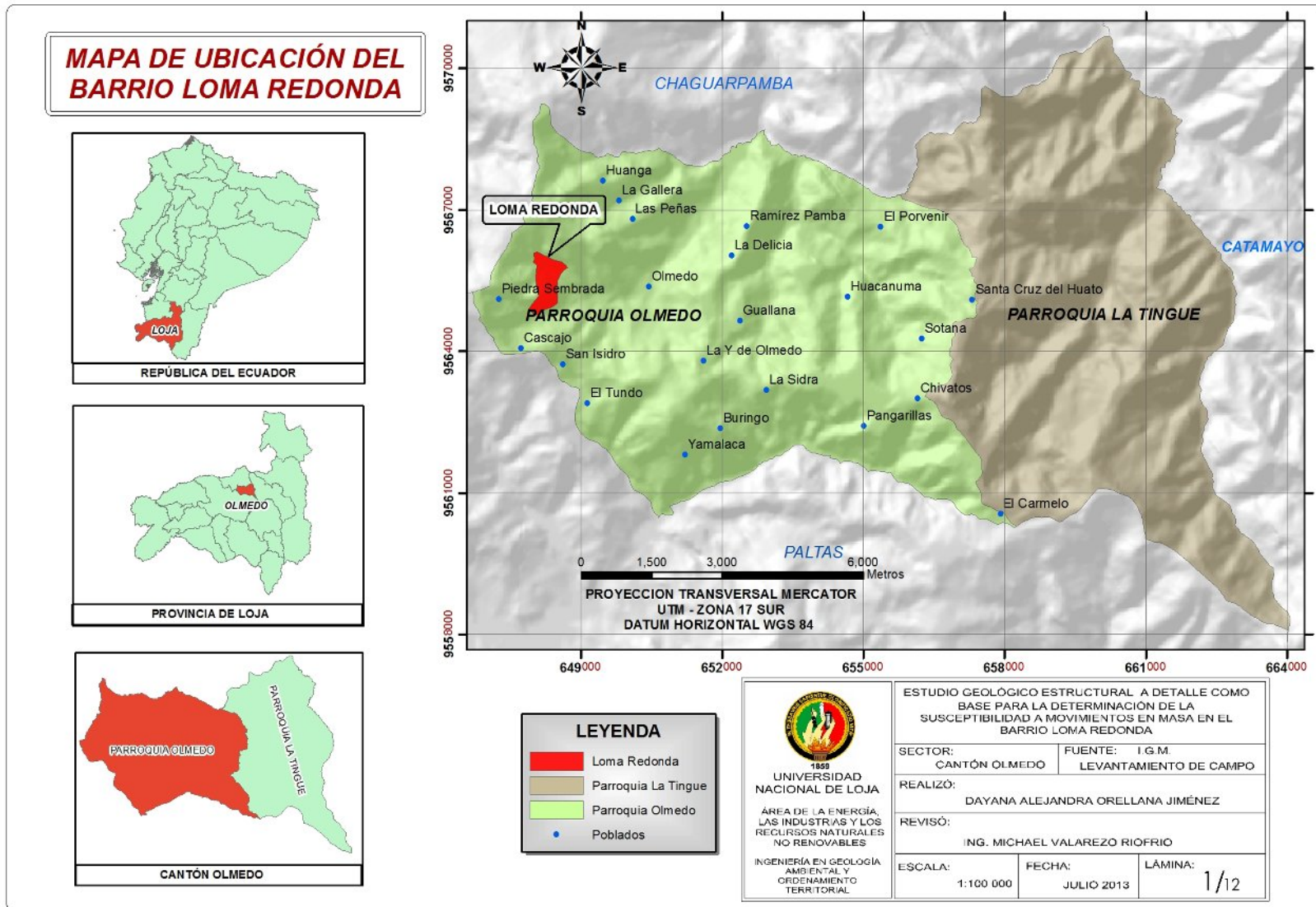
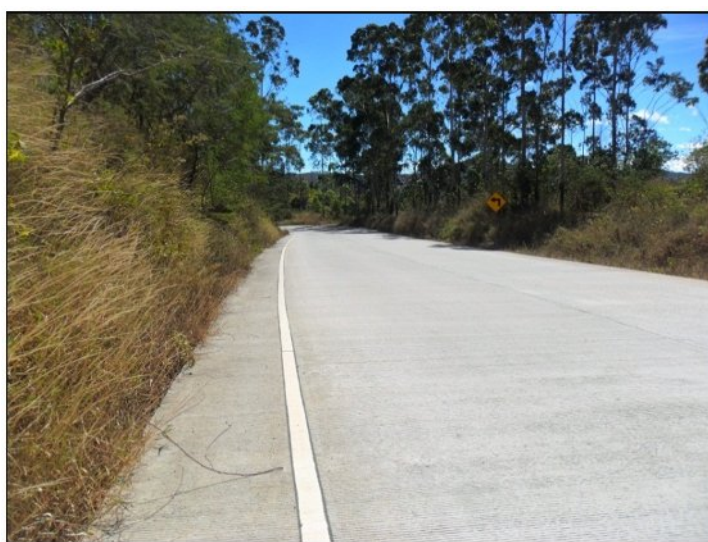


Figura 1. Ubicación del Barrio Loma Redonda

#### 4.1.2. Vialidad

La Red Vial Nacional está integrada por la Red Vial Estatal (vías primarias y vías secundarias), la Red Vial Provincial (vías terciarias), y la Red Vial Cantonal (caminos vecinales).

Olmedo se integra a la provincia y país, con la vía hacia la Costa (vía primaria), la misma es un ramal de la Panamericana Sur, cuyo punto de arranque está en Velacruz. Esta vía es la salida de Loja hacia las provincias de la Costa.



**Fotografía 3.** Vía Panamericana hacia la Costa

Las parroquias y barrios del cantón están comunicados entre sí mediante caminos vecinales, los cuales se constituyen como el principal medio de conectividad para el desarrollo de diversas actividades como el comercio, actos culturales, religiosos, entre otros.

Es importante mencionar que los habitantes del Barrio Loma Redonda, han emplazado sus viviendas en los márgenes de la Vía Panamericana hacia la Costa, constituyéndose como la conexión principal hacia el Cantón Olmedo y el resto de la Provincia, internamente se tienen vías adoquinadas y caminos de herradura.



**Fotografía 4.** Viviendas emplazadas en los márgenes de la Vía Panamericana

#### **4.1.3. Aspectos Socio – Económicos**

De acuerdo al último censo de población y vivienda realizado por el INEC en el año 2010, la población del cantón Olmedo es de 4870 habitantes, de los cuales el 49.73% son hombres y el 50.27% mujeres.

En cuanto a los aspectos de migración, existen 51 migrantes: 54.9% hombres y 45.1% mujeres; cuyos destinos son principalmente hacia los países de Europa como España e Italia, sin embargo otros optaron por trasladarse a provincias dentro del país como El Oro, Azuay, Pichincha, en las cuales desempeñan actividades como la minería, comercio, agricultura, entre otras.

La producción local se basa exclusivamente en la agricultura y la ganadería, empleando técnicas rudimentarias que no permiten tener alta productividad. Los principales productos agrícolas que se cultivan en la zona son: café, maní, caña de azúcar, piña, y en menor proporción: naranja y otros cítricos, banano, yuca, arveja, aguacate, zapote, mango, guaba, guayaba, chirimoya, granadillas, maracuyá, papaya, entre otros. Oleaginosas: Higuera y girasol. La principal producción ganadera en la zona es: bovino, ovino, porcino, caprino, equino y aves de corral. Una de las grandes fortalezas que tiene Olmedo, es el de poseer tierras fértiles, lo cual debe ser



aprovechado de mejor forma para lograr mayor producción y transformarse en uno de los principales abastecedores de producción a la ciudad de Loja y otros pueblos y ciudades vecinos. La mayoría de la producción agrícola sirve para el abastecimiento local y familiar, y solo el café, maní, maíz y caña de azúcar por su abundante producción y calidad se destina a la comercialización a los cantones vecinos y regiones cercanas del país.

Las actividades productivas desarrolladas en el sector, están orientadas principalmente hacia el autoconsumo, un pequeño porcentaje es destinado a la venta, productos como el café, maní, caña de azúcar, son comercializados en cantones cercanos como Catamayo así como en algunas provincias del país; mientras que el maíz, plátano, fréjol, yuca y varios frutales, se constituyen como los principales alimentos de los pobladores.



**Fotografía 5.** Cultivo de productos para el consumo.

La actividad ganadera es poco común en el sector, animales como cerdos, pollos, cuyes y ganado vacuno, son criados preferentemente con fines alimenticios, razón por la cual se asigna áreas reducidas para su crianza.



**Fotografía 6.** Actividad ganadera

Por otra parte en el Barrio Loma Redonda, se evidencia que la mayor parte de viviendas se encuentran emplazadas a lo largo del eje vial, las construcciones se caracterizan por ser antiguas, los materiales utilizados en las construcciones son adobe y tapia principalmente, mientras que en las construidas recientemente se ha empleado ladrillo y cemento.



**Fotografía 7.** Viviendas en el Barrio Loma Redonda

#### **4.1.4. Clima**

El clima y en especial la precipitación juegan un papel determinante en la estabilidad de los taludes. La presencia o ausencia de agua y temperatura, definen las condiciones para los procesos de meteorización física y química. De igual manera, las variaciones en el clima afectan los procesos. Los taludes bajo diferentes

condiciones climáticas forman perfiles diferentes que se comportan de forma diferente. Las fuerzas que actúan dentro de un talud cambian al modificarse las condiciones ambientales.

Los factores que dan origen al clima de la provincia son los mismos factores que afectan a la región andina, especialmente la latitud y el relieve, y en general, la zona de convergencia intertropical, el efecto de la interacción Océano Pacífico–atmósfera y la cubierta vegetal. Desde el punto de vista de la distribución de la temperatura, Loja es una provincia con predominancia de climas tropical, temperado y subtropical, caracterizado por una temperatura media de 16°C y una lluvia anual de 900 litros por metro cuadrado.

Los parámetros de temperatura, altitud, heliofanía<sup>11</sup> y regímenes de precipitación determinan que en el cantón Olmedo se distinguen dos tipos de clima: el Subtropical y el Templado con una temperatura media anual entre 18°C y 20°C (*Ver Anexo 5. Mapa de Isotermas*), y un régimen pluviométrico que oscila entre 1250 y 1500mm (*Ver Anexo 6. Mapa de Isoyetas*), en la época invernal, la cual se acentúa en los meses de Enero a Abril, mientras que las mayores temperaturas se registran de Julio a Octubre.

**Tabla 22.** Clasificación climática

PARÁMETROS DE LA CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA	
<b>CLIMA</b>	Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo
<b>ECOLOGÍA</b>	Bosque Húmedo Premontano
<b>PISO TÉRMICO</b>	Templado

**Fuente:** “Plan de Desarrollo Estratégico Cantonal de Olmedo”. Asociación de Municipalidades del Ecuador, G.A.D. Olmedo 2011.


<sup>11</sup> Indica las horas efectivas o relativas de sol brillante o directo promedio que se da en cada mes.

## 4.1.5. Flora y Fauna

### 4.1.5.1. Flora


No existen áreas boscosas representativas, sino únicamente pequeños remanentes de especies forestales y frutales importantes, las especies arbóreas identificadas, pertenecen a un bosque seco intervenido o alterado. Se puede evidenciar que los árboles presentan alturas promedio de 4 y 6 m, entre las principales especies existentes en el sector de estudio se tiene:

**Tabla 23.** Especie arbórea Porotillo

<b>Nombre común:</b> Porotillo	
<b>Nombre científico:</b> <i>Erythrina smithiana</i>	
<b>Familia:</b> <i>Fabaceae</i>	
<b>Descripción:</b> El porotillo crece disperso en los bosques secos, con mayores concentraciones en los suelos aluviales, cerca de las quebradas y cauces secos. Es una especie caducifolila, o sea que pierde sus hojas durante la época seca. El tronco es de color marrón y cubierto de espinas cortas y dispersas. La madera es fofo y suave, poco resistente, por lo que no tiene demanda como especie maderera y se ha salvado de la tala masiva. Pertenece a la familia de los frijoles (fabáceas) y su fruto es una vaina, con semillas duras de color rojo intenso, que en algunas zonas se conocen como huayruros.	

**Fuente:** “Plan de Desarrollo Estratégico Cantonal de Olmedo”. Asociación de Municipalidades del Ecuador, G.A.D. Olmedo 2011.

**Tabla 24.** Especie arbórea Eucalipto

<b>Nombre común:</b> Eucalipto	
<b>Nombre científico:</b> <i>Eucalyptus globulus</i>	
<b>Familia:</b> <i>Myrtaceae</i>	
<b>Descripción:</b> Árbol de gran porte que puede superar los 50 metros de altura manteniendo las hojas todo el año. El tronco puede llegar a ser muy grueso y se caracteriza por la tendencia a la torsión espiral y por las tiras de corteza que desprende. Procede de Tasmania y Australia, siendo esta especie la más ampliamente cultivada en el mundo, siempre en zonas templadas y cálidas, gracias a su rápido crecimiento, frugalidad y capacidad de adaptación a distintos suelos. La madera es de escaso valor por su fibra revirada y baja resistencia, destinándose mayoritariamente a pasta de papel.	

**Fuente:** “Plan de Desarrollo Estratégico Cantonal de Olmedo”. Asociación de Municipalidades del Ecuador, G.A.D. Olmedo 2011.

#### 4.1.5.2. Fauna

Las especies identificadas en el sector de estudio corresponden a pequeños mamíferos y pocas aves, mientras que la existencia de reptiles no es de gran relevancia. La mayoría de especies son frecuentes en las áreas de cultivo; los agricultores mencionan que algunas especies faunísticas son consideradas plagas, como el caso de *Sciurus vulgaris* “ardilla”, *Vulpes vulpes*, “zorro” y *Didelphis marsupialis*, “guanchaca”.

En las siguientes tablas se exponen las especies faunísticas más representativas existentes en el Barrio Loma Redonda.

- **Mamíferos:**

**Tabla 25.** Principales especies de mamíferos existentes en el Barrio Loma Redonda

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
<b>Zorro</b>	<i>Vulpes vulpes</i>	<i>Canidae</i>
<b>Tumulle / Armadillo</b>	<i>Dasytus novencinctus</i>	<i>Dasyproctidae</i>
<b>Guatuzá</b>	<i>Dasyprocta punctata</i>	<i>Dasyproctidae</i>
<b>Cuy</b>	<i>Cavia porcellus</i>	<i>Caviidae</i>
<b>Guanta</b>	<i>Agouti paca</i>	<i>Agoutidae</i>
<b>Ardilla</b>	<i>Sciurus vulgaris</i>	<i>Esciúridos.</i>
<b>Guanchaca</b>	<i>Didelphis marsupialis</i>	<i>Didelphidae</i>

**FUENTE:** “Plan de Desarrollo Estratégico Cantonal de Olmedo”. Asociación de Municipalidades del Ecuador, G.A.D. Olmedo 2011.

- **Aves:**

**Tabla 26.** Principales especies de aves existentes en el Barrio Loma Redonda

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
<b>Gavilán Dorsigris</b>	<i>Leucopternis occidentalis</i>	<i>Accipitridae</i>
<b>Gavilán Sabanero</b>	<i>Circus cyaneus</i>	<i>Circinae</i>
<b>Gavilán Caminero</b>	<i>Buteo magnirostris</i>	<i>Accipitridae</i>
<b>Paloma Collareja</b>	<i>Columba fasciata</i>	<i>Columbidae</i>
<b>Paloma Plomiza</b>	<i>Columba plumbea</i>	<i>Columbidae</i>
<b>Paloma Ventriocácea</b>	<i>Leptolia ochraceiventris</i>	<i>Columbidae</i>
<b>Perico Caretirojo</b>	<i>Aratinga erythrogenys</i>	<i>Psittacidae</i>

**FUENTE:** “Plan de Desarrollo Estratégico Cantonal de Olmedo”. Asociación de Municipalidades del Ecuador, G.A.D. Olmedo 2011.

#### 4.1.6. Topografía

En la provincia de Loja, en general se presenta una topografía accidentada y de difícil acceso, no posee cordilleras muy elevadas, sin embargo existen profundos valles cálidos y mesetas. Aquí se disuelve la Cordillera de los Andes, lo que convierte a la orografía muy irregular.

La orografía característica de la parroquia Olmedo es de tipo irregular y compleja, con relieves que varían de fuertes a muy fuertes, con alturas que varían desde 1000 m s.n.m. en el sector Norte, hasta 2000 m s.n.m. en el Sur-Oeste.

En el sector de estudio se observan variaciones de altitud que van desde los 1456 m s.n.m, en la quebrada Loma Redonda en el sector Este, hasta los 1626 m s.n.m. en el sector Oeste, es decir el Barrio, se encuentra emplazado en un área montañosa, con muy pocas planicies, existiendo distancias horizontales cortas, en este contexto, el relieve se torna muy accidentado y con pendientes abruptas. (*Ver Anexo 7. Mapa Topográfico del Barrio Loma Redonda*).

Estas características dan una pauta para determinar los sectores no aptos para posibles zonas de expansión, debido a la normativa que prohíbe la construcción en posibles zonas de riesgo, determinadas por algunos factores como son: pendientes en terrenos que sobrepasen el 30%, áreas de protección en ríos y quebradas, las mismas que han causado la formación de elementos como pequeños declives, generando una topografía medianamente accidentada en forma general.

#### **4.1.7. Hidrología**

La red hidrográfica se refiere a la red de transporte superficial de agua y sedimento, como ríos, lagos y flujos subterráneos, alimentados por la lluvia.

La mayor parte de esta agua no cae directamente en los cauces fluviales y los lagos, sino que permeabiliza las capas superiores del terreno y desde éstas aparece constituyendo arroyos.

El sistema hidrológico del cantón Olmedo forma parte, principalmente de la gran cuenca del Río Puyango, en la región sur del país, destacándose como principal afluente, la quebrada Olmedo, sin embargo en la parte Sur del cantón existe un único afluente de la cuenca Catamayo – Chira, se trata de la quebrada Velacruz con sus respectivos tributarios.

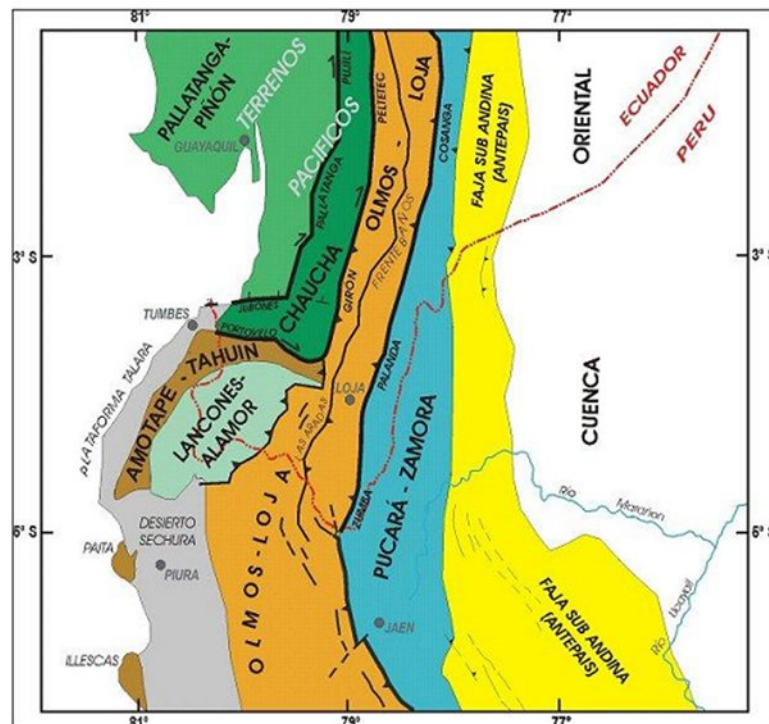
El Barrio Loma Redonda pertenece a la micro-cuenca del río Umbalao, los principales cuerpos de agua son, la quebrada Loma Redonda y la quebrada del

Zambo que por efectos propios de la topografía del sector, fluyen de Oeste a Este, así como afluentes con menor caudal, que se constituyen como sus tributarios. (*Ver Anexo 8. Mapa Hidrológico del Barrio Loma Redonda*).

