



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

“Aplicación de tomografías de resistividad eléctrica en la caracterización del deslizamiento, ubicado en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco, al noroeste de la ciudad de Loja”

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

AUTORA:

Micaela Alexandra Figueroa Valarezo

DIRECTOR:

Ing. Walter Simón Tambo Encalada. Mg. Sc

Loja-Ecuador

2024

Certificación

Loja, 20 de noviembre del 2023

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Aplicación de tomografías de resistividad eléctrica en la caracterización del deslizamiento, ubicado en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco, al noroeste de la ciudad de Loja”**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del estudiante **Micaela Alexandra Figueroa Valarezo, con cédula de identidad Nro. 1150179594**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Walter S. Tambo E., Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Micaela Alexandra Figueroa Valarezo**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de el mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1150179594

Fecha: 4 de enero del 2024

Correo electrónico: micaela.figueroa@unl.edu.ec

Teléfono: 0967873615

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Micaela Alexandra Figueroa Valarezo**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **“Aplicación de tomografías de resistividad eléctrica en la caracterización del deslizamiento, ubicado en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco, al noroeste de la ciudad de Loja”**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los cuatro días del mes de enero del dos mil veinticuatro.

Firma:



Cédula de identidad: 1150179594

Fecha: 4 de enero del 2024

Correo electrónico: micaela.figueroa@unl.edu.ec

Teléfono: 0967873615

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajador de Titulación: Ing. Walter Simón Tambo Encalada. Mg. Sc

Dedicatoria

Principalmente a Dios, por ser mi luz y guía necesaria a lo largo de toda mi vida; que, con la sabiduría, paciencia y salud brindada hacia mí, me permite culminar esta etapa maravillosa. A mi amada madre Sandra Valarezo, le dedico este logro con todo el amor de mi corazón por su incansable esfuerzo, sacrificio y desinteresado amor, han sido los cimientos sobre los cuales he construido mi éxito. Sin su apoyo inquebrantable, no habría llegado tan lejos. A mi hermano toda la gratitud eterna, por ser mi compañero de vida y mi inspiración, para lograr éxito de aquí en adelante.

Micaela Alexandra Figueroa Valarezo

Agradecimiento

Agradezco a Dios por todas las virtudes y bendiciones que ha derramado en mi vida. Con estas herramientas divinas, he sido capaz de trazar y alcanzar el camino correcto, a través de mi fe y perseverancia.

Gracias mamá por todas las palabras de aliento, fueron mi motivación constante, recordándome que, aunque el camino fuera difícil, siempre habrá quien crea en mí. Tu amor ha sido el motor que me impulsó a perseguir mis metas. Mi éxito será un reflejo de la profunda gratitud que siento por tenerte como mi madre. En cada victoria, verás tu influencia y amor como parte integral de mi viaje. Decirte que mi futuro no solo es mío, sino nuestro, y estoy decidida a construir un camino que te llene de orgullo y alegría. Agradecida con mi hermano por su infinita paciencia, amor y protección.

Agradezco a mi director de Trabajo de Titulación Ing. Walter Tambo Mg. Sc, por su invaluable orientación y apoyo durante todo el proceso de elaboración de mi investigación. Su dedicación y experiencia han sido elementos fundamentales para el éxito de este proyecto académico. Y agradezco profundamente a cada uno de mis docentes, por el impacto positivo que han tenido en mi formación durante todos estos años en la universidad. Su dedicación a la enseñanza y su compromiso hacia nosotros como estudiantes, han dejado una marca indeleble en mi trayectoria académica.

Agradecimiento especial al Servicio Nacional de Riesgos y Emergencias, y a la empresa CELEC EP, por la oportunidad de desarrollar el presente trabajo de investigación; y que, con su colaboración y apoyo profesional, quienes no solo me brindaron orientación técnica, sino que también compartieron su experiencia y conocimientos valiosos que han ampliado mi perspectiva académica durante la investigación.

Micaela Alexandra Figueroa Valarezo

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1. Prospección geofísica.....	7
4.1.1. Métodos mayores de la prospección geofísica.....	7
4.2. Resistividad eléctrica.....	8
4.2.1. Resistividad eléctrica del suelo.....	8
4.2.2. Propiedades eléctricas de las rocas.....	11
4.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT).....	14
4.3.1. Configuraciones electródicas.....	14
4.3.2. Inversión de pseudo secciones.....	18
4.4. Hidrogeología.....	18

4.4.1. Nivel Freático.....	19
4.4.2. Agua Subterránea.....	19
4.5. Topografía.....	20
4.5.1. Levantamiento Topográfico por Dron.....	20
4.6. Fotografía aérea en el levantamiento geológico.....	21
4.6.1 Ortofoto Digital.....	22
4.7. Geología.....	22
4.8. Movimiento en Masa.....	23
4.8.1. Deslizamientos.....	23
4.8.2. Factores que Afectan la Estabilidad del Terreno.....	26
5. Metodología.....	27
5.1. Descripción del área de estudio.....	27
5.1.1. Ubicación.....	27
5.1.2. Acceso.....	28
5.1.3. Clima.....	29
5.1.4. Geomorfología.....	32
5.1.5. Pendientes.....	33
5.1.6. Hidrografía.....	35
5.1.7. Geología Regional.....	37
5.2. Materiales.....	40
5.2.1. Materiales de campo.....	40
5.2.2. Materiales de gabinete.....	40
5.3. Métodos.....	41
5.3.1. Metodología para el primer objetivo.....	41
5.3.2. Metodología para el segundo objetivo.....	48

