



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

**TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MÍNAS**

**Geodinámica del movimiento de ladera en calle Gonzalo Pizarro de la ciudad de Zaruma provincia de El Oro, mediante la aplicación de métodos Geofísicos y Geodésicos.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**AUTORA:** Ramón Pérez, Gianella Maribel.

**DIRECTOR:** Soto Luzuriaga, John Egverto, M.Sc.

**LOJA – ECUADOR**

**2018**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

*Loja, mayo del 2018*

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

M. Sc.

John Egverto Soto Luzuriaga.

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Geodinámica del movimiento de ladera en calle “Gonzalo Pizarro” de la ciudad de “Zaruma” provincia de “El Oro”, mediante la aplicación de métodos Geofísicos y Geodésicos**, realizado por **Gianella Maribel Ramón Pérez**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, mayo 2018

f). .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, **Gianella Maribel Ramón Pérez**, declaro ser autora del presente trabajo de titulación: **Geodinámica del movimiento de ladera en calle “Gonzalo Pizarro” de la ciudad de “Zaruma” provincia de “El Oro”, mediante la aplicación de métodos Geofísicos y Geodésicos**, de la Titulación de Geología y Minas, siendo M. Sc. John Egverto Soto Luzuriaga director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f.).....

Autora: Gianella Maribel Ramón Pérez

Cédula: 1900867886

## **DEDICATORIA**

A mis padres Víctor y Gladis quienes con mucho esfuerzo me han apoyado incondicionalmente para cumplir este gran sueño; a mis hermanos Jhon y Eva (+) quienes han sido mi ejemplo en todo momento.

En fin, a toda mi familia, porque sé que este logro también es de ustedes.

## AGRADECIMIENTO

Culminar una tesis es darte cuenta de que terminas la etapa de vida universitaria, es la prueba de un largo tiempo de trabajo, estudio y esfuerzo. Hubiera sido muy difícil lograrlo sin el apoyo de muchas personas a las que quiero mostrar mi más profundo agradecimiento:

Gracias mamá y papá por todo el esfuerzo y la confianza depositada en mí, por demostrarme que el estudio es la herencia más importante que pueden dejar los padres a sus hijos.

Agradezco a todos mis profesores que a lo largo de estos 5 años me han formado y demostraron que el esfuerzo y empeño que uno mismo le pone por aprender las cosas es lo más valioso e importante. Gracias al MSc. John Soto, director de mi trabajo de fin de titulación, por su apoyo y palabras de ánimo, que no me dejaron decaer en ningún momento. A mi codirector de tesis MSc. José Tamay y al MSc. Galo Guamán por su asesoramiento y el tiempo que dedicaron a la revisión de este trabajo, además, por permitirme ser su ayudante de cátedra donde me demostraron que con inteligencia y buen carácter están dispuestos a compartir su conocimiento y de esa forma crean la diferencia entre transmitir y trascender.

Al personal del laboratorio de mecánica de suelos, especialmente al ing. Ángel Tapia, por su colaboración en la planeación y realización de los ensayos.

A ARCOM, gracias por el apoyo brindado en esta investigación, especialmente al ing. Cesar Morocho, por esas largas horas de trabajo de campo y al ing. Walter Apolo, por la paciencia y ayuda que brindó en el procesamiento de datos.

A mi mejor amiga y compañera de tesis, Viviana, parte fundamental de este trabajo, cuyo empuje me ayudo a seguir adelante. Gracias por todo lo que tú ya sabes.

Y como no, también extendiendo mi agradecimiento a esos compañeros de carrera y de vida; mis apreciados amigos y a mi mejor amiga Jennyfer, con quienes hemos ido construyendo el camino hacia la vida profesional. Aquellos momentos compartidos en el aula y fuera de ella siempre permanecerán en mi memoria.

Solo puedo decir: “gracias a cada paso que di, hasta llegar a este momento”.

## TABLA DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
ANTECEDENTES .....	4
OBJETIVOS .....	5
Objetivo General. ....	5
Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO I CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LA ZONA.....	6
1.1 Ubicación .....	7
1.2.....	7
Acceso .....	7
1.3.....	8
Climatología.....	8
1.4 Hidrografía .....	9
1.5 Geomorfología y Relieve .....	9
1.6 Geología Regional.....	11

1.6.1 Serie Muluncay.....	12
1.6.2 Serie Andesita Portovelo (Complejo Volcánico).....	12
1.6.3 Serie Faique .....	12
1.6.4 La Unidad Portovelo .....	12
1.6.5 Rocas Intrusivas .....	13
<b>CAPÍTULO II MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>14</b>
2.1 Movimiento de ladera .....	15
2.2 Clasificación de los movimientos de ladera.....	15
2.2.1 Caídas de roca.....	16
2.2.2 Deslizamiento .....	17
2.2.3 Flujos .....	18
2.2.4 Reptación .....	20
2.2.5 Propagación lateral .....	22
2.2.6 Volcamientos .....	22
2.2.7 Movimientos complejos.....	23
2.3 Factores condicionantes y desencadenantes.....	23
2.4 Mecanismos de rotura .....	24
2.5 Mecanismos de propagación .....	25
2.6 Velocidad o tasa de movimiento .....	25
2.7 Hundimiento y subsidencia .....	26
2.8 Técnicas que se utilizan para análisis de movimientos de ladera .....	26

2.8.1	Análisis geodésico .....	27
2.9.1	Análisis geofísico.....	30
2.10.1	Análisis geotécnico .....	35
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		37
3.1	.....	38
Metodología .....		38
3.1.1	Revisión bibliográfica y procesamiento de la información .....	39
3.1.2	Campaña de campo .....	39
3.1.3	Ensayos físicos mecánicos .....	48
3.1.4	Trabajo de gabinete.....	53
CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....		54
4.1	Geología local .....	55
4.2	Monitoreo con GPS Diferencial.....	57
4.2.1	Procesamiento y adquisición de datos .....	57
4.3	Escáner Láser 3D (TLS).....	62
4.3.1	Procesamiento y adquisición de datos .....	62
4.3.2	Comparación de datos y análisis de resultados.....	65
4.4	Ensayo de Tomografía Eléctrica .....	70
4.4.1	Perfil A-A´ .....	72
4.4.2	Corte geológico N-S .....	74
4.4.3	Perfil B-B´ .....	74

4.4.4 Corte geológico E-W .....	75
4.5 Muestreo y ensayos de suelos .....	78
4.5.1 Localización de muestras y características de suelo .....	78
4.5.2 Ensayos de laboratorio .....	79
4.6 Análisis de grietas .....	81
CONCLUSIONES .....	82
RECOMENDACIONES .....	84
BIBLIOGRAFÍA .....	85
ANEXOS .....	89
ANEXO I Ficha de movimiento de ladera .....	90
ANEXO II Fichas de grietas .....	94
ANEXO III Ensayos de laboratorio .....	105
ANEXO IV Inversión de pseudoperfiles sin topografía .....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio. ....	7
Figura 3: Red Hidrográfica. ....	9
Figura 4: Mapa geológico de Zaruma. ....	13
Figura 5: Caída de roca. a.) Caída de cantos y bloques; b.) Caída de rocas en la vía "El Descanso-Paute", Azuay, Ecuador. ....	17
Figura 6: a.) Deslizamiento translacional llamado resbalamiento; b.) Plano de falla, Quebrada la Troya, Argentina. ....	18
Figura 7: a.) Esquema de deslizamiento rotacional; b.) Deslizamiento rotacional ocurrido en la Provincia de Chimborazo, Paccha, Ecuador. ....	18
Figura 8: Flujos. a.) Flujo de tierra; b.) Flujo de detritos. ....	20
Figura 9: a.) Reptación de suelos; b.) Árbol inclinado por reptación superficial. ....	21
Figura 10: Solifluxión. a.) esquema de solifluxión; b.) Solifluxión en zonas de rehabilitadas. ...	21
Figura 11: Propagación lateral. ....	22
Figura 12: a.) Volcamiento de bloques; b.) Volcamiento flexural de macizo rocoso. ....	23
Figura 13: a.) Subsistencia kárstica; b.) Subsistencia minera. ....	26
Figura 14: Esquema del Método Estático Rápido. ....	28
Figura 15: a.) 1 Dirección de escáner, 2 cámara integrada; b.) Modelo de barrido de escáner. ....	29
Figura 16: Mapa geológico de la zona de estudio. ....	57
Figura 17: Ubicación de mojones sobre el terreno. ....	58
Figura 18: Vectores de velocidad y desplazamiento de los puntos de monitoreo. ....	62
Figura 19: Distribución de los diferentes puntos de control en la zona de estudio. ....	63
Figura 20: Modelo 3D en el software RiscanPro. a.) Nube de puntos de julio 2017; b.) Nube de puntos de enero 2018. ....	64
Figura 21: Comparación de nube de puntos de un barrido con respecto al otro. ....	64
Figura 22: Modelo 3D con colores reales del terreno. ....	65
Figura 23: Modelo digital creado a partir de la diferencia entre el primer y segundo barrido, donde se muestra zonas positivas (+) y negativas (-). ....	66
Figura 24: Evolución del movimiento de ladera de julio 2017 a enero 2018. Donde se muestra la sección A-A'. ....	67
Figura 25: Perfil ilustrativo de la evolución temporal del movimiento de ladera. Donde se indican zonas representativas de anomalías positivas y negativas. ....	68
Figura 26: Comparación de perfiles en la vía Gonzalo Pizarro". ....	69
Figura 27: Valores de desplazamientos más representativos a lo largo de los perfiles comparativos. ....	69

Figura 28: Cálculo de volumen para un DTM en Global Mapper. ....	70
Figura 29: Ubicación de perfiles de ERT y cortes geológicos.....	72
Figura 30: Perfil de tomografía A-A´, donde se muestran las anomalías positivas encontradas. .....	89
Figura 31: Corte geológico en sentido N-S, donde se indican los principales componentes del movimiento de ladera y sus correlaciones con el perfil A-A´. ....	90
Figura 32: Perfil de tomografía eléctrica B-B´, donde se indican las principales anomalías positivas. ....	91
Figura 33: Corte geológico en sentido E-W, donde se indican los principales componentes del movimiento de ladera y sus correlaciones con el perfil B-B´. ....	91
Figura 34: Correlación de galerías mineras con líneas de ERT. ....	92
Figura 35: Localización de puntos de muestreo dentro del movimiento de ladera. ....	93
Figura 36: Ubicación de las muestras estudiadas en la carta de plasticidad de Casagrande. .....	95
Figura 37: Pseudosección sin topografía, con valores de resistividad real, línea A-A´ .....	140
Figura 38: Pseudosección sin topografía, con valores de resistividad real, línea B-B´ .....	141

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1: Vista general de la geomorfología del cantón Zaruma. Se observan relieves tipo R5 (Relieve colinado alto) y R6 (Relieve colinado muy alto).....	11
Foto 3: a.) Receptor base ubicado en el Parque Central de Zaruma. b.) Receptor móvil sobre punto de control (Gonzalo Pizarro). .....	41
Foto 4: Mojón cilíndrico de hormigón, sirve como punto de control. ....	42
Foto 5: Escáner láser 3D RIEGL Vz 400.....	43
Foto 6: a.) "Targets" o cintas reflectivas; b.) Estación total utilizada para el levantamiento de puntos de referencia, mojones y targets. ....	44
Foto 7: Equipo de Tomografía Eléctrica SAS 4000 de (ABEM Instrument AB, 2009).....	45
Foto 8: Extensión de carretes cada dos metros. Fuente: La Autora. ....	46
Foto 9: a.) Electrodo rojo de periodo largo; b.) Electrodo azul de periodo corto. ....	47
Foto 10: a.) Muestra inalterada PM1; b.) Muestra inalterada PM2; c.) Muestra alterada PM3. ....	48
Foto 11: Muestra de suelo húmedo.....	49
Foto 12: a.) Muestra pesada antes de lavado; b.) Muestras pesadas (5kg) para realizar granulometría; c.) Lavado de muestra por el tamiz #200; d.) Tamizador.....	49
Foto 13: a.) Muestras secadas al ambiente; b.) Muestras pasadas por el tamiz # 40; c). Casagrande con muestra después de 15 golpes. ....	50
Foto 14: a.) Muestra de 1 cm de diámetro; b). Muestra sobre el vidrio esmeril; c). Fractura de la muestra; d). Muestra fracturada en taras. ....	51
Foto 15: a). Perfilador con muestra PM2 inalterada; b). Remoldeo de muestra PM3 alterada; c). Preparación del equipo; d). Fallamiento de probetas. ....	52
Foto 16: a.) Recolección de caudal; b.) Medida de las alturas en el tubo piezométrico.....	52
Foto 17: Impermeabilización de taludes con plásticos. Calle Gonzalo Pizarro. ....	55
Foto 18: a.) Vista de una galería donde se ve el agua siendo drenada; b.) Toba de cristal..	56
Foto 19: a.) Tobas meteorizadas; b.) Suelos rojizos (arcillas); c.) Suelos morados (limos). .	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales dominios fisiográficos del cantón Zaruma. ....	10
Tabla 2: Clasificación de movimientos de ladera .....	16
Tabla 3: Principales factores condicionantes y detonantes de los movimientos de ladera. ..	24
Tabla 4: Velocidad de los movimientos de ladera. ....	25
Tabla 5: Diferentes etapas de trabajo de gabinete con su respectivo software. ....	53
Tabla 6: Desplazamiento entre el primer y segundo monitoreo.....	58
Tabla 7: Valores de deformación efectiva. ....	61
Tabla 8: Clasificación de acuerdo a la velocidad.....	61
Tabla 9: Parámetros utilizados en las líneas de ERT.....	71
Tabla 10: Coordenadas iniciales y finales de las líneas. ....	71
Tabla 11: Coordenadas de la ubicación de muestras.....	78
Tabla 12: Resumen de valores obtenidos en el laboratorio para la clasificación de suelos. .	79
Tabla 13: Resumen de los resultados de ensayos de laboratorio. ....	79

## RESUMEN

La presente investigación está enfocada en el estudio y problemática relacionada con el movimiento de ladera de la calle "Gonzalo Pizarro" de la ciudad de Zaruma. Se cree conveniente aplicar múltiples métodos, integrando nuevas tecnologías como escáner láser 3D, GPS diferencial, geofísica y métodos geotécnicos para, de esta manera obtener resultados más eficaces que nos permitan conocer la correcta realidad de la zona de estudio. De acuerdo con los rangos del GPS diferencial, el movimiento se desplaza a velocidades relativamente lentas, lo que se relaciona con los valores de desplazamiento generados por la diferencia de elevaciones realizado con escáner laser 3D; los perfiles de tomografía de 44resistividad eléctrica muestran valores realmente altos, atribuidos a tobas de cristal propios de la zona de estudio, también se observan anomalías positivas atribuidas a galerías de trabajos mineros; los ensayos geotécnicos muestran suelos residuales alterados de la roca principal, lo que puede atribuirse a la inestabilidad del terreno; todos estos datos obtenidos nos permiten definir el movimiento de ladera como una reptación, con posible subsidencia ocasionada por los trabajos mineros que existen debajo de la zona de estudio.

**Palabras clave:** Movimiento de ladera, escáner láser terrestre, DGPS, ERT.

## **ABSTRACT**

The present investigation is focused in the study and problematic related to the slope movement of the street "Gonzalo Pizarro" of the city of Zaruma. It is convenient to apply multiple methods, integrating new technologies such as 3D laser scanner, differential GPS, geophysics and geotechnical methods, in order to obtain more effective results that allow us to know the correct reality of the study area.

According to the differential GPS ranges, the movement moves at relatively slow speeds, which is related to the displacement values generated by the difference of elevations made with 3D laser scanner; the profiles of electrical resistivity tomography show really high values, attributed to glass tuffs typical of the study area, also positive anomalies attributed to galleries of mining works are observed; the geotechnical tests show altered residual soils of the main rock, which can be attributed to the instability of the terrain; all these obtained data allow us to define the slope movement as a creep, with possible subsidence caused by the mining works that exist under the study area.

**Keywords:** Landslide, terrestrial laser scanner, DGPS, ERT.

## INTRODUCCIÓN

La región Sur del Ecuador constantemente se ha visto afectada por la problemática de los movimientos de ladera. Estos ponen en constante peligro a la población y su infraestructura, y conllevan a desastres con grandes pérdidas económicas e incluso la vida de sus pobladores. Zaruma ha sido afectada por una serie de movimientos de ladera y hundimientos del terreno en la parte urbana de la ciudad, situación que pone en alto riesgo a sus habitantes e infraestructura. Esta ciudad declarada como Patrimonio Cultural del Estado Ecuatoriano, requiere de una atención a este tipo de problemática.

Por ello, la Titulación de Geología y Minas, de la Universidad Técnica Particular de Loja, entre sus líneas de investigación sobre riesgos geológicos, plantea a través de este proyecto obtener un diagnóstico sobre la situación del movimiento de ladera de la calle “Gonzalo Pizarro”, que involucra el conocer su geometría, cinemática y factores condicionantes que contribuyen a la generación del mismo, a través de la aplicación de técnicas geofísicas, geodésicas y geotécnicas.

Los movimientos de ladera son usualmente monitoreados por varios métodos, la combinación de estos muestran resultados más confiables del proceso geodinámico. El principal método directo de análisis geodésico que se ha empleado para esta investigación es el sistema de GPS diferencial utilizado para comparar el desplazamiento y velocidad del área de estudio; otro método geodésico que se ha empleado es el láser escáner 3D, es una técnica de teledetección que actualmente está siendo utilizada por diferentes grupos en el seguimiento y evaluación de riesgos de movimientos de ladera, ya que tiene una gran capacidad para adquirir con precisión nube de puntos de la superficie de terreno; en cuanto a geofísica se ha utilizado el método de tomografía de resistividad eléctrica (ERT), el mismo que ha servido para analizar las diferentes resistividades que existen en el subsuelo, que se interpretan y relacionan con la geología de la zona de estudio; mediante los diferentes ensayos geotécnicos en cambio se ha determinado el comportamiento físico-mecánico de los suelos que conforman el movimiento de ladera.

El presente documento contiene el desarrollo de la investigación, estructurado de la siguiente forma: en el capítulo I se encuentran las características generales de la zona de estudio. El capítulo II contiene el marco teórico referente al tema, donde se menciona conceptos básicos de movimientos de ladera y la teoría de los diferentes métodos utilizados. En el capítulo III se describe de manera detallada el desarrollo de la metodología empleada para alcanzar los objetivos propuestos. El capítulo IV presenta los resultados y discusión de los análisis comparativos que se ha utilizado en cada método y finalmente se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## ANTECEDENTES

“Los movimientos de ladera son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos mundialmente, causando miles de muertes y daños en las propiedades con pérdidas estimadas en decenas de billones de dólares cada año” (Brabb & Harrod, 1989). Los desastres que causan estos movimientos tienen un gran impacto en los países en desarrollo debido a la creciente vulnerabilidad social de las comunidades rurales y urbanas. En las últimas décadas, los desastres por movimientos de ladera en América Latina provocados por la precipitación y los terremotos también han aumentado considerablemente (Alcántara-Ayala & Oliver-Smith, 2014).

El crecimiento demográfico en las ciudades de los Andes ha originado zonas urbanas que se convierten en áreas propensas a los movimientos de ladera, éstos afectan principalmente a los asentamientos urbanos situados en las ciudades de las cuencas Intramontañosas Neógenas de los Andes. Este crecimiento exige uso de nuevos territorios para el desarrollo y expansión urbana, lo que conlleva a la deforestación y la ocupación de las laderas. En primer lugar, la deforestación es un factor principal que causa deslizamiento superficial e intensifica fenómenos relacionados al torrente; en segundo lugar, la urbanización de las laderas siempre está vinculada a un riesgo implícito de movimientos de ladera a causa de las malas condiciones del terreno (Soto, et al., 2017). Suarez Díaz (1998) manifiesta que “Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia, como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas”.

La ciudad de Zaruma, dada su ubicación geográfica, geomorfología de sus terrenos, factores geodinámicos externos e internos, está condicionada bajo ciertas amenazas de desastre natural de tipo sísmica o de movimientos de ladera, lo cual afecta la seguridad de la población y calidad de las viviendas. Los movimientos de laderas en esta zona representan peligros por deslizamientos, derrumbes y hundimientos, la mayoría de origen natural, aunque se especula que algunos de estos fenómenos se han incrementado con la explotación de las minas que se desarrollan en el territorio; la falta de técnicas apropiadas para la explotación, una inadecuada planificación territorial, el control y regulación son entre otros los factores que provocan ahora movimientos de ladera y hundimientos del terreno en ciertos sectores de la ciudad. (UNL, PNUD, & SNGR, 2012).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General.**

Determinar la geometría y evolución del movimiento ladera en la calle "Gonzalo Pizarro" de la ciudad de Zaruma, aplicando métodos geofísicos y geodésicos.

### **Objetivos Específicos.**

1. Caracterizar geológica y geotécnicamente el área de estudio.
2. Determinar los valores de resistividad del suelo aplicando líneas de tomografía eléctrica (ERT).
3. Determinar la evolución dinámica con la aplicación de laser scanner y/o DGPS
4. Determinar el tipo de movimiento, su geometría, mecanismos de ruptura y las posibles causas que han producido el deslizamiento.

**CAPÍTULO I**  
**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LA ZONA**

## 1.1 Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicada al Sur-Oeste del Ecuador, en la provincia de El Oro, ciudad de Zaruma, en la calle Gonzalo Pizarro (Figura 1). El centro del área del proyecto se encuentra en las coordenadas 654767 Este y 9592013 Norte, a una altura de 1120 msnm (UTM WGS-84, zona 17S).

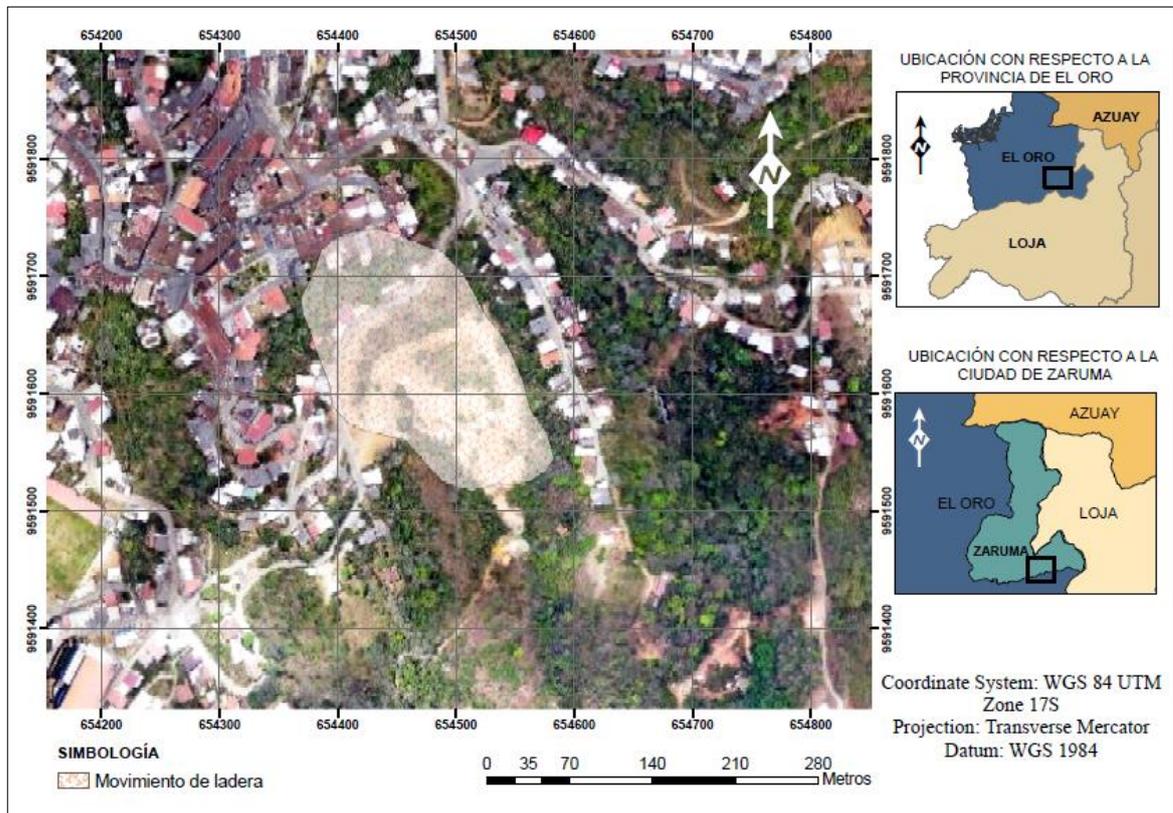


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fuente y Elaboración: La Autora.

## 1.2 Acceso

Para acceder a la zona de estudio, se debe viajar 130 Km desde la ciudad de Loja a través de una vía de segundo orden, pasando por Catamayo- Las Chinchas- Portovelo hasta llegar a la ciudad de Zaruma (Figura 2), se llega aproximadamente en 3h30min. Además existen otras rutas de acceso hacia el sector entre ellas: Loja-Catamayo-Balsas-Piñas-Portovelo hasta Zaruma, o viajar 78,3 Km desde la ciudad de Machala, pasar por Zaracay-Piñas hasta Zaruma.

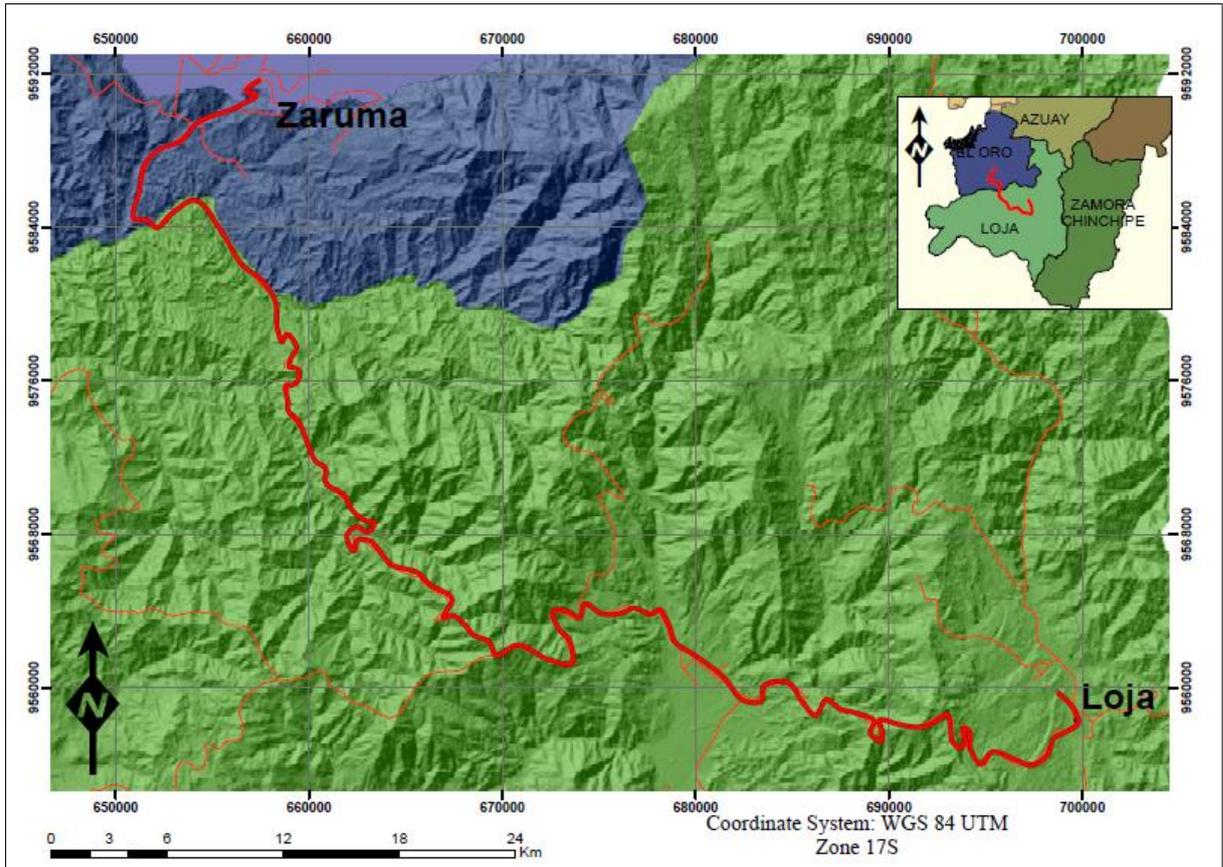


Figura 2: Acceso a la zona de estudio. Vía Loja-Zaruma.

Fuente y Elaboración: La Autora.

### 1.3 Climatología

En Ecuador se aplican varias clasificaciones internacionales, según el sistema de Koppen que se basa en la temperatura y la precipitación, Zaruma cuenta con un clima mesotérmico semi-húmedo y lo clasifica como Aw (Equatorial savannah with dry Winter) con una temperatura media anual de 22.5°C y una precipitación media aproximada de 1547 mm, la precipitación es más baja en agosto, con un promedio de 7mm, y en febrero, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 294 mm, y según la clasificación de Cañadas que toma en cuenta la disminución altitudinal de la temperatura, Zaruma tiene un clima subtropical que va de los 18 a 22°C. (Ministerio de Transportes y Obras Públicas, 2014). Las principales causas para que Zaruma cuente con este clima son la Corriente cálida de El Niño, ya que esta produce el aumento de la temperatura y abundantes precipitaciones, durante su influjo se produce el invierno en la costa y se presenta en los meses de diciembre a mayo; y la Corriente fría de Humboldt, que impide la evaporación del agua y la formación de nubes, donde baja la temperatura del ambiente e impide las lluvias, ejerce su acción de mayo a diciembre, período que en la costa es conocido como verano. (MTO, 2014)



de la Cordillera Occidental de los Andes, caracterizada por zonas altas cortadas abruptamente por valles profundos y encañonados (MAGAP, 2016). Este cantón se encuentra en la denominada Sierra Sur, que va desde Zaruma hasta la frontera con el Perú, los materiales volcánicos son relativamente antiguos y desgastados por la erosión, esta zona pertenece al llamado volcanismo antiguo.

Según MAGAP (2016), en el cantón Zaruma se pueden diferenciar cinco dominios fisiográficos que se representan en la tabla 1.

Tabla 1: Principales dominios fisiográficos del cantón Zaruma.

DOMINIOS FISIGRÁFICOS	UNIDAD MORFOLÓGICA	UNIDAD GENÉTICA
<b>CIMAS FRÍAS DE LAS CORDILLERAS OCCIDENTAL Y REAL</b>	Paisajes Glaciares	MODELADO GLACIAR
	Paisajes de páramo periglaciario y huellas glaciares.	
	Relieves de los márgenes de las cimas frías	
<b>VERTIENTES EXTERNAS DE LA CORDILLERA REAL</b>	Relieves diversificados sobre materiales volcánicos antiguos	TECTÓNICO EROSIVO Y DEPOSICIONAL
	Vertientes homogéneas sobre granitos y granodioritas	
	Relieves escarpados sobre rocas metamórficas, sin cobertura piroclástica	
	Zonas deprimidas o abrigadas	
<b>VERTIENTES Y RELIEVES DE CUENCAS INTERANDINAS</b>	Vertientes y relieves superiores de las cuencas interandinas	TECTÓNICO EROSIVO Y DEPOSICIONAL
	Vertientes y relieves inferiores de las cuencas interandinas	
<b>RELIEVES DE FONDO DE CUENCAS INTERANDINAS</b>	Relieves de fondo de cuencas interandinas	TECTÓNICO EROSIVO Y DEPOSICIONAL
	Vertientes heterogéneas y las vertientes abruptas	
<b>MEDIO ALUVIAL DE SIERRA</b>	Sistemas fluviales	DEPOSICIONAL

Fuente: MAGAP (2016).

Elaboración: La Autora.

Una de las características más destacadas de este cantón es la presencia de los diferentes dominios fisiográficos que caracterizan a la Cordillera, enlazando altitudinalmente las zonas más altas (3.800 msnm como cota máxima), representadas por las Cimas frías, hasta las zonas bajas (600 msnm), representadas por los Relieves de fondo de Cuencas Interandinas. Este hecho da lugar a una gran variedad de ambientes y contextos morfológicos, con la aparición de un numeroso tipo de geoformas. Los paisajes glaciares presentan, aunque en extensión reducida, algunas geoformas características: circos y cubetas glaciares, fondos y

vertientes de valle glaciar y algunas otras que son comunes a varios contextos de Cimas frías, como son los depósitos glaciares que ya han sido remodelados, por acción del agua y permanecen como testigos de la extensión del modelado glaciar. En el otro extremo, el dominio fisiográfico Relieves de fondo de Cuencas Interandinas, aunque en reducida extensión, presenta un modelado ligado casi exclusivamente a la evolución de laderas (Foto 1).



Foto 1: Vista general de la geomorfología del cantón Zaruma. Se observan relieves tipo R5 (Relieve colinado alto) y R6 (Relieve colinado muy alto).

Fuente y Elaboración: La Autora.

## 1.6 Geología Regional

La subducción de la placa de Nazca del Océano Pacífico bajo el continente sudamericano produjo la deformación de la corteza que forma la Cordillera de los Andes hace 25 millones de años. Las fuerzas de compresión resultantes han producido varias cuencas tectónicas Terciarias y Cuaternarias a lo largo de importantes fallas regionales que cortan tanto el piedemonte del Pacífico como el de la Amazonía y la propia cordillera de los Andes. Zaruma se encuentra dentro del graben inter-andino compresional que está limitado por fallas de escala regional. El graben se compone de gruesas secuencias volcano-sedimentarias de Oligoceno a Mioceno que cubren los terrenos Chaucha, Amotape y Guamote. Esta zona estructural alberga varios e importantes depósitos de tipo epitermal, pórfido, mesotérmico de granitoide tipo S, ultramáficos y metales preciosos. A nivel regional el área se encuentra ubicada en la región austral del país, en una zona de transición entre los Andes nórdicos y los Andes centrales (Billingsley 1926; Thournout et al., 1996).

La zona presenta la existencia de dos series volcánicas Miocénicas? que son el resultado de una evolución magmática emanada posiblemente dentro de un mismo centro eruptivo. En su gran mayoría mantiene una litología constituida de andesitas-cuarcíferas perteneciente a la

Unidad Portovelo y de rocas intrusivas que son parte de la Unidad Pallatanga (Pratt , Figueroa, & Flores, 1997).

Según Billingsley (1926) y Thournout, et al. (1996) las rocas volcánicas que cubren la mayoría de esta área se atribuyen a la formación Celica, sin embargo estratigráficamente es difícil su identificación. De este a oeste tenemos tres series que son (Figura 4):

#### **1.6.1 Serie Muluncay.**

Está conformado principalmente por piroclastos. Estos volcánicos son descubiertos al este de Zaruma en el camino del bosque como en el río que lleva su mismo nombre en las declinaciones de Minas Nuevas y Huertas y en los declives sobre el Río Amarillo al noroeste de Portovelo.

Tiene principalmente lavas andesíticas traquíticas de grano fino que se intercalan con brechas andesíticas y tobas riolíticas las cuales son en su mayor parte de grano muy grueso.

#### **1.6.2 Serie Andesita Portovelo (Complejo Volcánico)**

Se constituye por una masa de andesitas porfirítica. Newton Knox, describe al complejo volcánico como un bloque de fluido y brechas volcánicas las cuales han sido arrojadas al sur occidente e introducidas por una serie compleja de andesitas magmáticas (andesitas Portovelo).

#### **1.6.3 Serie Faique**

Estas rocas volcánicas de naturaleza piroplástica se consideran las rocas más bajas de esta serie. La serie Faique y Muluncay son muy parecidas excepto que la serie Faique tiene un alto porcentaje de andesita feldespática, la misma que se desgasta con alta facilidad.

Su unidad volcánica y subvolcánica ácidas, masivas, estratificadas o brechosas en parte silicificadas y caolinizadas, posiblemente se hallan enlazadas al sistema de diques los principales son: Cerro Zaruma Urcu – y Cerro de Santa Bárbara. Esto indicaría que ambos cerros tienen composición piroclástica, riolítica, como producto de una actividad explosiva erosionada hasta ser expuestos los diques de la parte superior.

Estudios posteriores indican dos unidades en la zona de Zaruma, estas son:

#### **1.6.4 La Unidad Portovelo**

Según Pratt et al. (1997), esta unidad aflora al norte de la Falla Piñas-Portovelo entre Zaruma y Huertas, en Salvias y en el Río San Luis, donde sobreyace inconformemente al basamento metamórfico. Comprende lavas basalto-andesíticas y andesíticas, ricas en cristales (plagioclasa, anfíbol y augita), tobas andesíticas muy meteorizadas y tobas dacíticas. Datos

geoquímicos limitados indican una composición andesítica de afinidad calco-alcalina. Antes fueron considerados como parte de la Formación Celica y/o Formación Piñón, sin embargo, aquí se encuentran relacionados con el volcanismo oligocénico del Grupo Saraguro.

### 1.6.5 Rocas Intrusivas

Gabros y microgabros con textura variolítica común, ocurren como parte, de la Unidad Pallatanga. Cuarzo dioritas y granodioritas (tonalitas) están ampliamente esparcidas dentro de las rocas metamórficas.