Es común que ocurra infiltración de agua hacia el suelo en los canales y cuerpos de agua. Con frecuencia, los canales van en baja pendiente a lo largo de una ladera y no tienen un revestimiento adecuado lo que permite la infiltración de una gran cantidad de agua. Una vez se infiltra el agua, ésta fluye por gravedad hasta que alcanza un manto impermeable y se genera un nivel freático.

#### 4.2. Marco Geológico Regional

La región fronteriza entre Ecuador y Perú está localizada dentro de la denominada deflexión de Huancabamba o Andes de Huancabamba (Mourier, 1998). Esta “estructura” o región geográfica, de acuerdo con algunos autores representa la zona de transición entre los Andes Centrales y los Andes Nórdicos (Feninger, 1987) y abarca el área comprendida entre 2°30’ y de 7° de latitud sur.



**Figura 2.** Esquema de los dominios litotectónicos del sur del Ecuador, incluyendo las principales fallas geológicas, la mayoría de las cuales representan límites entre diferentes dominios litotectónicos.



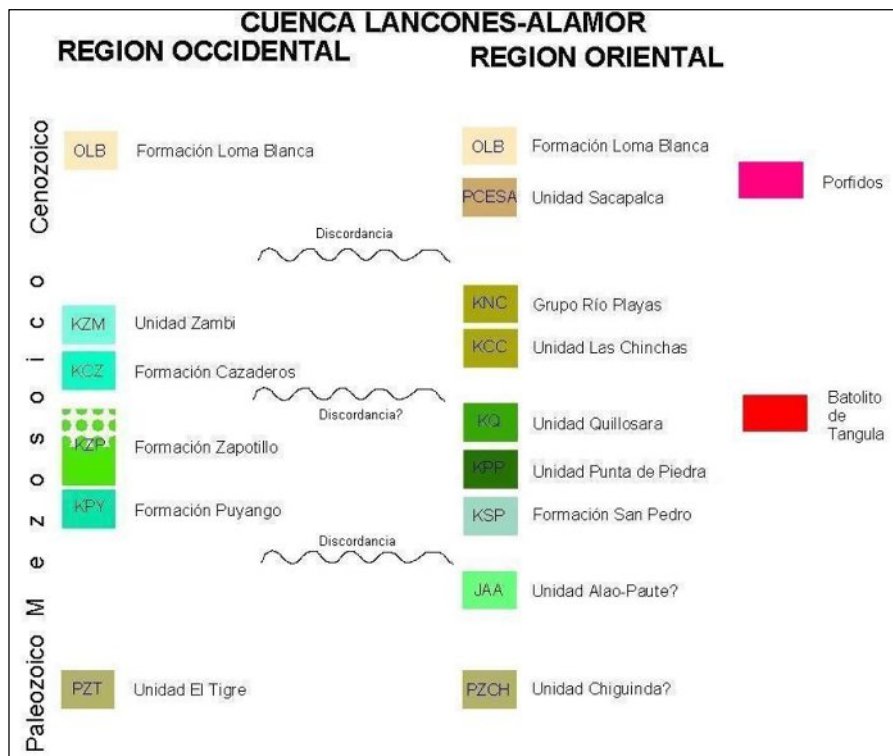
La cuenca Lancones-Alamor denominada por otros autores Lancones-Celica, localizada entre el Terreno Loja-Olmos y el Macizo Amotape-Tahuín, constituye una estructura elongada en general de rumbo N-S.

La mayor parte de las secuencias que forman parte de la cuenca afloran en el sector peruano, mientras en el Ecuador rocas de esta secuencia afloran hasta el sector del Río Pindo-Zambi, donde se acuñan entre las secuencias metamórficas del Macizo Amotape-Tahuín y las rocas volcánicas de edad Paleoceno-Eoceno aflorantes en la zona occidental del Dominio Loja-Olmos. Por el E, el contacto entre las secuencias de la cuenca y las rocas del Dominio mencionado es tectónico, mientras que el contacto con las rocas del Macizo Amotape-Tahuín es discordante aunque localmente se ha definido la presencia de fallas locales. La naturaleza de la cuenca y el basamento son temas que continúan en discusión. Aguirre (1992) basado en patrones metamórficos presentes en rocas aflorantes en Ecuador interpreta a estas como parte de una cuenca marginal ensialica abortada, desarrollada sobre el sustrato siálico del margen occidental de Sudamérica, sugiriendo implícitamente que el basamento está constituido por rocas metamórficas del cratón Sudamericano. Según el mismo autor, la cuenca posiblemente se desarrolló en un régimen extensional resultado de un fuerte adelgazamiento de la corteza continental.

Litherland y otros (1993) basados en los estudios realizados en los complejos metamórficos interpretan que la cuenca denominada Lancones, es tipo pull apart y fue desarrollada entre las rocas que componen los Dominios Loja-Olmos (Cinturón metamórfico de la Cordillera Real) y Amotape-Tahuín (parte sur del cinturón metamórfico de El Oro). La descripción de las secuencias litológicas que rellenan la cuenca se dio considerando la posición estructural con respecto a la extensión lateral de la cuenca y el origen de la litofacies. Esto conlleva a dividir a la cuenca en dos regiones denominadas Oriental y Occidental<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> DINAGE-INGEMMET, Geología de Ecuador y Perú entre 3°S y 6°S. 2005.



**Figura 3.** Columna estratigráfica de la Cuenca Lancones-Alamor, incluye las Unidades Litológicas o Formaciones que rellenan la cuenca en las regiones oriental y occidental.

El contacto entre las dos regiones se interpreta como transicional e interdigitado por lo que es muy difícil de diferenciar en el campo, sin embargo en algunos sectores como Alamor-Celica y Chaguarpamba-Río Pindo, se pasa bruscamente de facies volcano-sedimentarias de ambiente marino a sedimentarias con influencia continental y posiblemente los contactos son tectónicos.

La cuenca Lancones-Alamor, por su localización dentro del marco geotectónico regional y la diversidad de criterios sobre su origen, las secuencias que forman la zona oriental predominante de origen volcánico y la zona occidental predominantemente de origen sedimentario.

Las unidades litológicas que ocurren en el sector occidental, consisten básicamente de rocas sedimentarias depositadas en un ambiente marino con fuerte aporte de material continental.

El periodo Cenomaniano-Turoniano agrupa a las facies predominantemente lutáceas que ocurren como una franja elongada depositada entre el Macizo Amotape-Tahuín y

las facies volcano-sedimentarias verdes del sector oriental. El rumbo de la secuencia en el sector de Zapotillo es NE-SO, mientras que en el sector de Chaguarpamba tiende a ser E-O. En el Ecuador, las rocas de esta edad son incluidas en la formación Zapotillo (Kzp).

En los afloramientos tipo (Zapotillo hacia el Perú) consiste básicamente de limolitas y lutitas de color negro finamente laminada. Mas al NE, en territorio ecuatoriano las facies gruesas de color gris verdoso constituyen las rocas predominantes. Las litologías clásticas de grano grueso típicas incluyen conglomerados, microconglomerados y areniscas.

Las lutitas y limolitas negras, débilmente calcáreas que forman parte de la unidad Zapotillo constituyen las facies más finas o distales de las Series Occidentales de la Cuenca Lacones-Alamor. Las litologías que en el sector de Zapotillo ocurren en capas delgadas, bien estratificadas y plegadas, en las carreteras Alamor-Arenillas y Chaguarpamba-Río Pindo, presentan un fuerte cizallamiento, el cual en algunos sectores da lugar a un fuerte clivaje. Las areniscas y micro conglomerados de color gris verdoso, en el camino Zapotillo-Alamor ocurren en bancos masivos métricos, bien estratificados, mientras en el camino Chaguarpamba-Río Pindo presentan un débil clivaje debido a cizallamiento cerca del contacto con las facies finas cizalladas.<sup>13</sup>

A continuación se hace una breve descripción de las formaciones que involucran la geología regional, algunas de las cuales están dentro de Cuenca Lancones-Alamor y otras cercanas al área de estudio: (*Ver Anexo 9: Mapa de Geología Regional del sector de estudio*).

- **Formación Zapotillo – Ciano (*Albiense-Senoniense o Maestrichense*)**

Esta formación considerada originalmente como dos formaciones separadas, contemporáneas de facies diferentes, consiste de Flysh, compuesto principalmente de

---

<sup>13</sup> DINAGE-INGEMMET, Geología de Ecuador y Perú entre 3°S y 6°S. 2005.

grauvacas, lutitas negras con menor cantidad de areniscas conglomerados, limolitas laminadas, cuarcitas y volcánicos.

Los volcánicos predominan en el centro de la depresión (Facies Ciano), y comprende principalmente material volcanoclástico (tobas depósitos en agua) y con algunas lavas. La formación esta aparentemente interestratificada por un gran volumen de volcánicos asignados a la Formación Celica: se ha presumido que existe un contacto gradacional o interdigitado aunque parte de la Celica podría ser tan joven o quizá más joven que la secuencia sedimentaria. La formación también sobreyace transicionalmente a la Formación. Cazaderos, pero es evidente en un cambio de facies. Hacia el NE, la secuencia está representada por meta-limolitas ligeramente metamorfizadas, pizarras y cuarcitas: las filitas Zambí (Kennerley 1973), son el equivalente directo de las facies de Zapotillo y por lo tanto son incluidas a este grupo. La formación Zapotillo – Ciano tiene varios de miles de metros de espesor (3000 m) y al S esta plegada en los ejes SW-NE, pero en la parte N y central de la cuenca esta plegada sobre los ejes E-W.

La secuencia es pobre en fósiles (Gavelinella, allomorfinas, inoceramus, entre otros), pero fundamentalmente pertenece al Cretácico Superior (Cenomaniense al Senoniense o al Maestrichtiano), pero puede incluir sedimentos y volcanoclasticos de Albiense, los que tiene correlación con la Celica.

- **Formación Yunguilla.- (Cretácico Superior (Maestrichtiense) a Paleoceno)**

Formación sedimentaria de origen marino, se extiende como un cinturón discontinuo. Son sedimentos de tipo flysch. Comprende lutitas negras, fisiles, finamente estratificadas tegulinas (exfoliables) negras y en capas delgadas y argilitas compactas con calizas delgadas y lavas recubren los volcánicos de la Macuchi en varios sectores de la Cordillera Occidental. En la parte central del Ecuador (1°-2° S) pasa transicionalmente sobre el miembro Cayo Rumi y en Sur del Ecuador (Cañar-Cuenca) pasa a las areniscas y arenas de grano grueso del miembro Ingapirca. La secuencia argilácea de la Yunguilla (inferior) ha sido subdividida en tres partes; una unidad calcárea intermedia al Norte y dos al Sur, el espesor sobrepasa los 3000 m.

- **Formación Celica.- (*¿Cretáceo inferior al superior? - Kce*)**

La Formación Celica ocurre al sur de la zona de la falla Jubones en el sur de la Sierra ecuatoriana y continúa hacia el Perú. Consiste de una potente sucesión de andesitas masivas, homogéneas y de color gris verdoso con tobas andesíticas intercaladas: lavas más básicas no se han hallado, pero dacitas y aún las riolitas han sido. Horizontes sedimentarios interestratificados (calizas, cuarcitas) son raros, aunque los Volcánicos Celica parecen estar interdigitados con los sedimentos marinos cretácicos del Grupo Alamor.

Descansa sobre rocas metamórficas y yacen discordantes por debajo de sedimentos y volcánicos del Cretácico superior y Paleoceno. No se conoce su espesor pero debe ser de varios miles de metros y es intruido por batolitos plutónicos incluyendo al Batolito de Tangula, el que parece ser confiablemente datado en 114 y 113 M.a. esto sugiere una edad cretácico inferior para la Formación Celica, la que en parte puede ser correlacionada con el Grupo Volcánico Casma (Albiense) de la costa peruana.

Se ha pensado que representa una secuencia de Arco-Volcánico, erupcionado subarealmente y parte sobre un bloque levantado (metamórfico) y parte en una depresión hundida (Depresión, Lancones- Alamor), en donde se asoció con los sedimentos marinos y volcanoclásticos del grupo Alamor.<sup>14</sup>

Una variedad de texturas ígneas se presentan, pero todas contienen material afanítico característico de rocas ígneas de enfriamiento rápido. La andesita porfirítica está difundida y los fenocristales pueden constituir el 50% de la roca. Los fenocristales máficos consisten en hiperstena, diopsida y augita, pero estos están siempre subordinados a los fenocristales de composición andesino-labradorita.

- **Volcánicos de Pisayambo.- (*Mioceno-Plioceno?*)**

Consta de una gruesa y extensa secuencia volcánica que cubre grandes áreas de la cordillera en la parte central del Ecuador. Bien expuesta en partes del valle interandino, constituye gran parte de las escabrosas tierras altas tanto al Este como al

---

<sup>14</sup> Baldock J. W. Geología del Ecuador, 1982

Oeste de la Sierra. En la unidad inferior predominan piroclastos: brechas gruesas, aglomerados, tobas, con algunas lavas. Flujos masivos de lavas basálticas, andesíticas predominan en la parte superior. El espesor sobrepasa los 2000 m, considerables fallamientos y aun plegamientos suavemente encurvados evidentes en algunas áreas. Está recubierta por conos volcánicos.

- **Formación Sacapalca.- (*Paleoceno*)**

Está constituida por lavas andesíticas con capas piroclásticas intercaladas, y rellena una fosa tectónica, alineada de Norte a Sur, de cerca de 25 Km. de ancho. Las lavas son andesitas porfíricas de color café, castaño a gris, en contraste con las andesitas verdes de la

- **Serie Tahuín.- (*Precámbrico?-Paleozoico Inferior*).**

Aflora al norte del Río Puyango y al S-SE de Zaruma. Están separadas por la Formación Celica por la falla regional de Portovelo. Muestra un incremento en el grado de Metamorfismo de Sur a Norte.

**Gneises San Roque.** Nombre tomado del pueblo de San Roque, 7 Km al suroeste de Zaruma. Consisten principalmente de gneises de grano fino que pasan paulatinamente a gneises de grano medio a grueso con desarrollo local de migmatitas como se observa en la Bocana, también se encuentra granito metasomático. Incluye además cuarcitas y esquistos de cuarzo, feldespato y biotita. Cerca de Piñas se notaron gneises de grano grueso, compuesto de cuarzo, biotita, moscovita y granate, con mineralización de sulfuros. Buenos afloramientos se encuentra en la carretera de Balsas a Moromoro, igualmente en el Río Calera hasta la confluencia del Río Pardo. Al sur de Portovelo se observan dentro de los Gneises de San Roque afloramientos de anfibolita de grano medio.

### **4.3. Marco Geológico Local**

A lo largo de la carretera que atraviesa el barrio Loma Redonda se puede apreciar una secuencia de rocas sedimentarias, asociadas a un ambiente de formación tipo Flysh, donde se agrupa a un tipo de secuencia sedimentaria en la que alternan, de una

manera bastante uniforme, materiales duros (areniscas), con materiales suaves (lutitas), la secuencia está asignada a la Formación Zapotillo, la que se encuentra cubierta por depósitos superficiales (Coluviales, aluviales y suelos). (*Ver Anexo 10. Mapa Geológico del Barrio Loma Redonda*)

El origen y la formación de este tipo de sedimentación se desarrollaron en zonas profundas de océanos, su origen estaría relacionado con la formación de turbiditas, que se producen por la sedimentación de los depósitos de corrientes con gran turbidez en esas zonas profundas.

Se considera que el proceso de formación de la secuencia sedimentaria presente en el sector obedece a que una corriente cargada de sedimentos en suspensión que se deslizó por un talud. Ganó gran velocidad por su densidad de flujo. Esto hace que excave una serie de estructuras en la superficie de arcilla (la original del fondo abisal o la de una secuencia turbídica anterior). El material disminuye la velocidad de la corriente y se comienza a depositar los granos más gruesos, después los medianos y, por último los más finos, a medida que desciende el flujo, se van formando sedimentaciones de forma laminar, pero todavía los sedimentos son de tipo arenoso. Cuando la corriente pierde toda su fuerza, vuelve al estado de baja energía existente antes de la formación de la turbidita, solo se depositó el material más fino por lo que se requiere un paso de tiempo bastante considerable. De esta manera se formó la parte arcillosa del estrato.

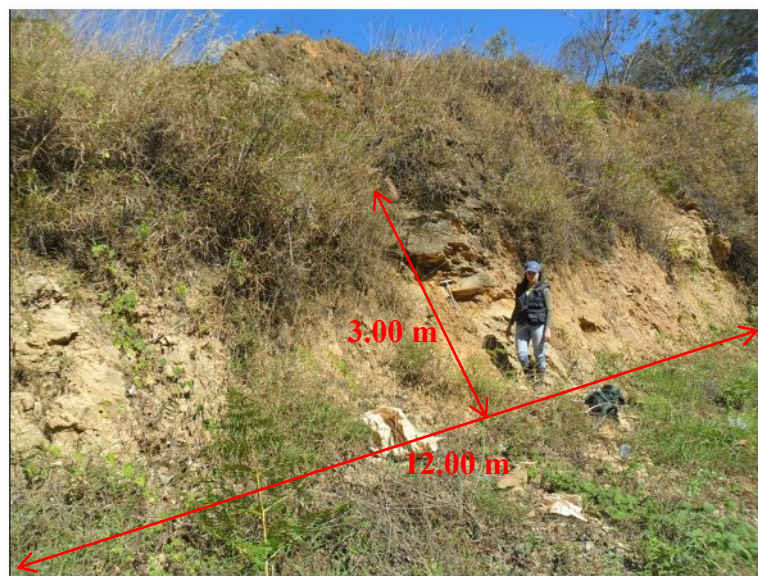
Rocas sedimentarias fueron mapeadas en todo el sector de estudio, la secuencia consiste básicamente en intercalación de lutitas y areniscas. Las lutitas van de color gris blanquecino a gris oscuro, éstas se encuentran formando estratos plegados por lo que los parámetros geológicos de las estratificaciones son variables. El espesor de las capas varía de 10cm a 60cm. En sectores se presentan areniscas de color gris verdoso de grano fino a medio, los clastos presentes son verdosos y moderada presencia de plagioclasas, el espesor de las capas llega hasta los 30 cm.

La mayor parte de la litología ha sufrido un leve metamorfismo, que en este sector ha dado un clivaje a los sedimentos, debido a que en el fin del cretáceo se produjo una

fase de plegamiento correspondiente a la Orogenia Laramídica, causando un bajo metamorfismo en las rocas cretácicas y seguido por levantamiento.

El afloramiento localizado a un costado de la vía, (UTM: 648624, 9565726) corresponde a capas centimétricas de lutitas de color gris blanquecina y amarillenta rojiza en afloramiento, semi-consolidada, el tamaño de los granos es de arcilla, con peso de liviano a normal, se presenta laminar y con una dureza suave a moderadamente dura, con un tacto de ceroso a terroso. La textura es detrítica y la estructura es estratificada. La matriz no se puede diferenciar del esqueleto por lo tanto se denomina material aglutinante y el cemento es arcilloso. Las capas se encuentran moderadamente meteorizadas.