5.3.3.	Metodología para el tercer objetivo.....	62
6.	Resultados.....	66
6.1.	Resultados del primer objetivo.....	66
6.1.1.	Topografía.....	66
6.1.2.	Geología Local.....	67
6.2.	Resultados del segundo objetivo.....	77
6.2.1.	Modelo de líneas geofísicas.....	77
6.3.	Resultados del tercer objetivo.....	85
6.3.1.	Interpretación de la línea geo eléctrica 1.....	86
6.3.2.	Interpretación de la línea geo eléctrica 2.....	90
6.3.3.	Interpretación de la línea geo eléctrica 3	92
6.3.4.	Interpretación de la línea geo eléctrica 4.....	94
6.3.5.	Interpretación de la línea geo eléctrica 5.....	96
6.3.6.	Interpretación de la línea geo eléctrica 6.....	98
6.3.7.	Interpretación de la línea geo eléctrica 7.....	100
6.3.8.	Interpretación de la línea geo eléctrica 8.....	106
6.3.9.	Interpretación de la línea geo eléctrica 9.....	108
6.3.10.	Interpretación de la línea geo eléctrica 10.....	110
7.	Discusión.....	113
8.	Conclusión.....	120
9.	Recomendación.....	122
10.	Bibliografía	124
11.	Anexos.....	127

Índice de tablas:

Tabla 1. Resistividades eléctricas de roca.....	11
Tabla 2. Especificaciones Técnicas de Ortofotos Digitales	22
Tabla 3. Coordenadas del polígono de interés.	27
Tabla 4. Precipitaciones típicas de la parroquia y cantón Loja.....	30
Tabla 5. Temperaturas típicas de la parroquia y cantón Loja	31
Tabla 6. Unidades geomorfológicas del cantón Loja.....	32
Tabla 7. Clasificación de pendientes.....	34
Tabla 8. Coordenadas de los puntos de control	43
Tabla 9. Localización de las líneas geofísicas en campo	52
Tabla 10. Rango de resistividades eléctricas.....	64
Tabla 11. Plantilla para la interpretación de imágenes obtenidas por tomografía eléctrica.....	65
Tabla 12. Aspectos del proceso de inversión las líneas geofísicas.	84
Tabla 13. Valores de resistividades, ajustados a los modelos de resistividad real.....	84
Tabla 14. Características principales del deslizamiento 1	87
Tabla 15. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 1.....	90
Tabla 16. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 2.....	92
Tabla 17. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 3.....	94
Tabla 18. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 4.....	96
Tabla 19. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 5.....	98
Tabla 20. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 6.....	100
Tabla 21. Características principales del deslizamiento 2	101
Tabla 22. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 7.....	105
Tabla 23. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 8.....	107
Tabla 24. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 9.....	109
Tabla 25. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 10.....	111

Índice de figuras:

Figura 1. Gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales.....	13
Figura 2. Arreglo geométrico multielectrónica.....	14
Figura 3. Esquema de configuración eléctrica Wenner	15
Figura 4. Esquema de dispositivo eléctrico Schlumberger	16
Figura 5. Esquema de dispositivo eléctrico del dispositivo Wenner-Schlumberger	17
Figura 6. Esquema eléctrico del dispositivo Dipolo-Dipolo.....	18
Figura 7. Distribución vertical del agua subterránea	20
Figura 8. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides (1990).....	25
Figura 9. Ubicación el área de estudio.....	28
Figura 10. Acceso hacia el área de estudio	29
Figura 11. Isoyetas de la parroquia y cantón Loja.....	30
Figura 12. Isotermas de la parroquia y cantón Loja.....	31
Figura 13. Geomorfología del área de estudio.....	33
Figura 14. Mapa de pendientes del área de estudio	34
Figura 15. Mapa hidrográfico del área de estudio	36
Figura 16. Geología regional del área de estudio	39
Figura 17. Ubicación de los puntos de control	43
Figura 18. Alineación de fotografías aéreas	45
Figura 19. Incorporación de los puntos de control	45
Figura 20. Localización de los puntos de control, por medio de una representación gráfica “x”	46
Figura 21. Procesamiento de nubes de puntos densa.....	46
Figura 22. Clasificación de la nube de puntos	47
Figura 23. Esquema del tendido geofísico.....	50
Figura 24. Fuente de conexión de corriente de los cables y electrodos metálicos.....	50
Figura 25. Batería BOSCHO de 12v.....	51
Figura 26. Ubicación de las líneas geofísicas en campo.....	53
Figura 27. Disposición de equipo geofísico en terreno de interés.	54