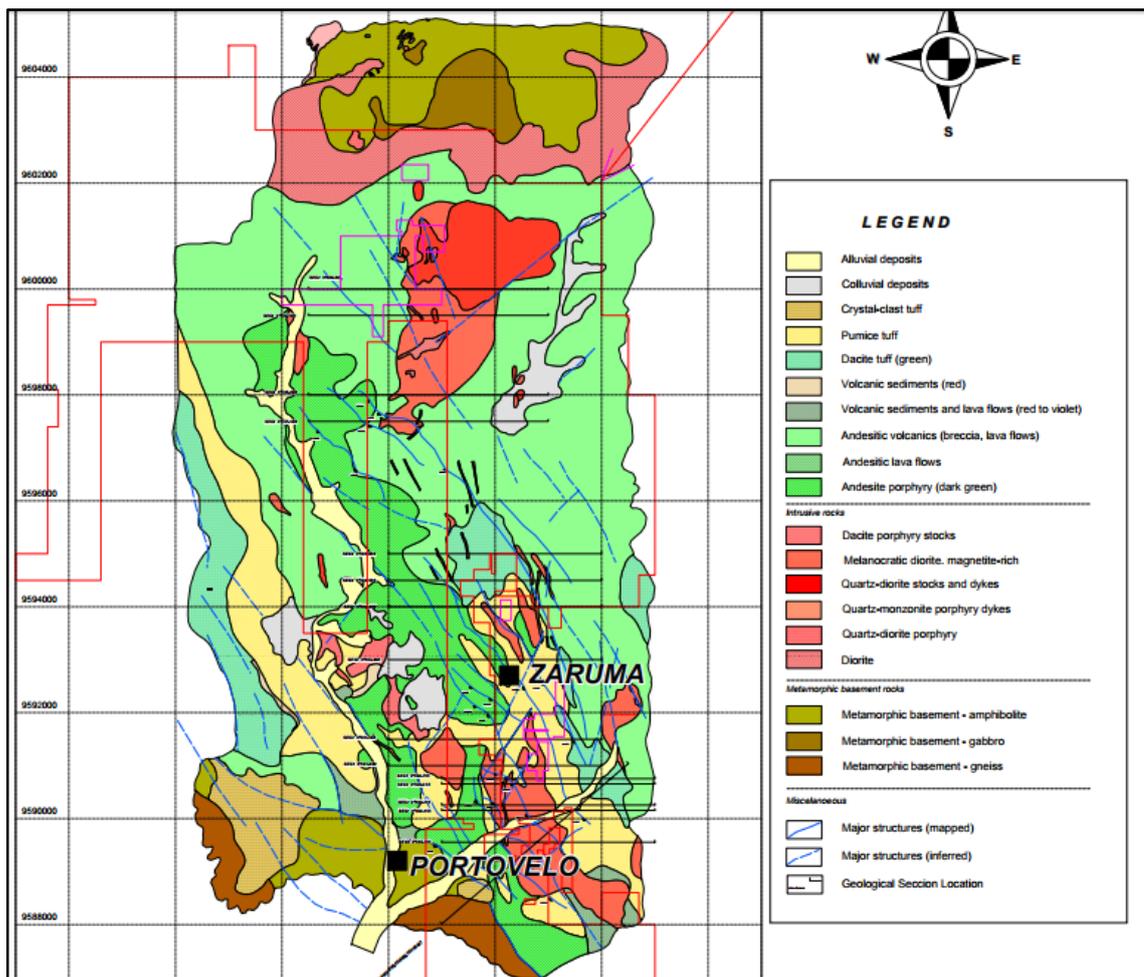


Figura 4: Mapa geológico de Zaruma.

Fuente y Elaboración: (Miroslav, 2004).

**CAPÍTULO II**  
**MARCO CONCEPTUAL**

## **2.1 Movimiento de ladera**

Un movimiento de ladera, “slope movement” (Varnes, 1978) o “landslide” (Sharpe, 1938), se define como el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente (Cruden, 1991). Se incluye cualquier tipo de movimiento en masa (se excluye por tanto la erosión), excepto la subsidencia y el hundimiento kárstico (Fernández, 2001). Otra definición que se le atribuye en términos análogos es la aportada por Corominas y García Yagüe definiendo movimientos de ladera como los movimientos del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad (Corominas y García Yagüe, 1997). Los hundimientos de cavidades o de materiales están excluidos de estos movimientos (Varnes, 1978).

## **2.2 Clasificación de los movimientos de ladera.**

Los movimientos de ladera han sido clasificados por una gran variedad de características. Los diversos sistemas de clasificación han sido propuestos por varios autores como Sharpe (1938); Terzaghi (1950); Crozier (1973); Coates (1977); Hoek & Bray (1977); Malatrait Letourneur & Antoine (1977); Varnes (1984).

A continuación en la Tabla 2 se presenta una breve descripción de algunos tipos o grupos de movimientos que tienen características morfodinámicas y morfológicas particulares. Estos movimientos basados en la clasificación (Varnes, 1984) (PMA-GMA, 2007) son los siguientes:

Tabla 2: Clasificación de movimientos de ladera

MECANÍSMO	TIPO DE MOVIMIENTO	CARACTERÍSTICA
<b>Caídas</b>	Caída de roca	Caen rocas individuales por el aire y pueden acumularse como talud.
<b>Deslizamientos</b>	Deslizamiento traslacional	La masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada.
	Deslizamiento rotacional	La masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava.
	Desprendimiento de roca	Grandes bloques de roca se desprenden en una superficie plana, como planos de estratificación o foliación.
<b>Flujo</b>	Avalancha	Flujo granular de diferentes combinaciones de nieve, hielo, detritos o suelo que se mueve con mucha rapidez pendiente abajo.
	Arrastre	Movimiento muy lento ladera abajo de rocas y suelo.
	Flujo de tierra	Masa de suelo y roca erosionada húmeda, parcialmente cohesiva e internamente deformada.
	Flujo de detritos	Mezcla fluida de rocas, arena, lodo y agua que es intermedia entre un deslizamiento de tierra y un flujo de agua; incluye flujos de lodo y lahars.
<b>Reptación</b>	Reptación de suelos	Es un movimiento superficial lento y continuo, con materiales de baja cohesión, favorecidos por el agua.
	Soliflucción, geliflucción	Se desarrolla en las zonas de alta humedad y de baja temperatura (paramos, áreas periglaciares glaciares, etc.)
<b>Propagación lateral</b>	Propagación lateral	Son desplazamientos en sentido lateral o casi horizontal, en donde subyacen masas rocosas fracturadas y materiales de composición arcillosa
<b>Volcamiento</b>	Volcamiento de bloques	
	Volcamiento flexural de macizo rocoso	Son movimientos producidos por colapsos de material rocoso, se caracterizan por una heterogeneidad litológica y estructural.
	Complejo	Una combinación de dos o más tipos de deslizamiento, flujo y ocasionalmente caídas

Fuente: PMA-GMA (2007).

Elaboración: La Autora.

### 2.2.1 Caídas de roca

Representa la disgregación rápida de un volumen de material litológico a lo largo de una superficie sobre la cual ocurre muy poco desplazamiento cortante. Este movimiento ocurre generalmente en zonas de alta pendiente y la gravedad constituye el principal agente motor. Las caídas son generalmente movimientos intermitentes en caída libre, asociados a escarpes de rocas duras y fracturadas; el volumen de material afectado generalmente es bajo y representa fragmentos independientes (Vargas Cuervo, 2000) (Figura 5).



Figura 5: Caída de roca. a.) Caída de cantos y bloques; b.) Caída de rocas en la vía "El Descanso-Paute", Azuay, Ecuador.

Fuente y Elaboración: a.) Copons, 2007; b.) Marín (2017).

## 2.2.2 Deslizamiento

Es una deformación frágil de masas coherentes de suelos geotécnicos o macizos rocosos por desplazamiento de la masa sobre una superficie de ruptura que puede ser: plana, cilíndrica o compuesta, en la que la deformación no necesariamente afecta el interior de la masa (Chacón, Irigaray, & Fernández, 2007), pero si tiene una zona de acumulación de material bien definida (PMA-GMA, 2007). Incluye deslizamientos traslacionales, rotacionales y deslizamientos complejos. Los deslizamientos complejos resultan de la deformación del talud o la ladera por la combinación simultánea y/o sucesiva de algunos de los diferentes tipos de los movimientos de ladera, a lo largo del período activo del movimiento (Chacón et al., 2007).

### 2.2.2.1 Deslizamiento traslacional.

Es un deslizamiento en el que la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. Estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden & Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla se da cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek & Bray, 1981) (Figura 6).

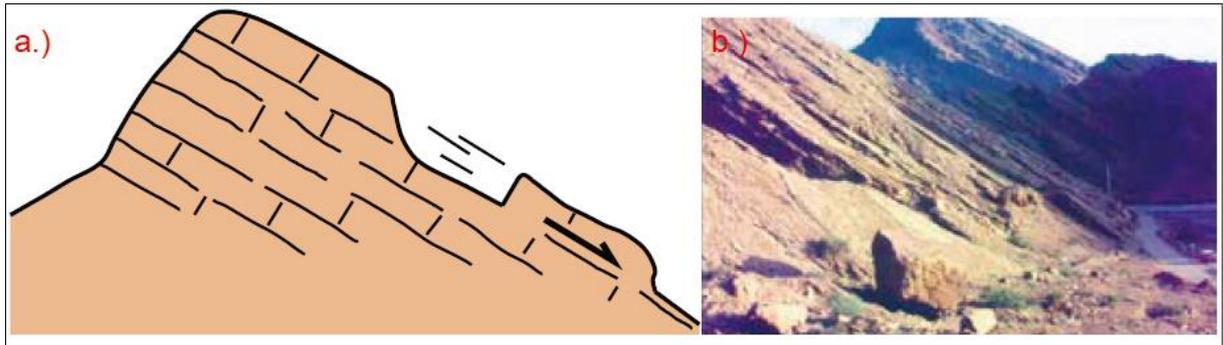


Figura 6: a.) Deslizamiento translacional llamado resbalamiento; b.) Plano de falla, Quebrada la Troya, Argentina.

Fuente y Elaboración: a.) Corominas Dulcet y García Yagué (1997); b.) SEGEMAR.

### 2.2.2.2 Deslizamiento rotacional.

En este tipo de deslizamiento la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava (Figura 7). Los movimientos en masa rotacionales se distinguen por presentar un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. El mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas (PMA-GMA, 2007).

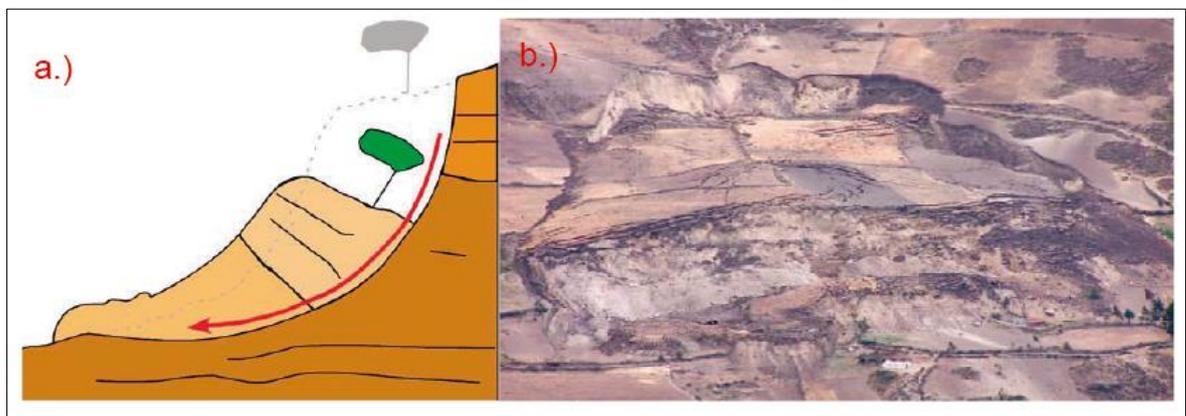


Figura 7: a.) Esquema de deslizamiento rotacional; b.) Deslizamiento rotacional ocurrido en la Provincia de Chimborazo, Paccha, Ecuador.

Fuente y Elaboración: a.) Servicio geológico de Canadá; b.) Kashypa Yada.

### 2.2.3 Flujos

Son movimientos relativos que se desplazan a lo largo de una superficie de falla bien definida, por lo regular de orden planar, generalmente están compuestos de material de textura fina y gruesa. Aunque comúnmente los flujos están caracterizados como movimientos rápidos y compuestos por lodos, también pueden ser lentos y compuestos por rocas y suelos no

saturados. En general, estos movimientos se caracterizan por la forma alargada y estrecha del contorno del mismo. Se diferencian de los deslizamientos por su morfología de conjunto en lámina sobre una pendiente o por el encauzamiento sobre un drenaje o cauce (Vargas Cuervo, 2000).

Hungr, Evans, Bovis, & Hutchinson (2001), clasifican los flujos de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles.

La descripción de los siguientes tipos de flujo se basa principalmente en los autores ya mencionados (Varnes, 1978; Hungr, et al., 2001; Hungr, 2005).

### **2.2.3.1 Avalanchas.**

Son movimientos de una masa de nieve o hielo sobre una ladera asociada a zonas glaciares de alta montaña. Las avalanchas de nieve se producen por desprendimientos de cuerpos de nieve o hielo a través de fracturas o superficies determinadas por cambios de densidad existentes entre estos materiales. El principal agente es la gravedad. Las avalanchas pueden variar desde un pequeño e inofensivo flujo superficial a una gigantesca masa destructiva y letal que puede alcanzar los 100 millones de metros cúbicos y una presión de impacto de 200 toneladas por metro cuadrado con velocidades de 300 Km/h (Marbouty, 1981). Las avalanchas más frecuentes (80%) y proporcionalmente más peligrosas, son de nieve fresca y ocurren después de una nevada.

### **2.2.3.2 Flujo de tierra.**

Es un movimiento intermitente lento, de suelo arcilloso plástico (Hungr et al., 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutchinson, 1988). El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos (Figura 8a). Las velocidades medidas en flujos de tierra generalmente están en el intervalo de  $10^{-5}$  a  $10^{-8}$  mm/s, y por tanto son generalmente lentos o extremadamente lentos (PMA-GMA, 2007).

### **2.2.3.3 Flujo de detritos.**

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su

trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (PMA-GMA, 2007) (Figura 8b).

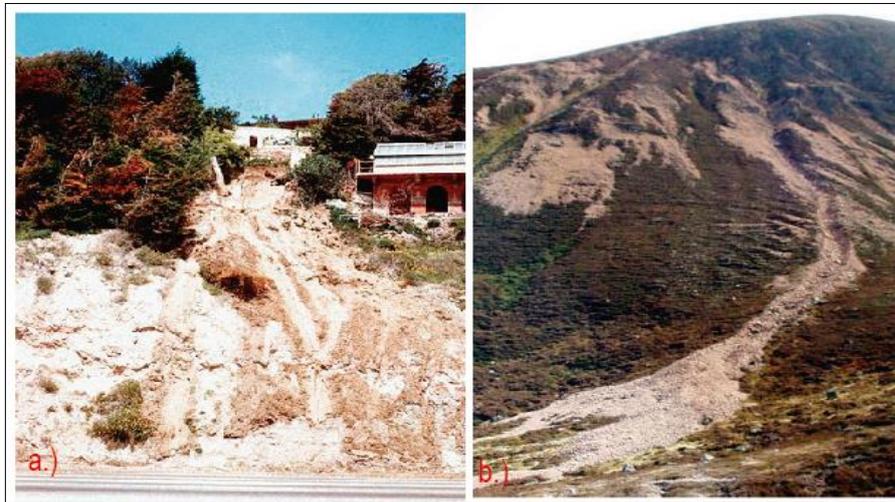


Figura 8: Flujos. a.) Flujo de tierra; b.) Flujo de detritos.

Fuente y Elaboración: (Castro, 2005)

## 2.2.4 Reptación

### 2.2.4.1 Reptación de suelos.

Son movimientos superficiales de terreno, con materiales de baja cohesión, que se desplazan mediante velocidades muy lentas (del orden de mm/año a dm/año) en donde no se distingue una superficie de falla, pero desarrollan varias geoformas o características que permiten su detección como: rugosidades del suelo, efectos de geotropismo en los árboles, desplazamiento de cercas, morfología suavemente ondulada con abombamientos locales, etc. (Figura 9). Su efecto destructivo es bajo pero puede causar daños moderados en estructuras que suelen tener reparación. Puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (Vargas Cuervo, 2000).

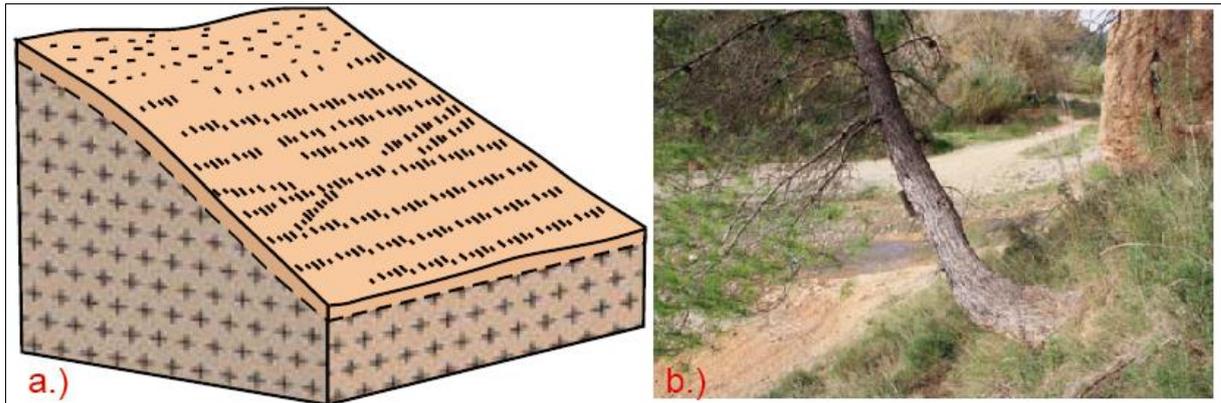


Figura 9: a.) Reptación de suelos; b.) Árbol inclinado por reptación superficial.

Fuente y Elaboración: Corominas y Yagué (1997).

#### 2.2.4.2 Solifluxión y gelifluxión.

Se desarrollan en las zonas de alta humedad y de baja temperatura (paramos, áreas periglaciares glaciares, etc.). Allí el movimiento es provocado por una diferencia de comportamiento entre los horizontes más superficiales y los niveles más profundos. Los horizontes superficiales muestran un mayor estado de alteración debido al continuo congelamiento y descongelamiento de los materiales (Vargas Cuervo, 2000) (Figura 10). Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo (PMA-GMA, 2007).

La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos (PMA-GMA, 2007).

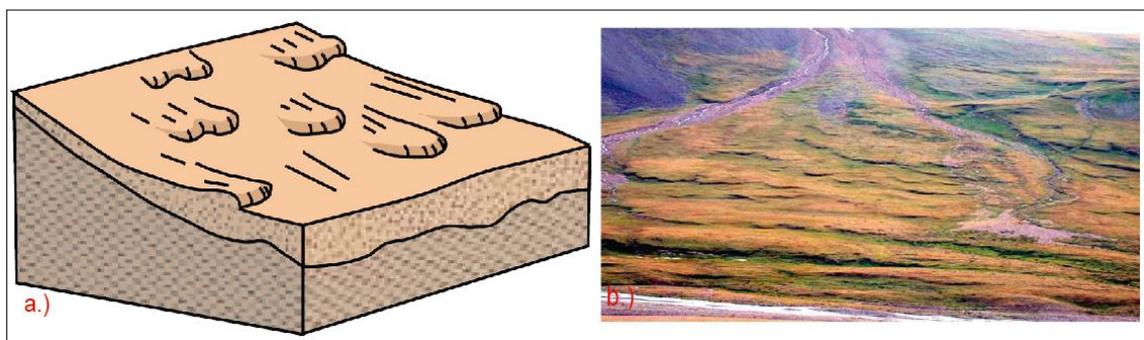


Figura 10: Solifluxión. a.) esquema de solifluxión; b.) Solifluxión en zonas dehabilitadas.

Fuente y Elaboración: a.) Corominas y Yagué (1997); b.) (Castro, 2005).

### 2.2.5 Propagación lateral

Son desplazamientos de terreno (rocas, suelos, detritos) en sentido lateral o casi horizontal, en donde subyacen masas rocosas fracturadas y materiales de composición arcillosa. Estos movimientos se relacionan con los fenómenos de licuación o movimientos plásticos de los materiales por la actividad sísmica. En general estos tipos de movimientos son lentos, de características complejas y de difícil apreciación sobre el terreno (Vargas Cuervo, 2000).

La mayoría de los deslizamientos y los flujos involucran algún grado de expansión. Las propagaciones laterales pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o el flujo.

Las propagaciones laterales pueden desarrollarse y evidenciar deformación plástica de materiales frágiles bajo el peso de una unidad competente (PMA-GMA, 2007) (Figura 11).

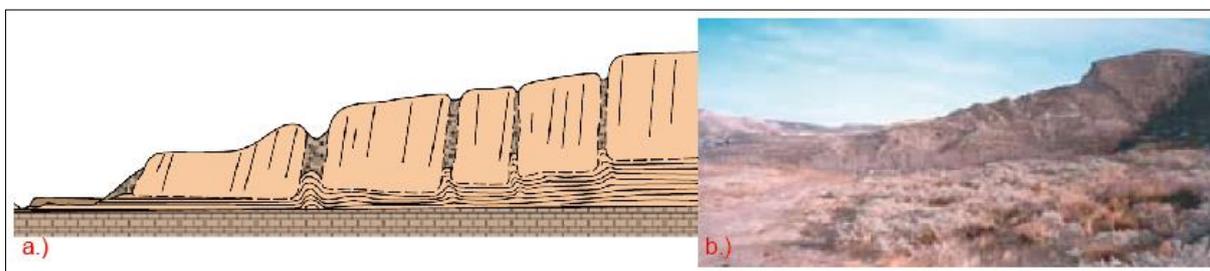


Figura 11: Propagación lateral.

Fuente y Elaboración: a.) Varnes (1978); b.) IGRM-SEGEMAR.

### 2.2.6 Volcamientos

Son movimientos que se producen sobre una ladera o talud debidos a los colapsos de material rocoso, se caracterizan por una heterogeneidad litológica y estructural. El movimiento se produce por la acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes, por la presión de fluidos en grietas y por la rotación hacia delante de un paquete de rocas estratificadas o diaclasadas alrededor de un punto de giro localizado en su parte inferior (Varnes, 1978).

#### 2.2.6.1 Volcamiento de bloques.

Involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base, semejante al vuelco de libros en un estante (Figura 12a). El volcamiento de bloques es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas (Goodman & Bray, 1976).

### 2.2.6.2 Volcamiento flexural de macizo rocoso.

El vuelco flexural involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales (Nichol & Hungr, 2002) (Figura 12b).

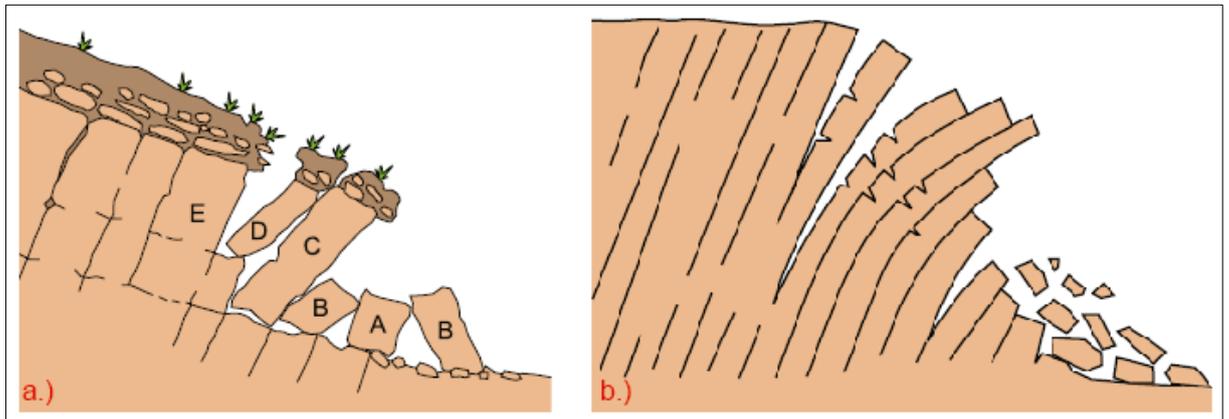


Figura 12: a.) Volcamiento de bloques; b.) Volcamiento flexural de macizo rocoso.

Fuente y Elaboración: Corominas y Yagué (1997).

### 2.2.7 Movimientos complejos

Cuando se presentan diferentes tipos de mecanismos de ruptura o de falla y la combinación de dos o más movimientos en masa, estamos ante un movimiento complejo en masa (Vargas Cuervo, 2000).

## 2.3 Factores condicionantes y desencadenantes

Para que se dé un movimiento de ladera se necesita la presencia y acción de un conjunto de factores que contribuyen a la inestabilidad. Estos factores son los condicionantes y desencadenantes; los primeros son aquellos que existen en la ladera y tienen características propias de la zona, los otros factores son procesos que contribuyen como detonante para que se dé el movimiento de ladera (Copons & Tallada, 2009). A continuación en la tabla 3 se indican los principales factores y sus características.

Tabla 3: Principales factores condicionantes y detonantes de los movimientos de ladera.

CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA		
FACTORES CONDICIONANTES	Características del sustrato geológico y pendiente	Son factores intrínsecos existentes en la ladera, causantes de que los movimientos se den en un determinado sector del terreno.
	Climatología, densidad de vegetación y los usos del suelo	Son factores externos que dependiendo de su bajo o alto grado (en determinada ladera) se puede producir un movimiento.
FACTORES DESENCADENANTES	Agua	Puede llegar a la ladera como episodios de lluvias, provocando inundaciones y movimientos de ladera, ya que aumenta el nivel freático de las aguas subterráneas lo cual favorece a la inestabilidad; en los macizos rocosos se infiltran por las diaclasas lo que desencadena los desprendimientos.
	Terremotos	Producen temblores que contribuyen a la licuefacción de los materiales arcillosos saturados en agua, a la infiltración del agua dentro del suelo y a la movilización de los cuerpos rocosos inestables situados en vertientes rocosas.
	Procesos erosivos	Cualquier tipo de erosión presente en una ladera se convierte en un factor que contribuye a su inestabilidad.
	Acciones antrópicas	Durante el transcurso de una obra de ingeniería (embalse, túnel, desmonte, excavación, etc.) se modifica la geometría y la pendiente de terreno, lo que puede provocar cambios en las condiciones de estabilidad de las laderas.

Fuente: (Copons & Tallada, 2009).

Elaboración: La Autora.

## 2.4 Mecanismos de rotura

Los mecanismos que dan lugar a la rotura de un material dependen de la geometría inicial de la ladera, la resistencia de los materiales involucrados, las condiciones hidrológicas y tipo de factor desencadenante. Los mecanismos de rotura básicos se pueden resumir en los siguientes: pandeo (deformación que tiene a curvar un cuerpo de carácter planar), colapso estructural (perdida en la continuidad de los elementos de un cuerpo), vuelco (movimiento de un cuerpo por falta de apoyo), tracción (deformación provocada por fuerzas perpendiculares a un plano y que tiende a estriar un cuerpo), cizalla (deformación provocada por fuerzas tangenciales a un plano) y fluencia (deformación plástica de un material). Para identificar estos mecanismos son necesarias detalladas observaciones geométricas, geomorfológicas y al análisis de los desplazamientos en superficie y en profundidad.

## 2.5 Mecanismos de propagación

Una vez que la rotura de un material ha tenido lugar, los mecanismos de propagación (mecanismos que controlan su propagación) dependen de la geometría del recorrido, la resistencia residual de los materiales involucrados y la presencia de agua. Los mecanismos de propagación básicos son cinco: desprendimiento, vuelco, deslizamiento, expansión lateral y flujo. La identificación de estos mecanismos se realiza a partir de la forma de la masa movida.

## 2.6 Velocidad o tasa de movimiento

La velocidad del material involucrado, es un criterio indispensable para la descripción de un movimiento de ladera. Es importante aclarar en las descripciones o clasificaciones, si la velocidad indicada es la detonante inicial o el remanente. A continuación en la tabla 4 se muestra el sistema de clasificación propuesto por (Varnes, 1978), para los movimientos en masa por su velocidad:

Tabla 4: Velocidad de los movimientos de ladera.

Clase	Descripción	Velocidad (mm/s)	Desplazamiento	Poder Destructor
7	Extremadamente rápida	$5 \times 10^3$	5m/s	Catástrofe de violencia mayor, edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape improbable.
6	Muy rápida	$5 \times 10^1$	3m/min	Alguna pérdida de vidas; velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar.
5	Rápida	$5 \times 10^{-1}$	1.8m/h	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderada	$5 \times 10^{-3}$	13m/mes	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.
3	Lenta	$5 \times 10^{-5}$	1.6m/año	Construcciones remediales se pueden realizar durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
2	Muy lenta	$5 \times 10^{-7}$	16mm/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.
1	Extremadamente lenta			Movimientos imperceptibles sin instrumentos; posible construcción pero teniendo ciertas precauciones.

Fuente y Elaboración: Varnes 1978.

## 2.7 Hundimiento y subsidencia

Un hundimiento se manifiesta como una depresión topográfica en la superficie del terreno, sin ruptura aparente, donde algunas veces, se forman cunetas poco profundas. La subsidencia puede clasificarse en función de los mecanismos que la desencadenan (Scott, 1979). Algunas causas de la subsidencia son las siguientes: las actividades extractivas de mineral en galerías subterráneas, la construcción de túneles, la extracción de fluidos (agua, petróleo o gas) acumulados en reservorios subterráneos, el descenso de nivel freático por estiajes prolongados, la disolución natural del terreno y lavado de materiales por efecto del agua, los procesos morfotectónicos y de sedimentación o los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos (Gonzalez de Vallejo, 2002).

El cloruro sódico (NaCl), el yeso y las rocas carbonáticas son materiales solubles en agua bajo determinadas condiciones, pudiendo llegar a generar grandes sistemas de huecos interconectados entre sí cuya deformación y colapso generan una subsidencia (Figura 13 a). La subsidencia minera o por construcción de obras subterráneas consiste en el hundimiento de la superficie del terreno con motivo de la deformación y/o colapso de galerías generadas para la extracción de minerales o la construcción de túneles (Tomás, Herrera, Delgado, & Peña, 2009) (Figura 13 b).

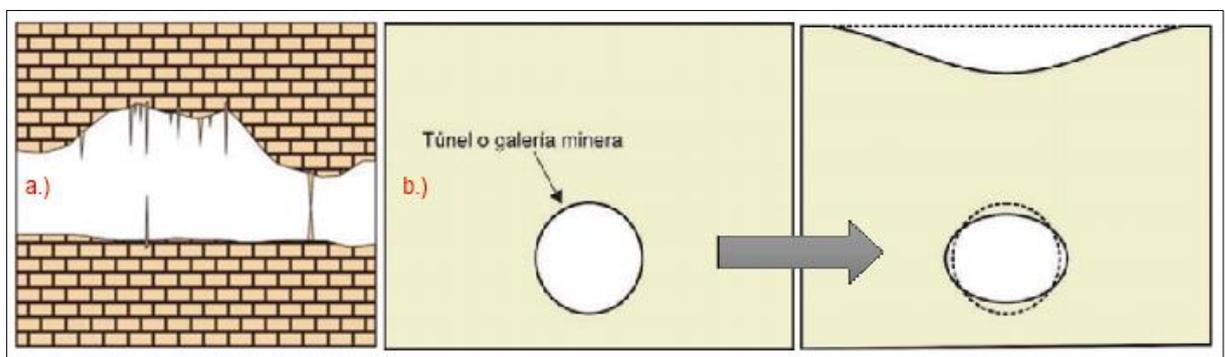


Figura 13: a.) Subsidencia kárstica; b.) Subsidencia minera.

Fuente y Elaboración: Tomás et al. (2009).

## 2.8 Técnicas que se utilizan para análisis de movimientos de ladera

En la actualidad existen muchos métodos utilizados para analizar la geodinámica de movimientos de ladera, entre ellos están los geodésicos, geofísicos y geotécnicos.

Los geodésicos sirven para posicionar, monitorear y conocer la evolución de un movimiento de ladera; mediante los geofísicos (métodos indirectos) se determinan los posibles valores resistivos del tipo de sustrato y otras condiciones físicas que componen un movimiento; y los ensayos geotécnicos (métodos directos) dan a conocer el tipo de material, sus propiedades físicas y mecánicas de comportamiento.

Todos estos métodos son utilizados en este trabajo y son descritos a continuación de manera más detallada:

### **2.8.1 Análisis geodésico**

#### **2.8.1.1 GPS Diferencial.**

Según Correira (2000) el DGPS es un sistema para corregir el error en la posición proporcionada por el GPS. Se utiliza una estación de referencia, cuya posición es conocida con una muy alta precisión para determinar el error introducido por cada satélite. Entonces dicha estación emite señales que contienen los valores de corrección a incorporar a cada satélite. El receptor, una vez en poder de estas señales, está capacitado para corregir la pseudodistancia que ha sido determinada para cada uno de los satélites. El receptor define la posición geográfica con una precisión que depende de la calidad de las informaciones de corrección recibidas y de la distancia del emisor DGPS. Existen varios sistemas de GPS diferencial, pero cualquiera que sea el sistema utilizado, el DGPS suele estar compuesto por las siguientes partes (Correira, 2000):

- Una estación de control terrena que recoge constantemente los datos emitidos por los satélites y que calcula las correcciones a introducir para cada satélite;
- Un medio de transmisión de las informaciones de corrección. El emisor puede estar situado en el mismo lugar que la estación de control o bien hallarse lejos, por ejemplo, en un satélite o formar parte de una red de estaciones de control. Las informaciones también pueden ser registradas para un posterior tratamiento;
- Un receptor capaz de recibir las informaciones de las correcciones DGPS y conectado a un receptor GPS provisto de una función de corrección diferencial. En caso de tratamiento diferido, las informaciones recibidas son simplemente grabadas, para luego ser tratadas.

El principio para establecer el tipo de movimiento con este método se basa en obtener una variación matemática de las coordenadas en tres dimensiones de cada uno de los puntos de control dentro de un rango determinado de tiempo. La posición relativa se la obtiene mediante la diferencia entre la última y la primera medición; este rango es variable y puede ir desde días, meses a años (Soto, 2010).

##### **2.8.1.1.1 Método estático rápido.**

Con este método, la distancia máxima que debe existir entre el punto de referencia de coordenadas conocidas (Estación Base) y el móvil (Rover) es de 20 km (Figura 14), estos se estacionan y dependiendo de la cantidad de satélites disponibles, la configuración y longitud de la línea base a medir y de la geometría de los satélites, se procede con la lectura de datos durante un periodo de 15 o 20 minutos por estación, lo que permite medir líneas bases en

tiempos más cortos con precisiones máximas de +/- (5 a 10 mm + 1ppm) (Guandique, López, & Martínez, 2014).

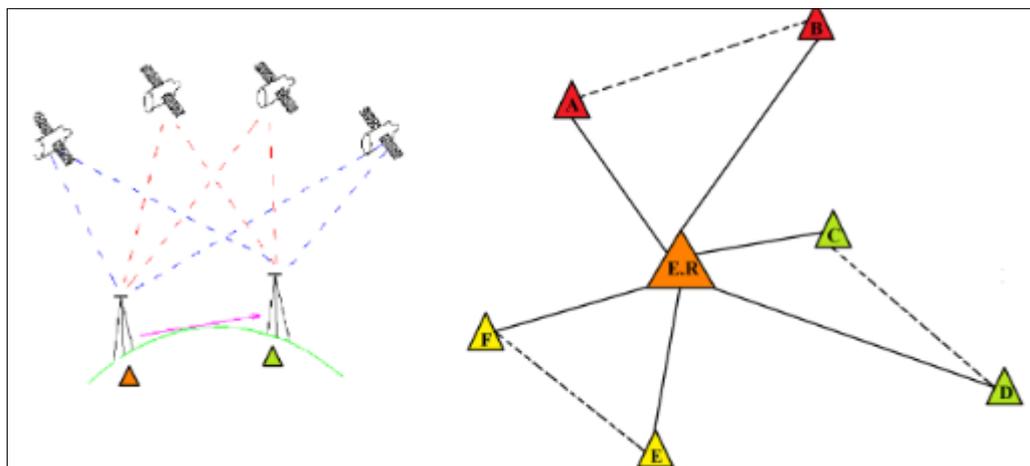


Figura 14: Esquema del Método Estático Rápido.

Fuente y Elaboración: Guandique et al. (2014)

### **2.8.1.2 Escáner Láser Terrestre.**

El láser escáner 3D es una técnica de teledetección que actualmente está siendo utilizada por diferentes grupos en el seguimiento y evaluación de riesgos de movimientos de ladera, ya que tiene una gran capacidad para adquirir con precisión nube de puntos de la superficie de terreno (Biasion, Bornaz, & Rinaudo, 2005) (Travelletti, Oppikofer, Delacourt, Malet, & Jabovedoffi, 2008).

Según Palenzuela (2015) el escáner láser puede definirse como el instrumento o sistema que analiza un objeto o ambiente físico para reunir datos de su forma e incluso de su color.

El TLS podría englobarse en una de las técnicas más modernas de medición taquimétrica con utilidad en trabajos o estudios topográficos y geodésicos. Su principal innovación tecnológica reside en la capacidad para adquirir datos con una alta resolución en poco tiempo, de forma remota y controlada por un solo operario (miles a decenas de miles cada segundo). Esta tecnología es interesante en el análisis evolutivo a corto plazo de movimientos de ladera, ya que en lugar de medir punto a punto sobre el terreno, con el escáner 3D se realiza un barrido en tiempos menores de la hora con resoluciones centimétricas (para superficies del terreno generalmente son del orden decimétrico), lo que proporciona la posibilidad de realizar levantamientos secuenciales más completos de la zona problema (Palenzuela, 2015).