La roca presenta un leve metamorfismo. Se aprecia en fractura pátinas de oxidación con limonita. El agente de transporte es el agua, que ha depositado el sedimento en un ambiente de energía baja. Las capas tienen un azimut de  $253^{\circ}$  y buzamiento de  $31^{\circ}$ NW. El afloramiento tiene un ancho de 12m y alto de 3m. Sobre estas capas se encuentra aproximadamente 30 cm de suelo con cobertura vegetal herbácea.



**Fotografía 8.** Afloramiento de lutitas, fracturadas y fuertemente meteorizadas

El afloramiento localizado en otro tramo de la vía Panamericana (UTM: 648635, 9565738) con dimensiones de 10m de ancho y 12m alto. En el que se encuentran



lutitas de color amarillo verdoso y en afloramiento presenta una coloración café amarillento.

La roca se presenta laminar con un peso de liviano a normal, al tacto se presenta de ceroso a terroso y con una dureza de moderadamente suave a dura. En cuanto a la textura es clástica, la roca se encuentra moderadamente consolidada, el tamaño de los granos es arcilla, como cemento se tiene arcilla. La roca presenta un leve metamorfismo y sobre estas se tiene 30 cm de suelo. La estructura del afloramiento es estratificación con un azimut de  $70^\circ$  y buzamiento  $48^\circ$  SE. En cuanto al ambiente de depositación está relacionado a un ambiente de energía baja.



**Fotografía 9.** Afloramiento de lutitas de color amarillo verdoso.

Afloramiento de lutitas de color café amarillento intercaladas con areniscas se encuentra a un costado de la vía (UTM: 648594, 9565820), se trata de una capa de aproximadamente 25 cm de arenisca gris verdoso en superficie fresca y gris amarillento en superficie meteorizada, bien consolidada, el tamaño de los granos varía entre arena muy fina a media siendo el valor predominante de arena fina. Los granos están constituidos de cuarzo (30%), feldespato (50%) y fragmentos líticos (20%) subangulosos.

La matriz limo arcillosa es escasa, y el cemento es arcilloso-silicio-ferruginoso. La redondez de los granos varía de sub-redondeados a sub-angulosos, los mismos que se encuentran moderadamente seleccionados. La textura de esta roca corresponde a clástica, formada de depósitos de mineral y fragmentos rocosos. La estructura es estratificada.

El moderado contenido de fragmentos de feldespatos, escasamente redondeados indica la cercanía de la roca madre. El agente de transporte principal son corrientes de mediana viscosidad, que han depositado el sedimento en un ambiente de energía media a baja. Las medidas estructurales del estrato son rumbo  $6^\circ$  y buzamiento  $40^\circ$  SE.

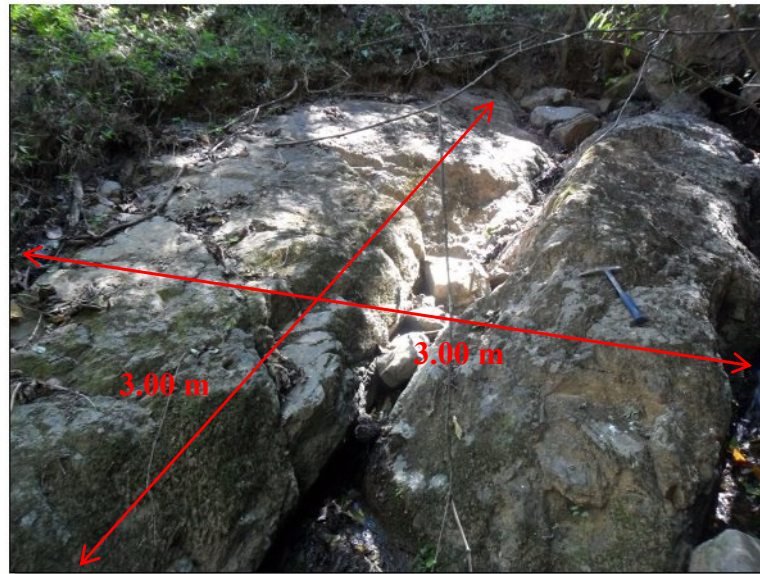


**Fotografía 10.** Capa de areniscas de aproximadamente 25 cm.

En otro afloramiento a un costado de la vía (UTM: 648278, 9565929), se encuentran lutitas de color café amarillento con intercalaciones de lutitas de color gris oscuro, semi-consolidada, de peso liviano a normal, con una dureza de moderadamente suave a dura, al tacto se presenta de cerosa a terrosa. En cuanto a la textura corresponde a detrítica y la estructura es estratificada o depósito por capas. La matriz no se puede diferenciar del esqueleto y el cemento es arcilloso. En las fisuras de la roca se encuentran pátinas de oxidación. Las rocas presentan un leve metamorfismo. El agua

es el agente de transporte que ha depositado el sedimento en un ambiente de energía baja.

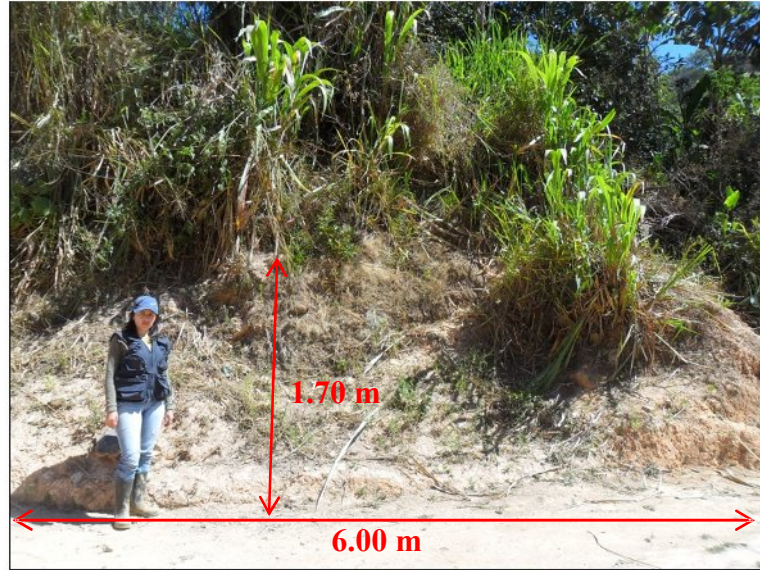
El afloramiento tiene dimensiones de 3bm de ancho y 3 m de alto, con estratos centimétricos que tienen un rumbo de  $242^\circ$  y buzamiento de  $57^\circ$  NW. Estas rocas están fuertemente fracturadas y meteorizadas.



**Fotografía 11.** Afloramiento de lutitas en la Quebrada s/n

Capas de lutitas de color blanquecina a amarillenta se encuentran en el afloramiento ubicado a un costado de la vía (UTM: 648563, 9565902), estas se presentan moderadamente consolidadas, el tamaño de los granos es arcilla. La matriz no se puede distinguir del esqueleto por tal razón se lo denomina material aglutinante y el cemento es arcilloso. La textura es detrítica, formada de depósitos de mineral y fragmentos rocosos, la estructura es estratificada. La roca tiene un peso de liviano a normal con una dureza de suave a moderada, al tacto se presenta cerosa.

Sobre estas capas de lutitas se tiene aproximadamente 25 cm de suelo residual, tiene las siguientes medidas estructurales, el rumbo es  $80^\circ$  y buzamiento  $53^\circ$  SE. La roca está fuertemente meteorizada y fisurada. El afloramiento tiene



**Fotografía 12.** Lutitas de color blanquecino a amarillento



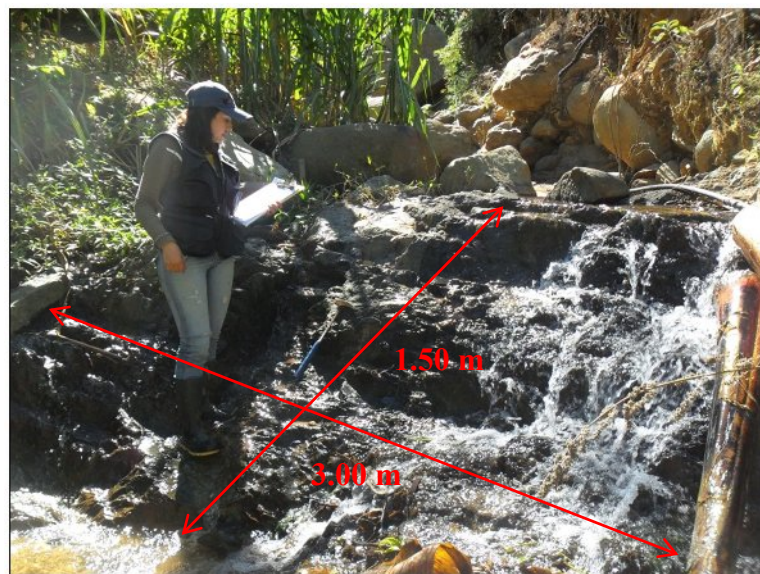
**Fotografía 13.** Lutitas fuertemente meteorizadas

Afloramientos de lutitas gris oscuro se localizan a un margen de la quebrada sin nombre (UTM: 648082, 9565974).

Estas rocas se encuentran bien consolidadas, el tamaño de los granos corresponde a arcillas, la matriz no se puede distinguir del esqueleto y el cemento es arcilloso-ferruginoso.

La roca presenta una dureza de suave a moderadamente dura, el tacto es ceroso. La textura es detrítica. El color de la roca indica un elevado contenido de material orgánico.

Existe una evidente meteorización física por acción del agua. La estructura en la que se presenta es estratificación o depósito por capas centimétricas, a demás presenta inclusiones de pirita y un moderado clivaje. Las medidas estructurales son rumbo  $85^{\circ}$  y buzamiento  $71^{\circ}$  SE. El afloramiento tiene aproximadamente 3m de ancho por 1.5m de alto.

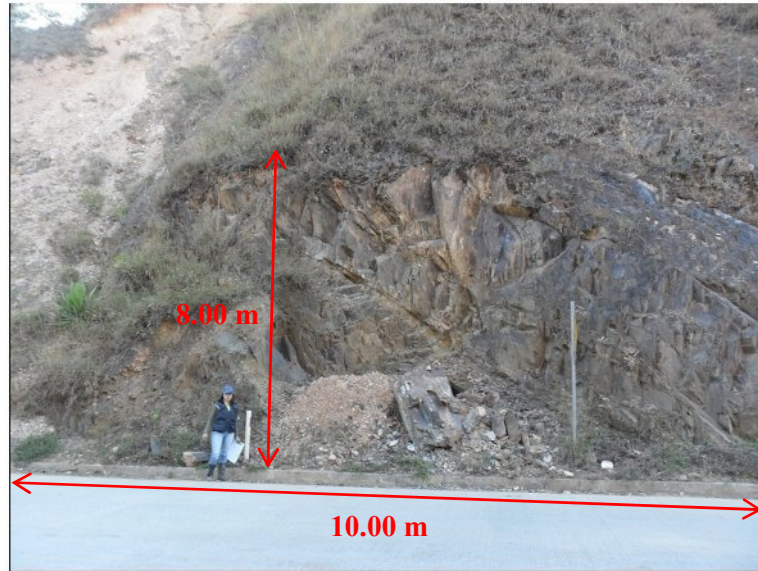


**Fotografía 14.** Afloramiento de lutitas de color gris oscuro a negro en la quebrada sin nombre

Un afloramiento muy peculiar se observa a un costado de la vía Panamericana (UTM: 648149, 9565497), se trata de lutitas de color café amarillento en afloramiento, mientras que la roca fresca presenta laminas milimétricas con colores beige a gris oscuro, con una laminación media de grano fino. La roca se encuentra con poca compactación y de sublaminar a laminar, en cuanto a la dureza es suave a moderadamente dura, al tacto se presenta cerosa.

La textura es clástica y la estructura es fisible (capas o láminas finas de espesor uniforme). El agente de transporte es el agua que ha depositado el sedimento en un ambiente energía baja.

La variación de colores en la roca indica un aporte variado de material orgánico y ferruginoso en el ambiente de depositación. Las medidas estructurales son rumbo  $250^{\circ}$  y buzamiento  $47^{\circ}$  NW. Se encuentra altamente fisurado en varias direcciones, sobre esta roca se presenta una débil capa suelos.



**Fotografía 15.** Lutitas de color gris café amarillento en afloramiento a un costado de la vía Panamericana.



**Fotografía 16.** Lutitas con milimétricas láminas de variados colores

### 4.3.1. Depósitos Coluviales

Los depósitos Coluviales han sido identificados en diferentes sitios del área de estudio, principalmente en las laderas de la vía Panamericana.

Los materiales que constituyen los depósitos coluviales provienen de una fuente de rocas sedimentarias, en varios casos comprende clastos angulares de areniscas y lutitas, de diámetro menor a 30 cm y dentro una matriz de suelo limo – arcilloso de color café rojizo.

El coluvial encontrado en uno de los costados de la vía Panamericana, esta constituido por fragmentos de arenisca soportadas en una matriz arcillosa de color café amarillento, su espesor es de aproximadamente 1 m.



**Fotografía 17.** Pequeño deslizamiento presentando coluvial de aproximadamente 1 m y cubierto por una capa de suelo de aproximadamente 20 cm de espesor.

Debido a la pendiente fuerte en algunos sectores de la vía, estos sectores de coluviales son los más propensos a causar la inestabilidad de los taludes, principalmente por la influencia de aguas lluvias, pues en la zona se observan algunos deslizamientos que presentan material de estas características.

### 4.3.2. Depósitos Aluviales

Los principales depósitos aluviales se localizan en los márgenes de la quebrada s/n, el material corresponde a limos, arenas y rodados. El diámetro de los rodados varía de 5 cm y puede llegar hasta los 2 m, están constituidos principalmente por areniscas de color gris verdoso y lutitas de color gris oscuro, en una matriz limo arcillosa de color amarillento no consolidado.



**Fotografía 18.** Capa de depósito aluvial con rodados centimétricos.

En época invernal, donde las precipitaciones que se dan en el sector son fuertes, el movimiento de estos materiales van a parar a la vía Panamericana, donde ya se han presentado daños considerables a infraestructuras cercanas al sector.





**Fotografía 19.** Material aluvial con rodados que superan el metro de diámetro.

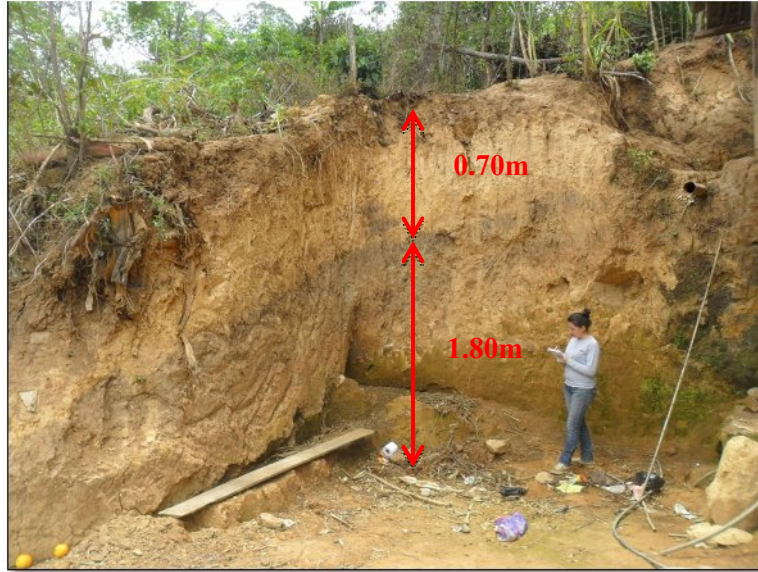
#### **4.3.3. Suelo Residual**

En el área de estudio, el suelo residual cubre la mayor parte de la superficie investigada y es producto de la meteorización de las rocas sedimentarias existentes en el sector.

El espesor de esta capa es variable, con potencias que van desde 10 cm a 80 cm constituida principalmente por material limo arcilloso, sobreyacido por una escasa cobertura vegetal que no supera los 30 cm. Los suelos son de color amarillento aunque en algunos lugares son de color café.

En una calicata abierta a un costado de la vía principal, se aprecia una capa de 1.80 m de lutitas fuertemente meteorizadas de color café amarillento, sobre esta se encuentra una capa de suelo residual de aproximadamente 70 cm.

Está constituido por material arcilloso de color amarillento con una escasa cobertura vegetal.



**Fotografía 20.** Calicata donde se presenta suelo residual de color amarillento

#### **4.4. Geología Estructural**

En general las rocas de la Unidades Cretácicas que están rellenoando la cuenca Lancones-Alamor, están fuertemente deformadas dentro de la cual se encuentra la Formación Zapotillo. En la mayor parte de la zona de estudio, principalmente en la vía Panamericana, los estratos de sedimentos están fuertemente plegados y deformados.

Del análisis estructural realizado a partir de los datos de campo, a lo largo de la carretera Panamericana donde se presentan los principales afloramientos, se puede evidenciar los principales rasgos:

Los contactos que se presentan en la zona de estudio son concordantes dado que los estratos de lutitas y areniscas se encuentran superpuestos verticalmente y existe una continuidad de la sedimentación.

Además se aprecia que estos contactos concordantes se presentan de manera abrupta, en vista que se tiene cambios súbitos en la litología, generalmente ocasionados por cambios locales de las condiciones ambientales, esto se debió generar en una corta interrupción local de la sedimentación. Lo que se ha notado debido a los cambios de

color por oxidación y cementación diferenciada de estratos contiguos o compactación que presentan las rocas en algunos puntos de la zona de estudio.

En la columna estratigráfica observada se presenta una repetición vertical de conjuntos litológicos lo que significa que existió una sedimentación cíclica o rítmica, debido a las condiciones ambientales que se repiten en el mismo orden, lo que se refleja en la intercalación de las areniscas y lutitas. Este tipo de sedimentación es muy característica en la estratificación rítmica conocidas como flysch, que es el caso de la Formación Zapotillo.



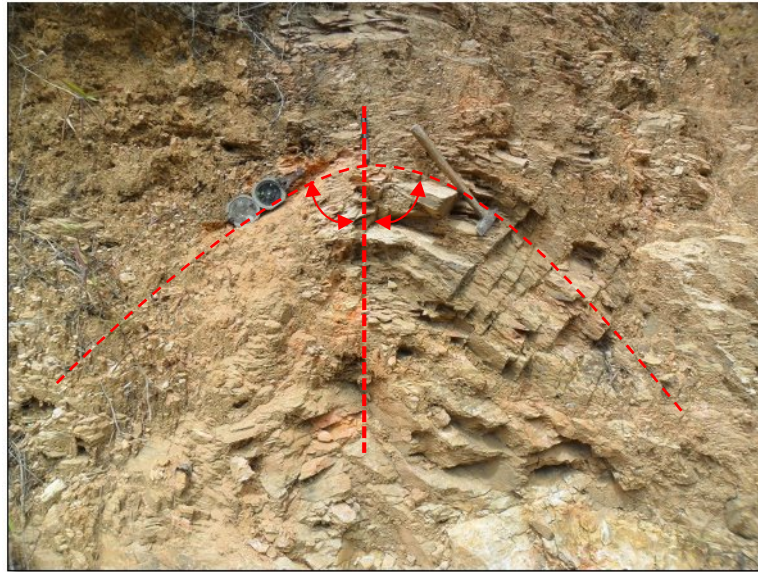
**Fotografía 21.** Contacto entre areniscas gris verdosa y lutitas de color gris oscuro

En la secuencia sedimentaria constituida por lutitas y areniscas se tienen direcciones preferenciales de estratificación NE y SW con buzamientos no mayores de  $71^\circ$  al SE y NW respectivamente. Estos datos evidencian el grado de deformación al que está sometida esta secuencia sedimentaria de la cuenca Lancones - Alamor y que se ve reflejada en la presencia de anticlinales, que se reportan en el área de estudio.