Figura 28. Disposición de bloques de modelo y puntos de datos de resistividad aparente..	55
Figura 29. Configuración Schlumberger, n= nivel; a= separación de electrodos; C1,C2= electrodos de corriente; P1, P2= electrodos de potencial.....	56
Figura 30. Distribución de los electrodos de potencia y corriente, por el método Schlumberger.....	58
Figura 31. Clasificación de columnas con la diversidad de datos geofísicos y columna de la topografía	59
Figura 32. Depuración de picos de valores erróneos.	60
Figura 33. Metodología empleada para el procesamiento de datos en Res2Dinv	62
Figura 34. Topografía del área de estudio	67
Figura 35. Depósito sedimentario no consolidado.....	68
Figura 36. Afloramiento sedimentario compuesto por arenisca gruesa.....	70
Figura 37. Micropliegue de constitución sedimentario, específicamente lutitas.	72
Figura 38. Afloramiento sedimentario con roca altamente saturada	74
Figura 39. Mapa geológico del área de estudio	75
Figura 40. Corte geológico A-A` vertical del área de estudio	76
Figura 41. Corte geológico B-B` horizontal, del área de estudio	77
Figura 42. Modelo de resistividad eléctrica, línea geo eléctrica 1	78
Figura 43. Perfil topográfico de la línea geo eléctrica 1	79
Figura 44. Resultados, de la inversión en la línea 1	81
Figura 45. Modelo de resistividad eléctrica, línea 7	82
Figura 46. Resultados, de la inversión de la línea 7.....	83
Figura 47. Perfil topográfico de la línea geo eléctrica 1	83
Figura 48. Ubicación de los deslizamientos inactivos, del lugar.....	85
Figura 49. Deslizamiento traslacional, caracterizado en el área de interés.....	86
Figura 50. Morfometría del deslizamiento 1.....	88
Figura 51. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 1.....	90
Figura 52. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 2.....	92
Figura 53. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 3.....	93
Figura 54. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 4.....	95
Figura 55. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 5.....	97

Figura 56. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 6.....	99
Figura 57. Deslizamiento rotacional, caracterizado en el área de interés	100
Figura 58. Morfometría del deslizamiento 2.....	102
Figura 59. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 7.....	105
Figura 60. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 8.....	107
Figura 61. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 9.....	109
Figura 62. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 10.....	111
Figura 63. Visión conjunta de las líneas geo eléctricas 1,2, y 3, dispuestas a lo largo del deslizamiento 1.....	116
Figura 64. Visión conjunta de las líneas geo eléctricas 4,5,6 y 7, dispuestas a lo largo del deslizamiento 2	118

Índice de anexos:

Anexo 1. Ficha descriptiva para el levantamiento geológico de afloramientos.....	126
Anexo 2. Ficha técnica, para el levantamiento de deslizamientos.....	127
Anexo 3. Datos georreferenciales de las líneas geo eléctricas	128
Anexo 4. Caracterización de afloramientos	132
Anexo 5. Ficha descriptiva de los deslizamientos.....	147
Anexo 6. Mapa geomorfológico de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja.....	149
Anexo 7. Mapa de pendientes de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja.....	149
Anexo 8. Mapa red hídrica de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja.....	149
Anexo 9. Mapa topográfico de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja.....	149
Anexo 10. Mapa geológico local de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja.....	149
Anexo 11. Mapa de ubicación de deslizamientos de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja.....	149
Anexo 12. Certificado de traducción del resumen.....	150

1. Título

“Aplicación de tomografías de resistividad eléctrica en la caracterización del deslizamiento, ubicado en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco, al noroeste de la ciudad de Loja”

2. Resumen

Las tomografías de resistividad eléctrica (ERT) es una de las iniciativas en la aplicación de las tecnologías empleadas para comprender, prevenir y mitigar los riesgos asociados a movimientos en masa. En este contexto, las ERT desempeñan un papel crucial al proporcionar una visión profunda y detallada de las características del subsuelo, permitiendo la identificación temprana de zonas de inestabilidad y facilitando estrategias efectivas de prevención y mitigación. Este estudio tiene como objetivo realizar un análisis cualitativo y descriptivo de los factores que desencadenan los deslizamientos en las cercanías de la Subestación Central Eólica Villonaco, enfocándose en las propiedades eléctricas y características geológicas del subsuelo, a través de la técnica geofísica de prospección eléctrica y relación entre la geología en campo con datos de resistividad, para la detección de cambios en el subsuelo e investigación científica sobre los deslizamientos. La metodología de investigación, constó de tres fases: caracterización geológica de los afloramientos yacientes en una porción del barrio Bolonia y Eucaliptos de la ciudad Loja; aplicación de la ERT, por medio de la implementación diez líneas geoelectricas en dos deslizamientos, y en zonas propensas a movimientos en masa, con la finalidad se procederá a la automatización de inversión geofísica con el software Res2Dinv aplicando la configuración Schlumberger.; y la interpretación de la pseudosección de los modelos resistivos eléctricos. La campaña geofísica recopiló datos resistivos desde 1 a 215 ohm·m, resultados que en su mayoría fueron resistividades muy bajas, es decir, cercanos a 0 ohm·m y que reflejaron: depósitos de sedimentos finos; zonas donde el flujo de agua es dominante; existencia de nivel freático; posible falla o fracturamiento; planos de rotura y la composición litológica subterránea. En el análisis del estudio se demostró la eficiencia para el análisis y prevención de eventos geodinámicos. A través de las mediciones de resistividad eléctrica, se obtuvo información cuantitativa sobre las propiedades geofísicas de los materiales subsuperficiales, lo que permite identificar áreas críticas con mayor precisión.