#### **2.8.1.2.1 Fundamentos del TLS basado en el tiempo de vuelo del haz láser.**

Un escáner TLS de tipo TOF es un telémetro o explorador de distancia (Figura 15) capaz de escanear precisamente una superficie con una alta densidad de muestreo. La Figura 15b muestra los principios de tales sistemas: los pulsos de onda electromagnética son emitidos

con frecuencias de hasta nanosegundos en una dirección caracterizada por los ángulos acimutal ( $\phi$ ) y cenital ( $\alpha$ ). El tiempo de viaje instrumento-objetivo-instrumento se mide para obtener la distancia  $d$ . La dirección del rayo láser (1Figura 15a) es modificada por unos espejos poligonales internos, haciendo variar los ángulos  $\phi$  y  $\alpha$  en cantidades constantes  $\Delta\phi$  e  $\Delta\alpha$ . En el modelo 420i de Riegl, la deflexión vertical se realiza para barrer una línea vertical (“line scan”), y el giro de la cabeza del escáner produce un barrido horizontal para obtener el escaneo de un área o superficie (“frame scan”). El barrido vertical alcanza hasta los  $80^\circ$ , mientras que el horizontal se puede realizar en un campo de visión de  $360^\circ$ . También cuenta con una cámara fotográfica (2Figura 15a) que proporciona color al modelo fina. Tanto para la cámara, como para cualquier otro dispositivo integrado en la adquisición de datos se conocen las medidas y parámetros de calibración respecto a la salida del rayo láser en el punto de salida del espejo (origen de coordenadas de la posición de escáner) (Palenzuela, 2015).

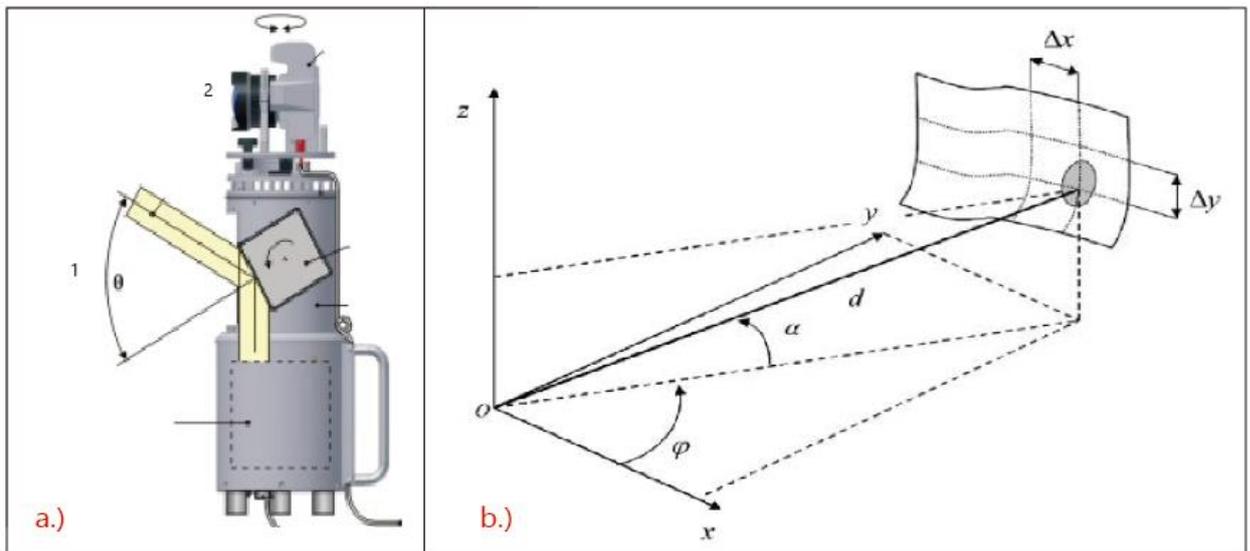


Figura 15: a.) 1 Dirección de escáner, 2 cámara integrada; b.) Modelo de barrido de escáner.

Fuente y Elaboración: Modificado de Palenzuela, (2015).

### 2.8.1.2.2 Errores en la medición con TLS.

Para obtener una medida de la calidad de los datos explorados por un escáner de láser, así como de cualquier tipo de telémetro, sería necesario un análisis pormenorizado de sus fuentes de error. Cuando se trata de investigar el error teórico, en primer lugar se necesitan datos que definan el sistema de medida; sin embargo, estos datos se determinan en condiciones muy difícilmente equiparables a los de un proceso normal de escaneado de una parte de terreno natural (rugosidad del objeto, iluminación, temperatura, presión, antigüedad del telémetro, error de calibración de la dirección del rayo con la del eje de instrumento, etc.). A esto había que sumarle la falta de algunos datos no proporcionados por los fabricantes en muchos casos. (Palenzuela, 2015)

Además, influyen los errores derivados de los procedimientos propios de cada metodología de trabajo. Por ejemplo, en el proceso de georreferenciación; la calibración de la posición y orientación del sistema de coordenadas del escáner mediante un sistema de navegación inercial (INS), o el ajuste del alineamiento de varias partes de un mismo objeto o espacio del terreno.

### **2.9.1 Análisis geofísico**

“Los diferentes métodos geofísicos que actualmente existen analizan una propiedad físico química de las rocas o alguna otra característica que se pueda relacionar con ellas, para esto se determina la distribución de esa propiedad en el subsuelo y, de este modo, se deduce un modelo de disposición geológico-estructural que pudiera crear dichas variaciones” (Porres Benito, 2003).

El método de la prospección geofísica basada en la resistividad eléctrica empezó a usarse a partir del año 1920 por los hermanos Schlumberger, aunque inicialmente sólo se aplicaban para obtener información cualitativa del terreno. Es a partir del año 1960 cuando comienzan a aplicarse estudios en los sondeos como método para obtener información cuantitativa del subsuelo. El propósito de los estudios geoelectrónicos es determinar la distribución de la resistividad realizando medidas desde la superficie. Estas medidas se utilizan posteriormente para estimar la resistividad real del subsuelo (Porres Benito, 2003).

#### **2.9.1.1 La resistividad eléctrica de los materiales.**

Según Porres Benito (2003) la variación en la resistividad eléctrica de los distintos materiales que conforman el subsuelo depende de muchos y variados factores, entre ellos: la naturaleza y composición de las rocas, la textura más o menos alterada o más o menos porosa unida al contenido en fluidos, todos estos van a condicionar la existencia de una mayor o menor concentración de iones. Una mayor movilidad de estos iones tiene como consecuencia una menor resistividad. Por lo tanto, la resistividad de las rocas va a depender, generalmente, de cuatro factores:

1. De la proporción de volumen de poros frente a volumen total de la roca. Entonces, a mayor volumen de poros puede esperarse una menor resistividad, siempre y cuando esos poros no estén vacíos. Si es así (caso de cuevas o galerías), la resistividad debería ser anormalmente alta dado el carácter dieléctrico del aire.
2. De la disposición geométrica de dichos poros (denominado factor de formación). A mayor conexión de poros, si están rellenos de agua, implica una menor resistividad ya que la

movilidad de fluidos y de iones es más fácil. Si están secos, la resistividad es, por el contrario, mayor.

3. De la proporción de poros rellenos de agua frente a poros secos. A mayor proporción de poros rellenos de agua, la resistividad va a ser mayor pues el agua permite una mayor circulación de la corriente eléctrica que el aire, que es un dieléctrico.
4. De la resistividad o conductividad de dicha agua. A mayor conductividad del agua, mayor será la de la formación que la contiene.

Los diferentes factores que afectan a la resistividad de una roca se agrupan en la siguiente fórmula de Heiland (Cantos Figuerola, 1987):

$$\rho = \frac{F}{v} * \rho_w \quad (1)$$

Donde;

**$\rho$**  es la resistividad de la roca impregnada.

**$\rho_w$**  es la resistividad del agua contenida en la roca.

**$v$**  volumen relativo de huecos (factor de porosidad) que depende de la textura de la roca, es cero en roca compacta y aumenta con la porosidad.

**$F$**  factor de formación, que depende de la forma y distribución de los poros.

**$A$**  esta fórmula habría que añadir un factor de saturación ( $F_s$ ) que depende de la proporción en que los poros de la roca están rellenos de agua. Esto transformaría la fórmula anterior en la siguiente:

$$\rho = \frac{F}{v} * \rho_w * \frac{1}{F_s} \quad (2)$$

### **2.9.1.2 Relación entre la geología y la resistividad.**

El resultado de un estudio de las resistividades del terreno va a dar un gráfico con la distribución de la resistividad en el subsuelo; para una correcta interpretación de este gráfico y su interpretación geológica es necesario conocer los valores típicos de los distintos materiales del subsuelo, así como realizar un estudio geológico del área de estudio.

A continuación se muestran valores de las resistividades de algunas rocas, materiales de suelos y productos químicos (tabla 5).

Tabla 5: Resistividades de materiales geológicos y residuos.

Material	Resistividad ( $\Omega.m$ )	
	Mínimo	Máximo
Grava	50 (agua saturada)	$> 10^4$ (en seco)
Arena	50 (agua saturada)	$> 10^4$ (en seco)
Limo	20	50
Marga	30	100
Arcilla (húmeda)	5	30
Arcilla (seca)		$>1000$
Lodos	15	25
Arenisca	$<50$ (húmedo)	$> 10^5$ (en compacto)
Caliza	100 (húmedo)	$> 10^5$ (en compacto)
Esquisto	50 (húmedo)	$> 10^5$ (en compacto)
Toba	$2 \times 10^3$ (húmedo)	$10^5$ (mojada)
Rocas ígneas y metamórficas	$<100$ (degradado, húmedo)	$> 10^6$ (en compacto)
Roca de sal	30 (húmedo)	$> 10^6$ (en compacto)
Residuos domésticos e industriales	$< 1$	$>1000$ (de plástico)
Agua natural	10	300
Agua de mar (35 % NaCl)	0.25	
Agua salada	(salmuera) $< 0.15$	$3 \times 10^3$
Agua superficial (rocas ígneas)	0.1	100
Agua superficial (sedimentos)	10	$10^6$

Fuente: (Gasulla, 1999).

Elaboración: La Autora.

### 2.9.1.3 Método Tomografía Eléctrica.

El estudio de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) (2D), comúnmente encontrado en la bibliografía como ERT, abreviación de Electrical Resistivity Tomography o “Electrical Imaging” (Dahlin, 2001), es un método que permite investigar la variación de la resistividad del subsuelo a profundidad y lateralmente.

Se estudia a lo largo de líneas en una dirección determinada, donde se inyecta una corriente eléctrica y mediante un dispositivo receptor se observa la respuesta del subsuelo, siendo el resultado, datos de resistividades aparentes.

Se caracteriza por ser una técnica de resistividad multielectrónica, cuyo arreglo geométrico varía dependiendo del objetivo de estudio.

Con las mediciones adquiridas se construye una sección en dos dimensiones (2D) que muestra una primera aproximación de los cambios en el subsuelo. Posteriormente, se aplica un algoritmo de inversión para obtener la distribución real de resistividades o imagen eléctrica. Imagen que será un resultado interpretable desde un punto de vista físico y geológico, y que dará información sobre las características físicas del subsuelo (Figura 16).

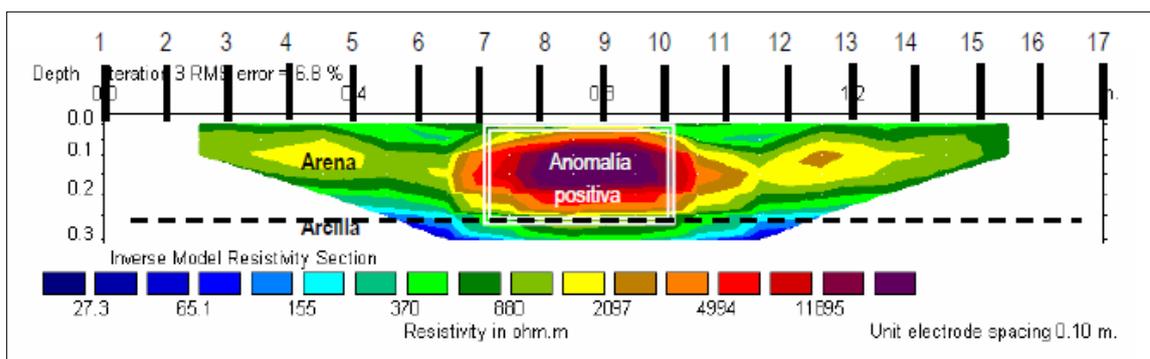


Figura 16: Imagen eléctrica, muestra resistividades reales del subsuelo.

Fuente y Elaboración: Porres Benito (2003).

Este método geofísico fue desarrollado para la investigación de áreas de geología compleja (Griffiths & Barker, 1993). Su aplicación es diversa, como en la exploración de recursos naturales y actualmente en numerosas aplicaciones ambientales, hidrogeológicas, arqueológicas y geotécnicas.

#### 2.9.1.4 Configuraciones electrónicas.

“El dispositivo de campo utiliza cuatro electrodos tetraelectrónicos (Figura 17). En principio los cuatro electrodos pueden adoptar cualquier geometría sobre el plano que representa el terreno” (Orellana, 1982).

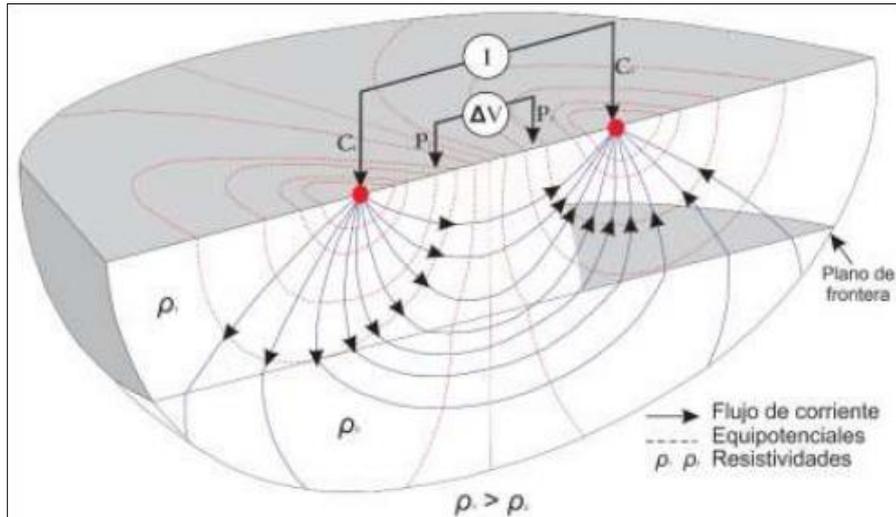


Figura 17: Principio del método resistivo; dispositivo electrónico lineal para la medida de la resistividad del subsuelo.

Fuente y Elaboración: (Knödel, 2007).

Existen diversos arreglos, entre los cuales podemos encontrar que los más utilizados son el arreglo Wenner y Schlumberger, aunque, también podemos hacer una combinación de este arreglo del cual se deriva el arreglo Wenner-Schlumberger, dipolo-dipolo. Estos arreglos se diferencian entre sí por la distancia relativa entre los electrodos, y la posición de los electrodos de corriente respecto a los del potencial (Orellana, 1982).

A continuación se detallara el arreglo dipolo-dipolo, ya que los levantamientos de este trabajo se realizaron de acuerdo a la configuración de este arreglo.

#### 2.9.1.4.1 Configuración Dipolo-Dipolo.

Aquí existen 4 electrodos, dos de los cuales son de potencial (P) y dos son de corriente (C), esta configuración tiene una geometría de C2-C1-P1-P2, en principio la distancia es equidistante entre los electrodos “a”, pero incrementa en “n x a” en C2-C1 y P1-P2, (Loke, 2013) siendo n el nivel en el que se emite la resistividad (Figura 18).

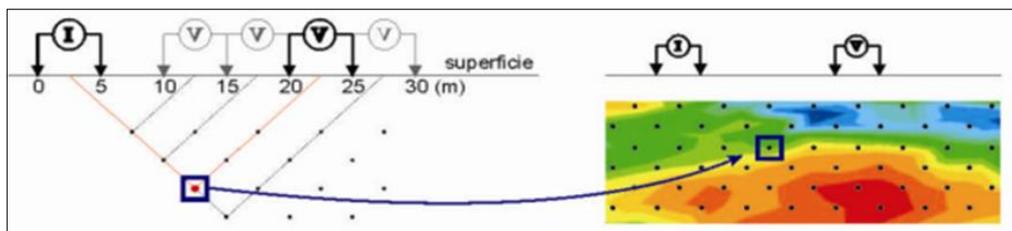


Figura 18: Representación simplificada de la técnica de Tomografía Eléctrica para un arreglo dipolo-dipolo.

Fuente y Elaboración: (Chávez, 2011).

Este tipo de arreglo es sensible a los cambios de resistividad entre cada par de dipolos y es relativamente insensible a los cambios verticales de resistividad, lo que significa que es bueno para encontrar estructuras verticales como diques o cavidades. La profundidad medida de investigación depende del espaciamiento “a” y el factor “n” (Loke, 2006).

### **2.10.1 Análisis geotécnico**

#### ***2.10.1.1 Ensayo para la determinación del contenido de humedad: método del secado al ahorno.***

Permite determinar el porcentaje de masa del agua intersticial o de poro contenida en una masa de partículas sólidas (Braja M, 2012) NTE Inen, 685; a través del procedimiento descrito por las Normas Americanas ASTM D 2216-71, AASHTO T 265-93 y la Ecuatoriana NTE INEN 690.

#### ***2.10.1.2 Ensayo estándar para material más fino que la malla nº 200 en agregado mineral por lavado. (ASTM C 117 – 95.)***

Para determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de partículas de una muestra de suelo seco, a través del procedimiento descrito por las normativas AASHTO T 88-00, ASTM D 422 y NTE INEN 697.

#### ***2.10.1.3 Ensayo para la determinación del límite líquido por el método de Casa Grande.***

Permite conocer el porcentaje de humedad al que las partículas sólidas de material seco pasan del estado líquido a plástico (Braja M, 2012) NTE INEN, 685; para su desarrollo se sigue el procedimiento descrito en las normas AASHTO T 89-02, ASTM D4318, NTE INEN 691.

#### ***2.10.1.4 Ensayo para determinar el límite plástico.***

Para determinar el contenido de humedad al que las partículas sólidas al material seco pasan de los estados plástico al sólido (Braja M, 2012) NTE INEN, 685. Bajo el seguimiento de las normas AASHTO T90-00, ASTM D4318 y NTE INEN 692.

#### ***2.10.1.5 Ensayo para la determinación de parámetros de resistencia al corte mediante compresión triaxial.***

Los parámetros de resistencia del suelo (peso específico, cohesión y ángulo de fricción interna) se determinan a través de ensayo de compresión triaxial, para analizar la condición a

largo plazo con métodos de esfuerzos efectivos (Hurtado, 1994). Los ensayos se desarrollaron siguiendo los procedimientos descritos por la AASHTO T-296 y ASTM D-2850.

**2.10.1.6 Ensayo estándar para la resistencia a la compresión no-confinada de suelo cohesivo.**

La resistencia a la compresión no confinada corresponde al mínimo esfuerzo de compresión para que una probeta cilíndrica de suelo de condiciones inalterada o remoldeada alcance su punto de falla bajo condiciones normalizadas (Braja M, 2012).

**2.10.1.7 Ensayo para determinación del coeficiente de permeabilidad de suelos.**

Para determinar el grado de permeabilidad de un suelo cohesivo o granular, determinado por el coeficiente de permeabilidad el cual mide la capacidad de un suelo para dejar pasar al agua bajo la acción de una carga hidrostática por el tiempo unitario (Braja M, 2012). Este ensayo se lleva a cabo siguiendo los procedimientos descritos en las normativas ASTM D2434, ASTM D 5084 y AASHTO T215.

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1 Metodología

La figura 19 muestra el proceso metodológico seguido para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación; estructurada en 5 etapas, que posteriormente se describen más detalladamente. Y en la figura 20 se da a conocer los materiales utilizados en cada una de las fases metodológicas.

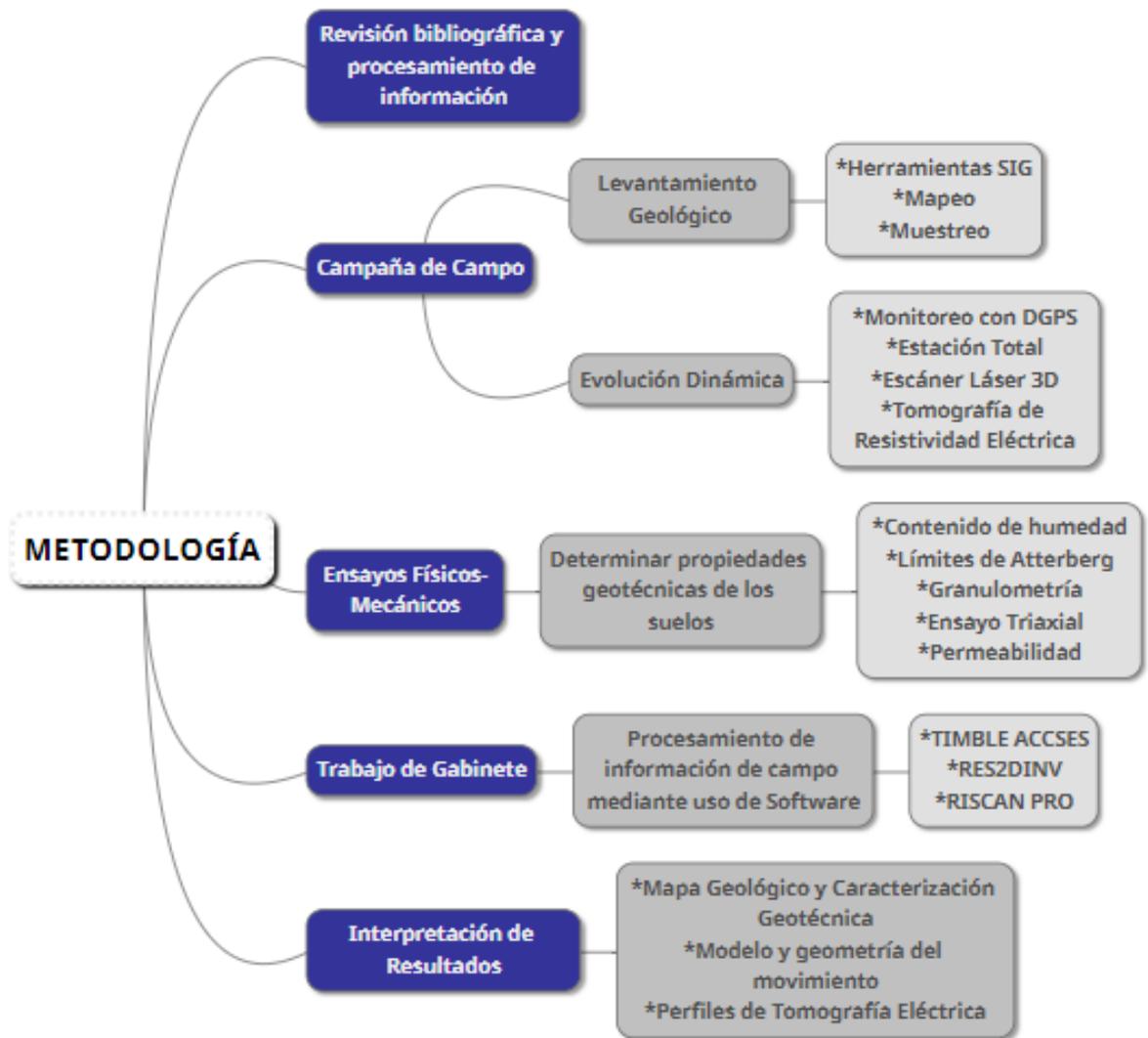


Figura 19: Metodología del trabajo de fin de titulación.

Fuente y Elaboración: La Autora.



Figura 20: Materiales utilizados en campo y oficina

Fuente y Elaboración: La Autora.

### 3.1.1 Revisión bibliográfica y procesamiento de la información

Para la elaboración del presente trabajo se empezó con la planificación del proyecto, la búsqueda y recopilación de información bibliográfica referente al tema, documentos (papers, tesis, investigaciones, etc.) y trabajos existentes en la zona de estudio, la información más importante y relevante que se ha buscado es la relacionada al monitoreo de movimientos de ladera con uso de DGPS y tecnología LIDAR desarrollados tanto a nivel nacional como internacional, ya que en Ecuador no existen investigaciones realizadas con escáner laser 3D para movimientos de ladera.

Una vez obtenida la mayoría de información se inició con una revisión minuciosa, seleccionando los datos más relevantes que se podrían incluir en la investigación.

Se utilizó cartografía base como: mapas geológicos (Hoja geológica de Zaruma), mapas topográficos (1:5000) (IGM, 2012), esto con el fin de obtener una idea general de las diferentes litologías y relieves presentes en la zona de estudio las mismas que posteriormente fueron corroboradas mediante el trabajo de campo.

### 3.1.2 Campaña de campo

Primero se ha realizado una visita de reconocimiento del movimiento de ladera, delimitando las zonas de influencia directa e indirecta, para establecer el área de estudio y planificar los trabajos posteriores, todo esto con ayuda de un mapa base realizado en ArcGis® ESRI, con escala 1:5000.

### **3.1.2.1 Levantamiento Geológico.**

Esta etapa ha consistido en realizar el levantamiento geológico-estructural de la zona de estudio, de acuerdo al polígono antes definido se procede a buscar afloramientos existentes en el área y su respectiva ubicación geográfica mediante la toma de puntos GPS; pero al tener una cubierta vegetal muy espesa y la existencia de viviendas, se tiene poca visibilidad de afloramientos (Foto 2), por esta razón se procedió a realizar el mapeo por galerías de trabajos mineros abandonados, tratando de esta manera visualizar la geología del sector y hacer su descripción.



Foto 2: Descripción de afloramientos y toma de muestras.

Fuente y Elaboración: La Autora.

Cada dato tomado en campo ha sido colocado en el mapa de base topográfica y en la libreta de campo, para luego ser almacenados de forma digital en el mapa final. Es importante mencionar que en la libreta de campo se puede encontrar la descripción geológica, coordenadas y rumbos de las galerías encontradas, mismos que han sido fundamentales para realizar el informe final y el mapa geológico-estructural con los respectivos cortes e interpretación, toda la información cartográfica fue procesada mediante una herramienta SIG, en este caso se utilizó el software ArcGis® ESRI.

### **3.1.2.2 Monitoreo con GPS Diferencial.**

Con la finalidad de obtener datos de velocidad y movimiento de la masa de terreno desplazada, se ha propuesto llevar a cabo el monitoreo mediante el uso del GPS Diferencial marca TRIMBLE R10, al cual se lo configura para trabajar en el modo fast-static, con una máscara de elevación de 10°, este dispositivo incluye el uso simultáneo de dos receptores que almacenan datos cada 10 segundos, de esta manera se colocó el receptor en un punto

fijo denominado estación base (Foto 3a), proporcionado por ARCOM Portovelo, el mismo que se encuentra ubicado en el parque de Zaruma y del cual se conocen las coordenadas, el otro receptor móvil denominado “Rover” (Foto 3b), se dispone sobre los 7 puntos de control colocados dentro de la masa deslizada o en donde se cree que hay movimiento, cerca de zonas de grietas, o para evidenciar posibles movimientos en construcciones afectadas como viviendas y vías.



Foto 3: a). Receptor base ubicado en el Parque Central de Zaruma. b). Receptor móvil sobre punto de control (Gonzalo Pizarro).

Fuente y Elaboración: La Autora.

Las estaciones de monitoreo superficial son mojonos cilíndricos de 45 cm de longitud (Foto 4), sobre los que se ha hecho un orificio de aproximadamente 1cm de diámetro, de manera que pueda coincidir perfectamente con la punta del bastón del receptor móvil, esto permite minimizar el error por nivelación, viento, etc., y colocarlo en una posición correcta para así obtener resultados de alta confiabilidad durante el monitoreo.



Foto 4: Mojón cilíndrico de hormigón, sirve como punto de control.

Fuente y Elaboración: La Autora.

Debido a la poca disponibilidad de tiempo para el efecto se ha establecido un periodo de seis meses con especificación de 2 lecturas, se inicia en julio de 2017 y se finaliza en enero de 2018. Meses en los cuales hay un cambio brusco de verano a invierno.

La distancia entre la base y los puntos de monitoreo de la zonas de estudio osciló de 200 a 500 m, estando dentro del rango, ya que el alcance de interconexión entre base y móvil tiene un radio máximo de 10 km. Las mediciones fueron almacenadas con un intervalo de 10 segundos, el tiempo de permanencia del receptor móvil en cada estación de monitoreo fue de 15 minutos. Hay que considerar que los instrumentos trabajan con señal de satélites y por lo tanto necesitan estar alejados de zonas que cubran una buena recepción de la señal, el equipo al verse en estas circunstancias puede no funcionar correctamente, hay que tener cuidado de colocar estaciones cerca de casas con cubiertas grandes, edificios altos o bajo zonas con exuberante vegetación.

El procesamiento de datos de las coordenadas de los puntos adquiridos en campo, fueron analizados y corregidos en el datum UTM WGS 84 Zona 17S mediante el software Trimble Business Center Versión R10, posteriormente se ha realizado la corrección de los puntos de control en base a los satélites disponibles mediante el software Spectrum Survey Office.

### **3.1.2.3 Escáner Láser Terrestre (TIs).**

Para realizar el seguimiento y correlacionar los datos de monitorización del movimiento de ladera de la calle “Gonzalo Pizarro” y así determinar sus fases de desarrollo o estados de evolución se ha empleado un escáner 3D RIEGL Vz 400 (Foto 5). El tipo de medición del escáner utilizado se basa en el tiempo de vuelo (TOF) de las ondas electromagnéticas (láser) reflejadas en el terreno. Conjuntamente se miden las posiciones geodésicas del origen del

sistema de coordenadas del TLS mediante DGPS y levantamiento con estación total, lo que permite la georreferenciación de los modelos digitales o resultados geospaciales producidos. (Palenzuela, 2015)



Foto 5: Escáner láser 3D RIEGL Vz 400.

Fuente y Elaboración: La Autora.

Se han realizado dos secuencias de escaneos en las siguientes fechas: julio del 2017 y enero del 2018, desde la primera campaña se ha determinado la ubicación de los puntos de escaneo, lo que permite que las mediciones cubran la mayor parte del objetivo de estudio y que de esta manera estos puntos sirvan tanto para el primer barrido como para el segundo, ubicando así algunas estaciones de monitoreo DGPS como puntos base para el escáner, toda esta planificación se la hace en campo para minimizar el error durante la alineación de los diferentes registros de datos y la minimización de las zonas de sombra.

Los objetivos o targets se han hecho con cinta reflectante, consisten en cuadros de 5cm de alto por 5cm de ancho (Foto 6a) y se los han ubicado de manera que sean claramente diferenciables en el terreno y abarquen estratégicamente el movimiento de ladera, como la zona de estudio cuenta con viviendas y extensa vegetación, se han empleado árboles y postes para ir colocando las cintas (aunque lo más factible es situarlas sobre puntos que no han de sufrir variación en periodos largos de tiempo) , se usaron puntos de referencia sobre vértices de viviendas y señalizaciones, tanto estos puntos de referencia como los targets se utilizaron

en el primer y en el segundo escaneo, con la finalidad, de luego en el procesamiento de datos se cuantifique el desplazamiento que han tenido durante el periodo de seis meses.

Para el barrido, se va colocando el escáner sobre cada punto y se lo configura de acuerdo a la morfología que se tenga del terreno, se espera entre 7 a 10min dependiendo de la velocidad con que vaya trabajando el láser y dependiendo de las vistas que se hagan en cada punto, es decir en una primera vista se trabaja con un ángulo de  $90^\circ$  y en cada punto de control se determina si son necesarios ángulos en  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  o  $45^\circ$  dependiendo del terreno, una vez terminada cada adquisición de datos con el láser en un plano de  $360^\circ$ , el equipo automáticamente procede a tomar las fotos con su cámara integrada. Absolutamente todos los datos generados en cada proyecto se almacenan en un flash memory (preferible de 16Gb) que se inserta en el equipo antes de empezar el barrido.

Para tener las posiciones geodésicas de los puntos de control (mojones), targets y puntos de referencia se ha realizado un levantamiento con estación total (Foto 6b), que consiste en partir de un punto de coordenadas conocidas (este caso tomando la coordenadas de las estaciones DGPS corregidas en el datum UTM WGS 84 Zona 17S) para así ir levantando los demás puntos mediante una poligonal cerrada. Con estas coordenadas de cada punto se procede a georreferenciar las imágenes 3D generadas por el escáner.

El procesamiento, la corrección y filtrado de datos de la nube de puntos se la realiza en el software Riscan Pro, plataforma donde se ingresan los datos adquiridos en campo tanto del primer como del segundo monitoreo, para luego hacer su respectiva comparación.

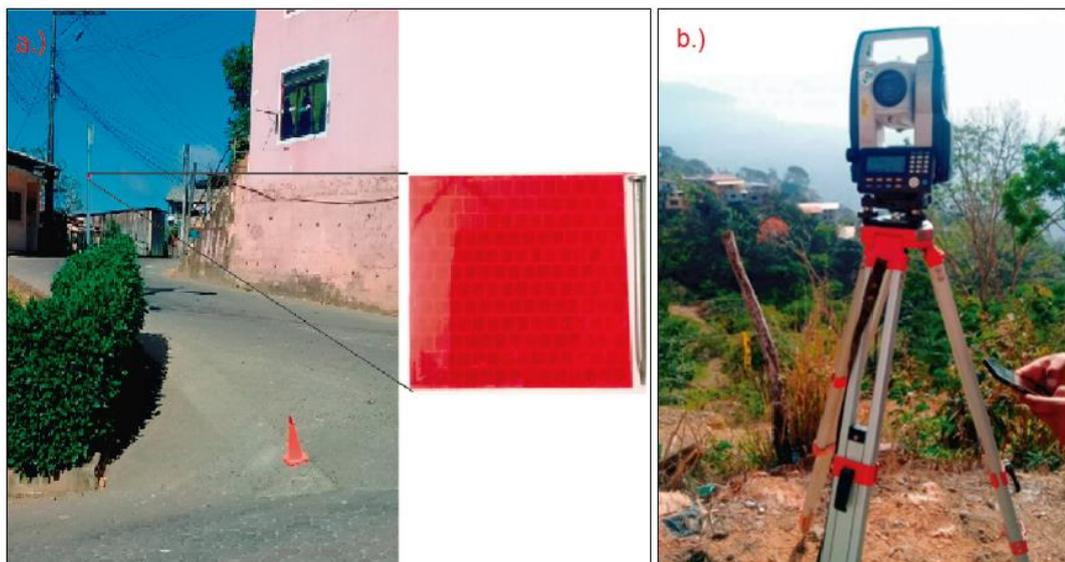


Foto 6: a.) "Targets" o cintas reflectivas; b.) Estación total utilizada para el levantamiento de puntos de referencia, mojones y targets.

Fuente y Elaboración: La Autora.

### 3.1.2.4 Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT).

La aplicación de la ERT, ha consistido en la adquisición de dos líneas establecidas de forma perpendicular, una longitudinal y una transversal al movimiento de ladera. Los perfiles se registraron con un sistema Lund multielectrodo que consiste en un Terrameter SAS4000 ABEM utilizado para 2D y estudios de alta resolución en 3D que incluye un selector de electrodos ES464 y una batería de 12 V DC (Foto 7). El equipo tiene una resolución de 25 mV (, 1-s de tiempo de integración teórico), tres rangos de medición automática ( $\pm 250$  mV,  $\pm 10$  V y  $\pm 400$  V) y una precisión de 1% a todas las temperaturas. (Soto et al., 2017)

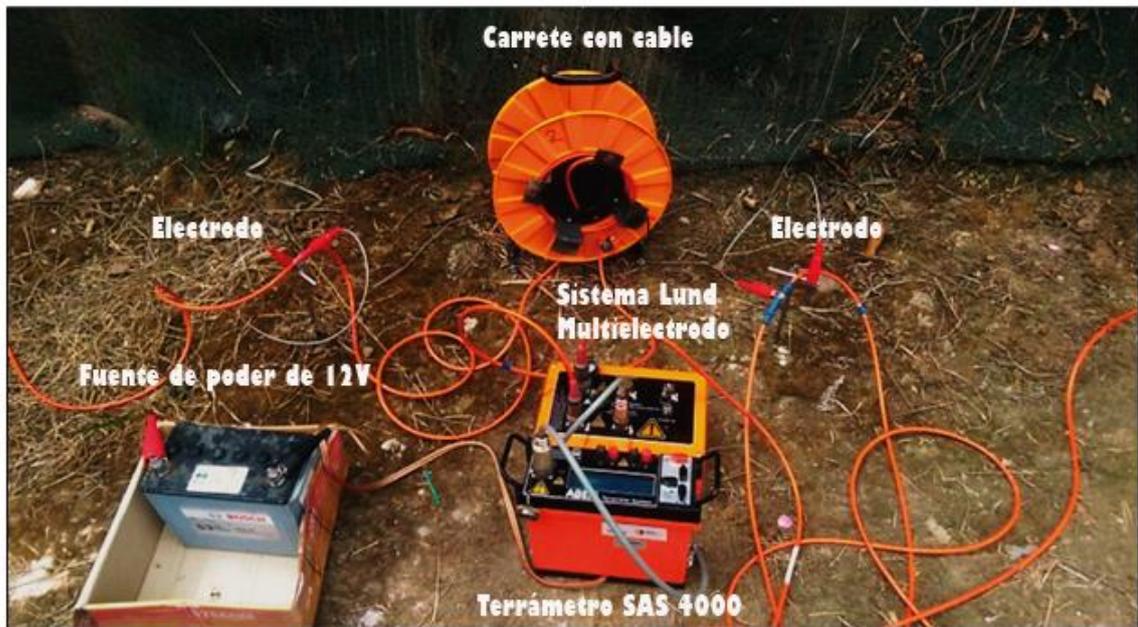


Foto 7: Equipo de Tomografía Eléctrica SAS 4000 de (ABEM Instrument AB, 2009).