En la parte nororiental de la zona de estudio un pliegue anticlinal se encuentra afectando las rocas aflorantes, esta estructura, cuyo eje tiende a ser NE-SW está plegando a capas centimétricas de lutitas de color amarillento. Para este caso los dos

limbos o flancos se inclinan en direcciones opuestas, el flanco izquierdo se inclina en  $30^{\circ}$  NW, mientras el derecho se inclina en  $35^{\circ}$  SE.

Únicamente en este punto se puede diferenciar directamente una estructura completa de este tipo, en el resto de afloramientos se puede apreciar una dirección de inclinación o un solo flanco.



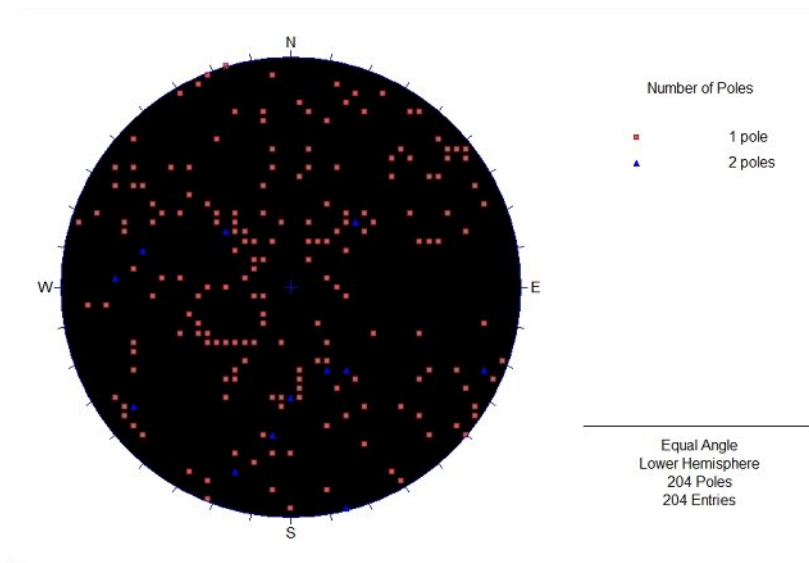
**Fotografía 22.** Anticlinal cuyo eje tiende a ser NE-SW.

La presencia de diaclasas es una de las características estructurales más típicas de las rocas sedimentarias del sector, localizadas en los principales afloramientos mapeados, identificándose dos familias de diaclasas preferenciales.

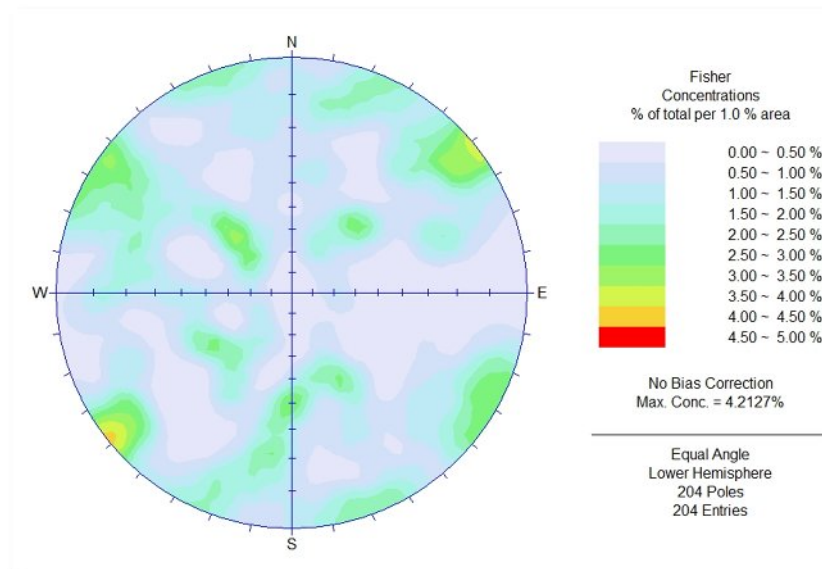
Los datos estructurales de los diferentes tipos de discontinuidades documentadas en la zona de estudio permiten tener una idea más clara sobre la situación estructural de la litología existente, así como el rol de estas estructuras dentro de la geodinámica externa de la región.

Los datos fueron ploteados y tratados usando el software Dips, con el que se obtuvo los diagramas de Máxima Concentración de Polos, Diagrama de densidades y el Diagrama de Rosas. Para el análisis estructural se consideró los parámetros estructurales obtenidos en 205 estructuras diferentes.

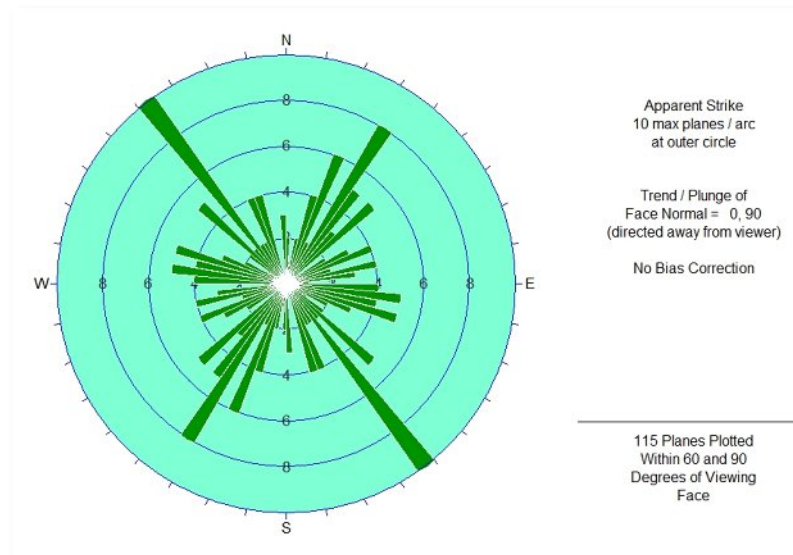
El diagrama de polos y planos de máxima concentración y el diagrama de Densidades, indica que los planos de diaclasas de Primer Orden y Segundo Orden están orientados hacia el NE y SW con ángulos que oscilan entre 19 ° y 89. El Diagrama de Rosas considerando solo los datos de diaclasas, indica que el tren estructural predominante, es el que tiene un rumbo de NW-SE, aunque también ocurren estructuras en NE-SW, con ángulos de inclinación que van desde 26 y 87 buzando al NW.



**Figura 4.** Representación estereográfica del diagrama de máxima concentración de Polos de las discontinuidades para el análisis estructural



**Figura 5.** Representación estereográfica del diagrama de Densidades de las discontinuidades para el análisis estructural



**Figura 6.** Representación estereográfica del diagrama de Rosetas de las discontinuidades para el análisis del estructural

El análisis de dichas estructuras permite determinar que el diaclasamiento principal está relacionado con algunos de los deslizamientos, por cuanto los planos de diaclasamiento coinciden con las direcciones preferenciales de los deslizamientos que son hacia el NE.

Las diaclasas están rellenas de arcilla y limos en algunos casos. La abertura de estas estructuras es variable pero menor a 1cm.

En algunos casos estas discontinuidades no están rellenas. A lo largo de toda la zona de estudio se encuentra una serie de diaclasas, variando entre verticales, inclinadas y horizontales.



**Fotografía 23.** Diaclasamiento vertical

#### **4.5. Clasificación Geomecánica del Macizo Rocosó**

El estudio del macizo rocoso es muy importante para la ejecución de cualquier obra ingenieril, tal es la necesidad de los estudios que merecen estas obras que terminaron dando origen a métodos de clasificación de los macizos rocosos que se emplean ahora para cualquier intervención ingenieril sobre macizos rocosos.

Es necesario de algún modo llevar la realidad de la naturaleza a magnitudes, para entonces proceder a relacionar tales magnitudes y realizar operaciones con ellas, con la finalidad de llegar a calcular y dimensionar las partes de las obras de ingeniería.

De tal modo, debe procurarse una tipificación numérica, y por lo tanto objetiva de los macizos rocosos. Para ello, primeramente se debe considerar las variables que intervienen en definir sus cualidades de resistencia del macizo, que son las características que interesan en ingeniería. En segunda instancia, se debe asignar a tales variables un grado de incidencia en la calidad del macizo, dejando ver de qué dependen principalmente sus características geotécnicas. Luego se establecen las relaciones entre las variables de importancia, generándose fórmulas matemáticas. La etapa final es asignarle a esas variables un número, una magnitud, para entonces poder entrar a la fórmula y resolver la ecuación.

Como en la naturaleza los parámetros de variabilidad son muy amplios, se recurre a asignar una magnitud a un intervalo de variabilidad de exactitud en la medición. Así, la caracterización geomecánica del macizo rocoso pasa a ser suficientemente objetiva y considerada matemáticamente.

La valoración de la resistencia del macizo pasa por tres factores fundamentales a considerar: la constitución del macizo (las rocas que lo forman: la litología), la disposición y relación espacial de las partes constitutivas del macizo rocoso (la estructura primaria o estratificación y la estructura secundaria, dada por las discontinuidades), y el estado de conservación en el que se encuentra (su condición de fresca o alteración).

Para esto hay que observar críticamente el macizo rocoso en su contexto y extraer datos (información de campo) para luego asentar correctamente los datos en tablas confeccionadas con la finalidad de disponer de un lenguaje de entendimiento en esta temática.

La clasificación geomecánica del macizo rocoso se la realizó en cinco afloramientos, debido a que estas presentan distintas familias de diaclasas, tomando en cuenta la clasificación de Bieniawski 1976. Este método le da un peso a cada uno de una serie de parámetros que se han integrado a una fórmula en la cual participan:

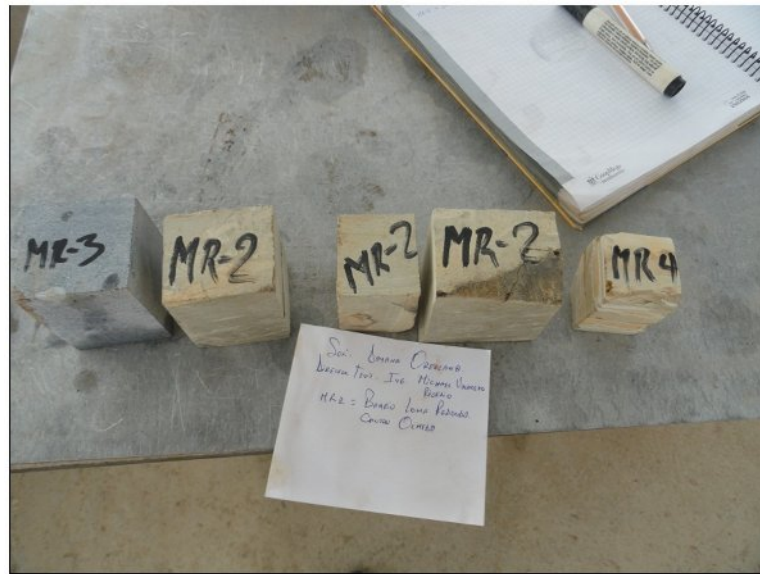
- Resistencia a la comprensión simple de la matriz rocosa
- El RQD. Grado de fracturación del macizo rocoso
- Espaciado de las discontinuidades
- Condición de las discontinuidades, el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:
  - Abertura o separación de las caras de la discontinuidad
  - Continuidad o persistencia de la discontinuidad
  - Rugosidad
  - Alteración de la discontinuidad
  - Relleno de las discontinuidades
- Presencia de agua en el macizo rocoso



- La orientación de las diaclasas (rumbo y buzamiento)

### a) Compresión simple

Para el ensayo de compresión se tomaron muestras de tamaños representativos, de las cuales se extrajeron las muestras utilizadas para los ensayos de compresión simple. Cada una de las muestras se preparó con las especificaciones necesarias para desarrollar el ensayo.



**Fotografía 24.** Muestras preparadas para el ensayo de compresión simple



**Fotografía 25.** Ensayo de compresión simple

Los resultados de las muestras analizadas se registran a continuación:

**Tabla 27.** Resultados de ensayos de compresión simple

Muestras	Compresión Simple (Mpa)	Descripción
Muestra 1	18.90	Blanda
Muestra 2	50.65	Dura
Muestra 3	11.46	Blanda

**Fuente:** Levantamiento de Campo

### b) RQD (Rock Quality Designation)

La clasificación de Deere o del RQD se funda en la cuantificación del grado de fractura de la roca. Permite la obtención de un índice, que es el valor cuantitativo que representa la calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta las características del afloramiento descrito.

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

$$= 100e^{-0.11}(0.1 * 1 + 1)$$

$$= 100e^{-0.11}(0.1 * 1 + 1)$$

Dónde:

e = exponente de base 10

$\lambda$  = lambda (Nº fisuras/ metro lineal)

En los afloramientos analizados se obtuvieron los siguientes valores:

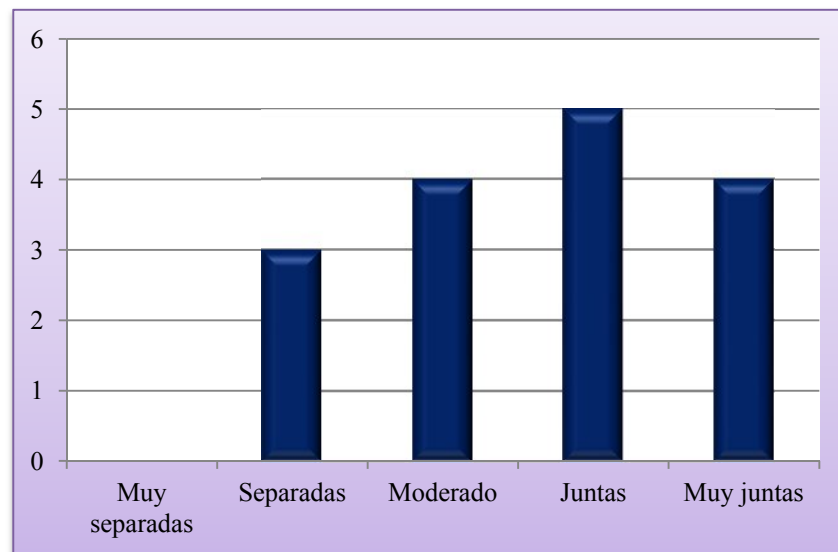
**Tabla 28.** Valores de RQD calculados en los macizos rocosos

Afloramiento	RQD (%)	Calidad
Afloramiento 1	79	Buena
Afloramiento 2	66	Regular
Afloramiento 3	73	Regular
Afloramiento 4	31	Mala
Afloramiento 5	80	Buena

**Fuente:** Levantamiento de Campo

### c) Espaciado de las discontinuidades

La separación o el espaciado de las diaclasas se muestran en la gráfica siguiente:

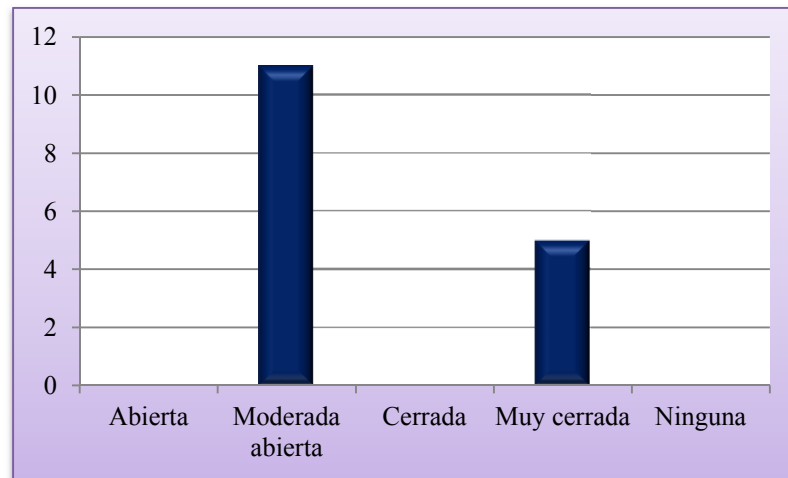


**Gráfica 1.** Diagrama que muestra el espaciado de las discontinuidades

### d) Condición de las discontinuidades

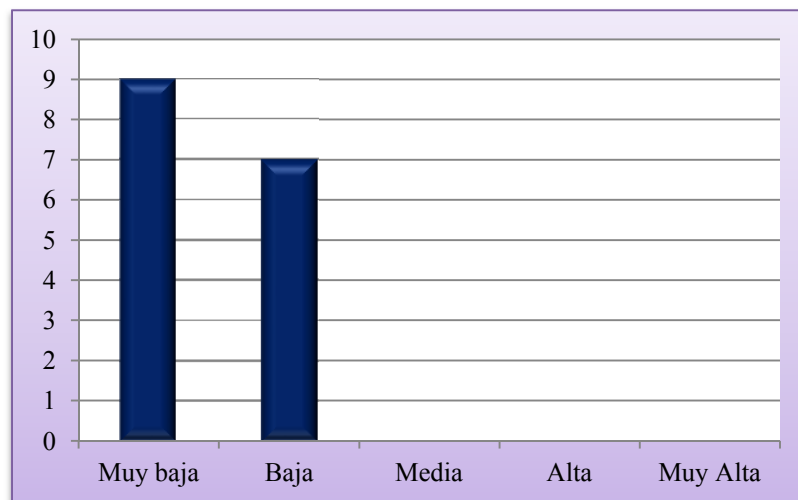
Para obtener una valoración de la condición de las discontinuidades del macizo rocoso se debe analizar una serie de factores, los valores obtenidos se reflejan en las gráficas siguientes:

- Abertura de las caras de las discontinuidades



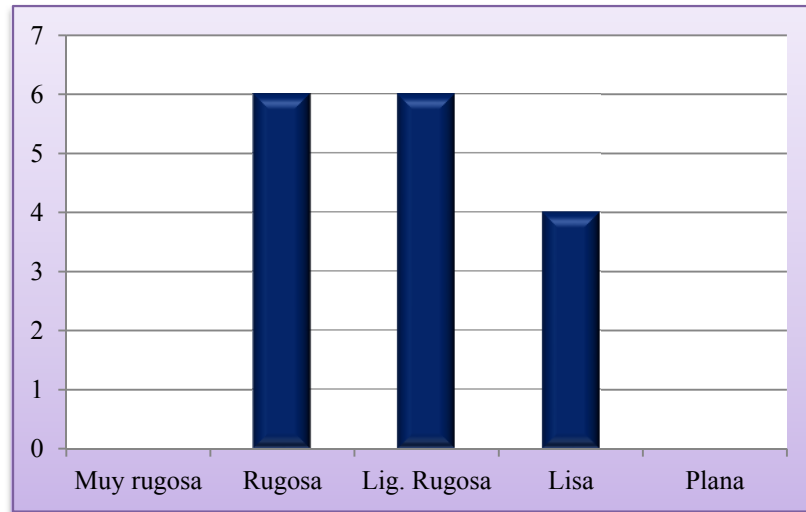
**Gráfica 2.** Diagrama que muestra la abertura de las discontinuidades