Palabras clave: *Geología, Geofísica, Deslizamientos, Tomografías de Resistividad Eléctrica, Schlumberger, Res2Dinv; Inversión.*

Abstract

Electrical resistivity tomography (ERT) is one of the initiatives in the application of technologies used to understand, prevent and mitigate the risks associated with mass movements. In this context, ERTs perform a crucial role in providing a deep and detailed view of the subsurface characteristics, allowing the early identification of areas of instability and facilitating effective prevention and mitigation strategies. This study aims to perform a qualitative and descriptive analysis of the factors that trigger landslides in the vicinity of the Villonaco Wind Power Plant Substation, focusing on the electrical properties and geological characteristics of the subsurface, through the geophysical technique of electrical prospecting and the relationship between field geology and resistivity data, for the detection of changes in the subsurface and scientific research on landslides. The research methodology consisted of three phases: geological characterization of the reservoir outcrops in a portion of the Bolonia and Eucalyptus neighborhood of the city of Loja; application of the ERT, through the implementation of ten geoelectric lines in two landslides, and in areas prone to mass movements, in order to proceed to the automation of geophysical inversion with the Res2Dinv software applying the Schlumberger configuration; and the interpretation of the pseudosection of the electrical resistive models. The geophysical campaign collected resistivity data from 1 to 215 ohm-m, results that were mostly very low resistivities, close to 0 ohm-m and reflected: fine sediment deposits; zones where water flow is dominant; existence of water table; possible faulting or fracturing; fracture planes and the subsurface lithological composition. In the analysis of the study, the efficiency for the analysis and prevention of geodynamic events was demonstrated. Through electrical resistivity measurements, quantitative information was obtained on the geophysical properties of subsurface materials, which allows identifying critical areas with greater precision.

Keywords: *Geology, Geophysics, Landslides, Electrical Resistivity Tomography, Schlumberger, Res2Dinv; Inversion.*

3. Introducción

La creciente relevancia de la prospección geofísica, se manifiesta diariamente en una amplia gama de aplicaciones para la toma de decisiones, dentro de; industrias geológicas, industrias mineras, en gestión de recursos naturales e inclusive en investigaciones científicas, con la finalidad de encontrar soluciones a problemas relacionados con cambios en las propiedades físicas y químicas del subsuelo, a causa de los procesos naturales, geodinámicos, actividades antrópicas que desestabilizan el terreno. La prospección geofísica permite obtener una imagen detallada del subsuelo a través de la exploración, sin la necesidad de excavar, lo que la hace valiosa y formar parte de la solución de problema del subsuelo; ya sea para la prospección de nuevos recursos o para ser parte de la solución a problemas geológicos

Dentro de la diversidad de técnicas de prospección geofísica destacan cuatro grupos: el gravimétrico, el magnético, el eléctrico y el sísmico (Ernesto Orellana, 1982, p. 22). Dentro de los métodos eléctricos existe una técnica mayormente específica, no invasiva y dinámica conocida como la Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT). Implica la recopilación de datos en múltiples ubicaciones a lo largo de una línea o una red de electrodos para crear imágenes en 2D o 3D de la distribución de la resistividad en el subsuelo. Esto permite obtener una imagen a alta resolución espacial de escala decimétrica de las variaciones en la resistividad y, por lo tanto, una mejor comprensión de las características geológicas y geohidrológicas del subsuelo (A. Samouelian et al., 2004).

Como énfasis de gran relevancia, el componente de inestabilidad del subsuelo llega a generar fenómenos geológicos denominados movimientos en masa; específicamente los deslizamientos. Las áreas deslizadas, como las zonas contiguas, muestran cambios en las propiedades de resistividad en el terreno (A. Perrone et al., 2012). Estos elementos están correlacionados y cuantificados a través de las propiedades geo eléctricas; interpretadas y caracterizadas por medio del ERT.

La ocurrencia de deslizamientos dentro de la ciudad de Loja, ha ocasionado puntos críticos en el ámbito económico, social y ambiental. Por lo tanto, la seguridad de la población se encuentra en riesgo, al igual que importantes infraestructuras para el desarrollo de la ciudad, como son las torres de transmisión eléctrica, al encontrarse expuestas sobre estos fenómenos geológicos. Estos daños pueden ser estructurales o su completa destrucción debido a la inestabilidad del terreno.

Expuesto lo anterior, el presente Trabajo de Titulación designado “Aplicación de tomografías de resistividad eléctrica en la caracterización del deslizamiento, ubicado en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco, al noroeste de la ciudad de Loja” permitirá investigar sobre la geometría de los cuerpos deslizados, la profundidad a la que generan las zonas de ruptura y conocer los materiales rocosos, con sus correspondientes espesores, que están involucrados en los movimientos. A demás de determinar la estratigrafía de la zona, lineamientos tectónicos y la presencia de niveles freáticos o humedales, que pueden ser los desencadenantes de estos deslizamientos.

El propósito de este proyecto es proporcionar información inicial sobre la composición geológica y geofísica de la zona vulnerable a deslizamientos y demostrarla importancia de caracterizar estos aspectos tanto en las etapas previas como posteriores a un evento. Esta información se dirige específicamente a la Secretaría de Gestión de Riesgos de la Zona 7 y a la empresa pública Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP). Estas entidades, responsables de la toma de decisiones, podrán utilizar esta información para diseñar estrategias de prevención y control, así como para planificar estudios geotécnicos futuros en la zona de riesgo.

Para el cumplimiento del propósito de este estudio, se trabajó con: la cartografía base del área interesada; un levantamiento topográfico y litológico por afloramientos superficiales, con el propósito de desarrollar y obtener el mapa requerido para interpretaciones posteriores. Se realizó la campaña geofísica en campo con la aplicación del equipo geofísico “ABEM Terrameter LS”.

Objetivos:

Objetivo General

- Analizar los factores que detonan los deslizamientos localizados en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco, a partir de la aplicación de tomografías de resistividad eléctrica.