Fuente y Elaboración: La Autora.

Teniendo el sentido de las líneas se procede a instalar el equipo en el centro de cada perfil, el Terrameter se conecta al sistema Lund por medio de un cable, a partir de ahí se extienden los cuatro carretes de los cables y se colocan los electrodos a una distancia de 2 m (Foto 8), cada perfil al final cuenta con un total de 80 electrodos.



Foto 8: Extensión de carretes cada dos metros.

Fuente y Elaboración: La Autora.

En el proceso de colocar los electrodos hay que tener en cuenta que haya una buena conexión a tierra, para lograr esto es recomendable hundirlos 30 cm en el suelo, pero si el terreno es realmente “seco” se recomienda poner un poco de agua a cada electrodo, para que así haya buen contacto; luego se los conecta al cable con la ayuda de pinzas de cocodrilo (procurar que estos también estén bien conectados para obviar posibles errores al momento de la prueba de electrodos) (Foto 9).

Una vez armada toda la línea del perfil, se procede a encender el equipo, y configurarlo en el modo Lund Imagen System, donde se establece la configuración dipolo-dipolo 4L y 4S, en el modo de recolección de datos automático, el proceso tarda alrededor de 45 minutos.

Finalmente los datos, que corresponden a resistividades aparentes del terreno, se almacenan en la memoria del equipo para su posterior inversión en el software RES2DINV, donde se obtendrá valores de resistividad real.

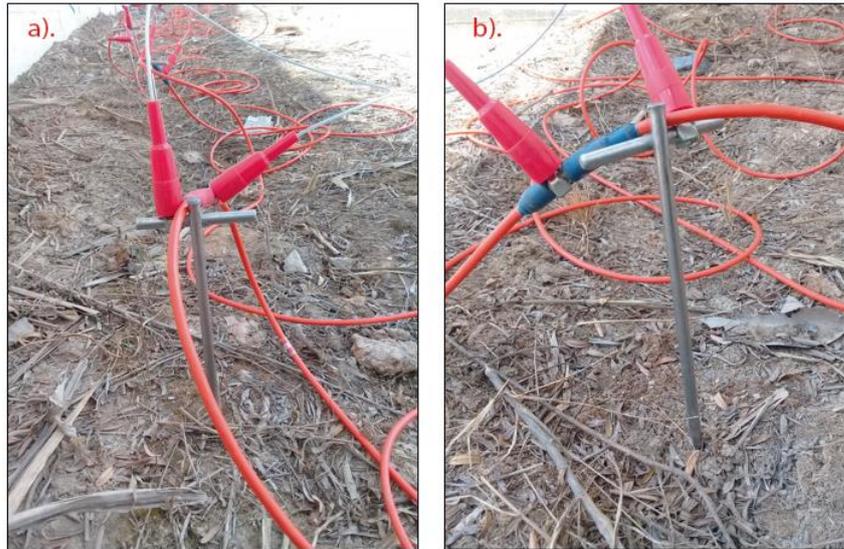


Foto 9: a). Electrodo rojo de periodo largo; b). Electrodo azul de periodo corto.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### **3.1.2.5 Muestreo de suelos.**

La obtención de muestras alteradas e inalteradas del subsuelo, forman parte de la etapa final de los estudios de campo, las mismas nos sirven para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

Se han obtenido las muestras mediante la excavación manual de calicatas de 25 cm x 25 cm y un metro de profundidad de manera que se ha descartado la capa vegetal, se han encontrado tres puntos representativos, de las cuales dos puntos se consiguió muestra inalterada y de un punto se recogió muestra alterada (Foto 10). La recolección de estas muestras se ha realizado tomando en cuenta consideraciones como: la geometría del terreno, litología existente y otras características de los movimientos de ladera, de manera que sean lo más representativas posible. Posteriormente se procede a etiquetar cada muestra y luego a guardarla en fundas plásticas cerradas herméticamente para evitar que el material pierda las condiciones de humedad naturales.



Foto 10: a). Muestra inalterada PM1; b). Muestra inalterada PM2; c). Muestra alterada PM3.

Fuente y Elaboración: La Autora.

### **3.1.3 Ensayos físicos mecánicos**

#### **3.1.3.1 Trabajo en el laboratorio de suelos.**

Las muestras obtenidas se transportaron al laboratorio de mecánica de suelos U.C.G de la Universidad Técnica Particular de Loja, el mismo que posee todos los materiales y equipos para la realización de los ensayos necesarios, cada muestra se protege debidamente para evitar la contaminación durante el transporte.

##### *3.1.3.1.1 Contenido de humedad (Norma ASTM D-2216)*

Este ensayo sirve para determinar el contenido de humedad que está presente en el material de suelo, al secarlo en un horno controlado a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) por un lapso de 15 a 16 horas. Se coloca la muestra húmeda en los recipientes limpios, secos (Foto 11) y se determina el peso del recipiente y la muestra de material usando una balanza apropiada. Se coloca el recipiente con el material húmedo en un horno como se había especificado anteriormente. Luego del lapso de tiempo apropiado se retira la muestra seca del horno a peso constante y se deja enfriar hasta una temperatura ambiente. Por último se toma el peso del recipiente y de la muestra seca en el horno usando la misma balanza y se procede a realizar los cálculos.



Foto 11: Muestra de suelo húmedo.

Fuente y Elaboración: La Autora.

### 3.1.3.1.2 Análisis granulométrico por tamizado

Se debe poner cierta cantidad de muestras de suelo en recipientes y llevarlas al horno, al siguiente día la debe sacar y dejar enfriar al ambiente por unos minutos, de esta muestra se pesan 5 kg aproximadamente y se la deja cubierta con agua por unos minutos, luego la lavamos cuidadosamente por el tamiz # 200 y al terminar la metemos al horno. Al siguiente día la sacamos y la dejamos enfriar al ambiente luego empezamos a pasar la muestra por los tamices: 3/8, 1/4, N# 4, N# 10, N# 40, N# 200 y fondo, la ponemos 7 minutos al tamizador y al terminar vamos tomando el peso de la muestra que se quedó en cada tamiz (Foto 12).



Foto 12: a). Muestra pesada antes de lavado; b). Muestras pesadas (5kg) para realizar granulometría; c). Lavado de muestra por el tamiz #200; d). Tamizador.

Fuente y Elaboración: La Autora.

### 3.1.3.1.3 Ensayo de límite líquido

Se saca muestra y se la deja secar al ambiente por 5 días, luego se la pasa por el tamiz # 40 y se la procede a saturar dejando la muestra en 15 golpes y sellada para que no pierda su

humedad hasta el siguiente día, con ayuda de la copa de casagrande se empieza a realizar el ensayo donde se deben tomar 4 puntos de control: de 15-20; de 20-25; de 25-30 y 30-35, en cada intervalo se debe determinar el número de golpes teniendo en cuenta el lugar donde se une la muestra y que la medida de la unión sea 13 mm . Teniendo el número de golpes, en cada punto se procede a poner la muestra que se ha unido en una tara y a pesar inmediatamente para que no pierda humedad, luego se lleva al horno por un lapso de 15-16 horas (Foto 13).



Foto 13: a). Muestras secadas al ambiente; b). Muestras pasadas por el tamiz # 40; c). Casagrande con muestra después de 15 golpes.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### 3.1.3.1.4 Ensayo de límite plástico

Se toma la muestra sobrante del último punto de límite líquido y se la expande en una hoja de papel periódico de manera uniforme, con la finalidad de que vaya absorbiendo la humedad. Se espera aproximadamente de 5 a 10 min o hasta que la muestra empiece a cambiar de tonalidad. Una vez que se vea el cambio se toma pequeñas bolitas del material de 1 cm de diámetro aproximadamente y se comienza a manipularl con los dedos. Después se ponen las bolitas sobre el vidrio esmeril y se las manipula con las palmas de tal manera que vaya quedando unos rollitos alargados. Cuando los rollitos se empiecen a agrietar y fracturar se deja de manipular y se quita las puntas para poder realizar la combinación. A los rollitos se los divide en tres partes iguales, luego se toma una parte de cada uno y se los coloca en las taras respectivas (Foto 14). Por último se pesan y son llevadas al horno.



Foto 14: a.) Muestra de 1 cm de diámetro; b). Muestra sobre el vidrio esmeril; c). Fractura de la muestra; d). Muestra fracturada en taras.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### 3.1.3.1.5 Ensayo triaxial

Para este ensayo se ha hecho el remoldeo de una muestra alterada y se ha trabajado con dos muestras inalteradas. Al tener las probetas se determinan las medidas de peso, altura y diámetro. Luego se lleva la probeta a la máquina de compresión, haciendo un ligero contacto entre la barra de carga de la máquina y el pistón de carga de la cámara. Posteriormente, se aplica una presión de confinamiento ( $\sigma_3$ ) predeterminada, por medio de aire comprimido, abriendo luego la válvula de salida o drenaje para verificar que no exista presión de aire (que indicaría que existen filtraciones en la muestra por lo que se tendría que volver a iniciar). Ante el contacto entre el pistón de la cámara y la barra de carga de la máquina al aplicar  $\sigma_3$ , el lector de carga habrá registrado cierta medición, por lo que deberá llevarse a cero. Se ajusta el lector de deformación, se determina la velocidad de carga de la máquina y se prende ésta, tomando simultáneamente las lecturas de deformación, tiempo y carga, en las siguientes divisiones del lector de deformación: 5, 10, 20, 30, 40 etc. Luego que falle la muestra, se apaga la máquina, se suelta la presión del equipo y se remueve la muestra, para realizar los 2 siguientes ensayos se debe proceder de la misma manera (Foto 15), pero con diferente presión ( $\sigma_3$ ).



Foto 15: a). Perfilador con muestra PM2 inalterada; b). Remoldeo de muestra PM3 alterada; c). Preparación del equipo; d). Fallamiento de probetas.

Fuente y Elaboración: La Autora.

### 3.1.3.1.6 Ensayo de permeabilidad

Para este ensayo se ha hecho la compactación de 3 muestra. Una vez compactado el material se lo conecta a la llave del tanque filtrante, donde esperamos que empiece a filtrarse el agua por el material, para tomar las horas y alturas.

Una vez que empiece a bajar el agua por los tubos piezómetros, se encera y tomamos la hora, colocamos la bureta para recoger el caudal (Foto 16 a), medimos la altura uno. Colocamos el caudal en un recipiente, medimos la temperatura con el termómetro y medimos la altura 2.

Una vez hecho esto medimos el diámetro de la manguera con el calibrador, por donde fluye el caudal, tomamos las medidas del tanque filtrante (Foto 16 b) y realizamos los cálculos.



Foto 16: a.) Recolección de caudal; b.) Medida de las alturas en el tubo piezométrico.

Fuente y Elaboración: La Autora.

### 3.1.4 Trabajo de gabinete

Una vez terminada la recolección de información de campo, se la procesa utilizando los diferentes software's dependiendo de la finalidad de cada etapa, la facilidad de uso y de la precisión que nos brinde para obtener datos confiables que nos permitan presentar resultados eficaces (Tabla 5).

Tabla 5: Diferentes etapas de trabajo de gabinete con su respectivo software.

ETAPA DE GABINETE	FINALIDAD	SOFTWARE UTILIZADO
Geología	Realizar el mapa geológico digital a partir de los datos obtenidos en campo.	ArcGIS 10.3
Monitoreo	Obtener las coordenadas de los puntos de control (mojones) del movimiento de ladera.	Microsoft Office Excel, TRIMBLE ArcGIS 10.3 Spectrum Survey Office ACCESS
Topografía	Obtener la posición de los puntos targets.	Microsoft Office Excel, ArcGIS 10.3
Escáner Láser 3D	Ingresar y procesar los datos de nubes de puntos. Obtener modelo 3D del deslizamiento.	RIELGD Riscan Pro ArcGis 10.3 Global MApper 18
Geofísica	Obtener imágenes del subsuelo en 2D a partir del ensayo de Tomografía Eléctrica.	RES2DINV
Clasificación de suelos	Realizar la clasificación de suelos a partir de los datos obtenidos en el laboratorio.	Microsoft Office Excel.
Informe y mapa final	Realizar el informe final y los respectivos mapas para su presentación	Microsoft Office Excel, Microsoft Office Word, ArcGIS 10.3

Fuente y Elaboración: La Autora.

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### 4.1 Geología local

En la superficie de la zona de estudio se observa suelos de varios colores en dependencia del material de origen y el contenido de minerales oxidados. En las observaciones de campo se aprecia un alto grado de inestabilidad de estos materiales (arcillosos, arcillo-limosos) siendo aparentemente el agua el factor desencadenante para el corrimiento de los suelos, observándose en algunos taludes cercanos a las viviendas la impermeabilización de los mismos con plásticos y techos de zinc (Foto 17).



Foto 17: Impermeabilización de taludes con plásticos. Calle Gonzalo Pizarro.

Fuente y Elaboración: La Autora.

Se tiene poca visibilidad de afloramientos al tener una cubierta vegetal muy espesa y la existencia de viviendas, por esta razón se procedió a realizar el mapeo por galerías de trabajos mineros abandonados, tratando de esta manera visualizar la geología del sector. Al interior de una galería se observan tobas de cristales de composición andesítica (Figura 16) afectada por alteración hidrotermal tipo argílica, macroscópicamente presenta una asociación mineralógica constituida por: caolín  $\pm$  illita. Además, se pudo observar presencia de agua siendo drenada del interior mina (Foto 18).

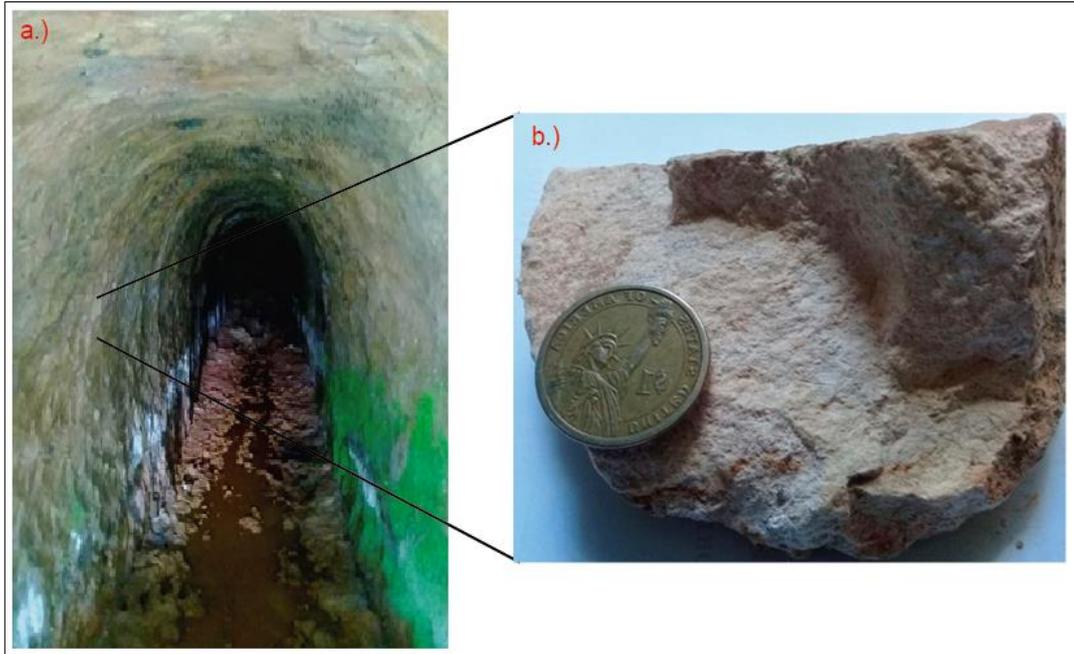


Foto 18: a.) Vista de una galería donde se ve el agua siendo drenada; b.) Toba de cristal.  
Fuente y Elaboración: La Autora.

En la superficie observamos tobas y suelos residuales lateríticos. Las tobas son de colores claros y presentan una meteorización muy alta al punto de ser fácilmente disgregables (Foto 19a), por el contrario los suelos residuales lateríticos presentan colores que van desde rojizos a morados, principalmente están conformados por arcillas (Foto 19b) y limos (Foto 19c), sobre los cuales se ha colocado una sobrecarga de material de escombrera de formas y tamaños irregulares de composición andesítica.



Foto 19: a.) Tobas meteorizadas; b.) Suelos rojizos (arcillas); c.) Suelos morados (limos).  
Fuente y Elaboración: La Autora.

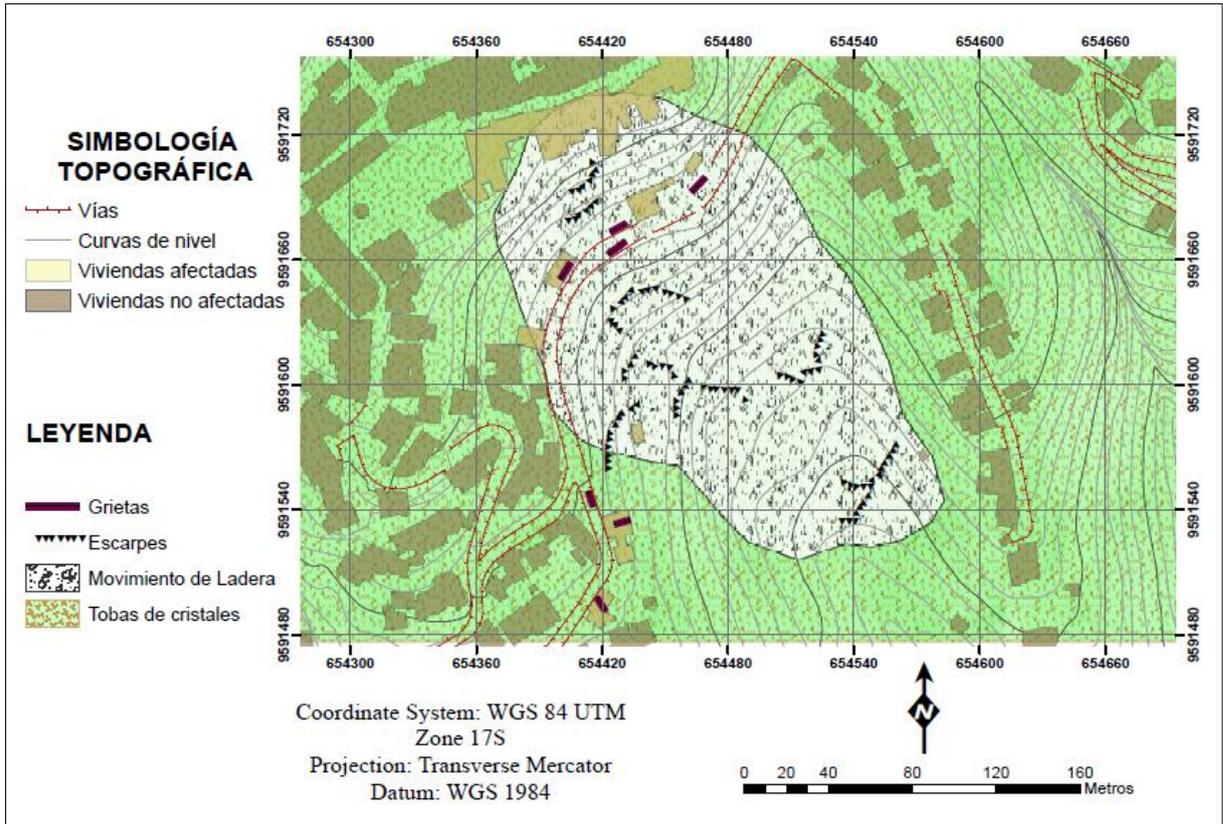


Figura 16: Mapa geológico de la zona de estudio.

Fuente y Elaboración: La Autora.

## 4.2 Monitoreo con GPS Diferencial

### 4.2.1 Procesamiento y adquisición de datos

El monitoreo del movimiento de ladera de la calle “Gonzalo Pizarro” comenzó el 14 de julio de 2017 y finalizó el 31 de enero del 2018; la distribución de los puntos de control sobre el terreno se indican en la figura 17, la cual ha sido previamente analizada, con el fin de ubicarlos en lugares estratégicos y así nos brinden la información necesaria de desplazamiento y velocidad.

Mediante el software Spectrum Survey Office se realiza la corrección de los puntos de control, dándonos las coordenadas reales de cada punto. El post procesamiento considera parámetros como indicador aceptable:  $0,005\text{m} \pm 0,5 \text{ ppm}$  (ppm: partes por millón) y para no aceptar la precisión:  $0,015 \text{ m} \pm 0,5 \text{ ppm}$ .

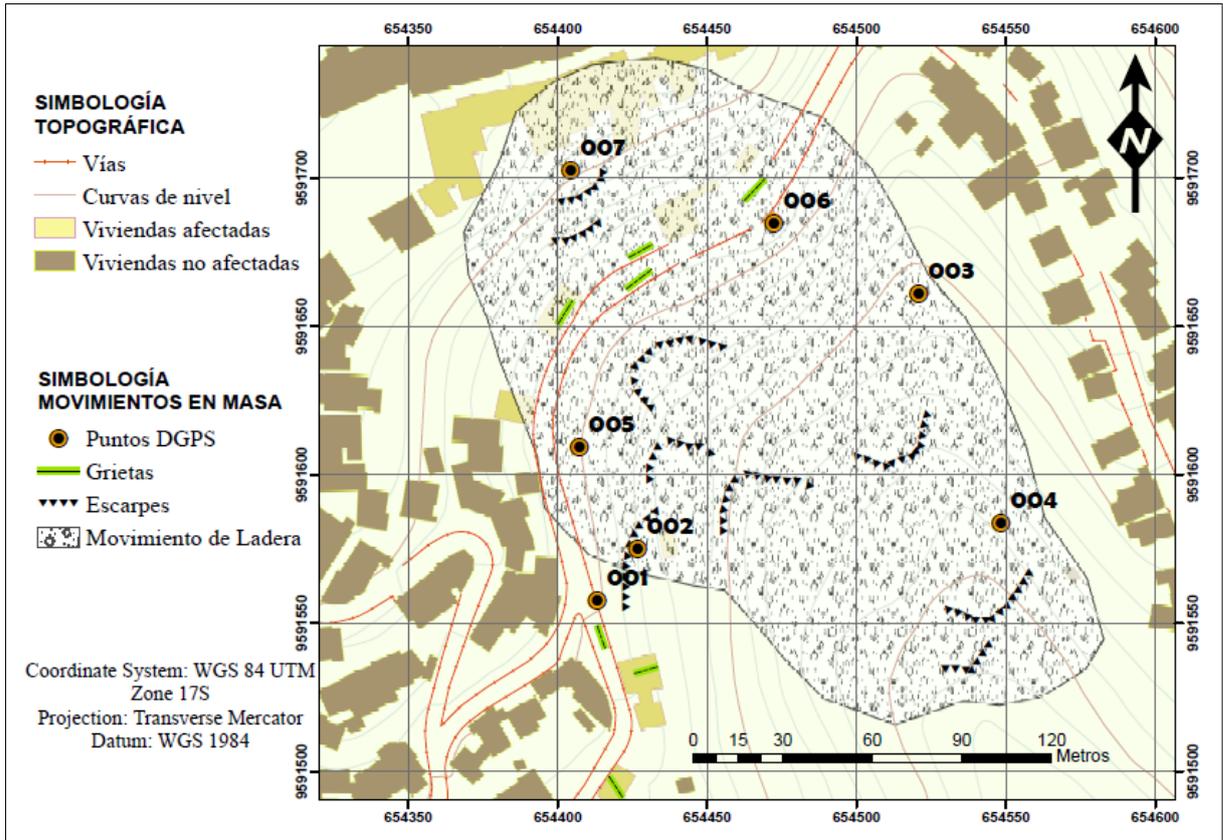


Figura 17: Ubicación de mojones sobre el terreno.

Fuente y Elaboración: La Autora.

Con los datos reales, se realiza el cálculo de desplazamientos o posición relativa de cada una de las estaciones móviles, mediante la diferencia entre las coordenadas X, Y y Z registradas entre la última y primera medición, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6: Desplazamiento entre el primer y segundo monitoreo.

COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MONITOREO									
PERIODO	JULIO DEL 2017			ENERO DEL 2018			Desplazamiento (m)		
ESTACIÓN	Coordenadas iniciales			Coordenadas finales			$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
	X	Y	Z	X	Y	Z			
Base 020	654337.8440	9591696.8800	1211.0990	654337.8440	9591696.8800	1211.0990	0.0000	0.0000	0.0000
OO1	654413.2100	9591557.7890	1165.7180	654413.2040	9591557.7710	1165.5730	0.0060	0.0180	0.1450
OO2	654426.4480	9591574.1970	1158.5400	654426.4630	9591574.1990	1158.3950	-0.0150	-0.0020	0.1450
OO3	654520.0950	9591660.3880	1139.6680	654520.0410	9591660.4250	1139.4170	0.0540	-0.0370	0.2510
OO4	654547.8220	9591582.7570	1125.6330	654547.7920	9591582.7540	1125.4730	0.0300	0.0030	0.1600
OO5	654406.4340	9591608.4950	1163.8490	654406.4200	9591608.4990	1163.6720	0.0140	-0.0040	0.1770
OO6	654471.5550	9591684.4630	1172.1600	654471.5640	9591684.4710	1172.0180	-0.0090	-0.0080	0.1420
OO7	654403.3180	9591704.2550	1194.1000	654403.3270	9591704.2110	1194.1470	-0.0090	0.0440	-0.0470

Fuente y Elaboración: La Autora.

La variación de desplazamiento registrado nos indica que el único punto que no ha tenido cambio es la estación base 020 (tal como se indicó anteriormente), los demás puntos de control registran pequeñas variaciones, tanto positivas (+) como negativas (-), estas nos sirven para conocer el sentido del vector que tiene de cada punto, partiendo del principio de colocar cada valor en un plano cartesiano y así conocer su dirección.

Las velocidades en cambio son determinados a partir de la fórmula del movimiento lineal, que viene dada por:

$$V = \frac{e}{t} \quad (3)$$

Donde **V** es la velocidad expresada en mm/s, **e** el espacio (mm) y **t** el tiempo transcurrido durante el movimiento (s).

De esta manera se considera el espacio, al valor de la magnitud del vector resultante de la variación entre la diferencia de las coordenadas iniciales y las coordenadas finales (Tabla 6), dicho valor viene dado por el resultado de la siguiente expresión:

$$VR = \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2} \quad (4)$$

La prueba de congruencia estadística se lleva a cabo con cada VR determinado con la ecuación 4, lo que permite comprobar estadísticamente los desplazamientos de cada punto (Abidin, Andreas, Surono, & Hendastro, 2004). Esta prueba también se aplica a  $\Delta Z$ , que es simplemente la diferencia de elevaciones de los puntos de monitoreo entre la primera y segunda campaña.

El método de estimación por intervalos se puede emplear para las comprobaciones correspondientes, el mismo consiste en obtener un intervalo de confianza dentro del cual estará el valor del parámetro estimado con una cierta probabilidad (Zárate, 2011). Los parámetros que se consideran para aplicar este método son:

- Límite de confianza de 99%,
- Nivel de significación de  $\alpha = 1\%$ ,
- Valor crítico de 2.576 ( $Z_{\alpha/2}$ ).

El desplazamiento máximo horizontal y vertical ( $\Delta max_{E-N}$  y  $\Delta max_Z$ ) en función con los datos que se indican anteriormente, se calcula con las siguientes expresiones:

$$\Delta max_{E-N} = Z\alpha/2\sqrt{E_E^2 + E_N^2} \quad (5)$$

$$\Delta max_Z = Z\alpha/2\sqrt{E_Z^2 + E_Z^2} \quad (6)$$

Donde  $E_E$ ,  $E_N$  es el error estándar para deformaciones horizontales (E-N), en el presente estudio se considera de 1.5 mm y 2 mm para el error estándar vertical  $E_z$ , (Zarate, 2011). Aplicando las ecuaciones 5 y 6, se establece que  $\Delta max_{E-N} = 0.005$  m y  $\Delta max_Z = 0.007$  m. Para establecer si existe o no movimiento en los puntos monitoreados, es necesario comprobar las siguientes condiciones:

Si,  $\Delta E-N > \Delta max_{E-N}$ , entonces existe movimiento

Si,  $\Delta Z < \Delta max_Z$ , entonces no existe movimiento

Para determinar la velocidad del desplazamiento de cada una de las estaciones de monitoreo, primero se calcula la deformación efectiva de cada uno de los puntos (Tabla 7); para ello se establece la diferencia entre el vector resultante con el vector de desplazamiento máximo con el 99% de confianza, tal como se indica en la ecuación 7 y 8.

$$\sigma VR_{E-N} = VR - \Delta max_{E-N} \quad (7)$$

$$\sigma VR_Z = VR - \Delta max_Z \quad (8)$$

Finalmente, la velocidad de desplazamiento (velocidad lineal) (Tabla 8) se obtiene de la relación entre la deformación efectiva y el tiempo transcurrido entre los monitoreos realizados, como se muestra en la ecuación 9.

$$V = \frac{\sigma VR}{t_{monitoreo}} \quad (9)$$

Tabla 7: Valores de deformación efectiva.

ESTACIÓN	COORDENADAS			ANÁLISIS				
	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta Z$	$VR_{E-N}$	$VR_Z$	DIRECCIÓN	CONCLUSIÓN DEFORMACIÓN HORIZONTAL	CONCLUSIÓN DEFORMACIÓN VERTICAL
Base 020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Origen	No existe movimiento	No existe movimiento
OO1	0.0060	0.0180	0.1450	0.0190	0.1450	N-E	Existe movimiento	Existe movimiento
OO2	-0.0150	-0.0020	0.1450	0.0250	0.1450	S-w	Existe movimiento	Existe movimiento
OO3	0.0540	-0.0370	0.2510	0.0655	0.2510	S-E	Existe movimiento	Existe movimiento
OO4	0.0300	0.0030	0.1600	0.0301	0.1600	N-E	Existe movimiento	Existe movimiento
OO5	0.0140	-0.0040	0.1770	0.0146	0.1770	S-E	Existe movimiento	Existe movimiento
OO6	-0.0090	-0.0080	0.1420	0.0120	0.1420	S-w	Existe movimiento	Existe movimiento
OO7	-0.0090	0.0440	-0.0470	0.0449	-0.0470	N-W	Existe movimiento	No Existe movimiento

Fuente y Elaboración: La Autora.

La dirección de desplazamiento de cada punto de control (Figura 18), nos indica que el movimiento de ladera se desplaza con preferencia hacia el Sur-Este, de acuerdo a la tabla 7 todas las estaciones nos muestran que existe una deformación horizontal y vertical (si existe movimiento), excepto en la deformación vertical del punto 007 (no existe movimiento).

Tabla 8: Clasificación de acuerdo a la velocidad.

ESTACIÓN	$\sigma VR_{N-E}$	$\sigma VR_Z$	Días Transcurridos	Velocidad desplazamiento (m/año)	Velocidad desplazamiento (cm/año)	Clasificación de acuerdo a la velocidad*	Descripción de la velocidad*
OO1	0.0140	0.1380	193	0.0265	2.6477	2	Muy lento
OO2	0.0200	0.1380	193	0.0378	3.7824	2	Muy lento
OO3	0.0605	0.2440	193	0.1143	11.4323	2	Muy lento
OO4	0.0251	0.1530	193	0.0476	4.7562	2	Muy lento
OO5	0.0096	0.1700	193	0.0181	1.8080	2	Muy lento
OO6	0.0070	0.1350	193	0.0133	1.3314	1	Extremadamente lento
OO7	0.1789	0.0470	193	0.3384	33.8353	2	Muy lento

\*Escala de velocidad de los movimientos de ladera, tomado de Cruden & Varnes (1996).

Fuente y Elaboración: La Autora.

Todos los parámetros (desplazamiento y velocidad) se los han obtenido con la finalidad de clasificar al movimiento de ladera en base a la escala de velocidad tomada de Cruden y Varnes (1996). En la tabla 8 se indica que el movimiento de ladera de la “Calle Gonzalo Pizarro” presenta una cinemática de movimiento muy lento. Todos los puntos de monitoreo presentan una clasificación de II en base a su velocidad, excepto el punto de monitoreo 006 que da una clasificación de I (extremadamente lento). Las velocidades más representativas nos muestran los puntos de control 003 y 007 con 11.43 y 7.54 cm/año respectivamente, estos puntos corresponden al control realizado en el escarpe principal (007) y en la zona Este del movimiento (003).

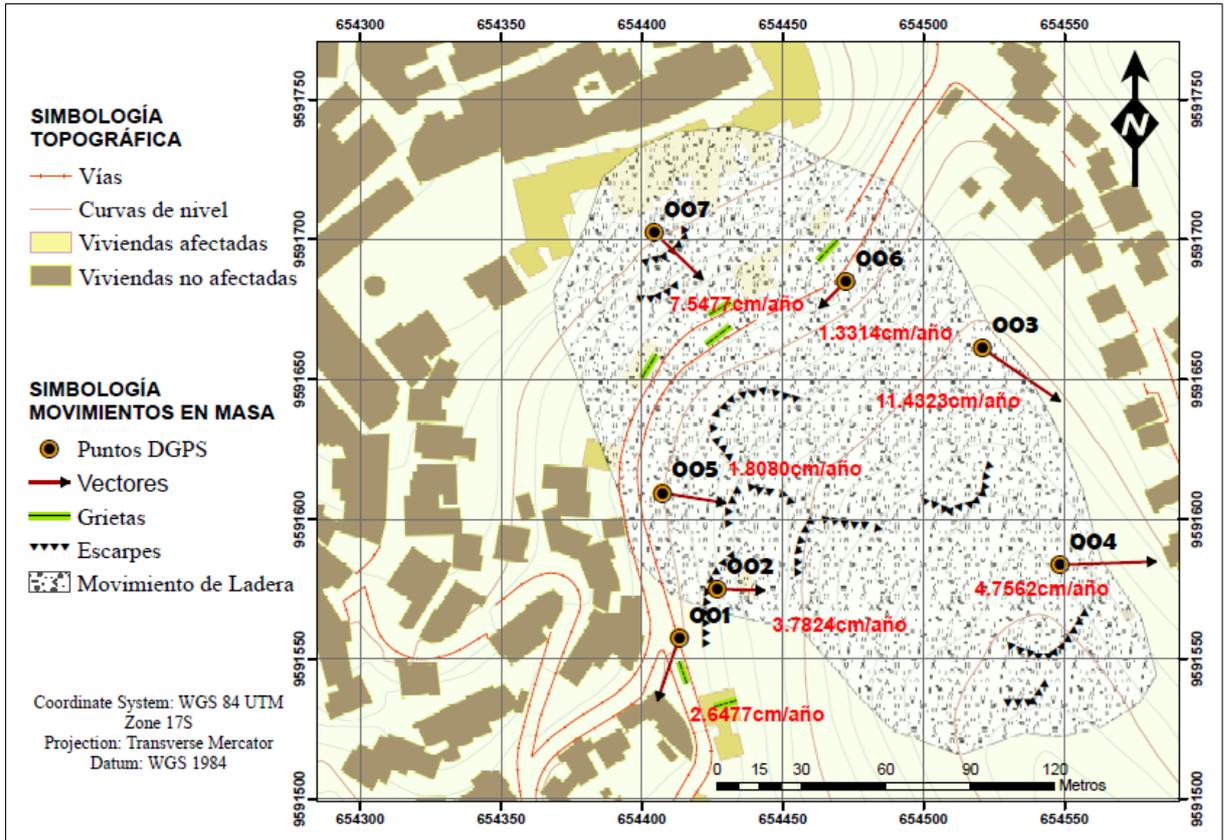


Figura 18: Vectores de velocidad y desplazamiento de los puntos de monitoreo.

Fuente y Elaboración: La Autora.

### 4.3 Escáner Láser 3D (TLS)

#### 4.3.1 Procesamiento y adquisición de datos

Se realizaron dos secuencias de escaneos, una el 14 de julio del 2017 y otra el 31 de enero del 2018; tanto para el primer como para el segundo barrido se utilizaron los mismos 9 puntos de escaneo, targets y puntos de referencia sobre el terreno (Figura 19).