- Continuidad o persistencia de las discontinuidades



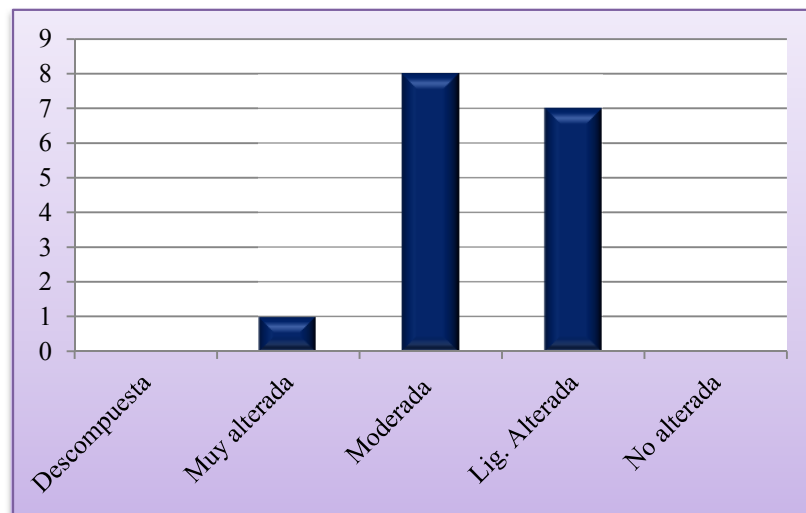
**Gráfica 3.** Diagrama que muestra la persistencia de las discontinuidades

- Rugosidad de las discontinuidades



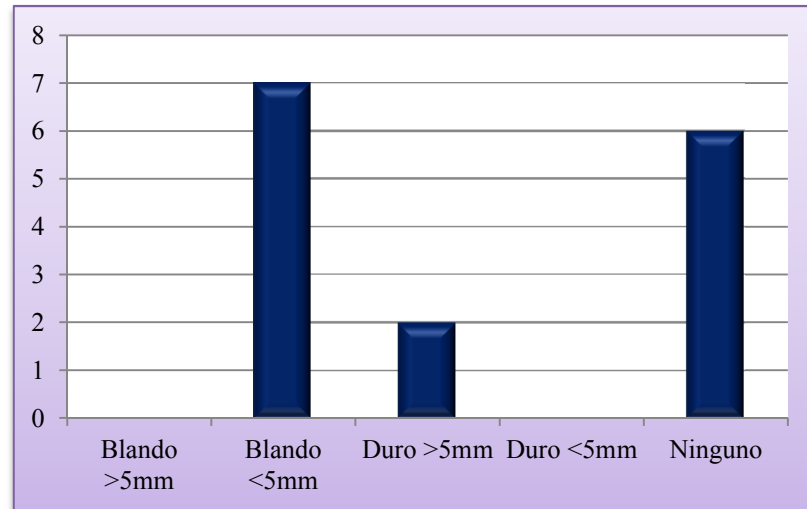
**Gráfica 4.** Diagrama que muestra la rugosidad de las discontinuidades

- Alteración de las discontinuidades



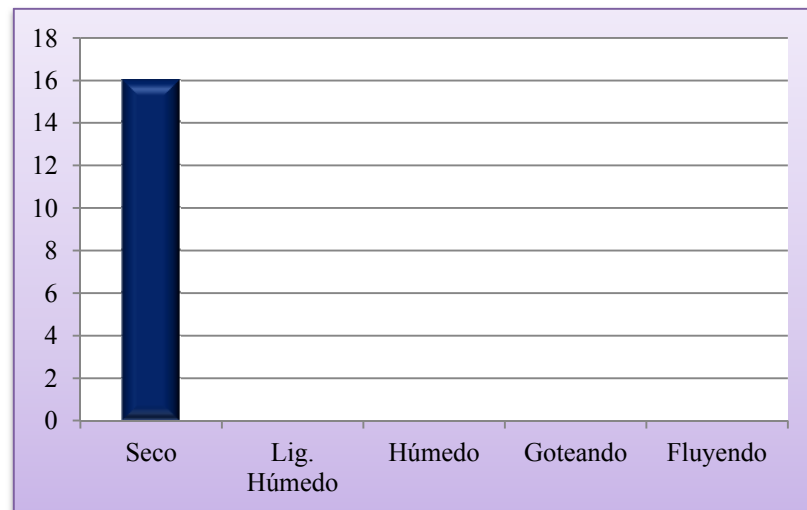
**Gráfica 5.** Diagrama que muestra la alteración de las discontinuidades

- Relleno de las discontinuidades



**Gráfica 6.** Diagrama que muestra el tipo de relleno de las discontinuidades

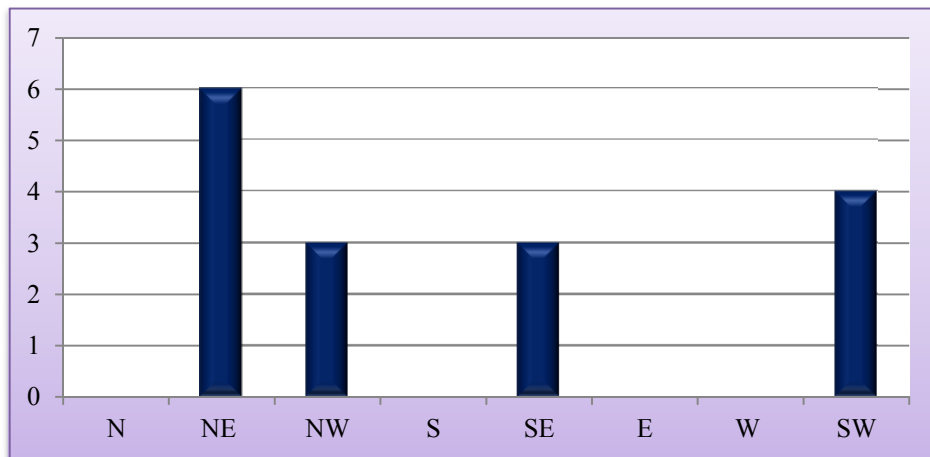
**e) Presencia de agua**



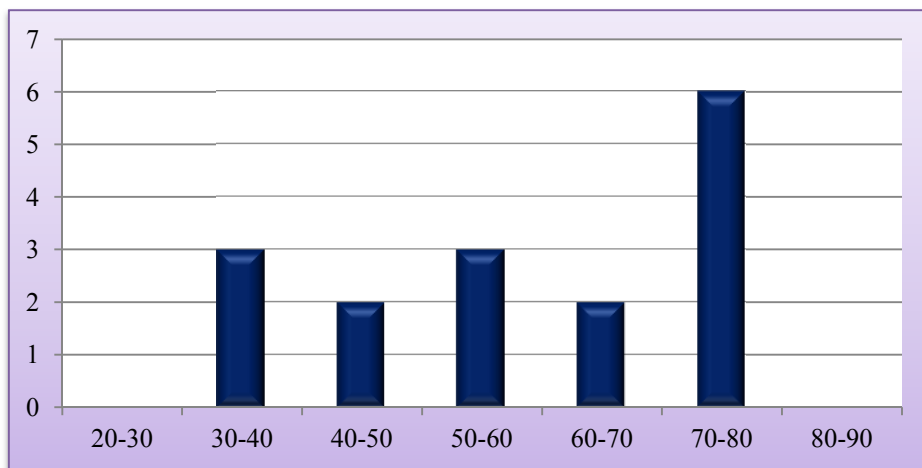
**Gráfica 7.** Diagrama que muestra la presencia de agua en las discontinuidades

### f) Orientación de las diaclasas

Para la valoración de este parámetro se clasificó la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento, los datos se tomaron con la regla de la mano derecha. En las gráficas siguientes se presenta los datos levantados:

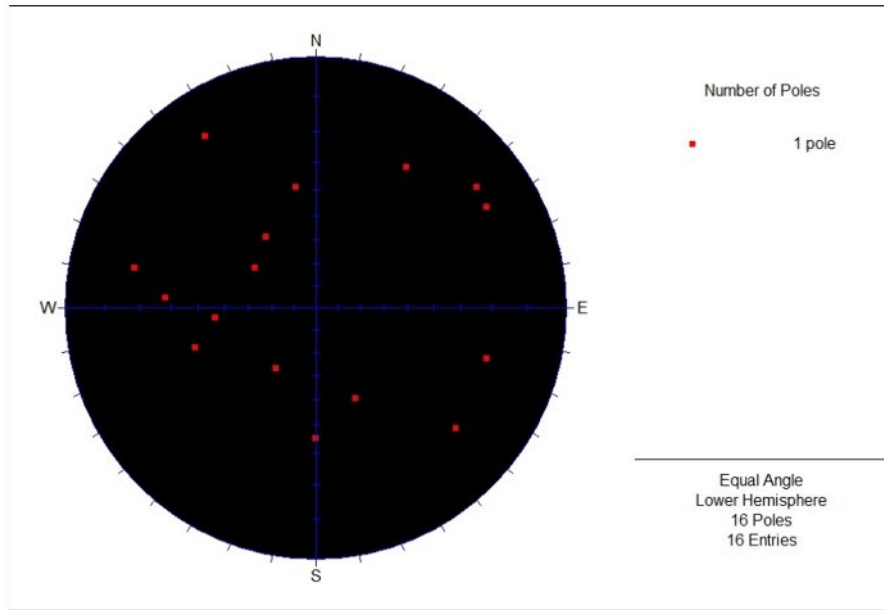


**Gráfica 8.** Diagrama que muestra el rumbo de los diferentes sets de diaclasas

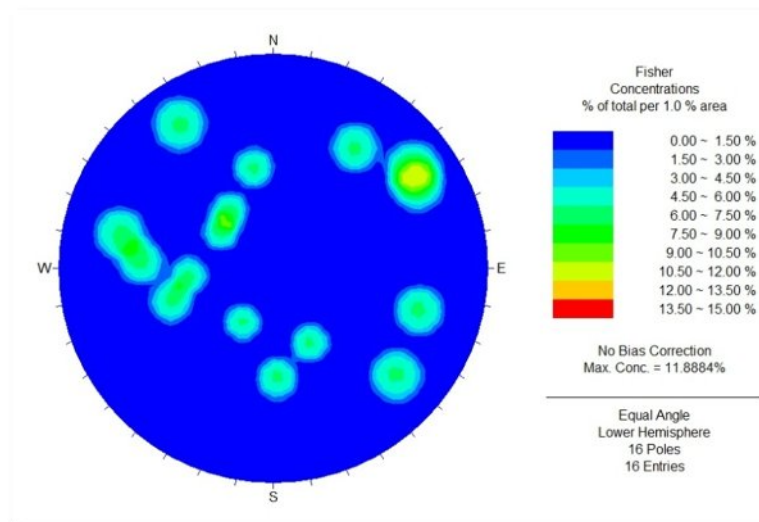


**Gráfica 9.** Diagrama que muestra la inclinación de los diferentes sets de diaclasas

A continuación se muestra el análisis de familias de diaclasas realizado con DIPS, en los afloramientos considerados para el análisis del macizo rocoso:

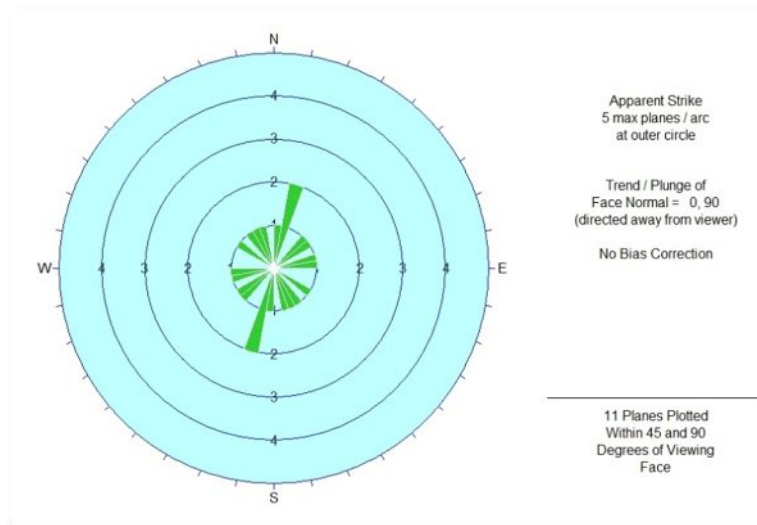


**Figura 7.** Representación estereográfica del diagrama de máxima concentración de Polos de las discontinuidades



**Figura 8.** Representación estereográfica del diagrama de Densidades de las discontinuidades para el análisis del macizo rocoso





**Figura 9.** Representación estereográfica del diagrama de Rosetas de las discontinuidades para el análisis del macizo rocoso.

Para el análisis de la orientación de diaclasas se midieron todas las estructuras que se encontraron en cada uno de los afloramientos considerados para el análisis de macizo rocoso.

Con los datos procesados mediante el *software* Dips, se definió mediante el análisis del diagrama de máxima concentración de polos y el diagrama de densidades, que las diaclasas de primer orden se dirigen hacia el NW. Con el análisis de los datos generados por el Diagrama de Rosas, se determinó que el rumbo predominante las diaclasas en los afloramientos mapeados es de N NE – S SW, factores que están íntimamente relacionados con el análisis realizado en el acápite de geología estructural.

#### 4.5.1. Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 1

**Tabla 29.** Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 1.

<b>Coordenadas:</b> X: 648624, Y: 9565726		
<b>Litología:</b> Lutitas de color amarillento		
<b>Parámetros</b>		<b>Valoración</b>
a)	<b>Compresión simple</b>	2
b)	<b>RQD</b>	17
c)	<b>Espaciamiento de las discontinuidades</b>	5
d)	<b>Condición de las discontinuidades</b>	17
	Abertura	1
	Persistencia	6
	Rugosidad	5
	Alteración	3
	Relleno	2
e)	<b>Presencia de agua</b>	15
f)	<b>Orientación de las diaclasas</b>	-25
<b>VALORACIÓN RMR: 31</b>		
<b>CLASE: IV</b>		
<b>CALIDAD DE LA ROCA: MALA</b>		

**Fuente:** Levantamiento de campo

Evaluated the parameters for the geomechanical classification of the rock mass, it has a rating of RMR of 31, that is, class IV, which translates into a quality of poor rock.

#### 4.5.2. Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 2

**Tabla 30.** Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 2.

<b>Coordenadas:</b> X: 648279, Y: 9565928		
<b>Litología:</b> Lutitas de color café amarillento		
<b>Parámetros</b>		<b>Valoración</b>
a)	<b>Compresión simple</b>	2
b)	<b>RQD</b>	13
c)	<b>Espaciamiento de las discontinuidades</b>	8
d)	<b>Condición de las discontinuidades</b>	19
	Abertura	5
	Persistencia	4
	Rugosidad	3
	Alteración	5
	Relleno	2
e)	<b>Presencia de agua</b>	15
f)	<b>Orientación de las diaclasas</b>	-25
VALORACIÓN RMR: 32		
CLASE: IV		
CALIDAD DE LA ROCA: MALA		

**Fuente:** Levantamiento de campo

Valorados los parámetros para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, se tiene un RMR de 32, es decir de clase IV, lo que da como resultado una calidad de roca mala.

### 4.5.3. Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 3

**Tabla 31.** Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 3.

<b>Coordenadas:</b> X: 648594, Y: 9565820		
<b>Litología:</b> Arenisca de color gris verdoso		
<b>Parámetros</b>		<b>Valoración</b>
a)	<b>Compresión simple</b>	7
b)	<b>RQD</b>	13
c)	<b>Espaciamiento de las discontinuidades</b>	8
d)	<b>Condición de las discontinuidades</b>	23
	Abertura	1
	Persistencia	6
	Rugosidad	5
	Alteración	5
	Relleno	6
e)	<b>Presencia de agua</b>	15
f)	<b>Orientación de las diaclasas</b>	-25
VALORACIÓN RMR: 41		
CLASE: III		
CALIDAD DE LA ROCA: MEDIA		

**Fuente:** Levantamiento de campo

Evaluada los parámetros para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, se tiene una valoración de RMR de 41, es decir de clase III, lo que se traduce en una calidad de roca media.

#### 4.5.4. Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 4

**Tabla 32.** Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 4.

<b>Coordenadas: X: 648149, Y: 9565497</b>		
<b>Litología: Lutitas con láminas milimétricas de coloración blanca a café amarillenta</b>		
<b>Parámetros</b>		<b>Valoración</b>
<b>a)</b>	<b>Compresión simple</b>	2
<b>b)</b>	<b>RQD</b>	8
<b>c)</b>	<b>Espaciamiento de las discontinuidades</b>	10
<b>d)</b>	<b>Condición de las discontinuidades</b>	15
	Abertura	1
	Persistencia	4
	Rugosidad	1
	Alteración	3
	Relleno	6
<b>e)</b>	<b>Presencia de agua</b>	15
<b>f)</b>	<b>Orientación de las diaclasas</b>	-25
<b>VALORACIÓN RMR: 25</b>		
<b>CLASE: IV</b>		
<b>CALIDAD DE LA ROCA: MALA</b>		

**Fuente:** Levantamiento de campo

Analizados y evaluados los parámetros para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, se tiene una valoración de RMR de 25, es decir de clase IV, lo que se traduce en una calidad de roca mala.

#### 4.5.5. Clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 5

**Tabla 33.** Parámetros y valoración para la clasificación geomecánica del macizo rocoso. Afloramiento 5.

<b>Coordenadas: X: 648192, Y: 9564974</b>		
<b>Litología: Lutitas de color café amarillenta</b>		
<b>Parámetros</b>		<b>Valoración</b>
<b>a)</b>	<b>Compresión simple</b>	2
<b>b)</b>	<b>RQD</b>	17
<b>c)</b>	<b>Espaciamiento de las discontinuidades</b>	10
<b>d)</b>	<b>Condición de las discontinuidades</b>	17
	Abertura	1
	Persistencia	6
	Rugosidad	3
	Alteración	5
	Relleno	2
<b>e)</b>	<b>Presencia de agua</b>	15
<b>f)</b>	<b>Orientación de las diaclasas</b>	-25
<b>VALORACIÓN RMR: 36</b>		
<b>CLASE: IV</b>		
<b>CALIDAD DE LA ROCA: MALA</b>		

**Fuente:** Levantamiento de campo

Valorados los parámetros para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, se tiene un RMR de 36, es decir de clase IV, que se traduce en una calidad de roca mala.

#### 4.6. Inventario de Movimientos en Masa

La investigación de una ladera, talud o deslizamiento consistió en obtener toda la información posible sobre las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico de los problemas lo más preciso posible y un diseño efectivo de su solución o remediación. Para el propósito de la investigación es necesario conocer cuáles son los parámetros básicos que afectan la estabilidad del talud o ladera y caracterizarlos plenamente.

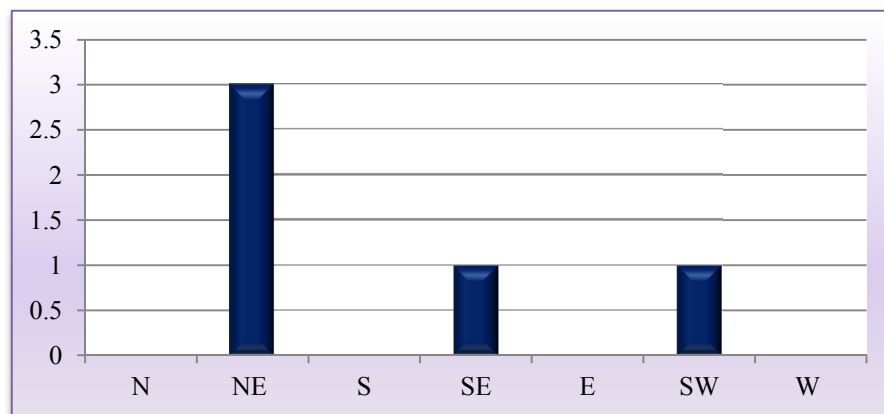
Se requiere examinar en particular tres aspectos para evaluar la estabilidad de los taludes en términos de ingeniería: el primer elemento consiste en definir en tres dimensiones las características de la masa inestable con referencia particular a las superficies de cortante y los planos falla. Como segundo elemento deben analizarse las propiedades y características de los materiales y de los elementos activadores tales como el régimen hidrogeológico y los eventos sísmicos.