Objetivos Específicos

- Caracterizar la litología predominante en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco.
- Generar el modelo del subsuelo de la zona crítica de estudio, por el método de tomografía de resistividad eléctrica.

- Interpretar los resultados de las condiciones geofísicas y geológicas del subsuelo, que incentivan a la ocurrencia de deslizamientos.

4. Marco teórico

4.1. Prospección geofísica

Ernesto Orellana (1982), la describe como un campo de la física aplicada, que se enfoca en investigar las estructuras ocultas dentro de la Tierra y en la localización de cuerpos delimitados por contraste, utilizando observaciones realizadas en la superficie terrestre. Esta disciplina es una de las más contemporáneas y actualizadas en su aplicación, y emplea una variedad de técnicas fundamentadas en principios físicos esenciales, como las leyes de la atracción gravitatoria y magnética, que rigen la óptica de la refracción y reflexión, además de conceptos relacionados con la electricidad y teorías electromagnéticas. (p. 25)

Según Cantos Figuerola José (1973), la prospección geofísica se percibe en el arte de aplicar los principios físicos en el estudio de la capa superficial de la corteza terrestre. En ocasiones, esta aplicación puede orientarse hacia la resolución de problemas de naturaleza puramente geológica, aunque también puedan ser de gran relevancia desde una perspectiva económica. (p. 23)

4.1.1. *Métodos mayores de la prospección geofísica*

En el ámbito de las diversas técnicas de prospección geofísica, se destacan cuatro categorías principales comúnmente denominadas "*métodos mayores*". Estos métodos incluyen: gravimétrico, el magnético, el eléctrico y el sísmico. Los dos primeros se consideran métodos de campo natural, mientras que los dos últimos pertenecen al ámbito de campo artificial.

En otras palabras, en los métodos gravimétrico y magnético, se analizan las alteraciones que determinadas estructuras o cuerpos causados en campos preexistentes, que son el campo gravitatorio terrestre y el geomagnético, respectivamente. Por otro lado, en los métodos eléctrico y sísmico, el propio investigador genera el campo físico que va a estudiar, lo que presenta la ventaja significativa de poder adaptarlo a las necesidades específicas de la investigación.

El enfoque seleccionado para el presente proyecto de investigación se fundamenta en la aplicación del método eléctrico. Este método implica investigar la subsuperficie terrestre y caracterizar las propiedades eléctricas de los materiales subyacentes. Se basa en la inyección de corriente eléctrica en el suelo a través de electrodos y la medición de la resistividad eléctrica de los materiales subterráneos.

A demás, el método se centra en la evaluación de los campos de potencial eléctrico, tanto los que se encuentran de forma natural en la corteza terrestre como aquellos que son inducidos artificialmente en la misma. A través de estas mediciones, es posible identificar la ubicación de depósitos minerales subterráneos o reconocer la presencia de estructuras geológicas o eventos inusuales. La variante más comúnmente empleada y de uso más extendido es la segunda opción, es decir, la generación de campos eléctricos artificiales.

4.2. Resistividad eléctrica

4.2.1. Resistividad eléctrica del suelo

Los métodos que se encargan de determinar la resistividad de subsuelo son, sin duda, en todas sus modalidades los más importantes de todos los métodos eléctricos. El 70% de los estudios de geofísica realizados para estudios hidrogeológicos utilizan diferentes métodos eléctricos resistivos. (Scivetti Nicolás et al., 2021)

El autor Ernesto Orellana, define a la resistividad eléctrica como una medida de la dificultad que encuentra la corriente eléctrica a su paso en un material determinado; pero igualmente podía haberse considerado la facilidad de paso. Así surge el concepto de la *conductividad* como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar el material. La resistencia eléctrica que presenta un conductor homogéneo está determinada por la resistividad del material que lo constituye y la geometría del conductor. (p. 34)

En cuanto a medidas de resistividad eléctrica de un subsuelo, Gasulla Manel (1999) alude que, son habituales en las prospecciones geofísicas y su finalidad es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo. El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos y la determinación, mediante otro par de electrodos, de la diferencia de potencial. La magnitud de esta medida depende, entre otras variables, de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos y de la corriente inyectada. (p. 10)

4.2.1.1. Clasificación de suelos. Cárdenas Juan y Galvis Esteban (2011), en su manual denominado “Interpretación del perfil de resistividad” señalan a los principales constituyentes de suelos, los cuales son: el óxido de aluminio y el óxido de silicio. Son excelentes aislantes eléctricos; no obstante, normalmente es posible detectar una conducción eléctrica apreciable en el terreno. Esto se debe a que:

- La cantidad de corriente transportada puede alcanzar valores importantes aún en un mal conductor, si el volumen que participa es considerable.
- La conductividad del suelo se debe en gran medida a la presencia de humedad y sales en solución en los intersticios dejados por las formaciones rocosas o masas minerales.

Por lo tanto, se deduce que el proceso de conducción en suelos es de carácter electroquímico y depende de factores como:

- Conductividad del agua que llena poros.
- Porosidad de materiales componentes del terreno.
- Distribución y disposición de los poros.

Es importante resaltar que, la conductividad del agua se compone de una conductividad primaria, siendo la propia del agua y una conductividad secundaria (la adquirida por disolución del material y sales) que depende del estancamiento.