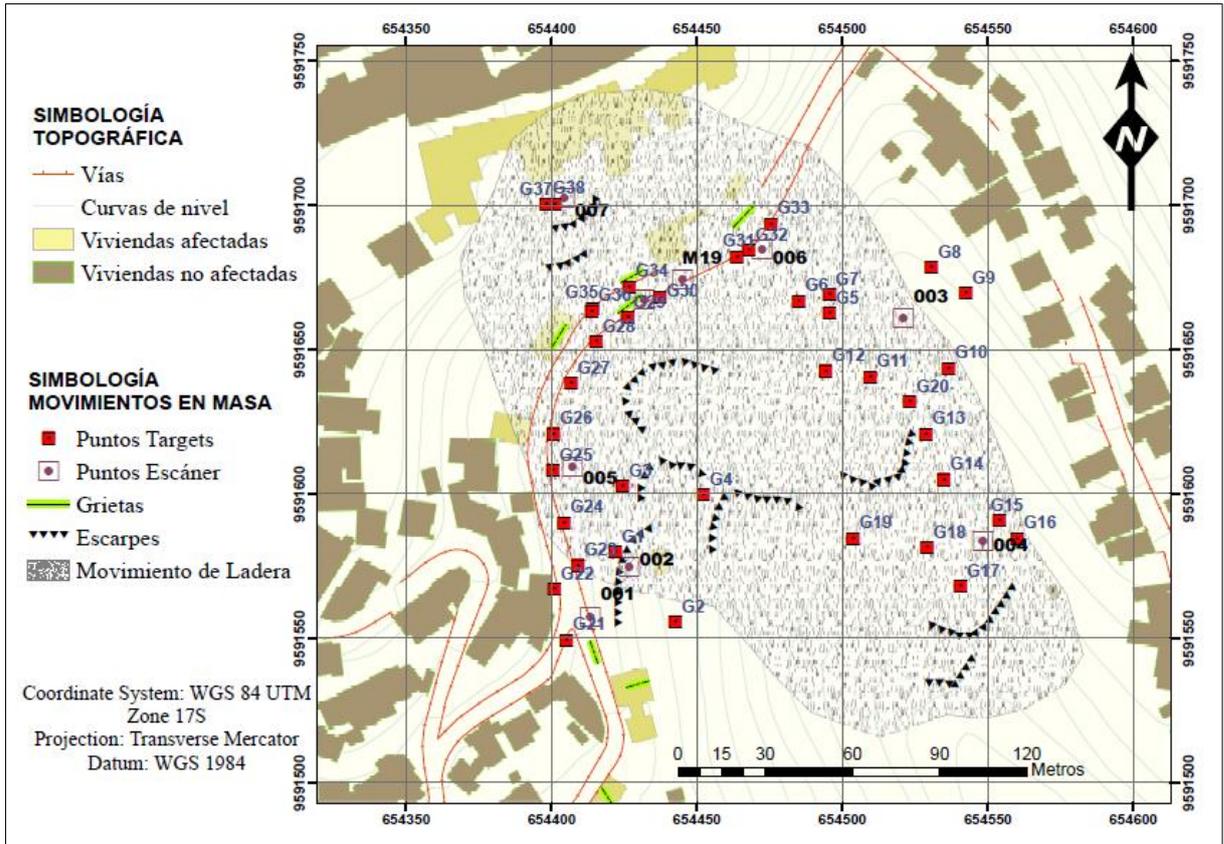


Figura 19: Distribución de los diferentes puntos de control en la zona de estudio.

Fuente y Elaboración: La Autora.

En el software RiscanPro de Riegl® se realiza la georreferenciación, reducción de la nube de puntos y la triangulación de los modelos (información procesada por técnicos de ARCOM Portovelo), una vez georreferenciados los puntos de cada posición, se obtiene un modelo 3D con la nube de puntos tanto para la fecha de julio 2017 (Figura 20a) como para enero 2018 (Figura 20b). A estos modelos se los puede comparar de manera general sobreponiendo uno sobre otro (Figura 21), donde se observa la variación que ha tenido la primera secuencia de escaneo (color azul) con respecto a la segunda (color amarillo). También es importante mencionar que la nube de puntos adopta el color real del terreno (Figura 22) a partir de las fotografías que son tomadas por la cámara integrada del escáner, lo que nos permite tener una mejor visualización y comprensión de la zona de estudio.

A partir de la triangulación y mallado se obtienen los distintos datos que posteriormente nos servirán para el análisis y comparación, estos datos se los exporta como archivos: LAS, dxf o al formato que vayamos a necesitar.

La información generada y utilizable a partir de datos escaneados se obtiene a través del procedimiento general que se detalla a continuación:

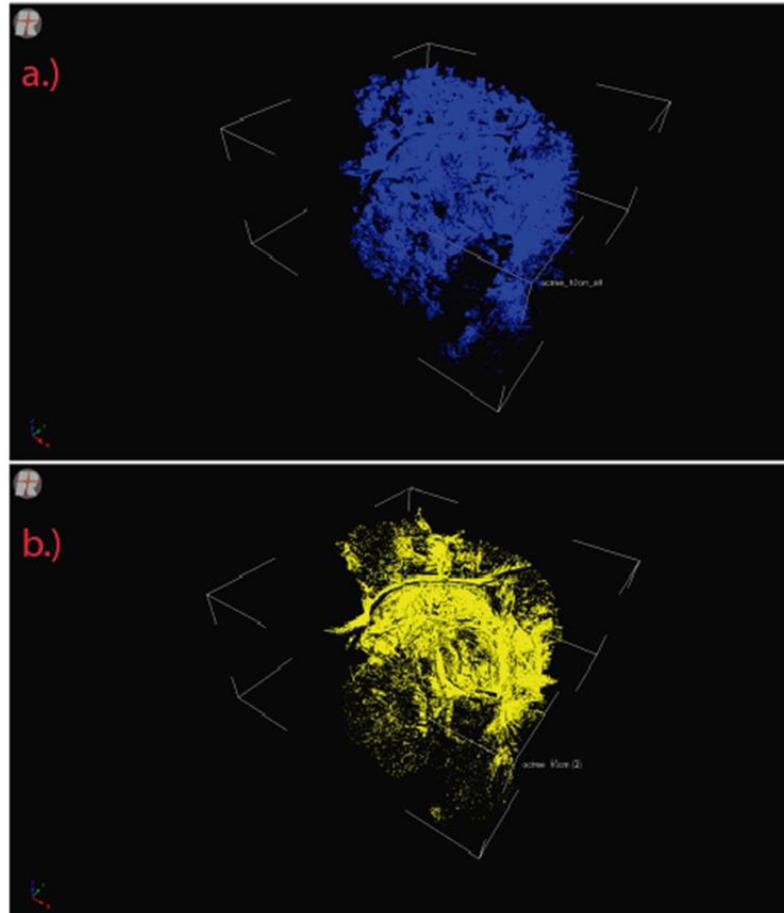


Figura 20: Modelo 3D en el software RiscanPro. a.) Nube de puntos de julio 2017; b.) Nube de puntos de enero 2018.

Fuente y Elaboración: La Autora.

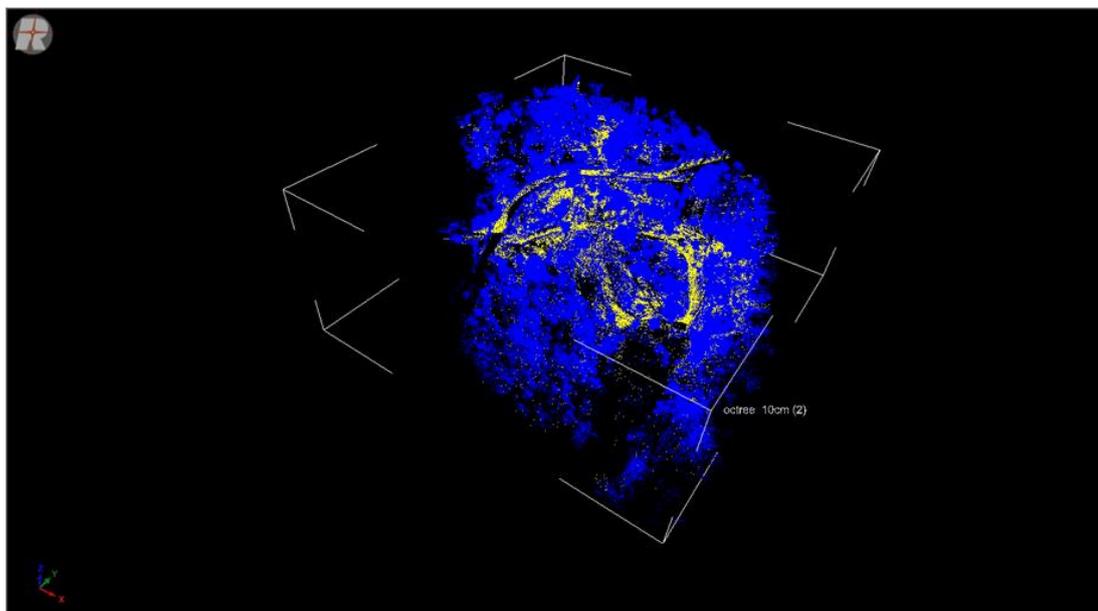


Figura 21: Comparación de nube de puntos de un barrido con respecto al otro.

Fuente y Elaboración: La Autora.

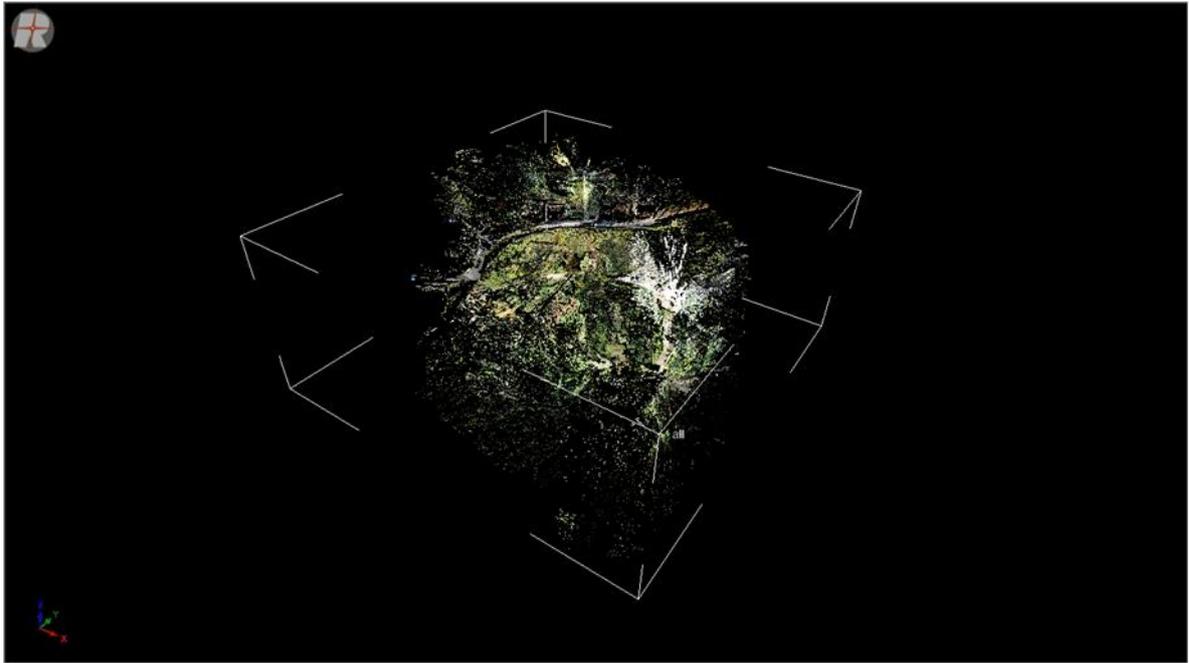


Figura 22: Modelo 3D con colores reales del terreno.  
Fuente y Elaboración: La Autora.

#### **4.3.2 Comparación de datos y análisis de resultados**

En esta fase de comparación existen varios métodos que permiten discriminar y analizar los cambios del terreno ocurridos entre la primera y la segunda fecha de adquisición de datos. Se ha considerado conveniente utilizar el programa ArcGis® ESRI para crear modelos digitales a partir de las curvas de nivel generadas por el software RiscanPro.

##### ***4.3.2.1 Comparación de modelos de elevación.***

Haciendo una diferencia (Map Algebra-Raster Calculator) entre estos MDT's para calcular el cambio de elevación (distancias medidas ortogonalmente al plano XY), se genera un nuevo modelo (Figura 23) donde se pone de manifiesto los cambios del terreno causados por los distintos procesos que involucran los movimientos de ladera. De este modo se observan valores negativos (-) y positivos (+), los valores negativos representan la falta de material en un determinado punto, pérdida de relieve por la erosión, hundimiento, recesión de escarpes principales y secundarios, etc. En cambio los valores positivos indican acumulación de material acarreado, nuevas zonas de depositación del material transportado por erosión o crecimiento de la vegetación.

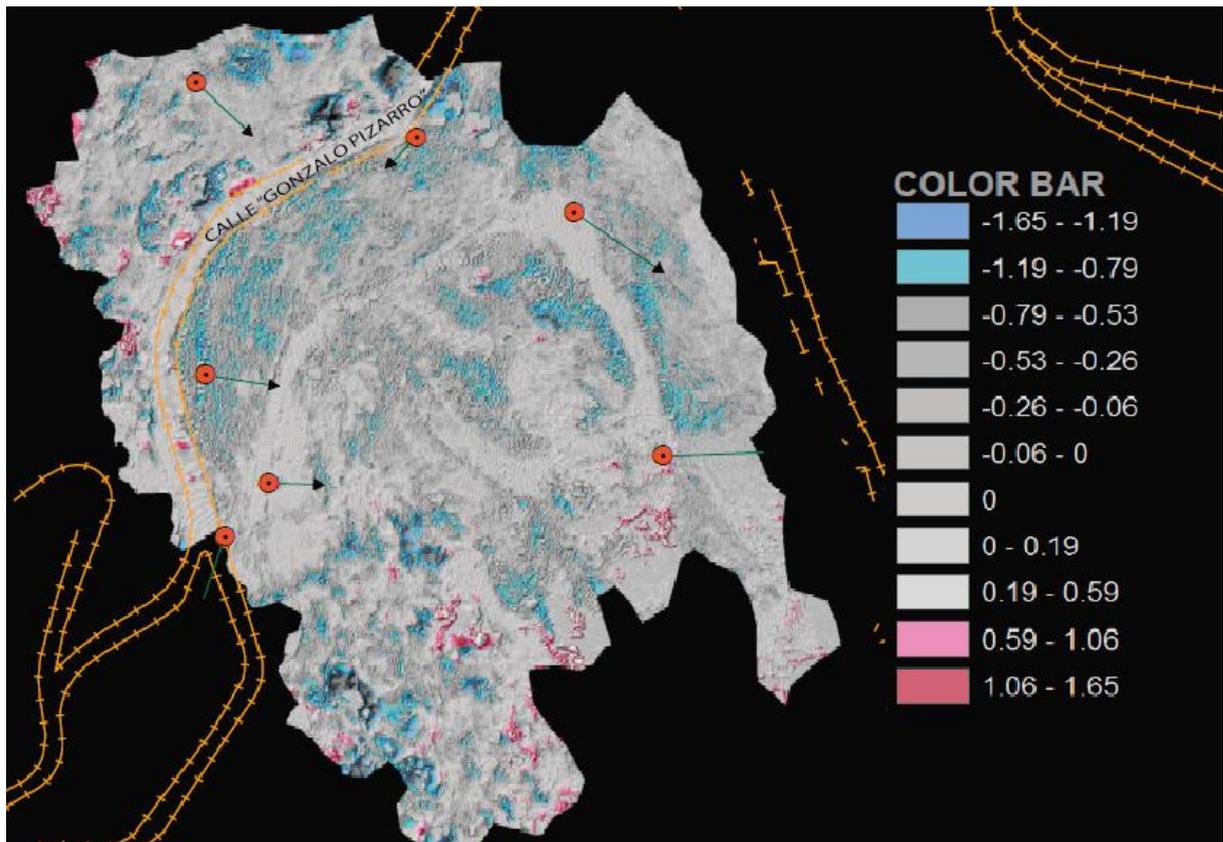


Figura 23: Modelo digital creado a partir de la diferencia entre el primer y segundo barrido, donde se muestra zonas positivas (+) y negativas (-).

Fuente y Elaboración: La Autora.

Existen valores fuera de rango (-0.79 a -1.65 como negativos y 0.59 – 1.65 como positivos) que nos indican la falta de curvas de nivel en esas zonas, lo que ocasiona un desfase de alturas, esto es debido a las zonas de sombras (lugares no escaneados) que no se han podido procesar con el escáner en campo.

En base a estos cambios detectados, se cuantifican mediante otras técnicas los desplazamientos relacionados en el movimiento de ladera. Para este trabajo se ha creído conveniente trazar perfiles en secciones que abarquen la mayor parte de las anomalías encontradas, ya que este método es más viable para objetos de superficies regulares y donde no ha ocurrido un desplazamiento considerable (como se había explicado anteriormente este movimiento es de clase II “muy lento” ver Anexo I).

#### 4.3.2.1.1 Sección A-A´.

Se ha determinado trazar una sección representativa del movimiento de ladera, en este caso por el centro del mismo (Figura 24), para de esta manera cuantificar los valores de desplazamiento mediante la creación de perfiles (con la ayuda de ArcView y su extensión

Easy Profile x2) tanto del primer esacaneo como del segundo. Así nos genera dos líneas con el modelo del terreno donde se las sobrepone y se compara su evolución (Figura 25).

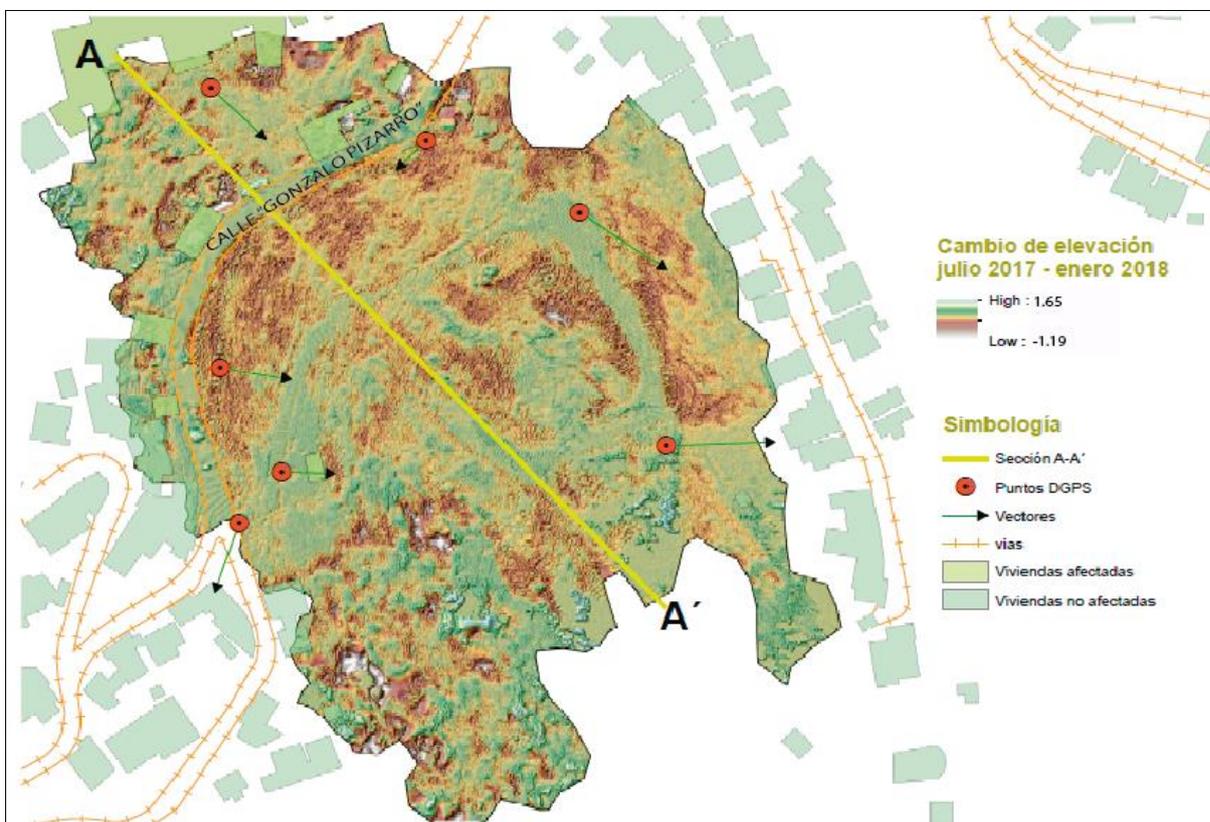


Figura 24: Evolución del movimiento de ladera de julio 2017 a enero 2018. Donde se muestra la sección A-A´.

Fuente y Elaboración: La Autora.

De este modo, de arriba abajo, la separación de los perfiles de julio 2017 – enero 2018 a lo largo de la sección A-A´ (Figura 25) muestra lo siguiente:

- Aproximadamente a 20 m del perfil se indica un desplazamiento descendente representativo de 0.143 m en la zona inferior del escarpe principal (Figura 27).
- En la calle principal “Gonzalo Pizarro” se observa una mínima variación al ancho de la vía de 0.01 m y decae a un 0.05 m al momento de empezar la pendiente (Figura 26).
- En un camino secundario se muestra un ascenso de material de 0.057 m lo que posiblemente se atribuya a un depósito posterior de material de relleno para dicho camino. Además de esta elevación a lo largo de las vías indicadas en la figura no se muestra mucha variación, lo que indica la continuidad y regularidad.

- Casi en su totalidad los perfiles indican, hasta aproximadamente 230 m, que la traza de fecha Enero 2018 está por debajo de la traza de Julio del 2017, lo que da a entender una anomalía negativa (perdida de relieve) con respecto al material entre una fecha y otra.

- En la parte más baja del movimiento, casi al llegar al pie del mismo, se observa un ascenso y descenso de material. El ascenso de 0.11 m encontrado a 250 m del perfil, se pudo generar por el depósito de material arrastrado por la pendiente ya que a lo largo encontramos depresiones de 0.08 m - 0.10 m. En cambio el descenso ubicado a aproximadamente 253 m se lo atribuye a la erosión de un escarpe secundario, este tiene un valor de 0.16 m.

Todo esto tiene relación con lo encontrado en las diferentes campañas de campo, donde se fueron evidenciando estos resultados, ya que de fecha junio a enero, se pudo apreciar la abertura de grietas tanto de viviendas, veredas y calles (ver Anexo II), como del material de escarpes y suelo que conforma la zona de estudio; también se apreció la erosión de escarpes secundarios, debido al arrastre del material, posiblemente por la acción de la lluvia; así como el crecimiento de la vegetación.

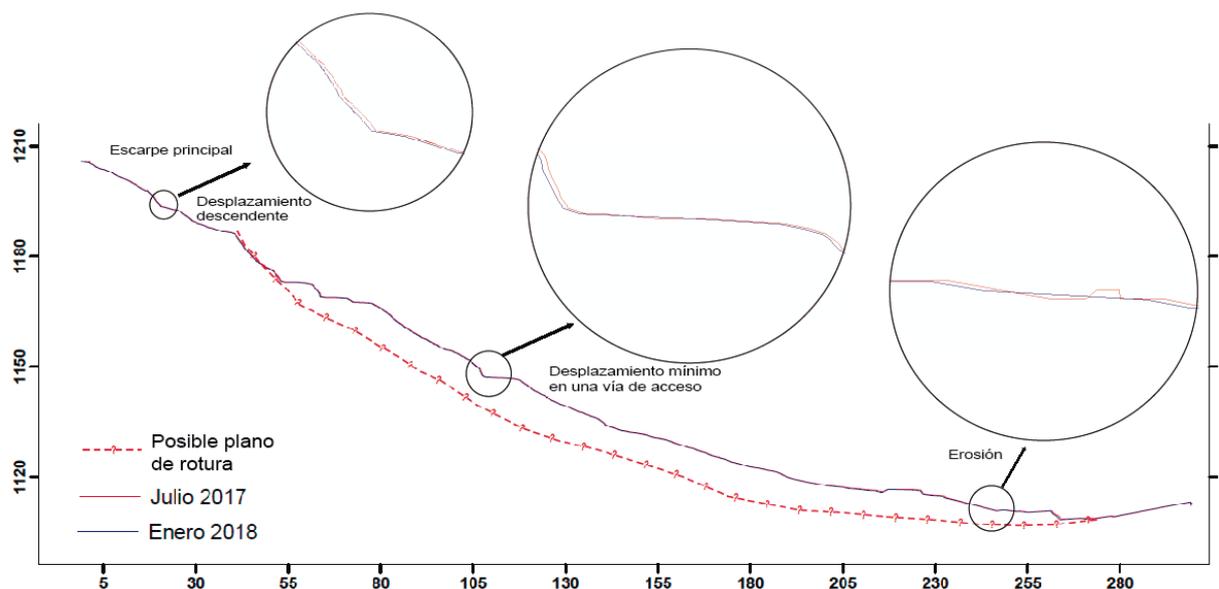


Figura 25: Perfil ilustrativo de la evolución temporal del movimiento de ladera. Donde se indican zonas representativas de anomalías positivas y negativas.

Fuente y Elaboración: La Autora.

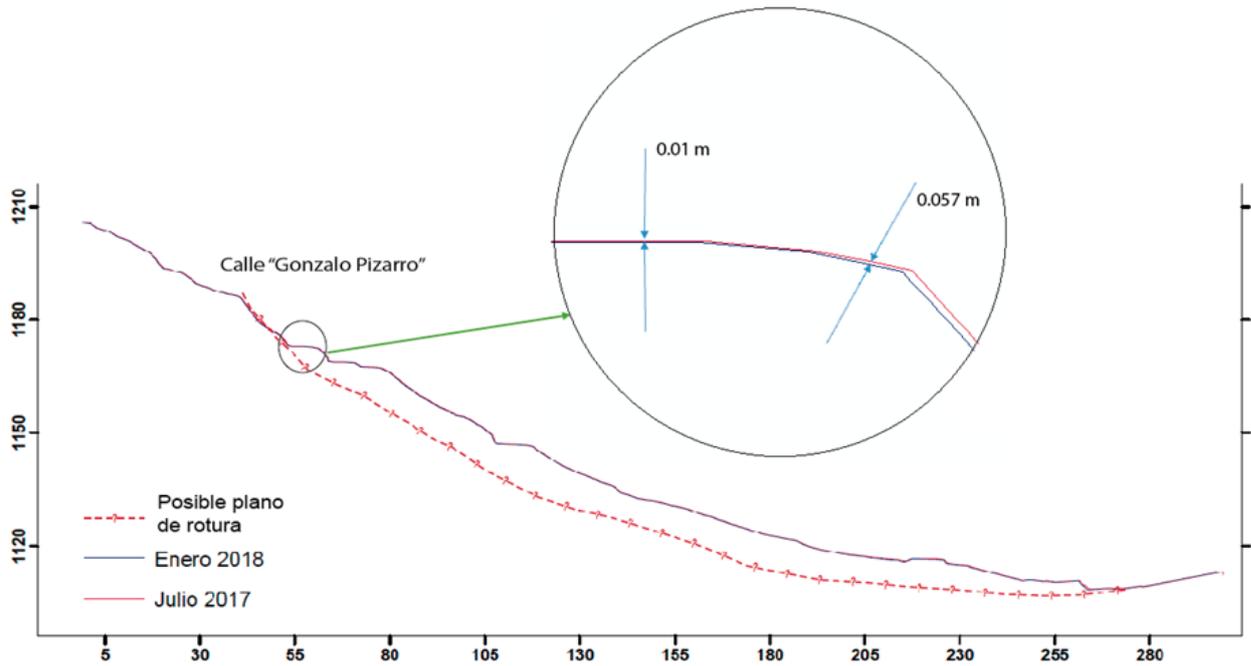


Figura 26: Comparación de perfiles en la vía Gonzalo Pizarro".

Fuente y Elaboración: La Autora.

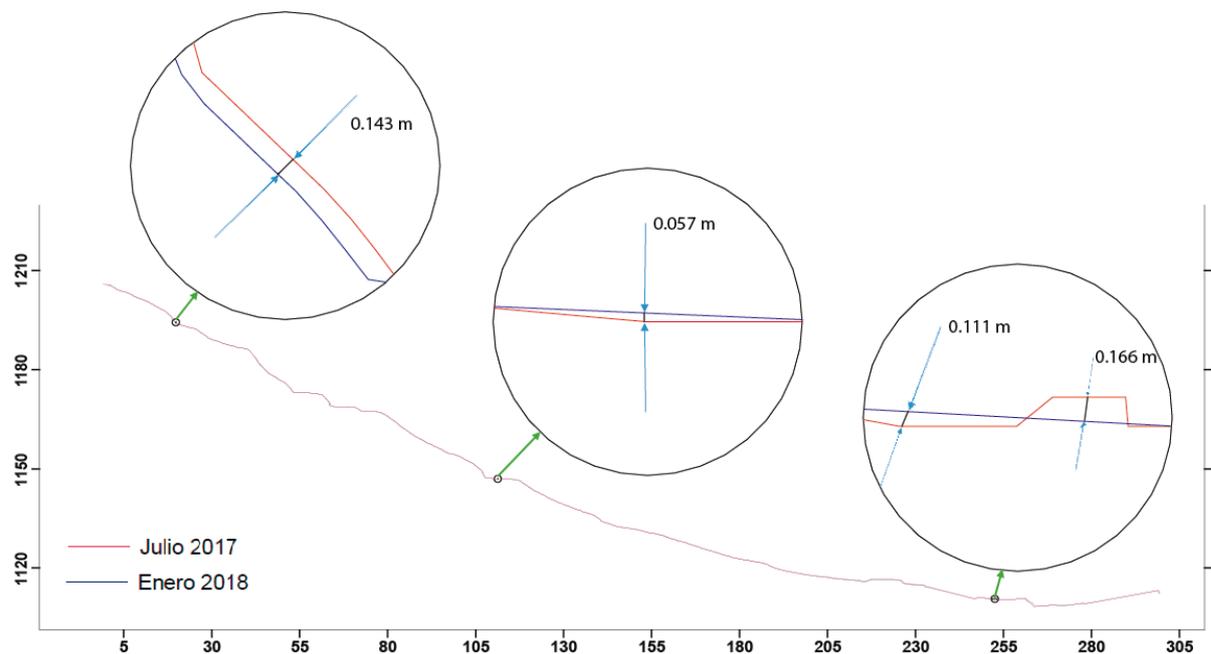


Figura 27: Valores de desplazamientos más representativos a lo largo de los perfiles comparativos.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### 4.3.2.1.2 Cálculo de volumen.

Para realizar el cálculo de volumen del material desplazado a lo largo de la sección A-A' antes descrita, se ha creído conveniente utilizar el software Global Mapper 18, para esto realizamos

un buffer de 4 m a la traza. En el software añadimos los DTM's creados (Figura 28) y mediante la opción Analysis/Masurement – VOLUME – Measure Volume (cut and fill) se calcula el volumen de cada modelo digital poniendo una base de elevación de 1 m para todos los vértices de esta línea.

Con este principio para cada DTM se calculó un volumen partiendo del área de la sección que es  $1027.87 \text{ m}^2$  y la profundidad de cada vértice (cota) encontrado en 1 m. Para el primer DTM del periodo Julio 2017 se tiene un volumen de  $0.5403 \text{ m}^3$  y para el DTM de Enero del 2018 se obtiene un volumen menor de  $0.1175 \text{ m}^3$ , lo que nos indica la perdida de volumen de una fecha con respecto a la otra y por tanto el volumen total que se ha desplazado es la diferencia entre estos, siendo de esta manera  $0.4228 \text{ m}^3$  el volumen perdido en  $1027.87 \text{ m}^2$  que representa la sección A-A' con un buffer de 4 m.

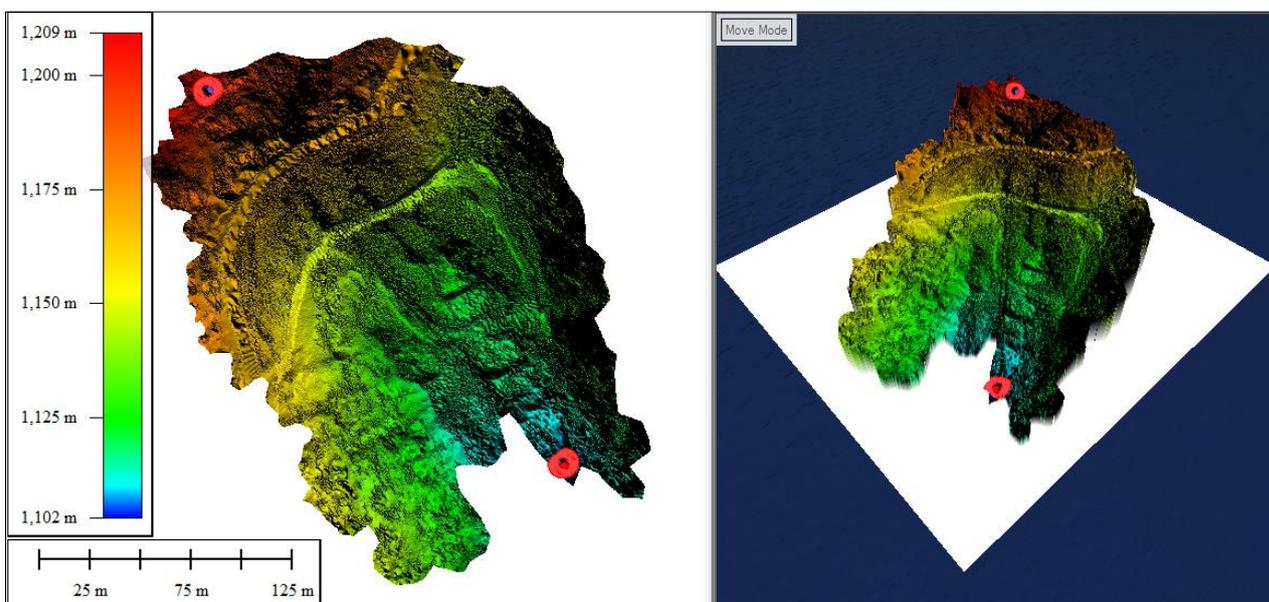


Figura 28: Cálculo de volumen para un DTM en Global Mapper.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### 4.4 Ensayo de Tomografía Eléctrica

El trabajo de campo desarrollado ha consistido en realizar 2 perfiles de tomografía eléctrica con el objetivo de obtener la mejor relación entre resolución y profundidad del área de investigación. Estos 2 perfiles fueron distribuidos uno de manera paralela y otro perpendicular al movimiento de ladera (Figura 29), todos con una distancia de 2m entre cada electrodo, se utilizó la configuración Dipolo – Dipolo, bajo el protocolo Dip–Dip4L+Dip–Dip4S con cuatro canales, integrado en el sistema LUND del Terrameter.

Una vez que se ha terminado el trabajo de campo, se ha realizado la respectiva inversión de los datos de tomografía (ver Anexo IV) con la inclusión de la topografía del área, mediante el

software RES2DINV, el mismo que nos ha proporcionado dos perfiles geo-eléctricos en 2D, uno en sentido N-S y otro en sentido E-W del movimiento de ladera, con las respectivas resistividades y anomalías de los materiales encontrados. Para la interpretación de dichos perfiles se ha relacionado con la geología del sector, valor de resistividad de los diferentes materiales presentes en el área, grietas, escarpes, límites de deslizamiento, zonas saturadas y cavidades (galerías presentes en la zona). A continuación en la tabla 9 se muestra un resumen con los principales parámetros utilizados para la configuración de cada línea de ERT y en la tabla 10 se indican las coordenadas del punto de inicio y final de las líneas de tomografía expresadas en WGS84.

Tabla 9: Parámetros utilizados en las líneas de ERT.

Perfil	N°. de electrodos	Separación de los electrodos (m)	Longitud total (m).	Arreglo	Dirección
A-A'	80	2	160	Dipolo- Dipolo	N-S
B-B'	80	2	160	Dipolo- Dipolo	E-W

Fuente y Elaboración: La Autora.

Tabla 10: Coordenadas iniciales y finales de las líneas.

PERFILES	COORDENADAS INICIALES		COORDENADAS FINALES	
	X	Y	X	Y
LÍNEA A-A'	654494.67	9591655.30	654522.40	9591550.22
LÍNEA B-B'	654417.54	9591548.57	654511.34	9591661.20

Fuente y Elaboración: La Autora.

La interpretación de los resultados de ERT se basa en las resistividades de la masa de roca estudiada, en este caso de un paquete de tobas de cristales de composición andesítica y en la parte superior roca altamente alterada y meteorizada compuesta de arcilla y limo. Se ha realizado la correlación de las líneas de tomografía con la geología de la zona de estudio, dándonos 2 perfiles de tomografía (A-A' y B-B') y 2 cortes geológicos, uno en sentido N-S y otro E-W (Figura 29).