Finalmente, es de gran importancia detectar los movimientos de, o dentro de la masa inestable. La magnitud y profundidad de las investigaciones depende del tamaño y complejidad del talud o del deslizamiento a estudiar. Para un deslizamiento pequeño donde las causas del movimiento son muy evidentes o para un talud sencillo de poca altura sin problemas importantes, se puede realizar una inspección de campo con un informe relativamente corto.

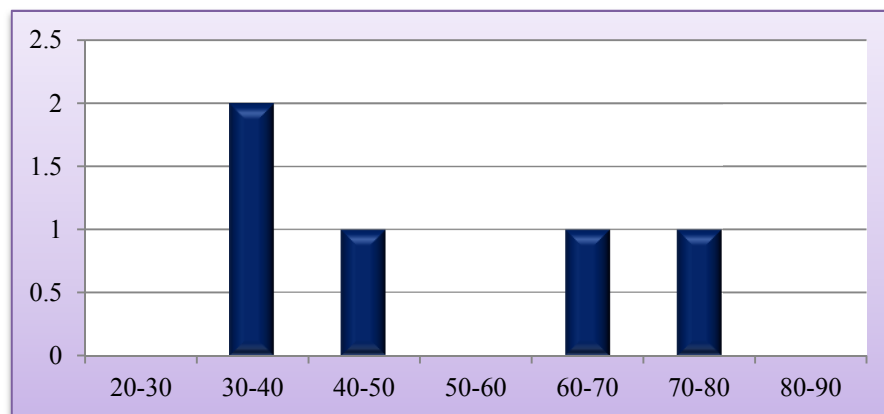
El estudio de campo se lo realizó en toda la zona de estudio pero en los taludes inferior y superior de la vía Panamericana que atraviesa el barrio, es donde se aprecia la mayoría de deslizamientos. (*Ver Anexo 11. Mapa de Inventario de Movimientos en Masa*). En cada sitio donde se identificaban fenómenos de remoción en masa se procedió a tomar datos en una ficha previamente señalada.

El inventario de los fenómenos de remoción realizado permitió reconocer los rasgos más importantes, con lo cual se identificó que los movimientos corresponden a tres deslizamientos rotacionales y dos deslizamientos traslacionales.

La localización de los movimientos en la base topográfica permitió realizar un análisis para conocer las direcciones y rangos de pendiente donde se presentan tanto los deslizamientos rotacionales como traslacionales. De forma general, la mayor cantidad de movimientos, considerando en primer lugar las direcciones de material es hacia NE y en menor grado al SE y SW. Al tomar en cuenta los rangos de pendientes, se aprecia que este tipo de fenómenos de remoción de masa ocurren entre rangos que varían desde los 39° y 71° aproximadamente.



**Gráfica 10.** Diagrama que muestra las direcciones preferenciales de los deslizamientos



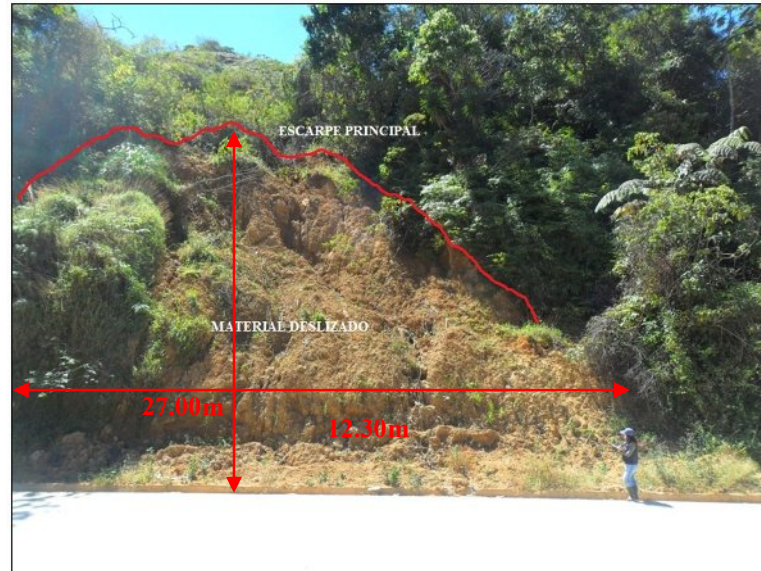
**Gráfica 11.** Diagrama que muestra los valores de pendientes donde se producen los deslizamientos

Los datos fueron finalmente procesados y tabulados para generar una base de datos en la que se destacan los rasgos más importantes de cada movimiento identificado. En este proceso fueron reconocidos los siguientes fenómenos de remoción de masa:



## Deslizamiento 1 (DLR1)

Ubicado en las coordenadas UTM: X: 648610, Y: 9565802, Z: 1499.



Fotografía 26. Deslizamiento 1 (DLR1)

- **Actividad del movimiento.**

Este fenómeno posee un estado activo, con un estilo único, la distribución del movimiento es retrogresivo. De acuerdo a la clasificación de mecanismo de rotura se trata de un deslizamiento rotacional.

- **Litología y clasificación del movimiento**

Litológicamente el movimiento corresponde a areniscas de color gris verdoso, el material deslizado está constituido en un 50% por detritos y el otro 50% por suelo, este material en el momento del levantamiento se encontraba seco. El suelo es de origen residual, como otras características se pueden señalar que es un movimiento no canalizado, con una velocidad de rápido ( $>1.8$  m/h).

- **Morfometría**

Las características generales del movimiento tenemos que la diferencia entre la altura de corona a punta es de 15m, el ángulo de la pendiente de ladera en post-falla es de 31°, en cuanto a la pendiente de ladera pre-falla es 39°. La dirección del movimiento es SW.

La profundidad de la superficie de falla es de 3 m, ancho de la superficie de falla es 8m, la longitud de superficie de falla es 9 m. El espesor de la masa desplazada es 2.5m, el ancho de la masa desplazada es de 12.3 m, en cuanto a la longitud de la masa desplazada es de 25.5 m, teniendo una longitud total del movimiento de 27 m. La deformación del terreno es escalonamiento con una severidad media.

- **Causas del movimiento**

Entre las causas del movimiento se relaciona un material plástico débil y meteorizado físicamente y la vibración artificial causada por el flujo continuo de vehículos.

- **Cobertura y uso del suelo**

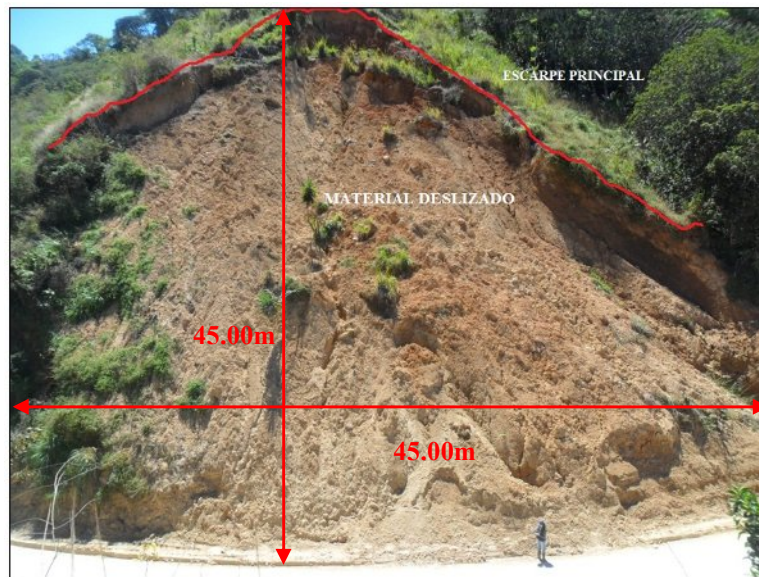
El tipo de cobertura que se encuentra presente es vegetación herbácea, el uso del suelo es para la vía y también para la ganadería.

- **Daño y apreciación del riesgo**

El movimiento ha generado un leve fracturamiento en el bordillo de hormigón de la vía panamericana. Como factor en riesgo se encuentra la infraestructura vial de primer orden que atraviesa el barrio Loma Redonda.

## Deslizamiento 2 (DLR2)

Localizado en las coordenadas UTM: X: 648448, Y: 9565813, Z: 1510.



Fotografía 27. Deslizamiento 2 (DLR2)

- **Actividad del movimiento**

El estado de movimiento es activo, con un estilo único, con una distribución retrogresiva. En base a la clasificación de mecanismo de rotura corresponde a un deslizamiento rotacional.

- **Litología y clasificación del movimiento**

Dentro de litología se tiene lutitas de color gris amarillento, el material desplazado está compuesto por roca (60%), detritos (20%) y suelo (10%), el material se encuentra seco y ligeramente húmedo. Otras características que posee el movimiento es de no estar canalizado El suelo es de origen residual, con una velocidad de rápido ( $>1.8$  m/h).

- **Morfometría**

La altura de corona a punta es de 30 m, la pendiente de ladera en post-falla es de 35°, la pendiente de ladera pre-falla es 38°. La dirección del movimiento es SE con azimut de 162°.

La profundidad de la superficie de falla es de 3 m, el ancho de la superficie de falla es 20 m, la longitud de superficie de falla es 35 m. El espesor de la masa desplazada es 3 m, el ancho de la masa desplazada es de 45 m, la longitud de la masa desplazada es de 30 m, teniendo una longitud total del movimiento de 45 m. La deformación del terreno es ondulado con una severidad leve.

- **Causas del movimiento**

Las causas principales del movimiento corresponden a un material colapsable, meteorizado físicamente y la abrupta pendiente. Como factor desencadenante se tiene las intensas lluvias que se dan en el periodo invernal.

- **Cobertura y uso del suelo**

La cobertura que se encuentra presente es pastizales, como uso del suelo se tiene la ganadería.

- **Daño y apreciación del riesgo**

Al momento del levantamiento de la información de movimiento se identificó que el deslizamiento ocasiona un daño leve a la infraestructura vial. En caso de no tomarse medidas en el sector el daño que podría sufrir la vía podría llegar a severo o la destrucción total de la infraestructura, como consecuencia una paralización en flujo normal de vehículos a la región costa.

### Deslizamiento 3 (DLR3)

Ubicado en las coordenadas UTM: X: 648149, Y: 9565497, Z: 1537.



Fotografía 28. Deslizamiento 3 (DLR3)

- **Actividad del movimiento.**

Posee una descripción de estado de actividad relicto, estilo único, con una distribución retrogresiva y de acuerdo a la clasificación de mecanismo de rotura se trata de un deslizamiento traslacional.

- **Litología y clasificación del movimiento**

Se encuentra constituido por lutitas con un bajo grado de metamorfismo, la misma que presenta bandeo de diferentes colores. Está compuesta por un 90% de roca y 10% de detritos, los mismos que se encuentran secos.

El origen del suelo es residual existiendo un movimiento no canalizado. Son generalmente muy rápidos (>3 m/min).

- **Morfometría**

Entre las características generales del deslizamiento tenemos que la diferencia de altura de la corona a la punta es de 22 m, la pendiente de ladera en post-falla es de 60°, la pendiente de ladera pre-falla es 71°. La dirección del movimiento es NE con azimut de 84°.

En cuanto a la morfometría del movimiento presenta que una profundidad de superficie de falla de 1.8 m, el ancho de la superficie de falla es de 7 m, longitud de superficie de falla 17 m, espesor de la masa desplazada 1m, ancho de la masa desplazada 6 m, longitud de la masa desplazada 25 m y la longitud total de 30 m. La deformación del terreno es ondulada con una severidad leve.

- **Causas del movimiento**

Entre los factores condicionantes tenemos material meteorizado físicamente, fisurado o agrietado, pendiente y orientación desfavorable de las discontinuidades. Como factor desencadenante es la intensa lluvia.

- **Cobertura y uso del suelo**

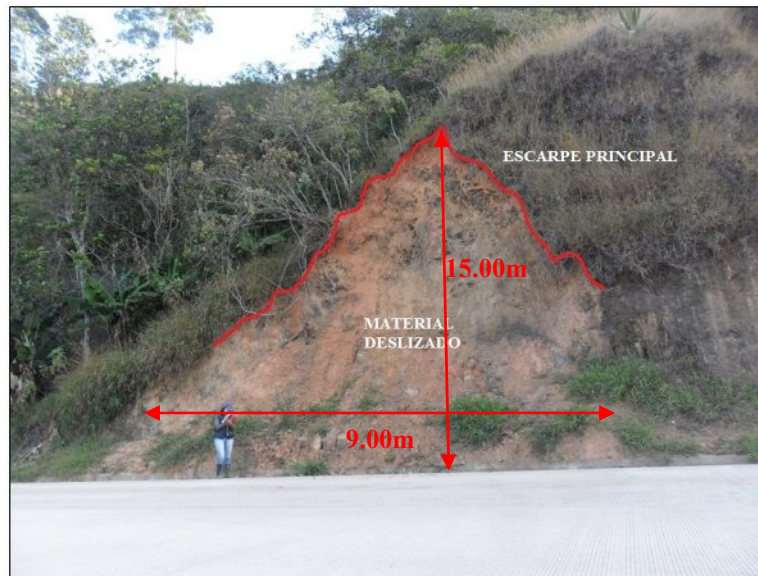
La cobertura del lugar es herbácea, además por condiciones de pendiente no se tiene un uso específico del suelo.

- **Daño y apreciación del riesgo**

Como una de las consecuencias de este deslizamiento es daños leves a la infraestructura vial, la misma que de reactivarse el movimiento puede ser dañada severamente y de igual manera las viviendas que se encuentran cercanas al talud, esto en el caso de ensancharse el fenómeno de remoción de masa.

#### **Deslizamiento 4 (DLR4)**

Se localiza en las coordenadas UTM: X: 648391, Y: 9565191, Z: 1542.



**Fotografía 29.** Deslizamiento 4 (DLR4)

- **Actividad del movimiento.**

En base a la clasificación de mecanismo de rotura se trata de un deslizamiento traslacional, con un estado suspendido y estilo único. La distribución del movimiento es retrogresivo.

- **Litología y clasificación del movimiento**

Se encuentra compuesto por lutitas de color gris amarillento en un 20% y el restante del material desplazado es suelo. La humedad del suelo corresponde a seco y el suelo es de origen residual.

La velocidad del movimiento es de rápido ( $>1.8$  m/h).

- **Morfometría**

Las características generales del movimiento son las siguientes: la diferencia de altura de la corona a punta es de 10 m, pendiente de ladera en post-falla es

de 40°, pendiente de ladera en pre-falla es 60°, la dirección del movimiento es de NE con azimut de 75°.

En cuanto a la morfometría del deslizamiento presenta una profundidad de la superficie de falla de 0.7 m, ancho de la superficie de falla de 6 m, longitud de superficie de falla de 7 m, espesor de la masa desplazada es 0.8 m, el ancho de la masa desplazada es 9 m, la longitud de la masa desplazada es de 12 m, con una longitud total del movimiento de 15 m. Presenta una deformación ondulada leve.

- **Causas del movimiento**

Los factores condicionantes son principalmente la pendiente abrupta, material meteorizado físicamente, material fisurado o agrietado. Las lluvias que se presentan en la etapa invernal son el factor detonante.

- **Cobertura y uso del suelo.**

La cobertura del lugar es vegetación herbácea, además el uso que se le viene dando a este tipo de suelo es de ganadería y agrícola.

- **Daño y apreciación del riesgo**

Se aprecian afectaciones leves a cultivos cercanos y la infraestructura vial de gran importancia, en caso de reactivarse el deslizamiento se produciría una pérdida considerable de cultivos y la destrucción de las viviendas que se encuentran al frente del talud, así como un daño severo a la vía.



## Deslizamiento 5 (DLR5)

Se localiza en las coordenadas UTM: X: 648180, Y: 9565861, Z: 1531.



Fotografía 30. Deslizamiento 5 (DLR5)

- **Actividad del movimiento.**

El deslizamiento posee una descripción de estado de activo, con estilo tipo enjambre y distribución ensanchándose, en base a la clasificación de mecanismo de rotura pertenece a un deslizamiento rotacional.

- **Litología y clasificación del movimiento**

Es movimiento está compuesto casi en su totalidad por suelo arcilloso color amarillo a rojizo, finos y materia orgánica, en el momento del levantamiento de la información el suelo se encuentra húmedo. El origen del suelo es de carácter residual, entre otras características que se puede señalar el movimiento se encuentra no canalizado con una velocidad moderada (>1.6 m/año).

- **Morfometría**

Como características generales se tiene 33 m como diferencia de corona a punta, pendiente de ladera en post-falla de 40°, pendiente de ladera en pre-falla es 46°, la dirección del movimiento es de NE con azimut de 38°.

La profundidad de la superficie de falla es de 12 m, mientras el ancho de la superficie de falla es de 38 m, la longitud de la superficie de falla es 36 m, el espesor de la superficie de falla es 12 m, el ancho de la masa desplazada es 43 m y la longitud de la masa desplazada es de 51 m, teniendo una longitud total del deslizamiento de 54 m. La deformación del terreno es escalonamiento severo.

- **Causas del movimiento**

Los factores que condicionan el fenómeno de remoción de masa son el material plástico débil, material colapsable, pendiente y el socavamiento de pie del talud por corriente de agua. En cuanto a los factores detonantes se señala las intensas lluvias del periodo invernal, carga en la corona del talud, irrigación, mantenimiento deficiente del sistema de drenaje y escape de agua en tuberías.

- **Cobertura y uso del suelo.**

La cobertura del sector es herbácea y cultivos, además el uso que se le da a este tipo de suelo es agrícola y ganadero.

- **Daño y apreciación del riesgo**

Es importante señalar que los daños al momento son hacia los cultivos, en el caso de no tomar medidas los factores en riesgo son las viviendas que se encuentran en la parte superior del talud.

Es muy probable que de seguirse desplazando el material se origine un represamiento en la quebrada que circula al pie del deslizamiento, lo cual, provocarían mayores afectaciones en infraestructuras que se encuentren en el curso de la quebrada.

Una vez delimitados los fenómenos de remoción de masa estos fueron digitalizados e incorporados a la base topográfica. Para efectuar el análisis de la susceptibilidad se debe trabajar con áreas deslizadas y en ese caso las variaciones que este factor tenga, estarán en función de cómo se dibujaron durante el proceso de levantamiento.

#### **4.7. Geomorfología**

Brusden (2002), define la geomorfología como el estudio de las formas de la superficie de la tierra, su origen, los procesos relacionados con su desarrollo y las propiedades de los materiales, con lo cual se puede predecir el comportamiento y el futuro estado.

Las condiciones geomorfológicas presentes en la zona de estudio son esenciales en el análisis de la ocurrencia de deslizamientos, debido a que los procesos de vertiente son parte integral de los procesos dinámicos como variables que controlan la evolución del paisaje

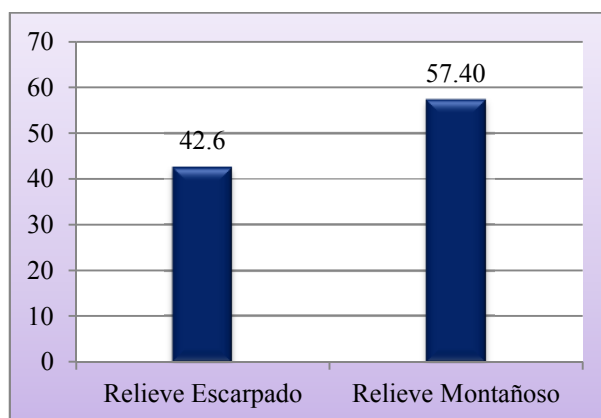
La geomorfología refleja los procesos que están actuando sobre el talud, así como los paleo-procesos que lo han afectado en el pasado y su relación con la litología y otros elementos constitutivos.