La resistividad de los suelos tiene un margen de variación muy amplio. Un mismo suelo puede presentar diferentes resistividades con el tiempo debido a factores como la temperatura o la humedad, siendo el último el más determinante. (p. 16)

Variables que afectan la resistividad del terreno

Así mismo, Cárdenas Juan y Galvis Esteban (2011) mencionan que, para un tipo de terreno determinado, su resistividad puede verse significativamente afectada por varios factores, los cuales son:

4.2.1.1.1. Humedad. La humedad que posee el terreno determina fuertemente su resistividad. El agua que contiene el terreno, debido a su estado higrométrico, es la que influye. Siempre que se añada agua a un terreno disminuye la resistividad respecto a la que tendría en seco.

Para una cierta región geográfica, el contenido de humedad del suelo depende de sus características climáticas, por lo que en las puestas a tierra se debe considerar la época del año que ofrezca la peor condición. En épocas de lluvias, el nivel freático se aproxima a la superficie del terreno, presentando éste una resistividad menor que en el periodo de sequía, en el que dicho nivel se aleja en profundidad de la superficie. A lo largo del año, se presentan variaciones estacionales que son más acusadas, cuanto más próxima a la

superficie se encuentre la puesta a tierra. (p. 18)

4.2.1.1.2. Temperatura. La temperatura del terreno también es un factor importante a considerar dentro del estudio de los factores que determinan la resistividad de los suelos.

La tierra seca es un aislador excelente; al aire y al sol, las capas de arena seca de la superficie se acercan mucho a la condición de buen aislador. En general, el grosor de tales capas secas no es muy grande, alcanzan sólo entre 10 y 20 centímetros. La escarcha tiene una penetración más profunda, entre 50 y 100 centímetros, o más, según el estrato, por el cual, las tomas a tierra deben ser a mayor profundidad dado que, el grado de la humedad, tal como se sabe, es un factor esencial en la conductividad, debido a que el hielo es un aislante. Para valores superiores al punto del congelamiento del agua, e inferiores a 100 °C, la resistividad de los suelos disminuye al aumentar la temperatura, por la mayor movilidad de los iones en el agua. (p. 19)

4.2.1.1.3. Compactación. Cuando los suelos se compactan a una mayor energía, la relación de vacíos y la resistividad disminuyen ya que se logra una mejor conducción a través del agua que pueda contener el suelo. Esto es de esperarse ya que a medida que se incrementa la energía de compactación (para un mismo contenido de agua) el grado de saturación se incrementa debido a que se reduce la relación de vacíos y por tanto la relación de vacíos disminuye.

4.2.1.1.4. Concentración de sales disueltas. La concentración de sales disueltas en el terreno es un factor determinante en la resistividad del mismo. Al existir una mayor concentración de sal en el suelo, éste mejora su conductividad. En forma general, entonces, se podría establecer que mejor conductor es el terreno mientras mayor contenido de sal haya en él. El agua disocia las sales en iones y cationes que se encargan de transportar los electrones por el terreno. (p. 20)

Para comprender este fenómeno, sólo se debe recordar el comportamiento eléctrico del agua. El agua destilada es aislante y aunque introduzcamos unos electrodos en el interior de un recipiente conectados a un 21 batería, no circulará energía eléctrica a través de ella. Si al agua le añadimos más compuestos salinos, por ejemplo, cloruro de sodio o sal común, comenzará a circular electricidad y a medida que se añada más sal, circulará más electricidad.

En el contexto de deslizamientos, donde la saturación del suelo y la infiltración de agua desempeñan un papel crucial en la estabilidad del terreno, la información

proporcionada por Cárdenas sobre la influencia de la humedad en la conductividad eléctrica del suelo puede ser fundamental. Este conocimiento ayuda a comprender cómo las propiedades eléctricas del suelo pueden utilizarse como indicadores de riesgo de deslizamientos en función de la humedad, la presencia de sales y otros factores.

Dicho lo anterior, se puede explorar cómo las variaciones en la humedad del suelo influyen en los perfiles de resistividad eléctrica y cómo esto puede utilizarse para detectar áreas con un mayor riesgo de deslizamiento.

4.2.2. *Propiedades eléctricas de las rocas*

Montoya Victor (2019), hizo referencia a la definición proporcionada por Telford W. G., la cual aborda cómo las rocas son objeto de análisis a través de los métodos eléctricos de prospección, incluyendo el método de tomografía eléctrica.

El flujo de corriente puede propagarse en todas las direcciones, atravesando rocas y minerales de tres notables maneras: a través de una conducción electrónica u óhmica donde los electrones fluyen libremente dentro de una estructura cristalina del material, lo cual se presenta principalmente en los metales o los yacimientos metálicos masivos; por conducción electrolítica donde la corriente es transportada por los iones libres en soluciones salinas, a una velocidad lenta. Los iones se transportan principalmente por los espacios polares que interconectan los suelos permeables, por los sedimentos no consolidados y por las rocas a través de las fracturas que estas presentan. Finalmente, por conducción dieléctrica, esto ocurre en los conductores pobres, materiales poco conductores o aislantes donde la presencia de un campo eléctrico externo produce un pequeño desplazamiento de los electrones atómicos respecto del núcleo, produciéndose un efecto conocido como “*polarización eléctrica*” que genera unas corrientes denominadas “*corrientes de desplazamiento*”. (p. 37)

Tabla 1. Resistividades eléctricas de roca

MATERIAL	RESISTIVIDAD ($\Omega.m$)	CONDUCTIVIDAD (S/m)
Rocas ígneas y metamórficas		
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalto	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Pizarra	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Cuarcita	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Rocas sedimentarias		
Areniscas	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Esquistos	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
Limolitas	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$

Suelos y aguas		
Arcilla	1 – 100	0.01 – 1
Aluvio	10 – 800	1.25×10^{-3} - 0.1
Agua subterránea (dulce)	10 – 100	0.01 – 0.1
Agua de mar	0.2	5
Substancias químicas		
Hierro	9.074×10^{-8}	1.102×10^7
0.01 N Cloruro de potasio	0.708	1.413
0.01 N Cloruro de sodio	0.843	1.185
0.01 N Ácido acético	6.13	0.163
Xileno	6.998×10^{16}	1.429×10^{-17}

Nota: Telford (1990).