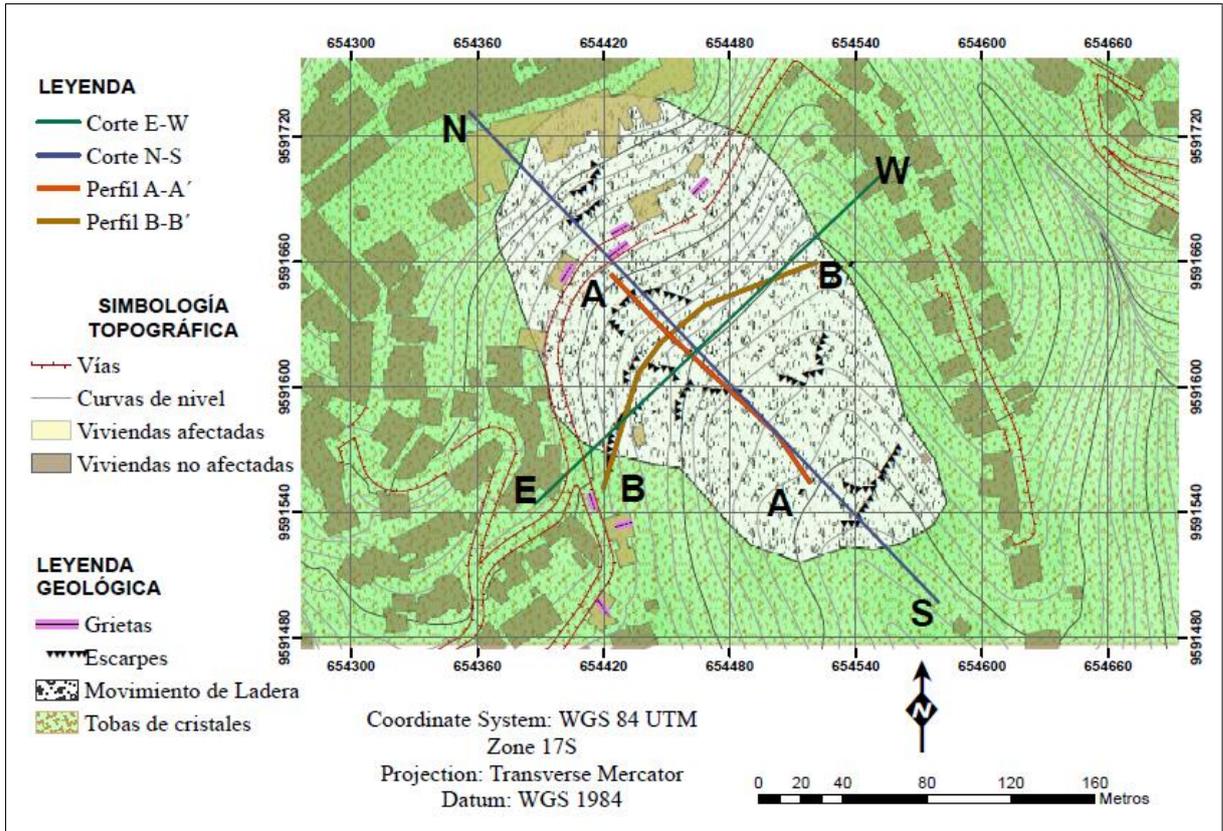


Figura 29: Ubicación de perfiles de ERT y cortes geológicos.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### 4.4.1 Perfil A-A'

En el perfil A-A' se observan valores de resistividades que van desde  $1009 \Omega$  a  $48518 \Omega$ , el valor más bajo representa un paquete de tobas (Figura 30), las mismas que componen la zona de estudio. A una distancia de 35 m aproximadamente y profundidad de 9m se observa una anomalía positiva muy clara con forma circular o ligeramente ovalada, con valores que van de  $14583 \Omega$  hasta  $48518 \Omega$ . Siguiendo el perfil en las distancias de 100 y 107 m se aprecian dos pequeñas anomalías con un valor de  $7796 \Omega$ . Y por último a la distancia de 150 m a una profundidad de 5 m se observa otra anomalía positiva de forma semicircular muy marcada, con valores que van de  $14583 \Omega$  a  $48518 \Omega$ . Se asume que todas estas anomalías positivas son galerías mineras que se encuentran debajo de la zona de estudio, en la figura 30 se ha señalado la posición de cada galería y esto se comprueba ya que cada anomalía coincide con los trabajos mineros que se muestran en la figura 34 (información proporcionada por ARCOM Portovelo) relacionada con los perfiles de tomografía realizados.

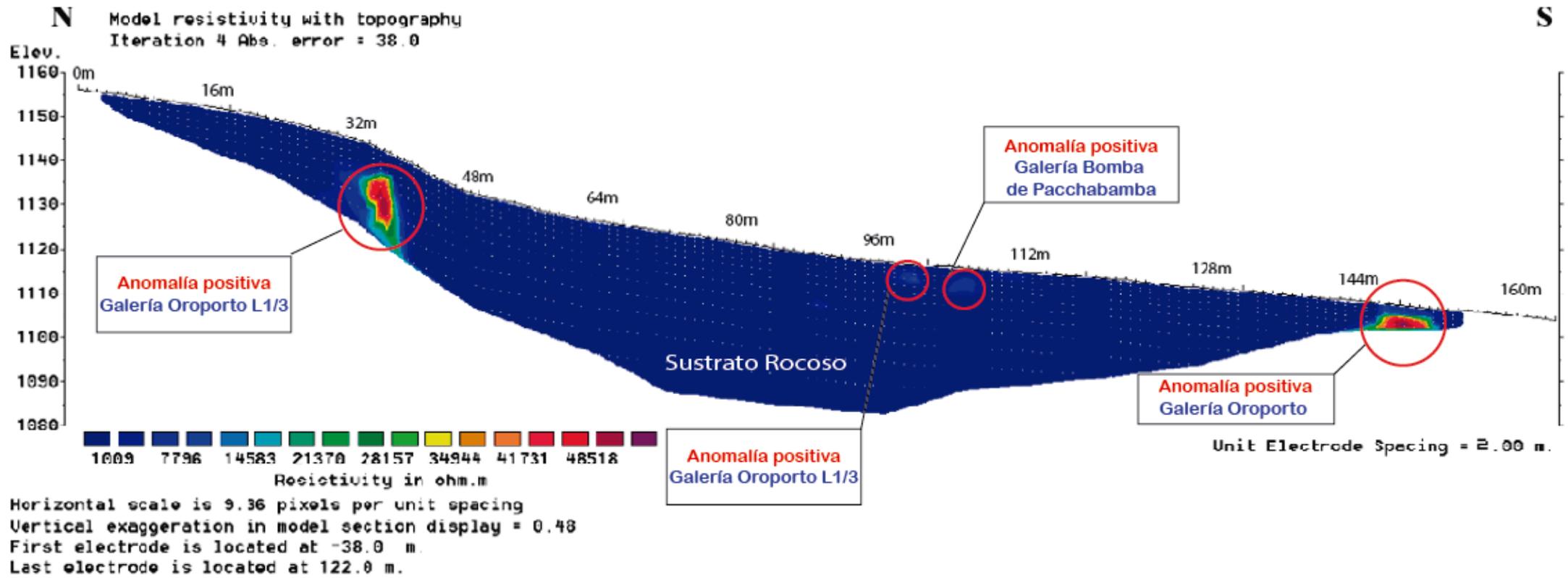


Figura 30: Perfil de tomografía A-A', donde se muestran las anomalías positivas encontradas.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### 4.4.2 Corte geológico N-S

En el corte geológico (Figura 31) se encuentra el principal paquete de tobas de cristal de composición andesítica atribuidas a las resistividades de 1009  $\Omega$  del perfil de tomografía (Figura 30). En este corte se observa la pendiente relacionada con el terreno de la zona de estudio, en el mismo se infiere el posible plano de deslizamiento que empezaría aproximadamente a los 40 m, al igual que el cambio brusco de pendiente del perfil de tomografía que empieza a los 39 m aproximadamente. Además se indican los diferentes escarpes encontrados a lo largo del perfil lo que nos da una idea de una activación de material.

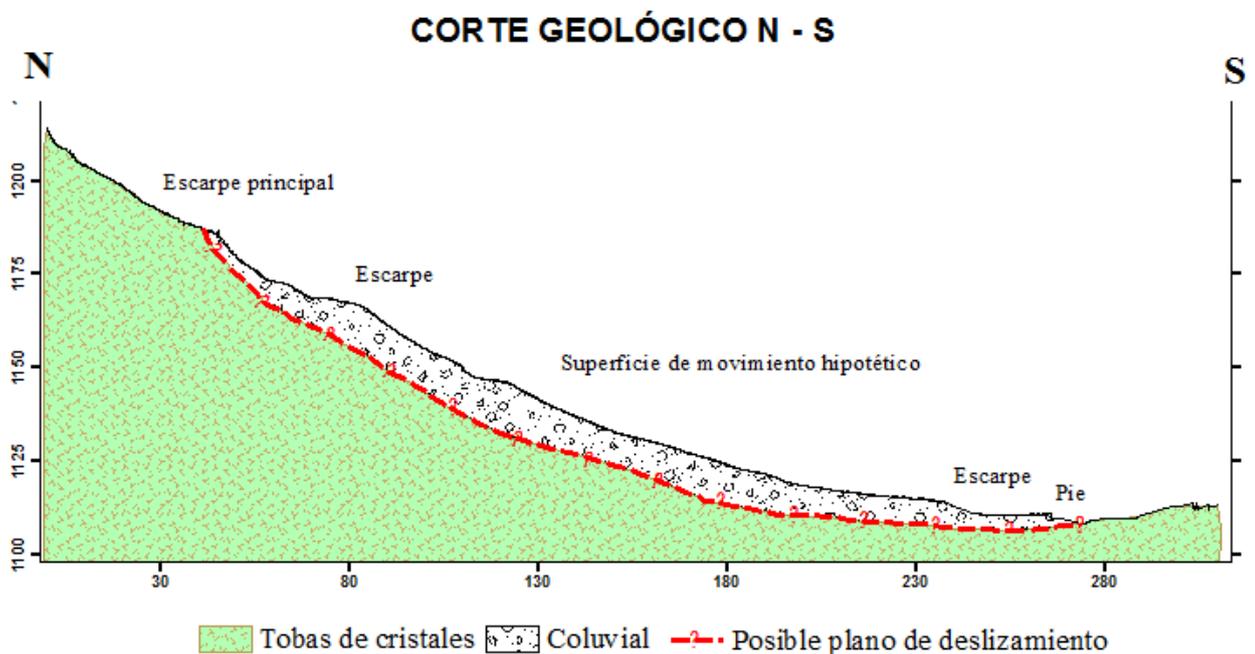


Figura 31: Corte geológico en sentido N-S, donde se indican los principales componentes del movimiento de ladera y sus correlaciones con el perfil A-A´.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### 4.4.3 Perfil B-B´

En el perfil B-B´ se observa cómo va cambiando el espesor, la zona izquierda disminuye en relación con la parte derecha, esto se debe a que en esta zona existe un depósito de material de relleno superficial, el mismo que no nos ha permitido tener un buen contacto con los electrodos. Existen valores de resistividades que van desde 1149  $\Omega$  a 17858  $\Omega$ , el valor más bajo al igual que en el perfil A-A´ representa un paquete de tobas. A una distancia de 96 m y una profundidad de 3 m se halla una anomalía positiva de forma circular con valores de resistividad que van de 4282  $\Omega$  a 12427  $\Omega$ . Siguiendo el perfil se observa otra anomalía ubicada a 115 m con una profundidad de 2.5 m, con valores de 1566  $\Omega$  a 17858  $\Omega$ . Y a una distancia de 130 m con profundidad de 5 m se encuentra otra anomalía positiva con valores

que van desde 1566  $\Omega$  hasta 4282  $\Omega$ . Al igual que en el perfil anterior se asume que todas estas anomalías positivas son las mismas galerías mineras, en la figura 32 se ha señalado la posición de cada galería y esto se comprueba ya que cada anomalía coincide perfectamente con los trabajos mineros que se muestran en la figura 34 (información proporcionada por ARCOM Portovelo) relacionada con los perfiles de tomografía realizados.

Además de estas anomalías positivas muy marcadas que se atribuyen a trabajos mineros, se observan también anomalías en formas subalargadas que empiezan a una distancia de 10 m, 20 m, 32 m, 40 m y 52 m respectivamente, las mismas tienen una resistividad de 1566  $\Omega$  a 4282  $\Omega$ , se las considera como posibles galerías rellenas con el mismo material caja.

#### **4.4.4 Corte geológico E-W**

En el corte geológico (Figura 33) se observa la superficie de movimiento hipotético, el mismo que se lo ha considerado de esta manera por el material que lo conforma y los escarpes encontrados en toda esta zona, dándole un ancho de aproximadamente 100 m. Al igual que en el corte anterior se le atribuye el valor de 1149  $\Omega$  al mismo paquete de tobas de cristal de composición andesítica que conforman la zona de estudio. Tanto en el corte como en el perfil de ERT encontramos una zona de depresión aproximadamente a 90 m, misma zona que en campo se considera como una pérdida de material.

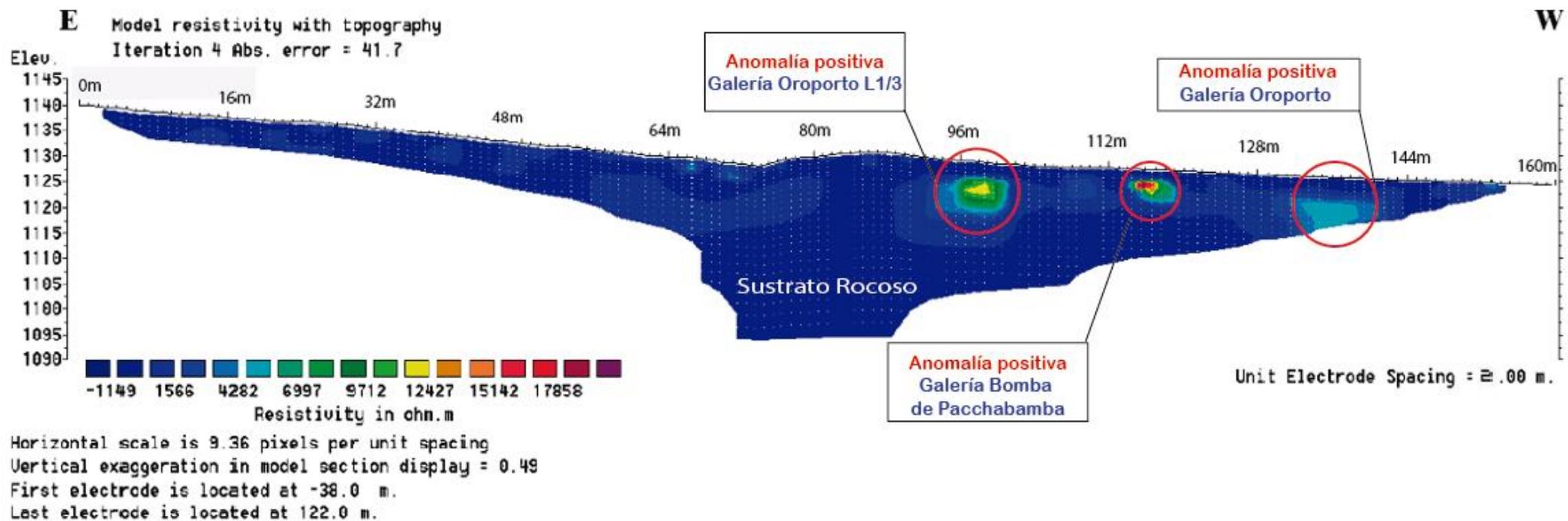


Figura 32: Perfil de tomografía eléctrica B-B', donde se indican las principales anomalías positivas.

Fuente y Elaboración: La Autora.

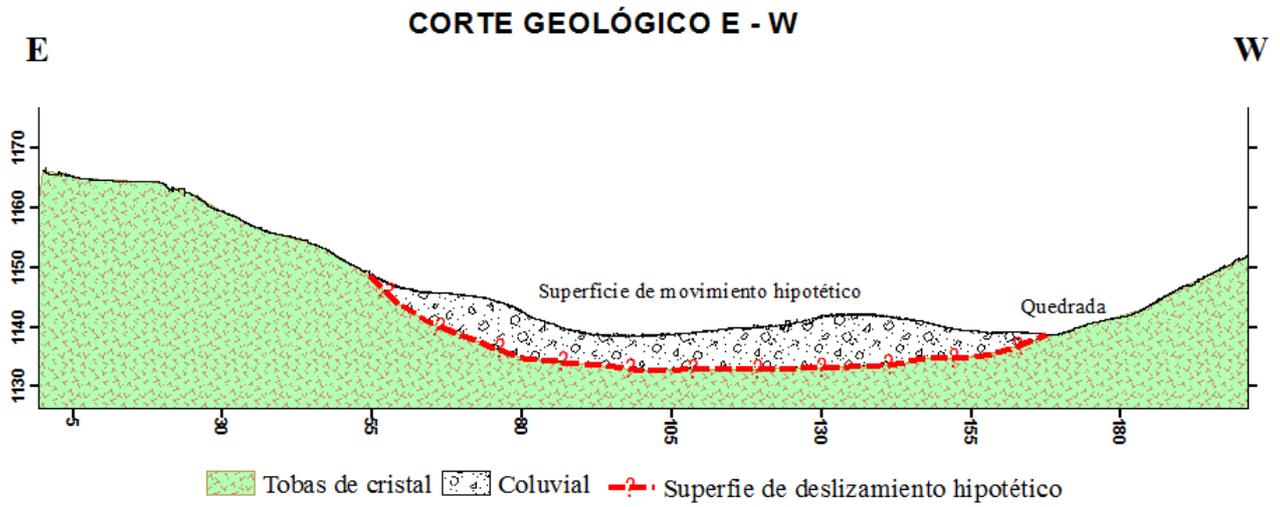


Figura 33: Corte geológico en sentido E-W, donde se indican los principales componentes del movimiento de ladera y sus correlaciones con el perfil B-B'.

Fuente y Elaboración: La Autora.

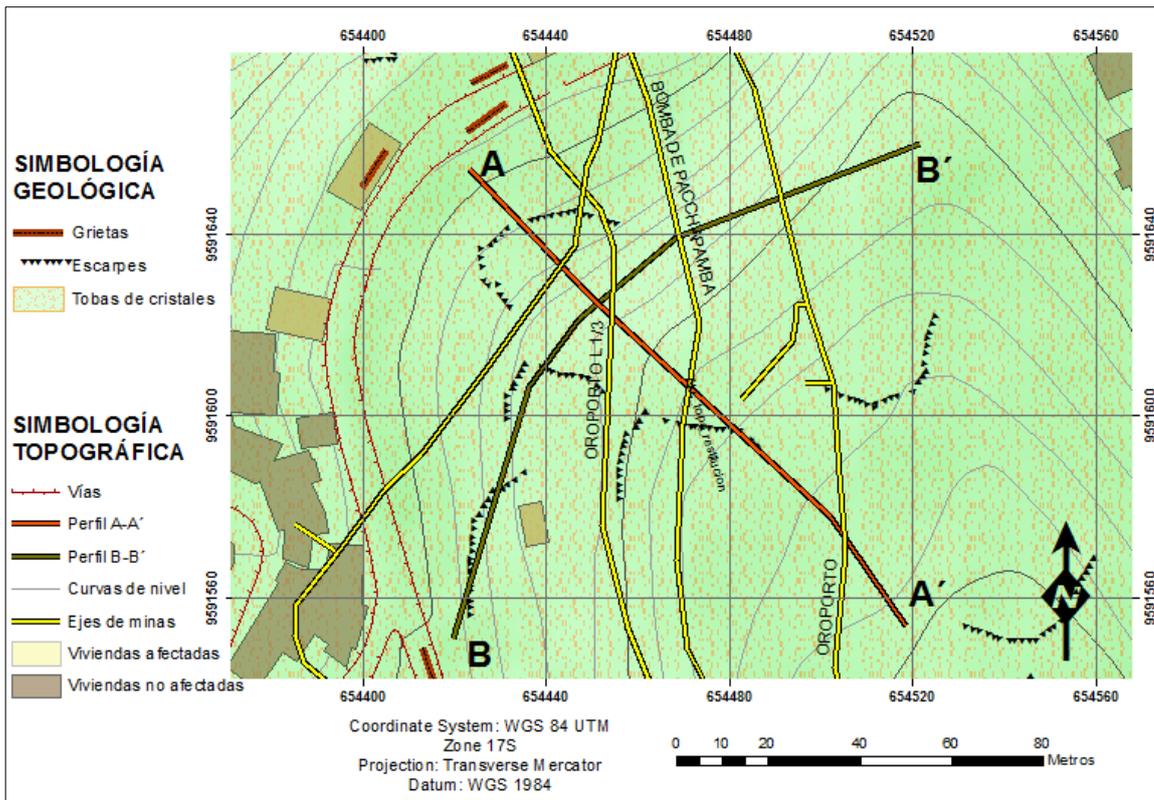


Figura 34: Correlación de galerías mineras con líneas de ERT.

Fuente y Elaboración: La Autora.

## 4.5 Muestreo y ensayos de suelos

### 4.5.1 Localización de muestras y características de suelo

Para realizar un correcto muestreo de suelos es necesario previamente observar en la campaña de levantamiento geológico las características que presenta el suelo, con esta idea se procede a la toma de muestras que sean representativas en el movimiento de ladera. De este modo se tomaron un total de 3 muestras (Figura 35), a profundidades variadas (1-1,5 m), la cual estuvo en función de la potencia de la capa de cobertura vegetal, las coordenadas de la ubicación de las muestras se exponen en tabla 11.

Tabla 11: Coordenadas de la ubicación de muestras.

MUESTRAS	COORDENADAS		
	X	Y	Z
PM1	654451.54	9591631.57	1134
PM2	654492.72	9591654.20	1129
PM3	654363.58	9591602.75	1177

Fuente y Elaboración: La Autora.

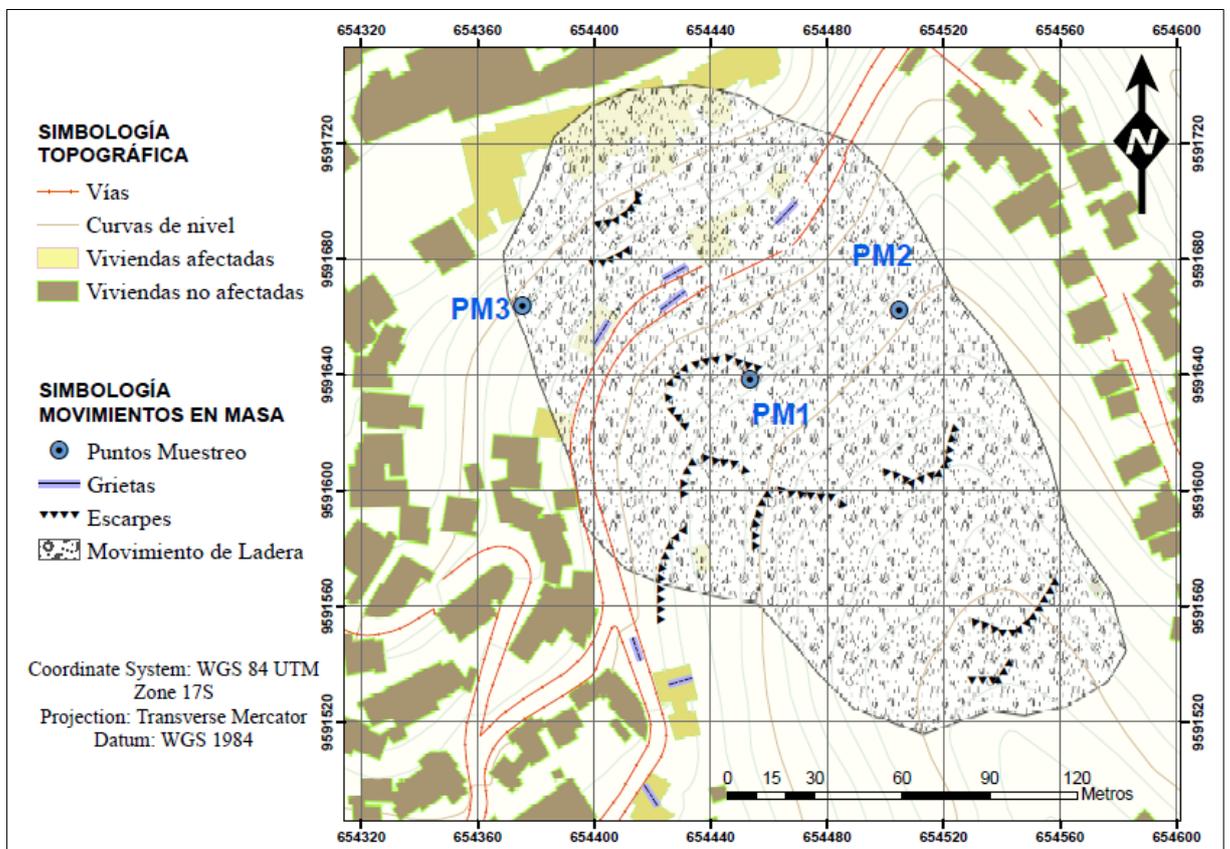


Figura 35: Localización de puntos de muestreo dentro del movimiento de ladera.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### 4.5.2 Ensayos de laboratorio

El objetivo de los ensayos de laboratorio es obtener las propiedades físico-mecánicas de los suelos que al final nos permitan realizar una correlación de datos entre los resultados de cada una de las muestras ensayadas.

La ejecución de los ensayos se realizó en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la UTPL. Las muestras se encontraban en un buen estado de conservación y debidamente etiquetadas y referenciadas. Se realizaron los ensayos de humedad natural, límites de Atterberg y granulometría, con el fin de, realizar la correcta clasificación del suelo de acuerdo a la normatividad S.U.C.S y AASHTO, cabe resaltar que estos ensayos fueron realizados sobre muestras inalteradas. Adicionalmente se realizaron los ensayos de permeabilidad y comprensión triaxial para 9 probetas (3 muestras) de suelos para determinar la cohesión, ángulo de fricción y peso específico, parámetros que nos permiten definir la capacidad portante del suelo.

En el Anexo III se encuentran los formatos con los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos efectuados, sin embargo en las siguientes tablas 12 y 13 se presentan de forma resumida:

Tabla 12: Resumen de valores obtenidos en el laboratorio para la clasificación de suelos.

MUESTRAS	PROF.(m)	GRANULOMETRÍA % PASA TAMIZ				PLASTICIDAD			CLASIFICACIÓN		
		N°4	N°10	N°40	N°200	LL%	LP%	IP%	SUCS	ASSHTO	DESCRIPCIÓN
PM1	1.1	100	100	100	96	63	27	36	CH	A-7-6	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad
PM2	1.0	100	99	96	94	59	34	25	OH	A-7-5	Limos orgánicos de elevada compresibilidad
PM3	1.5	100	100	100	96	59	38	21	OH	A-7-5	Limos orgánicos de elevada compresibilidad

Fuente y Elaboración: La Autora.

Tabla 13: Resumen de los resultados de ensayos de laboratorio.

MUESTRAS	PROF.(m)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	ENSAYO TRIAXIAL		PERMEABILIDAD
			C(Kg/cm <sup>2</sup> )	Ø	K(cm/s)
PM1	1.1	26.03	2.4	24°	9.76756E-08
PM2	1.0	34.98	0.7	19°	1.44876E-06
PM3	1.5	21.69	0.5	21°	4.85456E-07

Fuente y Elaboración: La Autora.

Los datos obtenidos de los ensayos nos indican que el movimiento de ladera en su parte más superficial está compuesto principalmente de Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad (CH) y de Limos orgánicos de elevada compresibilidad (OH), es decir muestras de partículas

extremadamente finas, que en su totalidad pasan el tamiz N° 10, descartándose así la presencia de partículas que alcancen el tamaño de gravas.

De acuerdo con la determinación de límites de Atterberg (Figura 36), las muestras son de medio a elevada plasticidad (el límite líquido LL y el índice de plasticidad IP varían con rangos de 27-36; 34-25; 38-21, respectivamente). La permeabilidad da rangos de  $9 \times 10^{-08}$  cm/s a  $1 \times 10^{-06}$  cm/s lo que se traduce a suelos “impermeables” homogéneos y suelos “impermeables” modificados por la vegetación o la descomposición. Los ángulos de fricción interna van de  $24^\circ$  a  $19^\circ$ , así mismo la cohesión varía para cada muestra siendo  $2.4 \text{ kg/cm}^2$  el valor más alto y  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  y  $0.5 \text{ kg/m}^2$  respectivamente los valores más bajos. Los valores más altos tanto en ángulo como en cohesión se relacionan con las arcillas inorgánicas y los más bajos a los limos de elevada compresibilidad.

Las arcillas inorgánicas (CH) presentan una humedad natural promedio de 26%, con un alto límite líquido 63% y un índice de plasticidad elevado 36%, además su coeficiente de permeabilidad es el más bajo  $9 \times 10^{-08}$ , lo que nos indica la elevada impermeabilidad de acuerdo con la humedad natural, llegando a saturarse y no filtrar el agua de manera instantánea, las lluvias que son producidas en los meses posteriores generaría posiblemente otro contenido de humedad más elevado por ello representa la parte donde se encuentran escarpes secundarios reactivados. Presenta una elevada cohesión  $2.4 \text{ Kg/cm}^2$  y un elevado ángulo de fricción interno  $24^\circ$ .

La muestra PM2 corresponde a limos orgánicos de elevada compresibilidad (OH), más saturadas ya que su humedad representa 35%, aumentando su capacidad de retención de agua en comparación con las arcillas inorgánicas y con baja plasticidad 25%, su coeficiente de permeabilidad es el más alto  $1.44876 \times 10^{-06}$  lo que lo evidencia como material semipermeable por filtrar el agua de manera más rápida. Presenta una cohesión muy baja propia de este tipo de suelos  $0.7 \text{ Kg/cm}^2$  y un ángulo de fricción interno de  $19^\circ$ .

La última muestra PM3 también se la define como limos orgánicos (OH), estos son menos saturados que los anteriores ya que tienen una humedad natural de 21% y un índice de plasticidad muy bajo 21% lo que no representa un problema de estabilidad. Al tener un coeficiente de permeabilidad de  $4.85456 \times 10^{-07}$  se lo considera como material semipermeable. Tiene una cohesión muy baja de  $0.5 \text{ Kg/cm}^2$  y un ángulo de fricción interno de  $21^\circ$ .

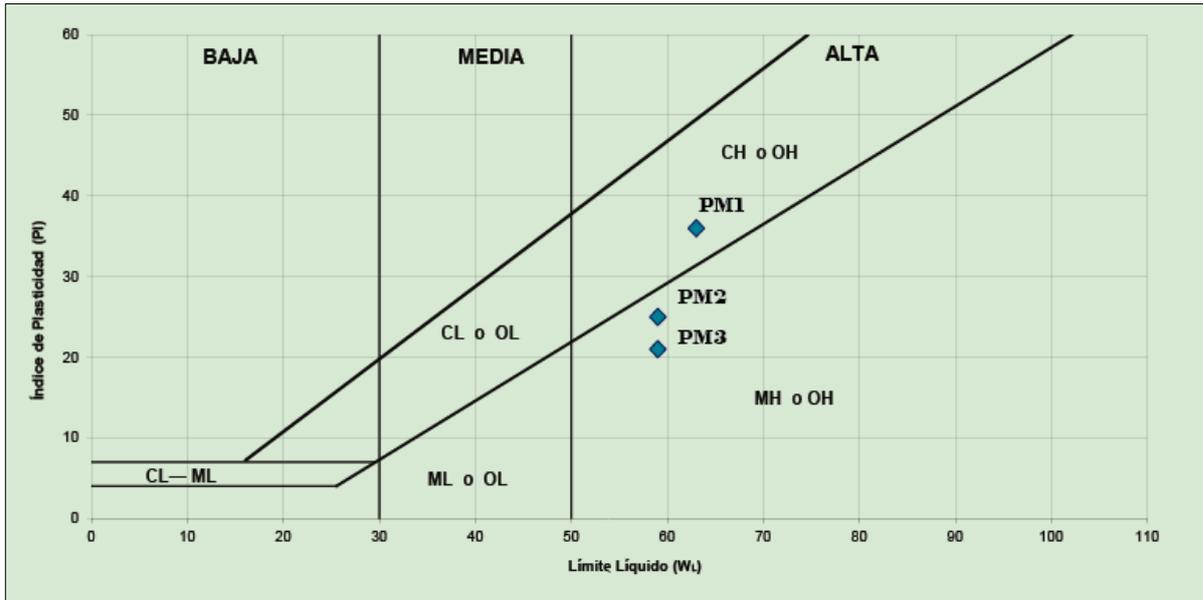


Figura 36: Ubicación de las muestras estudiadas en la carta de plasticidad de Casagrande.

Fuente y Elaboración: La Autora.

#### 4.6 Análisis de grietas

Se ha creído conveniente hacer un inventario de grietas y aberturas en el tiempo de transcurso del estudio, para saber si los datos obtenidos se correlacionan con los distintos métodos empleados.

De este modo se ha logrado conocer que la mayor parte donde ocurre desplazamiento es en el centro de la vía “Gonzalo Pizarro” teniendo aberturas que van de 1 mm a 2.5 mm, toda esta información se la puede encontrar en las fichas del Anexo II.

## CONCLUSIONES

La zona de estudio en su totalidad está conformada geológicamente por rocas ígneas de la Unidad Portovelo, relacionadas con el volcanismo oligocénico del Grupo Saraguro, estas rocas principalmente son tobas de cristales de composición andesítica afectada por alteración hidrotermal tipo argílica, encontradas en galerías de trabajos mineros, ya que en superficie no existen afloramientos visibles.

De acuerdo al mapeo geológico, la parte superficial está conformada por suelos residuales lateríticos, principalmente están conformados por arcillas y limos, sobre los cuales se ha colocado una sobrecarga de material de escombrera de formas y tamaños irregulares de composición andesítica.

El movimiento de ladera se evidencian dos problemas: la reactivación de un antiguo deslizamiento y desplazamiento de flujos, reflejados en pequeñas reptaciones de los suelos de composición arcillosa, ya que geotécnicamente se demuestra que son materiales de baja cohesión en donde no se distingue una superficie de falla y se desplazan a velocidades muy lentas, además de presentar ángulos de fricción interna muy bajos ( $19^\circ$  a  $24^\circ$ ) en comparación con la pendiente del terreno ( $45^\circ$  aproximadamente) ; y la posible subsidencia en la vía Gonzalo Pizarro por cambios de presiones de poros, sobre material de relleno existentes en las galerías abandonadas. En conjunto, su efecto destructivo es bajo y puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad de terreno.

El monitoreo con DGPS nos indica que en todos los puntos de control existe movimiento, y que se desplazan con preferencia hacia el Sur-Este, entonces se establece que el movimiento de ladera de la “Calle Gonzalo Pizarro” presenta una cinemática de movimiento muy lento. Todos los puntos de monitoreo presentan una clasificación de II en base a su velocidad, excepto el punto de monitoreo 006 que da una clasificación de I (extremadamente lento).

El monitoreo con DGPS después de un periodo de seis meses, determina que los valores más altos de velocidad los presentan los puntos de monitoreo 003 y 007 con 11.43 y 7.54 cm/año respectivamente y el valor más bajo lo da la estación 006 con 1.33 cm/año. El punto de control 007 representa el escarpe principal del movimiento de ladera donde se evidencia el desplazamiento tanto vertical como horizontal.

La técnica de escáner láser 3D (TLS) permitió realizar un seguimiento detallado de la variación de la actividad del movimiento de ladera de la calle “Gonzalo Pizarro”, la misma ha revelado

rasgos y deformaciones de magnitudes relativamente pequeñas durante el periodo de seis meses. Esto ha sido posible por el análisis de los productos obtenidos; interpretados a partir de zonificaciones precisas de los desplazamientos diferenciales calculados sobre modelos del terreno, así como de mediciones sobre perfiles detallados extraídos de dichos productos.

De acuerdo a los modelos digitales se observan zonas negativas (-) de 0.53 m y positivas (+) de 0.59, habiendo valores que están fuera de rango (-1.65m y 1.65m) justamente en las partes del modelo que no existen datos, lo que es comprensible por las zonas de sombra no tomadas por el escáner. Según las distintas zonas de depresión o avance, alcanzaron valores en torno a 0.01- 0.08m; habiéndose medido también desplazamientos descendentes de 0.05-0.28m. El volumen de masa perdida entre estos dos perfiles es igual 0.4228 m<sup>3</sup>.

Los modelos de inversión de tomografía eléctrica (Anexo IV) presentan una gran variación en los rangos de resistividades. Para el perfil A-A' los materiales caracterizados por una baja resistividad (1009  $\Omega$ ) representan el sustrato rocoso de la zona de estudio perteneciente a tobas de cristal, se observan 4 anomalías positivas que van desde 14583  $\Omega$  hasta 48518  $\Omega$  que tienen formas circulares y ovaladas a las cuales se consideran como galerías mineras. Para el perfil B-B' al igual que en el perfil anterior se tiene valores bajos de resistividad (1149  $\Omega$ ) que representan las mismas tobas de cristal, y 3 anomalías positivas que van de 4282  $\Omega$  a 17858  $\Omega$  igualmente con formas circulares, que se asocian como trabajos mineros.

De acuerdo a los ensayos geotécnicos se determinan 2 tipos de suelos que conforman la zona de estudio, arcillas inorgánicas de elevada plasticidad (CH) y Limos orgánicos de elevada compresibilidad (OH), los mismos nos dan rasgos de inestabilidad en ciertas épocas del año o cuando se someten a demasiados esfuerzos.

Se determina que los factores condicionantes son: las propiedades geomecánicas de los materiales debido a la meteorización de las rocas del sector, además de la pendiente. Mientras que los factores desencadenantes son: las precipitaciones y aportes antrópicos de agua, que provocan la saturación de los suelos, modificando las presiones intersticiales de los materiales; esto, sumado a la antigua acción antrópica subterránea por parte de personas que trabajaban en galerías mineras, que de un modo u otro han desestabilizado el terreno. A ello se suma el alto flujo vehicular que pasa por el Movimiento de ladera que puede estar afectando la dinámica del terreno.

## RECOMENDACIONES

1. Al momento de la planificación de los lugares que servirán como puntos para realizar el escaneo, se debe tratar de dar la mayor visualización al láser de la zona que se está estudiando, ya que al momento de procesar los datos se requiere de un procedimiento adecuado para minimizar, o evitar limitaciones inherentes (zonas ocultas, buen ajuste de diferentes partes escaneadas minimizando el error acumulado, filtrado de objetos para los objetivos del análisis, clasificación supervisada, etc.)

2. Realizar muestreo de suelo en los meses de más precipitación (enero-febrero) y con más profundidad, puede ser con ayuda de sondeos (para conocer la profundidad del plano de falla) y realizar los respectivos ensayos, ya que por diversas cuestiones el muestreo de este trabajo se lo realizó en septiembre, fecha donde no existen aguas-lluvias, ni humedad relativa elevada.

3. Con el ensayo de tomografía eléctrica, no se ha podido llegar a definir los posibles planos de rotura ni la superficie del deslizamiento, ya que en la zona de estudio solo se ha encontrado una litología, lo que no permitió contrastar las resistividades. Por esta razón se recomienda combinar más ensayos geofísicos como magnetometría.