Este factor esta expresado a través del relieve relativo, que se representa como la diferencia de altura por unidad de área, los valores de relieve se clasifican en clases diferentes, con la opción de intervalos que refleje más adecuadamente las condiciones locales del sector. En el sector se presenta un relieve montañoso y escarpado (*Ver Anexo 12. Mapa de Geomorfología del Barrio Loma Redonda*).

**Tabla 34.** Geomorfología en el sector y área ocupada

Geomorfología	Área Ocupada (Ha)	Área Ocupada (%)
Relieve Escarpado	24.9	42.6
Relieve Montañoso	33.6	57.4

**Fuente:** Gobierno Provincial de Loja



**Gráfica 12.** Diagrama que muestra la geomorfología y sus porcentajes ocupados en la zona

#### **4.8. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo**

La vegetación cumple efectos protectores importantes, en la mayoría de los taludes protege contra la erosión y afecta los procesos de evapotranspiración y de infiltración de agua. Las condiciones hidrológicas de un talud son afectadas directamente por la vegetación (Suárez, 2009).

La vegetación también contribuye con el proceso de estabilización por el refuerzo del suelo (por acción de las raíces) y por la producción de materia orgánica, la cual puede ayudar a cementar las partículas del suelo.

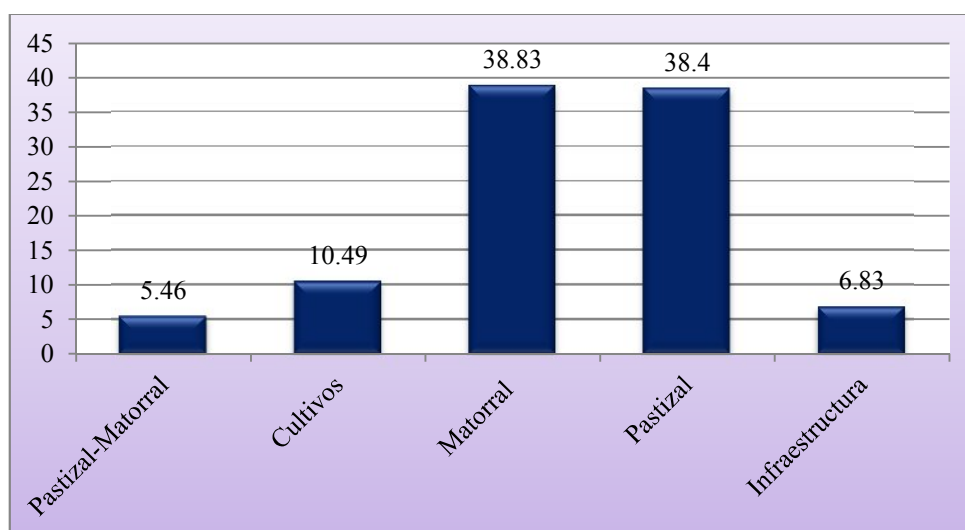
La generación de movimientos en masa está íntimamente relacionada con la cobertura vegetal de la zona de estudio, ya que existe generación de mayores problemas de movimientos en masa en terrenos desnudos o cubiertos con vegetación herbácea, lo contrario ocurre en zonas con vegetación boscosa en donde las raíces contribuyen a la estabilidad del suelo, pero en sitios con pendientes pronunciadas estas actúan como una carga haciendo que la inestabilidad de la zona aumente.

En el sector de estudio se encuentran las siguientes unidades de cobertura vegetal y uso del suelo:

**Tabla 35.** Cobertura Vegetal y Uso del Suelo en el sector y área ocupada

Cobertura Vegetal y Uso del Suelo	Área (Ha)	Área Ocupada (%)
Asociación pastizal-matorral	3.20	5.46
Cultivos asociados subtropicales	6.14	10.49
Matorral húmedo alto	22.78	38.83
Pastizal	22.48	38.40
Infraestructuras	4.00	6.83

**Fuente:** Gobierno Provincial de Loja – Digitalización de fotografías aéreas.



**Gráfica 13.** Diagrama que muestra la cobertura vegetal y uso del suelo y sus porcentajes ocupados en la zona

**Asociación Pastizal – Matorral:** Tierras con presencia de estos dos tipos de cobertura vegetal, constituyéndose en un sistema silvopastoril. Se lo encuentra principalmente en el sector Nor-Este, con un área de 3.20 Ha. lo que corresponde al 5.46%.



**Fotografía 31.** Asociación pastizal-matorral

**Cultivos Asociados Subtropicales:** Huertas dedicadas al cultivo de árboles frutales, banano, yuca y otras especies de ciclo corto, generalmente dedicadas al consumo familiar.

En este sistema también se incluyen cultivos de café, por cuanto el cultivo de esta especie requiere de cierto porcentaje de sombra que se obtiene de especies frutales y forestales principalmente. Se cuentan 6.14 Ha. De estos cultivos en el Barrio Loma Redonda, constituyendo un 10.49% del área total.



**Fotografía 32.** Cultivos asociados subtropicales

***Matorral Húmedo Alto:*** Vegetación natural cuya composición florística no sobrepasa los 10 m de altura y la estructura del tallo no alcanza los 15 cm de grosor, localizada generalmente en relieves fuertes, producto de la regeneración espontánea y en las riveras de ríos y quebradas. Se considera en esta categoría a toda aquella vegetación conocida como matorral o chaparro. Esta unidad constituye 22.78 Ha., lo que representa un 38.83%.



**Fotografía 33.** Matorral húmedo alto

***Pastizal:*** Vegetación ocupada por especies herbáceas introducidas, utilizadas con fines pecuarios, que para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo conducidos por el hombre o regeneración espontánea de especies introducidos, a esta unidad corresponden 22.48 Ha., lo que equivale a 37.40%.



**Fotografía 34.** Pastizales

**Infraestructuras:** Son asentamientos humanos en conglomerados habitacionales, además incluyen áreas ocupadas por construcciones civiles como vías o caminos. En total hay 4.00 Ha. registradas en esta unidad, es decir 6.83%.



**Fotografía 35.** Área urbana



#### 4.9. Pendientes

Se refiere al grado de inclinación que presentan las laderas, está expresado en porcentaje. Según Varnes, 1984 las zonas donde existan pendientes mayores a 35°, *Ver Tabla 36*, serán más susceptibles a que se produzcan movimientos en masa y por el contrario las zonas que se hallen en laderas poco inclinadas serán menos susceptibles.

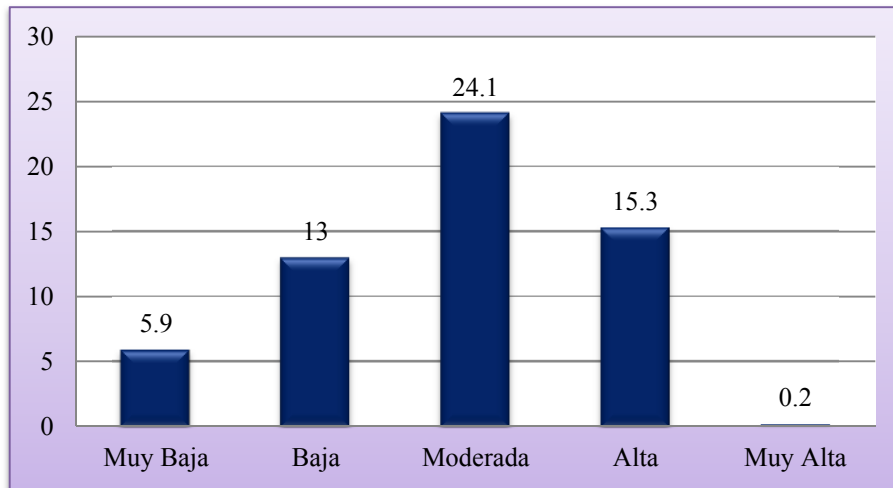
El mapa de pendientes está elaborado en base a la información en formato digital, generada a partir del mapa topográfico, en el cual se pueden distinguir cinco clases de intervalos que sub-clasifican el terreno en igual número de partes lo cual ha permitido valorar o asignar pesos diferentes a las distintas áreas generadas a partir de esta clasificación. (*Ver Anexo 14. Mapa de Pendientes del Barrio Loma Redonda*).

Teniendo como resultado que predominan las pendientes moderadas con el 41.2% del total del área de estudio, las pendientes muy altas ocupan el 0.3% del total del área de estudio, las pendientes altas ocupan el 26.2% del total del área de estudio, y las pendientes bajas ocupan el 22.2% y las muy bajas el 10.1 del total de área de estudio, estos valores se pueden observar en la siguiente tabla:

**Tabla 36.** Pendientes en el sector y área ocupada

Clasificación	Ángulo de Inclinación (°)	Pendiente (%)	Área (Ha)	Área ocupada (%)
Muy baja	0 a 8,5	0 a 15	5.9	10.1
Baja	8,5 a 16,7	15 a 30	13.0	22.2
Moderada	16,7 a 26,6	30 a 50	24.1	41.2
Alta	26,6 a 45	50 a 100	15.3	26.2
Muy Alta	Más de 45	Más de 100	0.2	0.3

**Fuente:** Levantamiento de Campo



**Gráfica 14.** Diagrama que muestra los rangos de pendientes y el área ocupada en la zona.

#### **4.10. Susceptibilidad**

La ocurrencia de los deslizamientos es el producto de las condiciones geológicas, hidrológicas y 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.

La presencia de deslizamientos es un fenómeno sujeto a muchos grados de incertidumbre, debido a que los éstos incluyen diferentes tipos de movimientos, velocidades, modos de falla, materiales, 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 (Morgenstern, 1997).

Cuando existe incertidumbre sobre la posibilidad o no, de la ocurrencia de un fenómeno, generalmente se toman decisiones equivocadas de diseño. El costo de un proyecto puede resultar muy alto o se tienen que asumir riesgos de características y magnitudes no determinadas.

La zonificación de susceptibilidad permite evaluar, parcialmente, esa incertidumbre y es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, especialmente, en las primeras etapas de planeación de un proyecto.

La zonificación consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas de acuerdo con el grado real o potencial de susceptibilidad.

El mapeo puede realizarse sobre un área donde se tiene información de la ocurrencia de deslizamientos o se tiene un inventario de estos eventos, o sobre áreas en las cuales no se tiene conocimiento de deslizamientos en el pasado, pero se requiere predecir la posibilidad de amenazas hacia el futuro.

En el primer caso, se trabaja con una metodología de mapeo directo con base en la experiencia y en el segundo, una de mapeo indirecto con base en los factores que contribuyen a su ocurrencia.

Se debe diferenciar entre técnicas de análisis relativo y técnicas de análisis absoluto. El análisis relativo presenta la posibilidad diferencial de ocurrencia de deslizamientos sin dar valores exactos y en el análisis absoluto, se presentan factores de seguridad o probabilidad real de ocurrencia de movimientos.

Los mapas cualitativos de susceptibilidad, son útiles para tomar decisiones relativas tales como una selección aproximada de sitios. El mapa además, se puede utilizar para controlar el desarrollo de un área, es decir para evitar la construcción directa sobre las zonas potencialmente inestables, o puede servir como indicador de zonas de inestabilidad que pueden extenderse y crear zonas de amenaza pendiente abajo.

El mapa de susceptibilidad es un mapa en el cual se zonifican las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, que se obtiene de un análisis multi variable entre los factores del terreno que afectan la susceptibilidad a los deslizamientos y el mapa de inventario de deslizamientos.

No existe un procedimiento estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad a los deslizamientos y sí existe mucha libertad en la determinación de los pasos a seguir y los niveles de susceptibilidad varían de acuerdo con los criterios de los diversos autores.

Para esto se considera factores que deben expresarse en mapas. Se multiplica a cada factor de análisis por un factor de ponderación o peso. Cada factor es representado por un parámetro, valorado en la mayoría de los casos entre 1 a 5. Por lo tanto el peso total de cada parámetro debe ser repartido de acuerdo a su valoración. Luego para obtener el valor de susceptibilidad, se suman los mapas.

En base al análisis de factores como pendientes, geología, geomorfología, cobertura vegetal y el inventario de deslizamientos, constituidas como variables para la zonificación se subdivide al terreno en áreas con diferentes rangos de susceptibilidad. (*Ver Anexo 15. Mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa en el Barrio Loma Redonda*).

La zonificación está dada en cinco categorías establecidas como muy baja, baja, moderada, alta y muy alta; las cuales funcionan indistintamente en el sector urbano, rural y tiene implicaciones para el ordenamiento territorial.

Para la zonificación se ha tomado la metodología de “Sarkar y Kanungo, 2004”, la que establece el análisis de las condiciones del terreno (Pendientes, Geología, Geomorfología, y Cobertura Vegetal y Movimientos de Masa), a cada una de estas variables se le asigna un peso según su capacidad de influencia en la inestabilidad que pueda generar.

#### **4.10.1. Variables, Indicadores y Pesos**

- **Geología**

Cada litología o formación geológica posee un determinado patrón de comportamiento. Por ejemplo: Un granito y una caliza bajo condiciones similares, desarrollan características diferentes de perfil geotécnico y presentan un comportamiento diferente de los taludes como resultado de las diversas características de los materiales (permeabilidad, potencial de meteorización, erosividad, entre otros).

Si el material que conforma el talud es homogéneo, el modelo conceptual es relativamente sencillo y fácil de interpretar; sin embargo, cuando el talud está formado por varios tipos de roca o suelo, el comportamiento geotécnico del conjunto es diferente al de cada material por separado. Este es el caso de los suelos residuales donde el material completamente descompuesto, tiene un comportamiento muy diferente al del material menos descompuesto, el saprolito o la roca.

Un suelo duro puede fallar al cortante o deslizarse al deformarse un material subyacente menos duro. Generalmente, en una formación geológica se encuentran varios tipos de material y varios patrones de estructura, los cuales conjuntamente, determinan las características de los deslizamientos. Generalmente, cada formación geológica tiene unos patrones típicos que se repiten en los diferentes taludes.

En los deslizamientos de gran magnitud generalmente la geología es determinante para la ocurrencia del movimiento, y el trabajo del geólogo es esencial para que el estudio sea preciso y confiable.

En la tabla siguiente se muestra los pesos asignados a las variables para el componente de geología:

**Tabla 37.** Peso asignado para geología

LITOLOGÍA	
VARIABLE	PESOS
Lavas, riolitas, andesitas porfíricas	1
Esquistos, grafitos, gneis	2
Roca granítica, granodiorita alterada	3
Limolita, arcilla, arenisca, conglomerado	4
Depósitos coluviales, aluviales, terrazas	5

**Fuente:** Sarkar y Kanungo, 2004; levantamiento de Campo

- **Movimientos en masa**

Las condiciones de inestabilidad de un sitio no son necesariamente obvias en la investigación de campo. En ocasiones hay evidencias claras de la inestabilidad, pero es común que una amenaza de movimiento no sea detectada a simple vista.

Se debe identificar sitios inestables, mediante la asignación de una calificación a una serie de factores o indicadores de estabilidad, en forma similar a como se elaboran los mapas de amenaza a los deslizamientos y de acuerdo a la calificación se investigan a detalle los sitios con más alta calificación de amenaza.

Los detalles de la superficie del terreno son generalmente la clave para entender las causas y procesos de deslizamiento. Los bordes del deslizamiento pueden ser una serie de agrietamientos sub-paralelos y levantamientos que marcan una zona de corte y con el tiempo las grietas y levantamientos pueden generar una sola grieta continua.

En base al inventario de deslizamientos y a los movimientos de masa identificados, se ha considerado los siguientes parámetros para el análisis de susceptibilidad:

**Tabla 38.** Peso asignado para deslizamientos

<b>DESLIZAMIENTOS</b>	
<b>VARIABLE</b>	<b>PESO</b>
<b>Caída de rocas</b>	1
<b>Deslizamiento rotacional</b>	2
<b>Deslizamiento traslacional</b>	3
<b>Flujos</b>	4

**Fuente:** Sarkar y Kanungo, 2004; levantamiento de Campo

- **Geomorfología**

Para elaborar el modelo de comportamiento de un talud, es determinante analizar la geomorfología y su efecto sobre los procesos de inestabilidad; los procesos actuales y pasados son la base para los procesos que van a ocurrir.

Las condiciones geomorfológicas presentes son esenciales en el análisis de la ocurrencia de deslizamientos, debido a que los procesos de vertiente son parte integral de los procesos dinámicos como variables que controlan la evolución del paisaje.

La geomorfología refleja los procesos que están actuando sobre el talud, así como los paleo-procesos que lo han afectado en el pasado y su relación con la litología y otros elementos constitutivos, no solamente de un talud en particular, sino de todo el ambiente de una zona.

Para el análisis de la susceptibilidad se asignaron los siguientes pesos a la geomorfología:

**Tabla 39.** Peso asignado para geomorfología

Descripción	Peso
Relieve Montañoso	2
Relieve Escarpado	3

**Fuente:** Gobierno Provincial de Loja

- **Cobertura vegetal y uso del suelo**

Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación, en el ambiente natural que se esté estudiando.

El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales. En primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces. Como controlador de infiltraciones, tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo, al tomar el agua que requiere para vivir.

El efecto más importante de la vegetación, universalmente aceptado, es la protección contra la erosión en todos los casos y con todo tipo de vegetación. La vegetación con mayor densidad de follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. En hierbas y pastos la densidad y volumen del follaje actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía.

En lo referente a control de erosión se ha encontrado que donde hay árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos. Además, se ha encontrado que las hierbas o maleza protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos.

A los diferentes tipos de cobertura vegetal, que se presenta en la zona de estudio se le asignaron los siguientes valores para el análisis de susceptibilidad:

**Tabla 40.** Peso asignado para cobertura vegetal

Descripción	Peso
Matorral húmedo alto	1
Asociación pastizal-matorral	2
Infraestructuras	3
Pastizal	4
Cultivos asociados subtropicales	5

**Fuente:** Gobierno Provincial de Loja – Digitalización de fotografías aéreas.

- **Pendientes**

En áreas de montañas de alta pendiente y valles semiplanos se pueden identificar las áreas de acuerdo con su relieve, el cual es uno de los factores que más afecta la susceptibilidad a los deslizamientos.

La pendiente define las categorías del talud con base en la frecuencia de ocurrencia de determinados ángulos particulares en el talud.

El mapa de pendiente puede prepararse reuniendo las áreas en las cuales las líneas de nivel tienen un espaciamiento estándar y pueden dividirse en pendientes muy baja, baja, moderada, alta y muy alta.

Al aumentar la pendiente, generalmente se aumentan las fuerzas que tratan de desestabilizar el talud y disminuyen los factores de seguridad al deslizamiento. Los taludes de alta pendiente son muy susceptibles a la ocurrencia de inclinaciones, caídos y flujos de residuos.



Además de la pendiente, es muy importante la curvatura de la superficie. Los valores asignados para pendientes se encuentran en la tabla siguiente:

**Tabla 41.** Peso asignado para pendientes

Clasificación	Ángulo de Inclinación (°)	Pendiente (%)	Peso
Muy baja	0 a 8,5	0 a 15	1
Baja	8,5 a 16,7	15 a 30	2
Moderado	16,7 a 26,6	30 a 50	3
Alta	26,6 a 45	50 a 100	4
Muy Alta	Más de 45	Más de 100	5

**Fuente:** Levantamiento de Campo

#### 4.10.2. Análisis de Susceptibilidad a Movimientos en Masa

Un área dada se subdivide en sectores de acuerdo a su susceptibilidad a generar movimientos en masa. En su concepto ideal, la susceptibilidad a movimientos en masa se puede considerar como una función distribuida espacialmente.

El mapa cualitativo de susceptibilidad es probablemente uno de los más comunes, pero es útil solo para tomar decisiones relativas tales como una selección aproximada de sitios. El mapa se podrá utilizar para controlar el desarrollo de un área, es decir para evitar la construcción directa sobre las zonas potencialmente inestables, o puede servir como indicador de zonas de inestabilidad que puedan extenderse y crear zonas de amenaza pendiente abajo.