La resistividad de las rocas depende fundamentalmente de la porosidad y de la conductividad de los fluidos.

Como principal consideración las rocas ígneas y metamórficas poseen los valores más altos de resistividad, seguido por las rocas sedimentarias y suelos. La resistividad de la mayoría de suelos depende del contenido de agua, así mismo la resistividad de suelos saturados depende principalmente de la concentración de sales disueltas. El agua fresca tiene una resistividad de 10 a 100 Ohm-m por el contrario el agua de mar tiene una resistividad alrededor de 0.2 Ohm-m, el agua salobre tiene una resistividad aproximada de 1 a 10 Ohm-m. La resistividad de los suelos depende principalmente de la porosidad, el contenido de fluidos y la cantidad de arcillas (10 – 1000 Ohm-m) la resistividad decrece al incrementar el contenido de arcilla (1 – 10 Ohm-m) para suelos y sedimentos con bajo contenido de arcilla la conducción de la corriente se distribuye principalmente a través de los fluidos que rellenan los poros de los suelos. La resistividad en rocas sedimentarias es generalmente grande comparado con los suelos, debido que la compactación y la litificación reducen la porosidad, en el caso de rocas clásticas la resistividad está sujeta a la porosidad y la conductividad de los fluidos que los poros albergan. Rocas ígneas y metamórficas tienen típicamente altas resistividades sobre los 1000 Ohm-m. La resistividad en este tipo de rocas depende fundamentalmente del grado de fracturación de la roca y del porcentaje de fracturas rellenas por agua. (M. H. Loke, 1999)

4.2.2.1. Propiedades electromagnéticas de las rocas. Para aplicación de los métodos geoelectrónicos, es necesario tener en consideración las propiedades electromagnéticas de las rocas y de los minerales que las constituyen. Estas propiedades se expresan fundamentalmente por medio de tres magnitudes físicas que son; la resistividad eléctrica ρ , (o su inversa, la conductividad σ), la constante dieléctrica ϵ y la permeabilidad magnética

μ .

Como se mencionó con anterioridad, el comportamiento físico de las rocas depende de las propiedades y modo de agregación de sus minerales y de la forma, volumen y relleno (generalmente agua o aire) de los poros. Además de estas relaciones conviene estudiar el efecto que sobre dichas propiedades ejerce la presión y la temperatura, efecto que puede ser muy importante a grandes profundidades. (Orellana Ernesto, 1972, p. 38)

Si la resistividad de las rocas dependiese únicamente de los minerales constituyentes, se los consideraría como *aislantes*, como lo son; el cuarzo, silicatos, calicatas, sales, entre otros., lo son prácticamente. En el caso de que la roca condujese minerales semiconductores en cantidad apreciable, podría considerarse como *conductores*. (Orellana Ernesto, 1972, p. 55)

Sin embargo, todas las rocas tienen poros en proporción mayor o menor, que llegan a estar ocupados totalmente o parcialmente por electrolitos; de lo que resulta que las rocas se comportan como conductores iónicos, de resistividad muy variable según los casos.

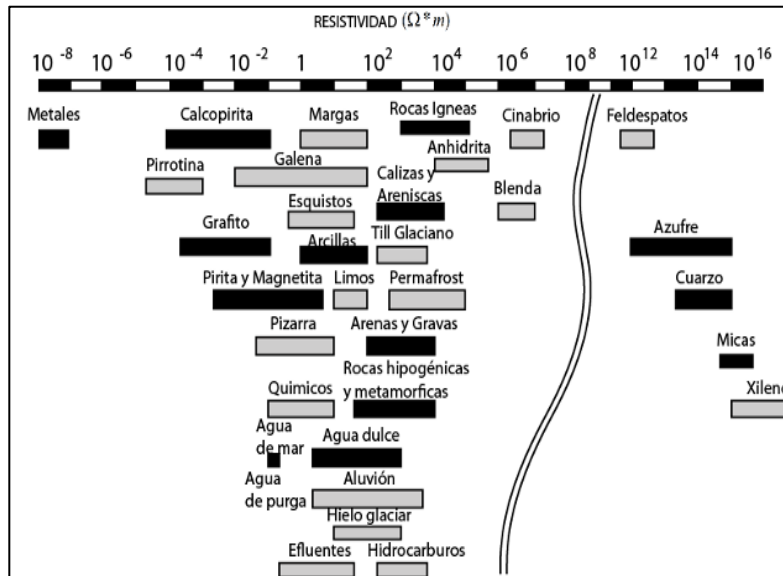


Figura 1. Gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales
Nota: Orellana, Ernesto (1982)

Las rocas cuya resistividad es debida a la presencia de trazas de mineral conductor (conducción electrónica) ocupan un porcentaje muy pequeño de los materiales del subsuelo, y la mayor parte deben su resistividad a la existencia de poros y de fisuras, como se mencionó con anterioridad, en ellas que suelen estar rellenas de partículas disueltas que

actúan como electrolitos y favorecen la conductividad. (Orellana Ernesto, 1972, p. 66)

4.3. Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

La tomografía eléctrica es un método de resistividad multielectrónico, que emplea múltiples electrodos y se basa en la modelización bidimensional de la resistividad del terreno, utilizando técnicas numéricas como elementos finitos o diferencias finitas. Es importante destacar que en la actualidad se está avanzando hacia la modelización tridimensional.