4. Realizar drenes superficiales para prevenir la erosión e infiltración del agua además del mejoramiento de los desagües reduciendo la inestabilidad del terreno.

5. Una idea para utilizar esta zona y no se quede inactiva, sería dar el uso para un posible aparcamiento de vehículos, lo que falta en la ciudad de Zaruma o destinarla como un área verde mediante la cobertura vegetal de arbustos que reduzcan el contenido de agua.

6. Para que cualquier medida de mitigación funcione se requiere una mayor conciencia por parte de la ciudadanía sobre la amenaza que representa este movimiento para la seguridad y que deberían ser tomadas en cuenta al momento de destinar el uso del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

AASHTO T 88-00

AASHTO T 89-02

AASHTO T90-00

AASHTO T-215

AASHTO T-296

AASHTO T 265-93

ABEM Instrument AB. (2009). Manual Terrámetro SAS 4000/1000. Suecia.

Abidin, H., Andreas, H., Surono, M., & Hendastro, M. (2004). On the Use of GPS Survey Method for Studying Land Displacements on the Landslide Prone Areas. FIG Working Week.

Alcántara-Ayala & Oliver-Smith, A. (2014). ICL Latin-American Network: on the road to landslide reduction capacity building. *Landslides*.

ASTM D-422

ASTM D-2850

ASTM D-4318

ASTM D-5084

Biasion, A., Bornaz, L., & Rinaudo, F. (2005). Laser scanning applications on disaster management. In *Geo-Information for Disaster Management*, 19–33.

Billingsley, P. (1926). *Geology of the Zaruma gold district of Ecuador*. American Institute of Mining and Metallurgical Engineering.

Brabb, E. E., & Harrod, B. L. (1989). Landslides: extent and economic significance. In *Landslides: extent and economic significance*. *Landslides*, Proceedings of the 28th International Geological Congress: Symposium on.

Braja M, D. (2012). *Fundamentos ingeniería cimentaciones*. Mexico: Cengage Learning.

Cantos Figuerola, J. (1987). *Tratado de geofísica Aplicada (3ra edición)*.

Castro, C. (2005). *Apuntes de Clases del curso Geomorfología dinámica y climática (inédito)*.

Chacón, J., Irigaray, T., & Fernández, T. (2007). Los movimientos de ladera de la provincia de Granada. *Atlas de Riesgos Naturales En La Provincia de Granada*, (1), 45–82.

Chávez, G. (2011). *Modelación 3D de datos de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) con arreglo tipo "L."* Guatemala.

Coates, D. R. (1977). Landslide perspectives. In: *Landslides*. D.R Coates.

Copons, R., & Tallada, A. (2009). Movimientos de ladera *Landslides*. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 17. 3, 284–294.

Cordero Dominguez, I. (2013). *Evaluación de la gestión territorial de la cuenca del río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas*. Cuenca.

- Corominas, J., & García Yagüe, A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera.
- Correira, P. (2000). Guía Práctica del GPS. París: Eyrolles.
- Crozier, H. J. (1973). Techniques for the morphometric analysis of landslides. (Zeitschrift).
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27–29.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. . (1996). *Landslides types and Processes. Landslides: investigation and mitigation.* Washington D.C.
- Dahlin, T. (2001). The development of DC resistivity imaging techniques. *Computers and Geosciences*, 27(9), 1019–1029. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(00\)00160-6](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(00)00160-6)
- Espinoza Reyes, A. O. (2016). Caracterización preliminar de dos microcuencas en el cantón Zaruma (Ecuador) y elaboración de propuestas de seguimiento de la calidad del agua, 169. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1707>
- Fernández, T. (2001). Cartografía, análisis y modelado de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en macizos rocosos mediante SIG: Aplicación a diversos sectores del sur de la provincia de Granada.
- Gasulla, M. (1999). Obtención de imágenes de la distribución de impedancia eléctrica en el subsuelo. Aplicación a la detección de objetos locales. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Gonzalez de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica.* Pearson Education.
- Goodman, R. E., & Bray, J. W. (1976). Toppling of rock slopes. *Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes.* Colorado.
- Griffiths, D., & Barker, R. (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29(3–4), 211–226.
- Guandique, D. J., López, R. E., & Martínez, J. S. (2014). Manual técnico para el levantamiento geodésico con gps de una frecuencia aplicando el sistema global de navegación (gnss) utilizando un modelo geoidal y su análisis comparativo con levantamiento topográfico con estación total.
- Hoek, E., & Bray, J. W. (1977). *Rock Slope Engineering (second edi).* London: Institute of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E. ; Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering (Third Edit).* London and New York: Institute of Mining and Metallurgy.
- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M., & Hutchinson, J. . (2001). Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, 7, 22–238.
- Hungr, O. (2005). Classification and terminology, en Jakob, M., y Hungr, O., ed., *Debris flow hazard and related phenomena.* Chichester, Springer-Praxis, 9–23.
- Hutchinson, J. N. (1988). Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation

- to geology and hydrogeology (pp. 3–35). Lausanne: Memorias, 5th International Conference on Landslides.
- IGM. (2012). Carta topográfica de Zaruma a escala 1:50000.
- Knödel, K. (2007). Environmental geology handbook of field methods and case studies, environmental geology handbook of field methods and case studies. Berlin Heidelberg, Alemania.
- Loke, M. (2006). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys.
- Loke, M. H. (2013). Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software Malaysia, (July), 127. Retrieved from <http://seisweb.oma.be/bibadmin/uploads/pdf/COURSENOTES.pdf>
- MAGAP. (2016). Levantamiento de Cartografía Temática Escala 1:25.000. Retrieved from [www.sigtierras.gob.ec](http://www.sigtierras.gob.ec)
- Malatrait, A. M., Letourneur, J., & Antoine, P. (1977). Essai de cartographie systématique des mouvements de terrain dans les Alpes francaises, Bull. Int. de Géol. de l'Ingénieur.
- Marbouty, D. (1981). The triggering of avalanches. Recherche, 12, 546–557.
- Marín, J. (2017). Emergencia vial en Cuenca-Paute-Gualaceo.
- Ministerio de Transportes y Obras Públicas MTOP - Dirección Provincial de El Oro. (2014). Viabilidad Del Proyecto: Reconstruccion de la Carretera Buena Vista –Vega Rivera – Paccha – Zaruma – Formato Senplades. Machala.
- Miroslav, K. (2004). Zaruma Project, Ecuador.
- Nichol, S., Hungr, O., & S.G., E. (2002). Large scale brittle and ductile toppling of rock slopes. Canadian Geotechnical Journal, 39, 773–788.
- NTE INEN, 685
- NTE INEN, 690
- NTE INEN, 691
- NTE INEN 692
- NTE INEN, 697
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua (Paraninfo). Madrid.
- Palenzuela, J. A. (2015). Análisis de la peligrosidad de movimientos de ladera en la cordillera bética mediante técnicas avanzadas.
- PMA-GMA. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Publicación Geológica Multinacional, 4(0717–3733), 432. Retrieved from <http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/442884/GuiaEvaPeligros.pdf>
- Porres Benito, J. Á. (2003). Caracterización De Cavidades En El Subsuelo Mediante La Interpretación De Perfiles De Tomografía Eléctrica. Aplicación Al Yacimiento Arqueológico De Clunia. UNIVERSIDAD DE BURGOS.

- Pratt, W. T., Figueroa, J., & Flores, B. (1997). Proyecto de desarrollo minero y control ambiental, programa de información cartográfica y geológica. *Geology of the Western Cordillera of Ecuador between 3-4°S*.
- Scott, R. F. (1979). Evaluation and prediction of subsidence. *Subsidence- A Review*, 1–25.
- Sharpe, C. F. S. (1938). *Landslides and related phenomena*.
- Soto, J. (2010). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante el método de la matriz en un GIS: Aplicación a la cuenca de Loja en el sur del Ecuador. Universidad de Granada.
- Soto, J., Galve, J. P., Palenzuela, J. A. Azañón, J. M. ., Tamay, J. ., & Irigaray, C. (2017). A multi-method approach for the characterization of landslides in an intramontane basin in the Andes (Loja, Ecuador). *Landslides*.
- Suarez Díaz, J. (1998). Caracterización de los movimientos. *Deslizamientos Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales*, 1.
- Terzaghi, K. (1950). *Mechanism of landslides. Application of geology to engineering practice*. (Berkey). New York.
- Thournout, F. Van, Salemink, J., Valenzuela, G., Merlyn, M., Boven, A., & Muchez, P. (1996). Portovelo: a volcanic-hosted epithermal vein-system in Ecuador, South America. *Mineralium Deposita*.
- Tomás, R., Herrera, G., Delgado, J., & Peña, F. (2009). Subsistencia del terreno. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, (17.3), 295. Retrieved from [www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/199932/267375](http://www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/199932/267375)
- Travelletti, J., Oppikofer, T., Delacourt, C., Malet, J. p, & Jabovedoffi, M. (2008). Monitoring landslide displacements during a controlled rain experiment using a long-range terrestrial laser scanning (TLS). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3(July), 1–6. Retrieved from [http://eost.u-strasbg.fr/omiv/Publications/Travelletti\\_2008\\_ISPRS.pdf](http://eost.u-strasbg.fr/omiv/Publications/Travelletti_2008_ISPRS.pdf)
- Vargas Cuervo, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín Geológico Ingeominas*, 22, 39–67.
- Varnes, D. J. (1978). *Slope Movement Types and Processes. Landslides: analysis and control* (Vol. 176).
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practise*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes. <https://doi.org/10.1007/BF02594720>
- Zárate, B. (2011). Monitoreo de movimientos de ladera en el sector de San Pedro de Vilcabamba mediante procedimientos GPS. *Maskana*, 2(Dicember), 17–25.

## **ANEXOS**

**ANEXO I**  
**Ficha de movimiento de ladera**

**INVENTARIO DE MOVIMIENTO DE LADERA**

ENCUESTADOR: Gianella Maribel Ramón Pérez  
 SECTOR: Zaruma, Calle "Gonzalo Pizarro".  
 COORDENADAS: 654767 Este y 9592013 Norte  
 REFERENCIA GEOGRÁFICA:

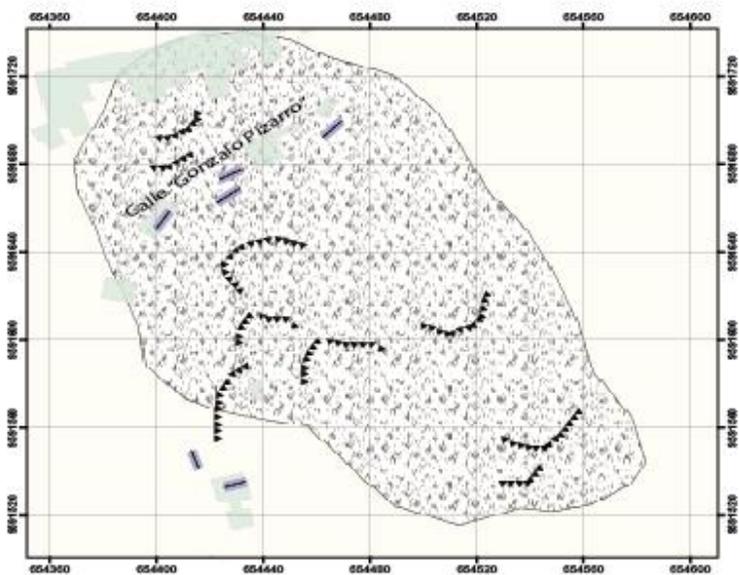
FECHA: Mayo, 2018 INSTITUCIÓN: UTPL CÓDIGO: GR  
 PROYECCIÓN: WGS 84 FOTO/Nº/Año/Escala/Editor: \_\_\_\_\_  
 MAPA/Nº/Año/Escala/Editor: \_\_\_\_\_



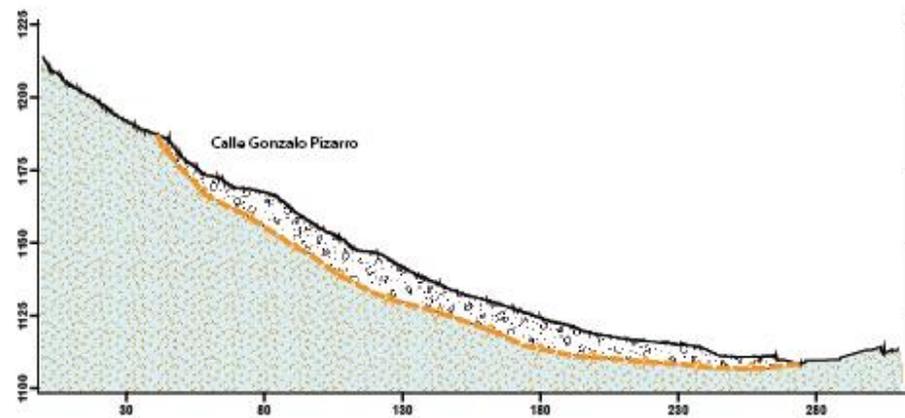
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA																							
FECHAS DE OCURRENCIA		ESTILO	DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN	ESTRUCTURA	ORIENTACIÓN	ESPACIAMIENTO																				
Ultimo Movimiento: DD/ MM/ AA	<input type="checkbox"/> Activo <input checked="" type="checkbox"/> Reactivo <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Relicto	<input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/> Sucesivo <input checked="" type="checkbox"/> Múltiple	<input type="checkbox"/> Retrogresivo <input checked="" type="checkbox"/> Progresivo <input type="checkbox"/> Ensanchándose <input type="checkbox"/> Confinado <input type="checkbox"/> Enjambre				<table border="1"> <tr> <td>&gt;2</td> <td>2-0.6</td> <td>0.6-0.2</td> <td>0.2-0.06</td> <td>&lt;0.06</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	>2	2-0.6	0.6-0.2	0.2-0.06	<0.06															
>2	2-0.6	0.6-0.2	0.2-0.06	<0.06																							
Anteriores: _____																											
Edad (años): _____																											
TIPO DE MOVIMIENTO		MATERIAL		OTRAS CARACTERÍSTICAS		VELOCIDAD																					
CLASIFICACIÓN	1 2	1 2	HUMEDAD DEL SUELO	ORIGEN DEL SUELO		<input type="checkbox"/> Movimiento canalizado <input checked="" type="checkbox"/> Movimiento no canalizado <input type="checkbox"/> Licuación <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> Extr. Rápido (> 5m/s) <input type="checkbox"/> Muy Rápido (> 3 m/min) <input type="checkbox"/> Rápido (> 1.8 m/hr) <input type="checkbox"/> Moderado (> 13 m/mes) <input type="checkbox"/> Lento (> 1.6 m/año) <input checked="" type="checkbox"/> Muy Lento (> 16 mm/año) <input checked="" type="checkbox"/> Extr. Lento (< 16 m/año)																				
	<input type="checkbox"/> Caída <input type="checkbox"/> Volcamiento <input type="checkbox"/> Deslizamiento rotacional <input type="checkbox"/> Deslizamiento traslacional <input type="checkbox"/> Propagación lateral <input checked="" type="checkbox"/> Reptación <input type="checkbox"/> Colapso <input checked="" type="checkbox"/> Flujo	% <input type="checkbox"/> Roca <input checked="" type="checkbox"/> Suelo 90 <input checked="" type="checkbox"/> Detrito 10 SUELOS INGENIERÍA <input type="checkbox"/> Bloques <input type="checkbox"/> Cantos <input type="checkbox"/> Gravas <input type="checkbox"/> Arena <input checked="" type="checkbox"/> Limo <input checked="" type="checkbox"/> Arcilla <input type="checkbox"/> M. Org.	<input type="checkbox"/> Seco <input checked="" type="checkbox"/> Lig. Húmedo <input checked="" type="checkbox"/> Húmedo <input type="checkbox"/> Muy Húmedo <input type="checkbox"/> Mojado	<input type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Sedimentario <input type="checkbox"/> Coluvial <input checked="" type="checkbox"/> Volcánico	Tipo de suelo sedimentario COLUVIALES Clasificación SUCS Arcillas inorgánicas (CH) Limos orgánicos (OH)																						
			PLASTICIDAD					CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO																			
			<input checked="" type="checkbox"/> Alta <input checked="" type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> No Plástico					Sistema de clasificación: <u>Varnes, 1978</u> NOMBRE DEL MOVIMIENTO: <u>Reptación</u>																			

MORFOMETRÍA																								
GENERAL					DIMENSIONES					DEFORMACIÓN DEL TERRENO														
Diferencia de altura corona a punta (m)		284 m			Ancho de masa desplazada Wd (m)		_____			Volumen Inicial (m3)		_____												
Longitud horizontal corona a punta (m)		_____			Ancho de la superficie de ruptura Wr (m)		_____			Volumen desplazado (m3)		0.4228												
Fahrboschung (*)		_____			Longitud de la masa desplazada Ld (m)		_____			Área Inicial (m2)		29582												
Pendiente de ladera en post- falla (*)		_____			Longitud de la superficie de ruptura Lr (m)		_____			Área total afectada (m2)		_____												
Pendiente de ladera en PRE- falla (*)		_____			Espesor de la masa desplazada Dd (m)		_____			Run up (m)		_____												
Dirección del movimiento (*)		SE			Profundidad de la superficie de ruptura Dr (m)		_____																	
Azimut del talud (*)		_____			Longitud total L (m)		_____																	
		Orientación																						
COBERTURA Y USO DEL SUELO																								
C: Condicionante D: Detonante					Tipo de Cobertura					Tipo de Uso														
C					C D					%														
<input checked="" type="checkbox"/> Material plástico débil <input type="checkbox"/> Material sensible <input type="checkbox"/> Material colapsible <input type="checkbox"/> Material meteorizado <input type="checkbox"/> Material fallado por corte <input type="checkbox"/> Material fisurado o agrietado <input type="checkbox"/> Orientación desfavorable de discontinuidades <input type="checkbox"/> Contraste en permeabilidad de materiales <input checked="" type="checkbox"/> Contraste de rigidez de materiales <input checked="" type="checkbox"/> Meteorización por expansión/ contracción					<input type="checkbox"/> Movimiento tectónico <input checked="" type="checkbox"/> Lluvias <input type="checkbox"/> Excavación de la pata del talud <input type="checkbox"/> Carga en la corona del talud <input type="checkbox"/> Irrigación <input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input type="checkbox"/> Escarpes de agua de tuberías <input type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación <input type="checkbox"/> Disposición deficiente de estériles/ escombros <input checked="" type="checkbox"/> Vibración artificial (trafico, explosiones, hincado)					<input checked="" type="checkbox"/> Veget. Herbácea <input type="checkbox"/> Bosque/ Selva <input type="checkbox"/> Matorrales <input type="checkbox"/> Cuerpo agua <input type="checkbox"/> Cultivo <input checked="" type="checkbox"/> Construcciones <input type="checkbox"/> Sin cobertura					75					<input type="checkbox"/> Ganadería <input type="checkbox"/> Área protegida <input type="checkbox"/> Agrícola <input type="checkbox"/> Recreación <input type="checkbox"/> Zona arqueológica <input type="checkbox"/> Zona industrial <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Vías <input type="checkbox"/> No usada				
										25					x									
D A Ñ O S																								
Población			Infraestructura				Actividades económicas				Daños ambientales													
Número de muertos _____			Tipo		Unidad de medida		Valor \$		Tipo		Unidad de medida		Valor \$		Tipo		Unidad de medida		Valor \$					
Número de heridos _____					DL DM DS DT						DL DM DS DT						DL DM DS DT							
Número de damnificados _____																								
Convención para intensidad de daños			DL: Daño leve				DM: Daño moderado				DS: Daño severo				DT: Destrucción total				NC: No cuantificable					
NOTA:																								

ESQUEMA EN PLANTA



ESQUEMA EN PERFIL



FOTOS



**ANEXO II**  
**Fichas de grietas**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	G.R 01		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	SRA. IPATIA ROMÁN		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654431	<b>Y:</b> 9591534.6	<b>Z:</b> 1143
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	RECIENTE (2015-2016)		
<b>LONGITUD</b>	> 3 m		
<b>ABERTURA</b>	0.3cm (3mm-4mm)		
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	HORMIGÓN Y LADRILLOS		
<b>FOTO</b>			
  			
<b>OBSERVACIONES</b>			

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	G.R 02		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	SRA. CLARA ROMÁN MORA		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654419.3	<b>Y:</b> 9591495.02	<b>Z:</b> 1140.5
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	Reciente (2015-2016) y asentamiento hace 20 años (1998)		
<b>LONGITUD</b>			
<b>ABERTURA</b>			
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	MADERA Y LADRILLOS (MIXTA)		
<b>FOTO</b>			
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> </div>			
<b>OBSERVACIONES</b>	<p>Hace 20 años empezaron a fisurarse las paredes de esta casa, hace 4 años les obligaron a evacuar por vista de problemas mayores.</p> <p>Colocan cemento en las grietas para tapanlas y evitar filtración de agua en épocas de lluvias y así evitar problemas futuros.</p>		

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	G.R 03		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	SW DE CALLE GONZALO PIZARRO		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654415	<b>Y:</b> 9591544.3	<b>Z:</b> 1147
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	RECIENTE (2015-2016)		
<b>LONGITUD</b>	20 metros		
<b>ABERTURA</b>	0.6cm (6mm)		
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	Asfalto		
<b>FOTO</b>			
			
<b>OBSERVACIONES</b>			

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	G.R 04		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	VEREDA (frente a casa de sr. José Ochoa)		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654427.8	<b>Y:</b> 9591665.5	<b>Z:</b> 1155
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	Reciente		
<b>LONGITUD</b>	10 metros		
<b>ABERTURA</b>	3 cm		
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	Cemento y Concreto		
<b>FOTO</b>			
 			
<b>OBSERVACIONES</b>	Se realizó una segunda medición de estas grietas ya que evidenciaban a simple vista mayor abertura. Para enero del 2018 la misma grieta presentaba una mínima abertura de 1 mm.		

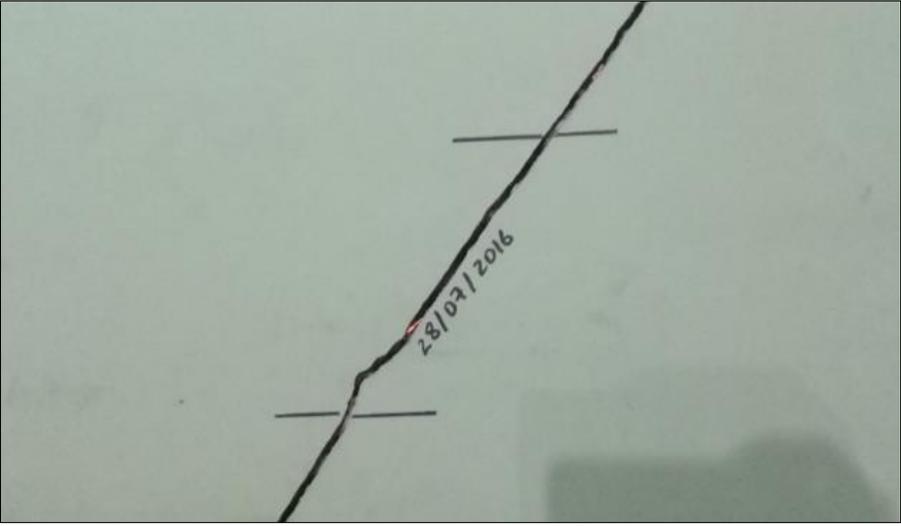
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	G.R 05		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	VEREDA (lado izquierdo de calle)		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654429	<b>Y:</b> 9591665	<b>Z:</b> 1155
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	RECIENTE (2015-2016)		
<b>LONGITUD</b>	6 metros		
<b>ABERTURA</b>	0.8 cm (8mm)		
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	Concreto		
<b>FOTO</b>			
 			
<b>OBSERVACIONES</b>	En la segunda medición no se encontró variación en la abertura.		

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	G.R 06		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	VEREDA (lado izquierdo de calle)		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654462.7	<b>Y:</b> 9591678.6	<b>Z:</b> 1159
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	RECIENTE (2015-2016)		
<b>LONGITUD</b>	1m		
<b>ABERTURA</b>	3cm (30mm-40mm)		
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	HORMIGÓN Y LADRILLOS		
<b>FOTO</b>			
			
<b>OBSERVACIONES</b>	En la segunda medición se encontró con la destrucción parcial de ese lado de la vereda (fotos inferiores) lo que imposibilitó medir la misma abertura por segunda vez.		

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	G.R 07 – G.R 08		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	CENTRO CALLA GONZALO PIZARRO		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654452.8	<b>Y:</b> 9591682.2	<b>Z:</b> 1157
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	RECIENTE (2015-2016)		
<b>LONGITUD</b>			
<b>ABERTURA</b>	4cm – 2 cm		
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	ADOQUIN		
<b>FOTO</b>			
			
<b>OBSERVACIONES</b>	<p>Estas aberturas se encuentran en el centro de la calle, donde se presentan mayores evidencias de daños.</p> <p>En la segunda medición (fotos inferiores) se encuentra con una abertura máxima de 2.5mm y una abertura de 1mm como mínimo.</p>		

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	G.R 09		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	VEREDA (lado derecho de calle)		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654426.2	<b>Y:</b> 9591675.5	<b>Z:</b> 1160
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	RECIENTE (2015-2016)		
<b>LONGITUD</b>	3 metros		
<b>ABERTURA</b>	1.4 cm		
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	Cemento – adoquin		
<b>FOTO</b>			
 			
<b>OBSERVACIONES</b>			

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	G.R 10		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	SR. JOSÉ OCHOA		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654402.4	<b>Y:</b> 9591652.1	<b>Z:</b> 1156
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	RECIENTE (2015-2016)		
<b>LONGITUD</b>	3 metros		
<b>ABERTURA</b>	1.4 cm		
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	Cemento – adoquin		
<b>FOTO</b>			
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 45%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 45%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 45%; text-align: center;">  </div> </div>			
<b>OBSERVACIONES</b>	Casa más afectada por el movimiento de ladera ubicada al centro de la calle Gonzalo Pizarro.		

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE GRIETAS</b>		
<b>CODIGO:</b>	F. RAMIREZ 3		<b>DATUM:</b> WGS 84
<b>UBICACIÓN (VIVIENDA)</b>	VEREDA (lado derecho de calle)		<b>DESCRITA POR:</b> GIANELLA
<b>CORDENADAS UTM</b>	<b>X:</b> 654467.5	<b>Y:</b> 9591697.3	<b>Z:</b> 1157
<b>AÑO DEL SUCESO</b>	RECIENTE (2015-2016)		
<b>LONGITUD</b>	3 metros		
<b>ABERTURA</b>	1.4 cm		
<b>TIPO DE MATERIAL VIVIENDA</b>	Cemento – adoquín		
<b>FOTO</b>			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>			
<b>OBSERVACIONES</b>			

**ANEXO III**  
**Ensayos de laboratorio**



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
LABORATORIOS UTPL

**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**

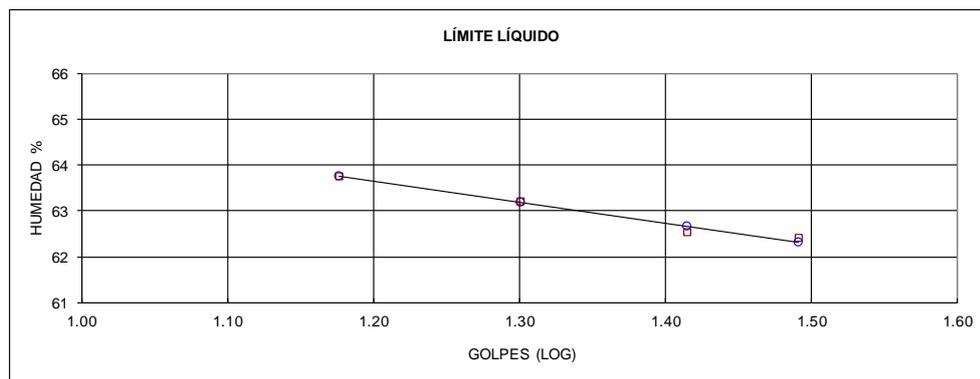
PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA: TESIS  
 LOCALIZACIÓN: ZARUMA, EL ORO-ECUADOR  
 SOLICITADO: ING. JOHN SOTO  
 FECHA: ABRIL DE 2018

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27  
 POZO: PM1  
 MUESTRA: 1  
 PROFUNDIDAD: 1 m  
 REALIZADO: Tesista

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		414.39 403.63	308.93 307.16	55.81 70.67	41.66 40.79	41.23
2.- LÍM. LÍQUIDO	15 20 26 31	61.76 77.55 73.71 75.54	58.98 74.80 71.19 73.00	54.62 70.45 67.16 68.93	63.76 63.22 62.53 62.41	62.74
3.- LÍMITE PLÁSTICO		62.62 66.01	62.48 65.71	61.95 64.61	26.42 27.27	26.84

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	534.64	(H/S)	S	GRAVA	0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			534.64	ARENA	53
				FINOS	96
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL =	63.00
1"	0.00	0	100	LP =	27.00
3/4"	0.00	0	100	IP =	36.00
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN	
3/8"	0.00	0	100	SUCS :	CH
No. 4	0.00	0	100	AASHTO:	A-7-6
No. 10	0.07	0	100	IG(86):	40
No. 40	0.88	0	100	IG(45):	20
No. 200	20.64	4	96		



**CLASIFICACIÓN SUCS: Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad (CH)**

Observaciones: La toma de muestra fue realizada por la tesista

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL  
INF-LAB-DGMIC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS

LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

INSTITUCIÓN: UTPL

FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA

SOLICITADO: ING. JOHN SOTO

FECHA: OCTUBRE 2017

NORMA: ASTM D2850

ENSAYO: U-U

MUESTRA: PM1

PROFUNDIDAD: 1.0

REALIZADO: G.R

HOJA 1: DATOS GENERALES DE LAS PROBETAS

PROBETA No.		1	2	3
<b>DIMENSIONES</b>				
DIÁMETRO	cm.	3.61	3.74	3.73
ALTURA	cm.	7.70	7.55	7.72
ÁREA Corr	cm.	10.24	11.16	11.24
VOLUMEN	cm <sup>3</sup> .	78.81	84.23	86.78
PESO	gr.	138.22	149.43	143.45
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>				
Peso Hum. :		361.61	333.30	388.37
Peso Seco :		303.57	279.97	326.74
Peso Cap. :		61.97	57.73	69.75
w (%) :		24.02	24.00	23.98
<b>DENSIDADES</b>				
NATURAL	gr/cm <sup>3</sup>	1.75	1.77	1.65
SECA	gr/cm <sup>3</sup>	1.41	1.43	1.33
DE SOLID.	gr/cm <sup>3</sup>			

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

INF-LAB-DGMIC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS  
LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
INSTITUCIÓN: UTPL

NORMA: ASTM D2850  
ENSAYO: U-U  
CALICATA No.: PM1

FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA  
SOLICITADO: ING. JOHN SOTO  
FECHA: OCTUBRE 2017

PROFUND.(m): 1.00  
REALIZADO : G.R  
0.00

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: 01

Constante anillo de prueba:

Presión de Conf. (Kg/cm<sup>2</sup>):

<----- -- 1 -->

0.85

0.50

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corrg. (cm <sup>2</sup> )	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	10.24	0.00	0.00	0.00
5	0.16	10.25	9.00	7.65	0.75
10	0.33	10.27	22.00	18.70	1.82
20	0.66	10.30	54.40	46.24	4.49
30	0.99	10.34	82.00	69.70	6.74
40	1.32	10.37	92.00	78.20	7.54
50	1.65	10.41	98.00	83.30	8.00
60	1.98	10.44	100.00	85.00	8.14
70	2.31	10.48	99.00	84.15	8.03
80	2.64	10.51	99.00	84.15	8.00
90	2.97	10.55	99.00	84.15	7.98

RESULTADOS:

ESF. DESV. : (Kg/cm<sup>2</sup>) =  
ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm<sup>2</sup>) =

8.14

8.64

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

INF-LAB-DGMC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS  
 LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
 INSTITUCIÓN: UTPL  
 FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA  
 SOLICITADO: ING. JOHN SOTO  
 FECHA: OCTUBRE 2017

NORMA:  
 ENSAYO:  
 CALICATA No. :  
 PROFUND. (m) :  
 REALIZADO :  
 0.00

ASTM D2850  
 U-U  
 PM1  
 1.00  
 G.R

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: <-----> - 2 ----->  
 Constante anillo de prueba: 0.85  
 Presión de Conf. (Kg/cm2): 1.00

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corr. (cm2)	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm2)
0	0.00	11.16	0.00	0.00	0.00
5	0.16	11.18	4.50	3.83	0.34
10	0.33	11.19	11.50	9.78	0.87
20	0.66	11.23	23.50	19.98	1.78
30	0.99	11.27	35.50	30.18	2.68
40	1.32	11.31	51.00	43.35	3.83
50	1.65	11.34	64.00	54.40	4.80
60	1.98	11.38	75.00	63.75	5.60
70	2.31	11.42	84.50	71.83	6.29
80	2.64	11.46	92.50	78.63	6.86
90	2.97	11.50	97.50	82.88	7.21
100	3.30	11.54	101.50	86.28	7.48
110	3.63	11.58	105.50	89.68	7.75
120	3.96	11.62	108.00	91.80	7.90
130	4.29	11.66	111.00	94.35	8.09
140	4.62	11.70	113.00	96.05	8.21
150	4.95	11.74	114.90	97.67	8.32
160	5.28	11.78	116.00	98.60	8.37
170	5.61	11.82	116.80	99.28	8.40
180	5.94	11.86	117.30	99.71	8.41
190	6.27	11.90	118.10	100.39	8.43
200	6.60	11.94	118.70	100.90	8.45
210	6.93	11.99	118.80	100.98	8.42
220	7.26	12.03	118.80	100.98	8.39

RESULTADOS: ESF. DESV. : (Kg/cm2) = 8.45  
 ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) = 9.45

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
 TESISISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

INF-LAB-DGMC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS	NORMA: ASTM D2850
LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA	ENSAYO: U-U
INSTITUCIÓN: UTPL	CALCATA No.: PM1
FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA	PROFUND.(m): 1.00
SOLICITADO: ING. JOHN SOTO	REALIZADO : G.R
FECHA: OCTUBRE 2017	0.00

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: <----- - 3 ----->  
 Constante anillo de prueba: 0.85  
 Presión de Conf. (Kg/cm2): 2.00

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corr. (cm2)	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm2)
0	0.00	11.24	0.00	0.00	0.00
5	0.16	11.26	10.50	8.93	0.79
10	0.33	11.28	23.50	19.98	1.77
20	0.66	11.32	49.00	41.65	3.68
30	0.99	11.35	69.50	59.08	5.20
40	1.32	11.39	83.50	70.98	6.23
50	1.65	11.43	93.50	79.48	6.95
60	1.97	11.47	100.50	85.43	7.45
70	2.30	11.51	106.00	90.10	7.83
80	2.63	11.55	110.00	93.50	8.10
90	2.96	11.58	114.00	96.90	8.36
100	3.29	11.62	116.50	99.03	8.52
120	3.95	11.70	121.50	103.28	8.82
140	4.61	11.78	125.00	106.25	9.02
160	5.26	11.87	127.50	108.38	9.13
180	5.92	11.95	130.50	110.93	9.28
200	6.58	12.03	133.00	113.05	9.40
220	7.24	12.12	134.80	114.58	9.46
240	7.90	12.20	136.20	115.77	9.49
260	8.55	12.29	137.50	116.88	9.51
280	9.21	12.38	139.00	118.15	9.54
300	9.87	12.47	140.20	119.17	9.55
320	10.53	12.56	141.00	119.85	9.54
340	11.19	12.66	141.80	120.53	9.52
360	11.84	12.75	142.10	120.79	9.47
380	12.50	12.85	142.40	121.04	9.42

RESULTADOS: ESF. DESV. : (Kg/cm2) = 9.55  
 ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) = 11.55

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
 TESISISTA

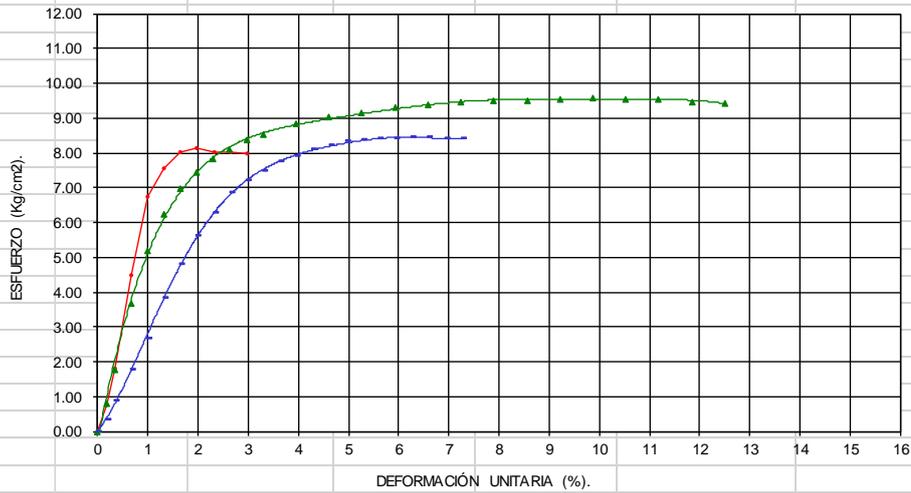


**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E ING.CIVIL**  
**LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTP**

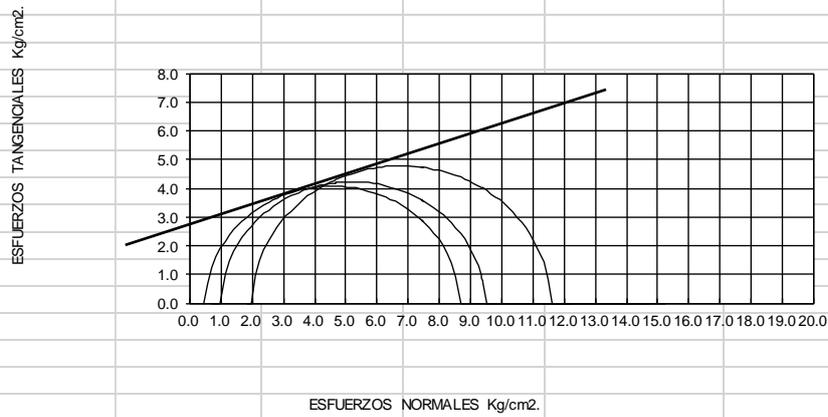
**ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL**

Muestra : N° 1

**ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN.**



**CIRCULO DE MOHR**



**COHESIÓN (C) = 2,4 Kg/cm<sup>2</sup>.**  
**ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (φ) = 24°**

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesisista.