El análisis de probabilidades puede requerir la consideración de aspectos como cambios en el uso de la tierra, especialmente deforestación, incendios o terremotos.

En base a las condiciones del terreno analizadas (geología, movimientos en masa, geomorfología, cobertura vegetal y uso del suelo, y pendientes), se obtuvo el mapa de susceptibilidad que agrupa áreas con menor y mayor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa, dividiéndose en cinco categorías que van desde muy baja a muy alta susceptibilidad, 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%, sin evidencia de deslizamientos antiguos o recientes, y no se evidencia procesos erosivos. Representan el 9.0% del área de estudio.

**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 matorrales naturales que tiene poca intervención de la mano del hombre, esta zona ocupa el 36.6% del total del área de estudio.

**Susceptibilidad Moderada.-** 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 matorral y pastizales, corresponde al 26.7% del área de la parroquia.

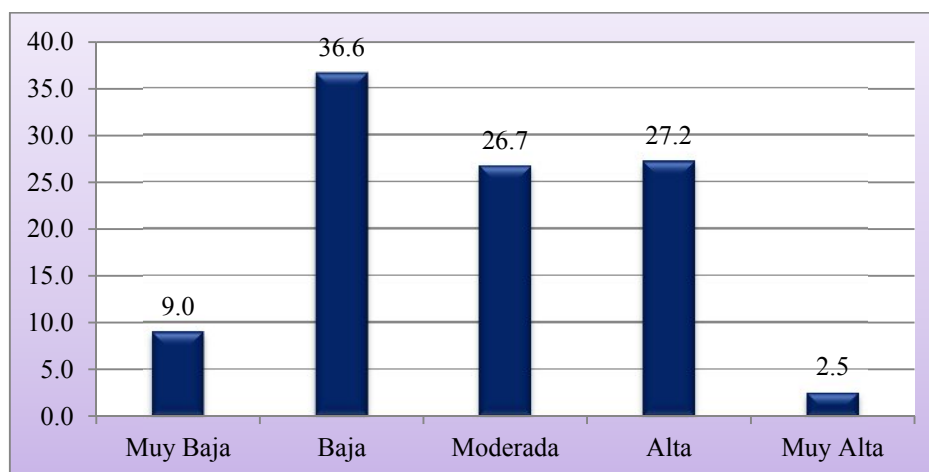
**Susceptibilidad Alta.-** Corresponde a zonas donde las condiciones del terreno son favorables para que se produzcan movimientos en masa, se caracteriza por la presencia de pendientes pronunciadas que van desde 50% a 100%. Esta zona ocupa el 27.2% del total del área en estudio.

**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 2.5% del total del área en estudio.

**Tabla 42.** Susceptibilidad a movimientos en masa en el sector y área ocupada

Clasificación	Área ocupada (Ha)	Área ocupada (%)
Muy baja	5.3	9.0
Baja	21.4	36.6
Moderada	15.6	26.7
Alta	15.9	27.2
Muy Alta	1.5	2.5

Fuente: I.G.M – G.P.L. – Levantamiento de Campo



**Gráfica 15.** Diagrama que muestra los rangos de susceptibilidad y sus porcentajes ocupados en la zona.

**Tabla 43.** Descripción de las Zonas Susceptibles a Movimientos en Masa del Barrio Loma Redonda

ZONA	ÁREA (Ha)	SECTOR URBANO	SECTOR RURAL	IMPLICACIONES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL
<b>Muy Baja</b>	5.3	Probabilidad de ocurrencia muy débil y que se pueden manifestar con una intensidad fuerte.	Exposición directa o indirecta a los daños. Bajas afectaciones y pocas pérdidas de bienes inmuebles, terrenos, animales, recursos naturales	<b>Zona de sensibilización</b> , apta para el desarrollo de asentamientos humanos. Los usuarios del suelo deben ser informados ante la existencia de amenazas muy poco probables pero de alta intensidad.
<b>Baja</b>	21.4	El peligro para las personas es débil o inexistente. Los edificios pueden sufrir daños leves, pero puede haber fuertes daños al interior de los mismos.	Exposición directa o indirecta a los daños. Bajas afectaciones y pocas pérdidas de bienes inmuebles, terrenos, animales, recursos naturales.	<b>Zona de moderada restricción y sensibilización</b> , para el manejo del territorio, se permite el desarrollo de asentamientos humanos de baja densidad. La población debe ser informada de la existencia de potenciales amenazas para que apliquen medidas de protección.
<b>Moderada</b>	15.6	Las personas están en peligro afuera de las viviendas. Se debe contar con daños en las viviendas, pero no destrucción repentina de estos, siempre y cuando su modo de construcción haya sido adaptado a las condiciones del lugar	Exposición directa a los daños. Moderadas afectaciones y pérdidas parciales de bienes inmuebles, terrenos, animales, recursos naturales de la ladera y la vida humana.	<b>Zona de alta restricción y reglamentación del uso y manejo de los territorios</b> , en la cual se puede permitir cierto desarrollo de asentamientos humanos de baja densidad, siempre y cuando se realicen estudios de riesgo detallados previos y apliquen normas de construcción y obras de mitigación. Construcciones existentes que no cumplan con las normas deben ser reforzadas, protegidas o reubicadas.

Alta	15.9	Las personas están en peligro latente. Incluye áreas protegidas por obras de protección cuyo diseño y estado de mantenimiento no se han podido verificar.	Exposición directa e indirecta a los daños. Relativamente se pueden esperar afectaciones y pérdidas de bienes inmuebles, terrenos, animales, recursos naturales de la ladera y la vida humana.	Zona de restricción y reglamentación del uso del territorio, no apta, temporalmente, para la instalación, expansión o densificación de asentamientos humanos, mientras no se determine su grado de amenaza por medio de investigaciones adicionales de detalle.
Muy alta	1.5	Las personas están en peligro tanto dentro como fuera de las viviendas. Existe un alto peligro de destrucción repentina de viviendas y muertes de sus habitantes.	Exposición directa a los daños. Grandes afectaciones y pérdidas totales o casi totales de bienes inmuebles, terrenos, animales, recursos naturales de la ladera y la vida humana.	<b>Zona de prohibición e intervención inmediata:</b> tierras no aptas para el desarrollo de asentamientos humanos ni de infraestructura importante (hospitales, escuelas, iglesias, entre otros) u ocupados de forma permanente. Áreas ya edificadas o viviendas deben ser reubicadas, o protegidas con medidas de reducción de riesgo, sistemas de alerta temprana, evacuación temporal y modificación paulatina del uso de los territorios.

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como es común en el cantón Olmedo, la topografía del sector de estudio es muy irregular, emplazado en un área montañosa, con muy pocas planicies, lo que da lugar a un relieve muy accidentado y con pendientes muy abruptas que inciden significativamente en los principales problemas ocasionados por cualquier tipo de movimientos de masa, sin embargo esta problemática no tendría gran relevancia dentro de los riesgos analizados en el Plan de Desarrollo Cantonal de Olmedo, debido a que dicho estudio hace referencia a riesgos relacionados con aspectos geo climáticos como sequías y riesgos antropogénicos derivados del uso del suelo con fines agrícolas, es decir se presta gran interés al desarrollo productivo, dejando de lado el contexto geológico y los riesgos asociados.

Dentro de la historia del barrio, las fuertes precipitaciones de la época invernal y el encajonado sistema de drenaje, han ocasionado diversos problemas naturales afectando a infraestructuras y con pérdida de vidas, este factor debe ser considerado en la organización de las edificaciones dentro del barrio y contribuir al ordenamiento territorial del cantón.

En base al análisis de campo, a través de la descripción de afloramientos y de macizos rocosos, se puede observar una geología no muy compleja, compuesta principalmente por intercalaciones de lutitas y areniscas, muy características de la Formación Zapotillo Ciano, formadas en un ambiente de sedimentación tipo Flysh, estas poseen una relación con las litologías que en el sector de Zapotillo ocurren en capas delgadas, bien estratificadas y plegadas, en las carreteras Alamor-Arenillas. Las secuencias sedimentarias están cubiertas en algunos sectores por material coluvial, aluvial y suelos. Los materiales presentan una meteorización física que vuelve a este tipo de rocas muy inestables, esto se identificó mediante el inventario de deslizamientos.

El análisis del tren estructural en el sector, que predomina NW – SE y los otros secundarios tienen un valor importante en los fenómenos de remoción de masa existentes y las características de macizo rocoso, que para las lutitas es mala y las

areniscas es media. La conjugación de todos estos parámetros permite analizar las condiciones del terreno para la futura edificación de infraestructura.

En el inventario de deslizamientos realizado, se ha tomado como base la topografía del sector y la utilización de fichas de identificación de movimientos en masa a través de visitas de campo, se identificó cinco movimientos en masa tres de ellos rotacionales y dos traslacionales. La mayoría pueden activarse con el próximo periodo invernal si no reciben algún tipo de estabilización o control.

La geomorfología del barrio es un factor indispensable en lo pertinente a susceptibilidad a movimientos de masa del barrio, los principales relieves identificados son relieves montañosos y escarpados, lo que es muy común en todo el cantón y la provincia.

La cobertura vegetal observada en el área de estudio, son sustentados en base a la topografía, fotografías aéreas, a través de observación directa con visitas, lo cual da la veracidad de lo planteado en cuanto a cobertura vegetal y uso del suelo. La vegetación que predomina en el sector son los pastizales y matorral húmedo alto, lo que determina que la parroquia es fundamentalmente agrícola, se encuentran zonas de pastizal, matorral, cultivos asociados subtropicales e infraestructuras en menor porcentaje, al igual que en los barrios cercanos y el cantón.

Los Sistemas de Información Geográfica, permiten la manipulación de la información de manera más sencilla y directa a través de la superposición de mapas temáticos obtenidos a lo largo de los trabajos de campo realizados, lo cual nos da como resultado la determinación de zonas susceptibles a movimientos en masa; donde se pueden distinguir cinco clases de zonas las cuales están en dependencia del análisis de los factores condicionantes del terreno. Mediante la asignación de pesos a las distintas variables que conforman los factores condicionantes.

Teniendo como resultado el mapa de susceptibilidad donde se muestra áreas desde muy baja susceptibilidad que comprende el 9.0% que representa 5.3 ha.; área de baja susceptibilidad que comprende el 36.6% que representa 21.4 ha; área de moderada susceptibilidad que comprende el 26.7% que representa 15.6 ha; área de alta

susceptibilidad corresponde el 27.2% que representa 15.9 ha; y por último se tiene el área de muy alta susceptibilidad que corresponde el 2.5% que representa 1.5 ha; aproximadamente.

De esta forma, es posible obtener fundamentos para un correcto ordenamiento territorial, es decir, los factores mencionados en el PDEC – Olmedo como la planificación y gestión para la toma de decisiones, servicios básicos, productividad, entre otros, son considerados en el ordenamiento territorial, sin embargo, es de vital importancia el diagnóstico de las condiciones del terreno en donde se emplazaran los diferentes establecimientos que propiciarán el desarrollo sustentable y la calidad de vida de los habitantes.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- La topografía de la zona de estudio es muy accidentada, con presencia de pendientes abruptas, las variaciones de altitud oscilan entre 1626 m s.n.m. y 1456 m s.n.m.
- Dadas las condiciones topográficas, los cauces que atraviesan el barrio Loma Redonda fluyen de este a oeste, siendo los principales, las quebradas Loma Redonda y El Zambo, toda la red hídrica pertenece a la micro-cuenca del río Umbalao.
- Regionalmente el sector de estudio se encuentra dentro de la Cuenca Lancones – Alamor y la geología presente corresponde a la Formación Zapotillo Ciano. Se tiene una secuencia de rocas sedimentarias tales como lutitas de color gris blanquecino a gris oscuro y areniscas de color gris verdoso, de grano fino a medio, la intercalación de este tipo de rocas está asociada a un ambiente de formación tipo Flysh, la mayoría de las capas presentan un leve metamorfismo, éstas capas se encuentran cubiertas por material coluvial, aluvial y suelos.
- Los contactos entre las capas observadas son concordantes, con una sedimentación cíclica y rítmica de los estratos. Las direcciones preferenciales de estratificación de la secuencia sedimentaria son NE y SW.
- Dentro de las estructuras encontradas se presenta un anticlinal con eje NE-SW, teniendo una inclinación de los flancos de 30° NW y 35° SE.
- El tren estructural principal de diaclasas tiene como rumbo NW-SE y en segundo plano estructuras importantes ocurren en NE-SW, los planos de diaclasas de Primer Orden y Segundo Orden se dirigen hacia el NE y SW

con ángulos que oscilan entre 19 ° y 89 °. Algunas de estas discontinuidades se encuentran rellenas de arcillas y limos.

- En base al análisis geomecánico del macizo rocoso de cinco afloramientos, se tiene que las lutitas presentan una calidad de la roca mala, mientras que la calidad de roca de las areniscas es media.
- En la zona de estudio existen cinco movimientos en masa, tres de los cuales son rotacionales y dos traslacionales, principalmente las direcciones de movimiento del material es hacia el NE y en menor grado al SE y SW, estos ocurren en rango de pendientes que varían de 39° a 71°. Todos estos producen afectaciones principalmente a las vías e infraestructuras.
- El clima de la zona de estudio es Subtropical y el Templado con una temperatura media anual entre 18°C y 20°C y un régimen pluviométrico que varía entre 1250 y 1500 mm/año.
- La geomorfología del sector es principalmente un relieve montañoso ocupando 33.6 hectáreas, lo que representa un total de 57.4% de la zona de estudio.
- La mayor parte de la superficie del Barrio Loma Redonda está cubierta por Matorral húmedo alto y pastizales ocupando un total 38.83% y 38.40% respectivamente.
- Dentro de la zona de estudio existen zonas principalmente con pendientes moderadas ocupando un 33.6% del área, seguidas por pendientes altas representado el 26.21% de la zona, las mismas que son más propensas para la ocurrencia de movimientos en masa, ya que por efectos de gravedad contribuyen a la inestabilidad del terreno.
- En base al análisis de todos los factores naturales del sector, se tiene que la mayor parte del barrio Loma Redonda presenta una susceptibilidad a

movimientos en masa baja en una superficie de 21.4 Has, lo que se traduce en un 36%, moderada con un área de 15.6 Has, que representa un 26.7% y alta con 15.9 Has que representa un 27.2%.

## 6.2. Recomendaciones

- El mapa de inventario de deslizamientos que se realizó en toda la zona de estudio debe ser actualizado de forma permanente con el propósito de observar la evolución de los fenómenos de remoción de masa con el tiempo.
- Es fundamental realizar un estudio geológico - geotécnico detallado para diseñar las obras de estabilización del barrio Loma Redonda a mediano plazo.
- Se recomienda realizar el control de la escorrentía superficial y drenaje a corto plazo y revegetación de los taludes o laderas que puedan representar un riesgo para los pobladores e infraestructuras.
- Posterior a periodos de lluvias es necesario realizar un control de los sistemas de drenaje o daños en la carretera por efecto de deslizamientos y llevar un control estricto de estos eventos con el propósito de contar con una base que permita evaluar la evolución de los fenómenos de remoción de masa en todo el sector.
- Se requiere regulaciones específicas en cuanto al uso del suelo con el objetivo de minimizar y evitar la ocurrencia de nuevos movimientos en masa por acción antrópica.
- Se recomienda considerar los niveles altos de susceptibilidad para el ordenamiento territorial del barrio y del cantón, ya que esto permitirá salvaguardar a los pobladores y reducir o eliminar el número de pérdidas económicas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS:

- ASOCIACIÓN DE MUNICIPALIDADES DEL ECUADOR, Gobierno Autónomo Descentralizado – Olmedo. “Plan de Desarrollo Estratégico Cantonal de Olmedo”. 2011, p 55.
- BALDOCK, J. Mapa Geológico Nacional de la República del Ecuador. Institut of Geological Sciences (NERC) y Dirección General de Geología y Minas-Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, 1982, p 45.
- BIENIAWSKI, Z.T. Engineering classification of jointed rock masses.
- BIENIAWSKI, Z.T. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp, (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 1976, p 97-106.
- BRABB, E. E. “The San Mateo County GIS project for predicting the consequences of hazardous geologic processes”. Carrara A., and Guzzetti F., (Editors), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Pub., Dordrecht, the Netherlands, 1995, p 246.
- BRABB, E. E. (1978), “Analyzing and portraying geologic and cartographic information for land use planning”, emergency response and decision making in San Mateo country, California. In Proc., SIG’87, San Francisco, California, American Society of photogrammetry and remote sensing, falls church, Virginia, p 362-374.
- BRABB, E. E. “Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping”. Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides, Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada, Vol. 1, 1984, p. 307-323.

- BRUNSDEN, D. (2002). “Geomorphological roulette for engineers and planners: some insights into a old game”. *Quart. J. of Eng. Geol.* 35, pp.101-142.
- Morgenstem, N.R. (1997) “Toward landslide risk assessment in practice” *Proceedings of the International Workshop on landslide risk assessment.* Honolulu, Hawaii, USA, pp. 15-23.
- CASCINI, L... (et.al). *Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development, en Memorias, International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada: London, Balkema, 2005, p 199–235.*
- CROZIER, M.J. (1986), “Landslides: Causes, Consequences and Environment, Croom Helm”, London, 1965, p 49.
- CRUDEN, D. M. A Simple definition of a landslide: *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 1991, v. 43, p. 27–29.
- DINAGE-INGEMMET. *Geología de Ecuador y Perú entre 3° S y 6° S*, 2005.
- DOMÍNGUEZ, B. *SIG y Energías Renovables*, 2011, p 267.
- FENINGER, T. Allochthonous Terranes In The Andes Of Ecuador And Northwestern Peru. *Can J. Earth Sci.* 24, 1987, p 266-278.
- HUTCHINSON, J.N. A reconsideration of the coastal landslides at Folkestone Waren, Kent, *Geotechnique* 1969, p 38.
- LITHERLAND... (et.al). *The Metarmorphic Belts of Ecuador.* British Geological Survey, Overseas Memoir 11, 1993, p 78.
- MARTÍNEZ, J. *Geología Estructural y Dinámica Global.* 2003, p 103.

- MOURIER, T... (et.al). An Accreted Continental Terrane In Northwestern Peru. Elsevier Science Publishers B.V. EPSL 02617, 1988, p 289.
- OYARZÚN, J. Léxico sobre procesos y estructuras geológicas. 2009, p 39-45
- REY, J. Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía. España. 2000, p 98.
- SARKAR, S. Kanungo, D.P. “An integrated approach for landslie susceptibility mapping using remote sensing and GIS”. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2004, p 70.
- SOETERS, R., VAN WESTEN, C.J. “Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation”. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds), Landslides, investigation and mitigation. Transportation Research Board, National, 1996, p 89.
- SUÁREZ, J. Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Volumen 1, 2009, p 189.
- TERZAGHI, K. Stability of steep slopes on hard unweathered rock: Géotechnique, 1962, v. 12, p. 251–270.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA GABRIEL RENÉ MORENO. Fundamentos de Geología. 2007, p 42.
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, ESCUELA DE GEOLOGÍA, Grupo de Investigación en Geología Aplicada, Clasificación Geomecánica de los Macizos Rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, y Romana; Venezuela, 2012, p 85.

- UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Cátedra de Geotecnia I. *Macizos rocosos*. 2010, p 5.
- VARNES D.J. "Landslide hazard Zonation "A Review of Principles and practice. UNESCO Press, París 1984, p 63.

**SITIOS WEB:**

- WERNER, Abraham Gottlob. 1749-1817. Texto tomado de <http://www.mcnbiografias.com>.