Ing. Angel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESI STA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD**

**PROYECTO :** GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LA DERA DE LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

**OBRA:** TESIS NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

**LOCALIZACIÓN** ZARUMA, EL ORO-ECUADOR MUESTRA: 1

**SOLICITADO:** ING. JOHN SOTO PROFUNDIDAD: 1 m

**FECHA:** FEB DE 2018 REALIZADO: Tesista

**Datos del ensayo**

Diámetro de la muestra =	10.2 cm	Altura =	11.61 cm
Peso del suelo + molde =	3570.72 gr	Area =	81.71 cm <sup>2</sup>
Peso del molde =	1888.3 gr	Volumen=	948.69 cm <sup>3</sup>
Peso del suelo =	1682.42 gr	W. Unitario=	1.77 gr/cm <sup>3</sup>
Area de la tubería =	1.12 cm		

Ensayo Nro.	h1 (cm)	h2 (cm)	t (seg)	Q inicial (ml)	Q final (ml)	T (°C)
1	160.1	153.3	71700	21	27	19.4

**Promedio**

<b>a</b>	1.12		<b>t</b>	71700
<b>L</b>	11.61		<b>h1</b>	160.1
<b>A</b>	81.71		<b>h2</b>	153.3

**Cálculos**

$nT/n20 = 1.014$

$KT = 9.6327E-08$

$K20 = 9.76756E-08$

**COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K20)** 9.76756E-08

**CLASIFICACIÓN**

**OBSERVACIONES**

Ing. Ángel Tapia Ch.

Gianella Maribel Ramón Pérez

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
LABORATORIOS UTPL

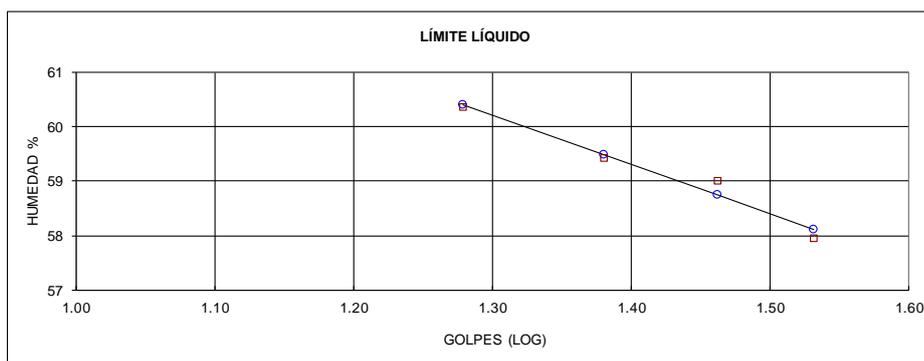
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA: TESIS  
LOCALIZACIÓN: ZARUMA, EL ORO-ECUADOR  
SOLICITADO: ING. JOHN SOTO  
FECHA: ABRIL DE 2018

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27  
POZO: PM2  
MUESTRA: 2  
PROFUNDIDAD: 1 m  
REALIZADO: Tesista

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		380.10	302.13	66.71	33.12	33.06
		389.04	306.85	57.86	33.01	
2.- LIM. LÍQUIDO	19	76.00	72.91	67.79	60.35	59.32
	24	78.65	76.19	72.05	59.42	
	29	61.49	59.00	54.78	59.00	
	34	65.45	62.79	58.20	57.95	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		57.29	56.99	56.10	33.71	33.85
		55.27	54.58	52.55	33.99	
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 532.90 (H/S)		S		GRAVA	0	
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		532.90		ARENA	53	
				FINOS	94	
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 59.00		
1"	0.00	0	100	LP = 34.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 25.00		
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN		
3/8"	1.27	0	100	SUCS : OH		
No. 4	2.24	0	100	AASHTO: A-7-5		
No. 10	6.88	1	99	IG(86): 29		
No. 40	19.02	4	96	IG(45): 18		
No. 200	30.04	6	94			



CLASIFICACIÓN SUCS: Limos orgánicos de elevada compresibilidad (OH).

Observaciones: La toma de muestra fue realizada por la tesista

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

INF-LAB-DGMC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS

NORMA: ASTM D2850

LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

ENSAYO: U-U

INSTITUCIÓN: UTPL

MUESTRA: PM2

FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA CH.

PROFUNDIDAD: 1.0

SOLICITADO: ING. JOHN SOTO

REALIZADO : G.R

FECHA: OCTUBRE 2017

HOJA 1: DATOS GENERALES DE LAS PROBETAS

PROBETA No.	1	2	3
<b>DIMENSIONES</b>			
DIÁMETRO	cm. 3.92	cm. 3.79	cm. 3.97
ALTURA	cm. 7.04	cm. 7.84	cm. 7.96
ÁREA Corr	cm. 12.12	cm. 11.17	cm. 12.45
VOLUMEN	cm3. 85.33	cm3. 87.60	cm3. 99.13
PESO	gr. 138.22	gr. 133.84	gr. 136.34
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>			
Peso Hum. :	331.74	342.33	370.47
Peso Seco :	265.38	274.80	296.28
Peso Cap. :	63.63	65.01	71.24
w (%) :	32.89	32.19	32.97
<b>DENSIDADES</b>			
NATURAL	gr/cm3 1.62	gr/cm3 1.53	gr/cm3 1.38
SECA	gr/cm3 1.22	gr/cm3 1.16	gr/cm3 1.03
DE SOLID.	gr/cm3		

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA



## DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

INF-LAB-DGMIC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS

LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

INSTITUCIÓN: UTPL

FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA CH.

SOLICITADO: ING. JOHN SOTO

FECHA: OCTUBRE 2017

NORMA:

ENSAYO:

CALICATA No.:

PROFUND.(m):

REALIZADO :

0.00

ASTM D2850

U-U

PM2

1.00

G.R

### REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: 01

Constante anillo de prueba:

Presión de Conf. (Kg/cm2):

<-----

--- 1 ---

----->

0.85

0.50

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corr. (cm2)	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm2)
0	0.00	12.12	0.00	0.00	0.00
5	0.18	12.14	3.50	2.98	0.25
10	0.36	12.16	7.00	5.95	0.49
20	0.72	12.21	12.00	10.20	0.84
30	1.08	12.25	16.00	13.60	1.11
40	1.44	12.30	19.50	16.58	1.35
50	1.80	12.34	22.20	18.87	1.53
60	2.16	12.39	24.50	20.83	1.68
70	2.53	12.43	26.00	22.10	1.78
80	2.89	12.48	27.00	22.95	1.84
90	3.25	12.53	28.00	23.80	1.90
100	3.61	12.57	29.50	25.08	1.99
110	3.97	12.62	30.50	25.93	2.05
120	4.33	12.67	31.00	26.35	2.08
130	4.69	12.72	32.00	27.20	2.14
140	5.05	12.77	32.20	27.37	2.14
150	5.41	12.81	32.80	27.88	2.18
160	5.77	12.86	33.00	28.05	2.18
170	6.13	12.91	33.30	28.31	2.19
180	6.49	12.96	33.50	28.48	2.20

RESULTADOS:

ESF. DESV. : (Kg/cm2) =

2.20

ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) =

2.70

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

INF-LAB-DGMC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS  
 LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
 INSTITUCIÓN: UTPL  
 FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA CH.  
 SOLICITADO: ING. JOHN SOTO  
 FECHA: OCTUBRE 2017

NORMA:  
 ENSAYO:  
 CALICATA No. :  
 PROFUND. (m) :  
 REALIZADO :  
 0.00

ASTM D2850  
 U-U  
 PM2  
 1.00  
 G.R

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: <----- - 2 ----->  
 Constante anillo de prueba: 0.85  
 Presión de Conf. (Kg/cm2): 1.00

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corrg. (cm2)	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm2)
0	0.00	11.17	0.00	0.00	0.00
5	0.18	11.19	4.50	3.83	0.34
10	0.36	11.21	7.50	6.38	0.57
20	0.72	11.25	13.50	11.48	1.02
30	1.08	11.30	17.50	14.88	1.32
40	1.44	11.34	20.00	17.00	1.50
50	1.80	11.38	22.30	18.96	1.67
60	2.16	11.42	24.00	20.40	1.79
70	2.53	11.46	25.70	21.85	1.91
80	2.89	11.51	27.00	22.95	1.99
90	3.25	11.55	28.50	24.23	2.10
100	3.61	11.59	29.90	25.42	2.19
120	4.33	11.68	32.00	27.20	2.33
140	5.05	11.77	33.50	28.48	2.42
160	5.77	11.86	34.70	29.50	2.49
180	6.49	11.95	36.00	30.60	2.56
200	7.22	12.04	37.00	31.45	2.61
220	7.94	12.14	38.30	32.56	2.68
240	8.66	12.23	39.50	33.58	2.74
260	9.38	12.33	40.50	34.43	2.79
280	10.10	12.43	41.50	35.28	2.84
300	10.82	12.53	42.30	35.96	2.87
320	11.55	12.63	43.00	36.55	2.89
340	12.27	12.74	43.30	36.81	2.89
360	12.99	12.84	43.90	37.32	2.91
380	13.71	12.95	44.20	37.57	2.90
400	14.43	13.06	45.00	38.25	2.93
420	15.15	13.17	45.50	38.68	2.94
440	15.88	13.28	46.00	39.10	2.94

RESULTADOS: ESF. DESV. : (Kg/cm2) = 2.94  
 ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) = 3.94

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista

Ing. Ángel Tapia Ch.  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
 TESIS TA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

INF-LAB-DGMIC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS

LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

INSTITUCIÓN: UTPL

FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA CH.

SOLICITADO: ING. JOHN SOTO

FECHA: OCTUBRE 2017

NORMA:

ENSAYO:

CALICATA No.:

PROFUND.(m):

REALIZADO :

0.00

ASTM D2850

U-U

PM2

1.00

G.R

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.:

Constante anillo de prueba:

Presión de Conf. (Kg/cm2):

<----- - 3 ----->

0.85

2.00

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corr. (cm2)	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm2)
0	0.00	12.45	0.00	0.00	0.00
5	0.16	12.47	3.00	2.55	0.20
10	0.32	12.49	5.80	4.93	0.39
20	0.64	12.53	12.00	10.20	0.81
30	0.96	12.57	12.50	10.63	0.85
40	1.28	12.61	17.00	14.45	1.15
50	1.60	12.65	20.00	17.00	1.34
60	1.91	12.70	22.00	18.70	1.47
70	2.23	12.74	23.20	19.72	1.55
80	2.55	12.78	24.50	20.83	1.63
90	2.87	12.82	25.70	21.85	1.70
100	3.19	12.86	27.00	22.95	1.78
120	3.83	12.95	29.80	25.33	1.96
140	4.47	13.04	32.00	27.20	2.09
160	5.11	13.12	33.80	28.73	2.19
180	5.74	13.21	35.20	29.92	2.26
200	6.38	13.30	36.70	31.20	2.35
220	7.02	13.39	38.60	32.81	2.45
240	7.66	13.49	40.20	34.17	2.53
260	8.30	13.58	41.80	35.53	2.62
280	8.93	13.67	43.10	36.64	2.68
300	9.57	13.77	44.10	37.49	2.72
320	10.21	13.87	45.10	38.34	2.76
340	10.85	13.97	46.20	39.27	2.81
360	11.49	14.07	47.30	40.21	2.86
380	12.13	14.17	48.60	41.31	2.92
400	12.76	14.28	50.00	42.50	2.98
420	13.40	14.38	51.00	43.35	3.01
440	14.04	14.49	51.90	44.12	3.05
460	14.68	14.60	53.10	45.14	3.09
480	15.32	14.71	54.00	45.90	3.12
500	15.95	14.82	54.80	46.58	3.14
520	16.59	14.93	55.30	47.01	3.15
540	17.23	15.05	56.20	47.77	3.18
560	17.87	15.16	57.50	48.88	3.22
580	18.51	15.28	58.50	49.73	3.25
600	19.15	15.40	59.50	50.58	3.28
620	19.78	15.52	60.00	51.00	3.29

RESULTADOS:

ESF. DESV. : (Kg/cm2) =

ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) =

3.29

5.29

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA

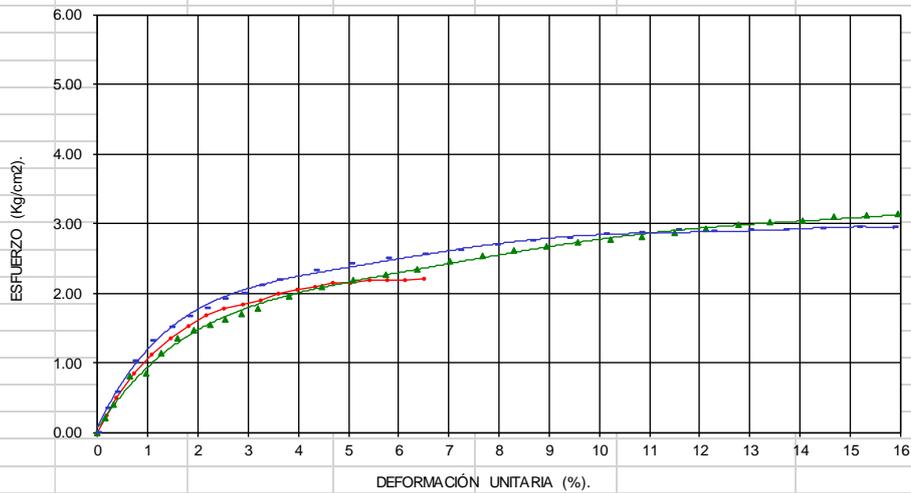


DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E ING.CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Muestra : N° 2

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN.



CIRCULO DE MOHR



COHESIÓN (C) = 0,7 Kg/cm<sup>2</sup>.  
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ø) = 19°

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesisista.

Ing. Angel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESI STA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD**

**PROYECTO :** GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA DE LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

**OBRA:** TESIS NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

**LOCALIZACIÓN:** ZARUMA, EL ORO-ECUADOR MUESTRA: 2

**SOLICITADO:** ING. JOHN SOTO PROFUNDIDAD: 1 m

**FECHA:** FEB DE 2018 REALIZADO: Tesista

**Datos del ensayo**

Diámetro de la muestra =	10.2 cm	Altura =	11.61 cm
Peso del suelo + molde =	3570.72 gr	Area =	81.71 cm <sup>2</sup>
Peso del molde =	1888.3 gr	Volumen=	948.69 cm <sup>3</sup>
Peso del suelo =	1682.42 gr	W. Unitario=	1.77 gr/cm <sup>3</sup>
Area de la tubería =	1.12 cm		

Ensayo Nro.	h1 (cm)	h2 (cm)	t (seg)	Q inicial (ml)	Q final (ml)	T (°C)
1	160.55	146.5	10200	39	21	19.4

**Promedio**

<b>a</b>	1.12		<b>t</b>	10200
<b>L</b>	11.61		<b>h1</b>	160.55
<b>A</b>	81.71		<b>h2</b>	146.5

**Cálculos**

nT/n20 =	1.014
KT =	1.42876E-06
K20 =	1.44876E-06

**COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K20)** 1.44876E-06

**CLASIFICACIÓN**

**OBERVACIONES**

Ing. Ángel Tapia Ch.	Gianella Maribel Ramón Pérez
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
LABORATORIOS UTPL

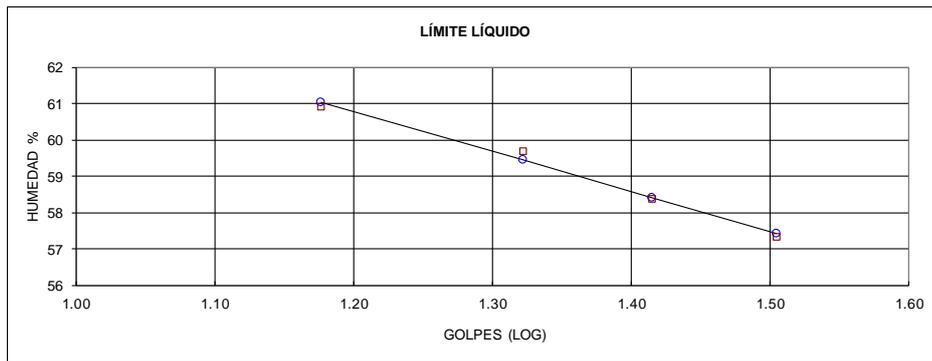
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA: TESIS NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27  
 LOCALIZACIÓN: ZARUMA, EL ORO-ECUADOR POZO: PM3  
 SOLICITADO: ING. JOHN SOTO MUESTRA: 3  
 FECHA: ABRIL DE 2018 PROFUNDIDAD: 1.5 m  
 REALIZADO: Tesista

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		414.39 403.63	308.93 307.16	55.81 70.67	41.66 40.79	41.23
2.- LÍM. LÍQUIDO	15 21 26 32	69.88 74.79 63.16 77.75	67.48 72.79 61.14 75.76	63.54 69.44 57.68 72.29	60.91 59.70 58.38 57.35	58.61
3.- LÍMITE PLÁSTICO		53.60 66.37	53.25 66.06	52.32 65.24	37.63 37.80	37.72

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	534.64	(H/S)	S	GRAVA	0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			534.64	ARENA	53
				FINOS	96
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA		
1"	0.00	0	100	LL =	59.00
3/4"	0.00	0	100	LP =	38.00
1/2"	0.00	0	100	IP =	21.00
3/8"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN	
No. 4	0.00	0	100	SUCS :	OH
No. 10	0.07	0	100	AASHTO:	A-7-5
No. 40	0.88	0	100	IG(86):	27
No. 200	20.64	4	96	IG(45):	16



CLASIFICACIÓN SUCS: Limos orgánicos de elevada compresibilidad (OH).

Observaciones: La toma de muestra fue realizada por la tesista

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

INF-LAB-DGMIC-001-2015

PROYECTO: GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS

NORMA: ASTM D2850

LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

ENSAYO: U-U

INSTITUCIÓN: UTPL

MUESTRA: PM3

FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA CH.

PROFUNDIDAD: 1.5

SOLICITADO: ING. JOHN SOTO

REALIZADO: G.M

FECHA: OCTUBRE 2017

HOJA 1: DATOS GENERALES DE LAS PROBETAS

PROBETA No.		1	2	3
<b>DIMENSIONES</b>				
DIÁMETRO	cm.	3.28	3.30	3.31
ALTURA	cm.	7.16	7.08	7.19
ÁREA Corr	cm.	8.48	8.55	8.64
VOLUMEN	cm <sup>3</sup> .	60.75	60.56	62.12
PESO	gr.	98.49	101.10	102.96
<b>CONTENIDO DE AGUA</b>				
Peso Hum. :		414.39	403.63	407.80
Peso Seco :		308.93	307.16	308.02
Peso Cap. :		55.81	70.67	68.34
w (%) :		41.66	40.79	41.63
<b>DENSIDADES</b>				
NATURAL	gr/cm <sup>3</sup>	1.62	1.67	1.66
SECA	gr/cm <sup>3</sup>	1.14	1.19	1.17
DE SOLID.	gr/cm <sup>3</sup>			

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL**  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

INF-LAB-DGMIC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS  
LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
INSTITUCIÓN: UTPL

NORMA: ASTM D2850  
ENSAYO: U-U  
CALICATA No.: PM3

FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA CH.  
SOLICITADO: ING. JOHN SOTO  
FECHA: OCTUBRE 2017

PROFUND.(m): 1.50  
REALIZADO : G.M  
0.00

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: 01

Constante anillo de prueba:

<----- --- 1 --- ----->

0.85

Presión de Conf. (Kg/cm2):

0.50

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corr. (cm2)	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm2)
0	0.00	8.48	0.00	0.00	0.00
5	0.18	8.50	2.50	2.13	0.25
10	0.35	8.51	3.50	2.98	0.35
20	0.71	8.54	5.80	4.93	0.58
30	1.06	8.58	7.20	6.12	0.71
40	1.42	8.61	9.50	8.08	0.94
50	1.77	8.64	10.90	9.27	1.07
60	2.13	8.67	12.00	10.20	1.18
70	2.48	8.70	13.00	11.05	1.27
80	2.84	8.73	13.90	11.82	1.35
90	3.19	8.76	14.70	12.50	1.43
100	3.55	8.80	15.50	13.18	1.50
120	4.26	8.86	16.50	14.03	1.58
140	4.97	8.93	17.50	14.88	1.67
160	5.68	8.99	18.90	16.07	1.79
180	6.39	9.06	20.00	17.00	1.88
200	7.09	9.13	21.00	17.85	1.95
220	7.80	9.20	21.90	18.62	2.02
240	8.51	9.27	22.30	18.96	2.04
260	9.22	9.35	23.00	19.55	2.09
280	9.93	9.42	23.50	19.98	2.12

RESULTADOS:

ESF. DESV. : (Kg/cm2) =  
ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) =

2.12  
2.62

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la testista.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

INF-LAB-DGMC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS  
 LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
 INSTITUCIÓN: UTPL  
 FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA CH.  
 SOLICITADO: ING. JOHN SOTO  
 FECHA: OCTUBRE 2017

NORMA :  
 ENSAYO :  
 CALICATA No. :  
 PROFUND. (m) :  
 REALIZADO :  
 0.00

ASTM D2850  
 U-U  
 PM3  
 1.50  
 G.M

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: <----- - 2 ----->  
 Constante anillo de prueba: 0.85  
 Presión de Conf. (Kg/cm2): 1.00

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corr. (cm2)	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm2)
0	0.00	8.55	0.00	0.00	0.00
5	0.18	8.57	2.00	1.70	0.20
10	0.35	8.58	4.00	3.40	0.40
20	0.71	8.61	6.20	5.27	0.61
30	1.06	8.64	9.80	8.33	0.96
40	1.42	8.68	12.00	10.20	1.18
50	1.77	8.71	14.00	11.90	1.37
60	2.13	8.74	15.80	13.43	1.54
70	2.48	8.77	17.00	14.45	1.65
80	2.84	8.80	18.50	15.73	1.79
90	3.19	8.84	19.80	16.83	1.90
100	3.55	8.87	20.80	17.68	1.99
110	3.90	8.90	21.50	18.28	2.05
120	4.26	8.93	22.20	18.87	2.11
130	4.61	8.97	23.00	19.55	2.18
140	4.97	9.00	23.70	20.15	2.24
150	5.32	9.03	24.20	20.57	2.28
160	5.68	9.07	25.00	21.25	2.34
170	6.03	9.10	25.50	21.68	2.38
180	6.39	9.14	26.00	22.10	2.42
190	6.74	9.17	26.30	22.36	2.44
200	7.09	9.21	27.00	22.95	2.49
210	7.45	9.24	27.50	23.38	2.53
220	7.80	9.28	28.00	23.80	2.57
230	8.16	9.31	28.70	24.40	2.62
240	8.51	9.35	29.00	24.65	2.64
250	8.87	9.39	29.50	25.08	2.67
260	9.22	9.42	29.80	25.33	2.69
270	9.58	9.46	30.00	25.50	2.70
280	9.93	9.50	30.40	25.84	2.72
290	10.29	9.53	30.50	25.93	2.72
300	10.64	9.57	30.80	26.18	2.74

RESULTADOS: ESF. DESV. : (Kg/cm2) = 2.74  
 ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) = 3.74

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
 TESISTA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

INF-LAB-DGMC-001-2015

PROYECTO : GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LADERA EN LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

OBRA : TESIS  
 LOCALIZAC: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
 INSTITUCIÓN: UTPL  
 FISCALIZACIÓN: ING. ÁNGEL TAPIA CH.  
 SOLICITADO: ING. JOHN SOTO  
 FECHA: OCTUBRE 2017

NORMA:  
 ENSAYO:  
 CALICATA No.:  
 PROFUND.(m):  
 REALIZADO :

ASTM D2850  
 U-U  
 PM3  
 1.50  
 G.M

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: <----- - 3 ----->  
 Constante anillo de prueba: 0.85  
 Presión de Conf. (Kg/cm2): 2.00

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corrg. (cm2)	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm2)
0	0.00	8.64	0.00	0.00	0.00
5	0.18	8.65	3.50	2.98	0.34
10	0.35	8.67	5.80	4.93	0.57
20	0.71	8.70	10.00	8.50	0.98
30	1.06	8.73	13.00	11.05	1.27
40	1.41	8.76	15.30	13.01	1.48
50	1.77	8.79	17.70	15.05	1.71
60	2.12	8.83	20.00	17.00	1.93
70	2.47	8.86	22.00	18.70	2.11
80	2.83	8.89	24.00	20.40	2.29
90	3.18	8.92	25.50	21.68	2.43
100	3.53	8.96	27.00	22.95	2.56
110	3.89	8.99	28.50	24.23	2.69
120	4.24	9.02	30.00	25.50	2.83
130	4.59	9.06	31.00	26.35	2.91
140	4.95	9.09	32.00	27.20	2.99
150	5.30	9.12	33.20	28.22	3.09
160	5.65	9.16	34.20	29.07	3.17
170	6.01	9.19	35.20	29.92	3.26
180	6.36	9.23	35.90	30.52	3.31
190	6.71	9.26	36.70	31.20	3.37
200	7.07	9.30	37.50	31.88	3.43
210	7.42	9.33	38.10	32.39	3.47
220	7.77	9.37	39.10	33.24	3.55
230	8.13	9.40	39.90	33.92	3.61
240	8.48	9.44	40.20	34.17	3.62
250	8.83	9.48	41.00	34.85	3.68
260	9.18	9.51	41.50	35.28	3.71
270	9.54	9.55	42.00	35.70	3.74
280	9.89	9.59	42.90	36.47	3.80
290	10.24	9.63	43.10	36.64	3.81
300	10.60	9.66	43.60	37.06	3.83
310	10.95	9.70	44.00	37.40	3.85

RESULTADOS: ESF. DESV. : (Kg/cm2) = 3.85  
 ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) = 5.85

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista.

Ing. Ángel Tapia Ch.  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
 TESISTA

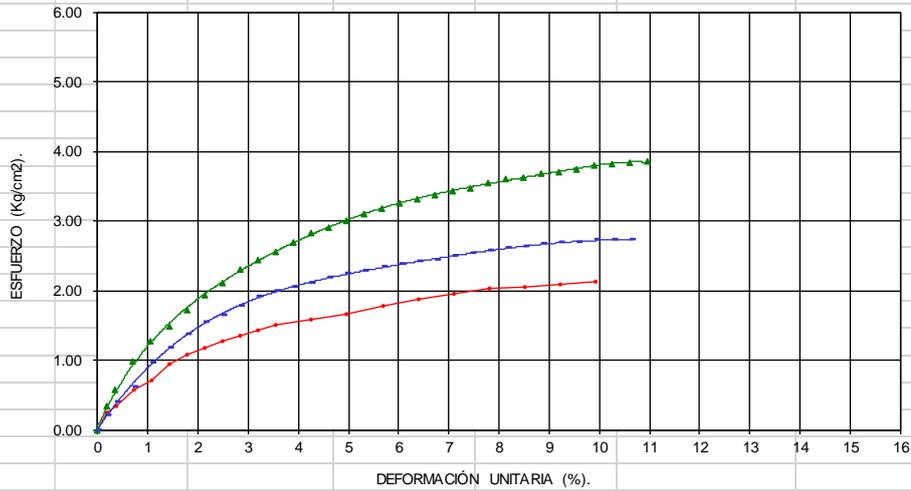


DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E ING.CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN.

Muestra : N° 3



CIRCULO DE MOHR



COHESIÓN (C) = 0,5 Kg/cm<sup>2</sup>.  
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ø) = 21°

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por la tesista.

Ing. Angel Tapia Ch.  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez  
TESI STA



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD**

**PROYECTO :** GEODINÁMICA DEL MOVIMIENTO DE LA DERA DE LA CALLE "GONZALO PIZARRO" DE LA CIUDAD DE "ZARUMA" PROVINCIA DE "EL ORO", MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y GEODÉSICOS.

**OBRA:** TESIS NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

**LOCALIZACIÓN:** ZARUMA, EL ORO-ECUADOR MUESTRA: 3

**SOLICITADO:** ING. JOHN SOTO PROFUNDIDAD: 1.5 m

**FECHA:** FEB DE 2018 REALIZADO: Tesista

**Datos del ensayo**

Diámetro de la muestra =	10.2 cm	Altura =	11.61 cm
Peso del suelo + molde =	3570.72 gr	Area =	81.71 cm <sup>2</sup>
Peso del molde =	1888.3 gr	Volumen=	948.69 cm <sup>3</sup>
Peso del suelo =	1682.42 gr	W. Unitario=	1.77 gr/cm <sup>3</sup>
Area de la tubería =	1.12 cm		

Ensayo Nro.	h1 (cm)	h2 (cm)	t (seg)	Q inicial (ml)	Q final (ml)	T (°C)
1	160.55	144.2	35700	39	24	19.4

**Promedio**

<b>a</b>	1.12		<b>t</b>	35700
<b>L</b>	11.61		<b>h1</b>	160.55
<b>A</b>	81.71		<b>h2</b>	144.2

**Cálculos**

nT/n20 =	1.014
KT =	4.78754E-07
K20 =	4.85456E-07

**COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K20)** 4.85456E-07

**CLASIFICACIÓN**

**OBERVACIONES**

Ing. Ángel Tapia Ch.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gianella Maribel Ramón Pérez

TESISTA

**ANEXO IV**  
**Inversión de pseudoperfiles sin topografía**

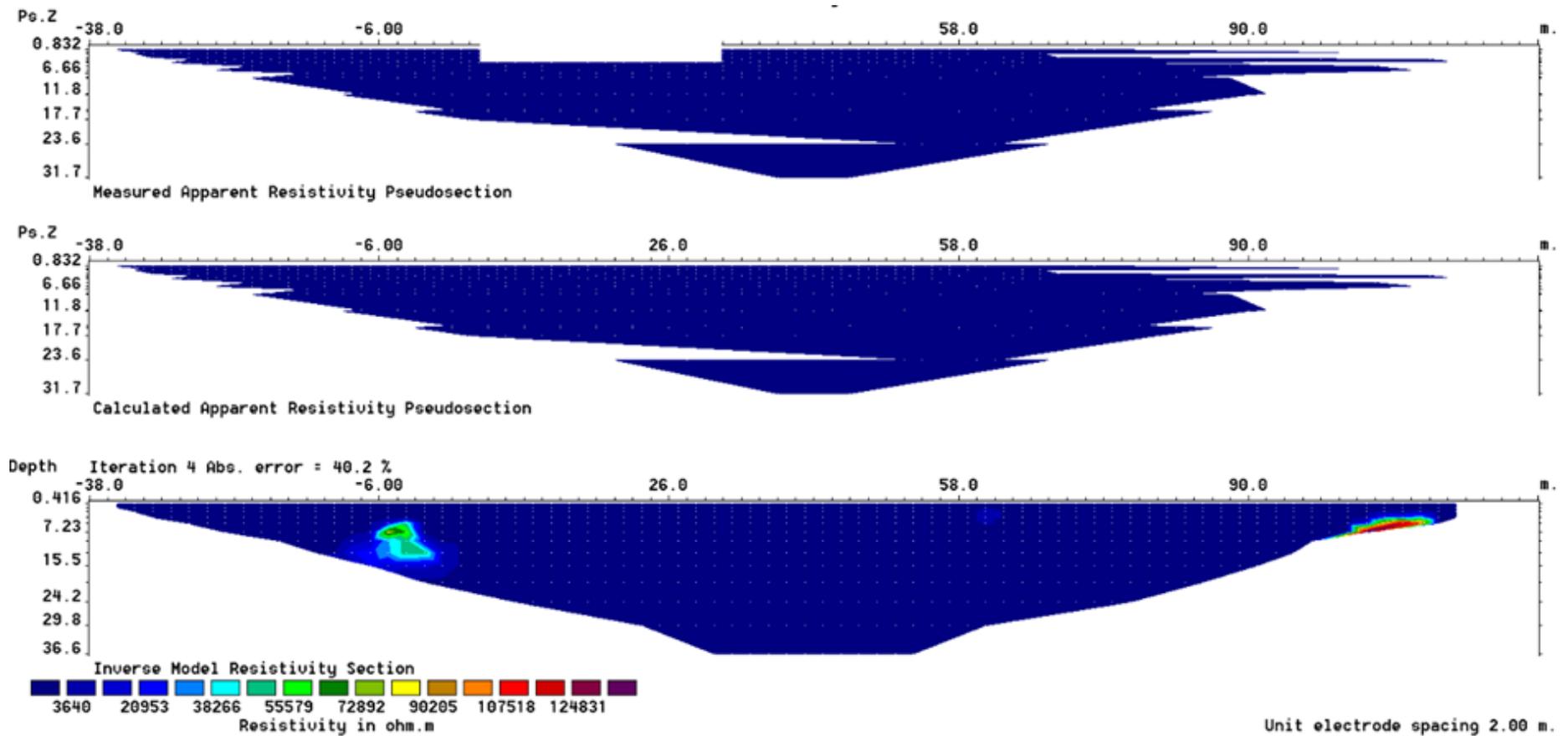


Figura 37: Pseudosección sin topografía, con valores de resistividad real, línea A-A'  
Fuente: La Autora.

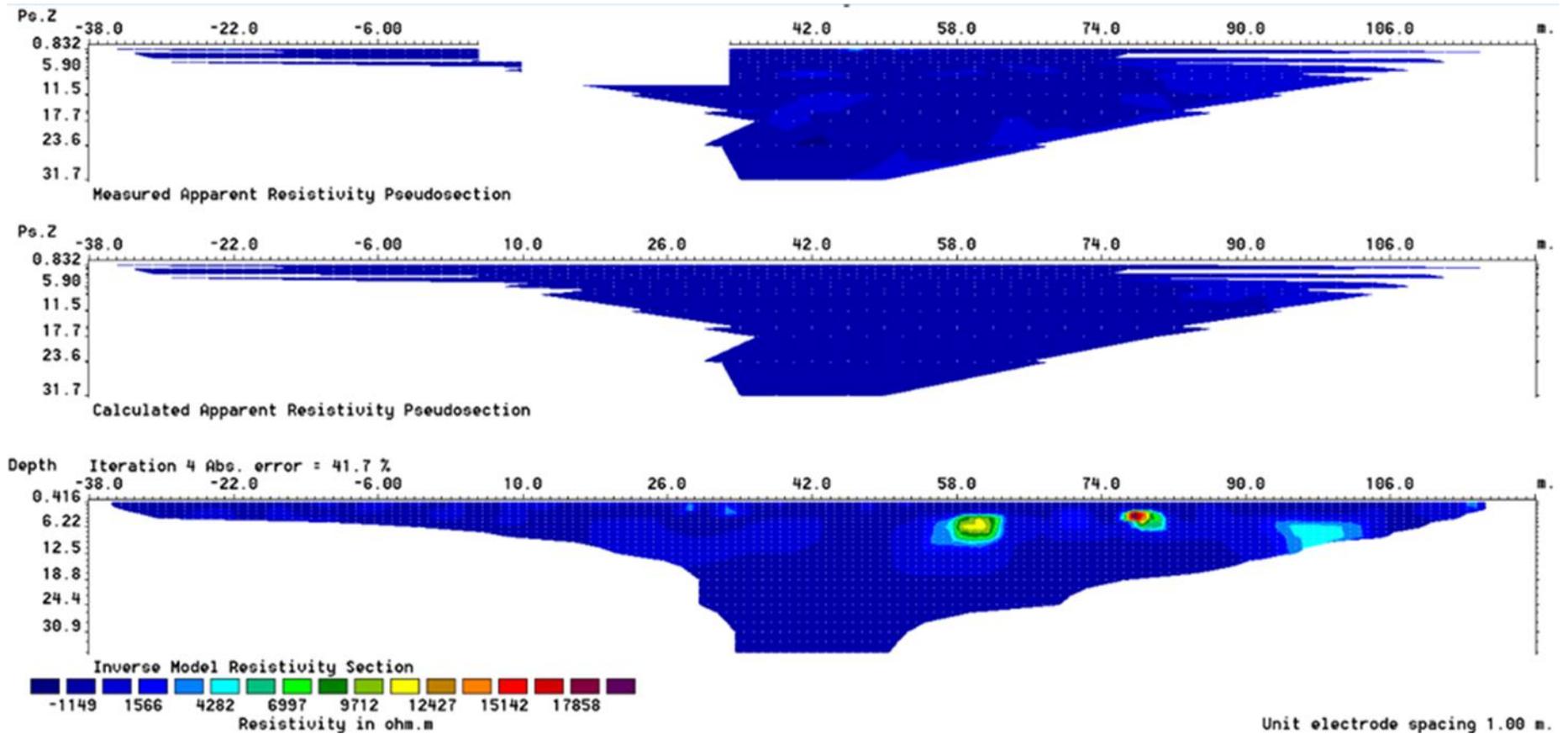


Figura 38: Pseudosección sin topografía, con valores de resistividad real, línea B-B'

Fuente: La Autora.