Este método implica la adquisición de datos a lo largo de líneas específicas en una dirección predeterminada, donde se introduce una corriente eléctrica y se registra la respuesta del suelo mediante un dispositivo receptor. Los resultados de estas mediciones se traducen en valores de *resistividad aparente* (*pa*). La característica distintiva de este enfoque es su capacidad de utilizar múltiples electrodos, y la disposición geométrica de estos electrodos puede variar según los objetivos del estudio en cuestión. (Orellana Ernesto, 1972)

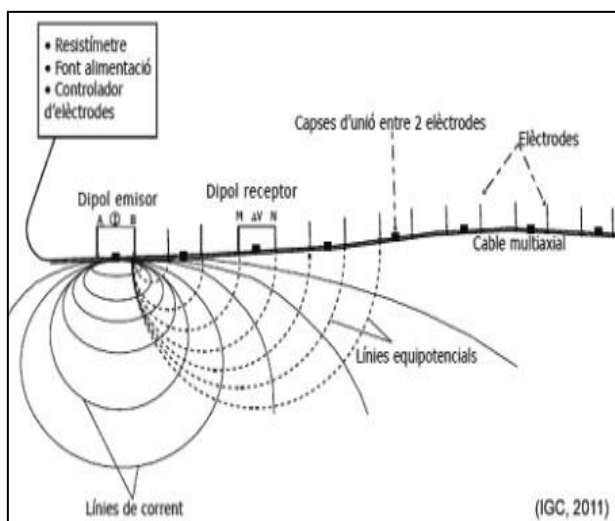


Figura 2. Arreglo geométrico multielectrónica

Nota: Dahlin T., (2001).

A partir de las mediciones recopiladas, se genera una representación en dos dimensiones (2D) que proporciona una primera estimación de las variaciones en la estructura subterránea. Luego, se utiliza un algoritmo de inversión para calcular la distribución real de las resistividades o una imagen eléctrica precisa. Esta imagen se interpreta desde una perspectiva geofísica y geológica, y brinda información detallada sobre las propiedades físicas del suelo.

4.3.1. Configuraciones electrónicas

Los diversos tipos de dispositivos utilizados en el método geoelectroquímico se distinguen

entre sí según la distancia relativa y la posición de los electrodos de corriente en relación con los electrodos de potencial.

Para cualquier configuración electrónica, si se conoce el factor geométrico k , la corriente eléctrica I inyectada por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial entre los electrodos M y N, se logra calcular la resistividad aparente mediante $\rho = k \Delta V / I$.

En prospección eléctrica uno de los aspectos clave para la correcta adquisición de datos es la elección del dispositivo más adecuado. Para ello las principales características que se deben considerar son:

- El alcance o cobertura horizontal de los datos.
- La fuerza o fortaleza de la señal.
- La profundidad de investigación del dispositivo.
- La sensibilidad del dispositivo a los cambios laterales y verticales de resistividad.

4.3.1.1. Wenner. El arreglo Wenner “normal” o también llamado Wenner Alpha fue utilizado por primera vez por el grupo pionero de investigación de la universidad de Birmingham. Los electrodos se mantienen equidistantes, con una longitud de dipolo de “a”, se mueven sobre una línea con la disposición AMNB, aumentando el espaciamento “na” veces, donde “n” es el factor de separación de los dipolos o comúnmente llamado nivel de estudio. (M.H. Loke, 1999)

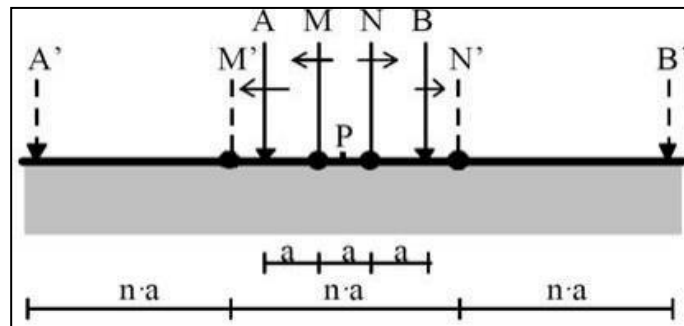


Figura 3. Esquema de configuración electrónica Wenner

Nota: Anaya (2010)

El factor geométrico para este dispositivo es:

$$k = \pi a$$

El arreglo Wenner exhibe una relativa sensibilidad a las variaciones verticales de resistividad en el subsuelo, especialmente debajo del punto central del arreglo. No obstante,

su capacidad para detectar cambios horizontales en la resistividad es limitada. En términos generales, este método es eficaz para resolver estructuras horizontales, pero carece de sensibilidad en la detección de cuerpos verticales delgados.

En cuanto a la profundidad de investigación media, esta es aproximadamente 0.5 veces el espaciamiento entre electrodos “a” otra aproximación es $AB/8$.

4.3.1.2. Schlumberger. Es el más eficaz y usado de estos dispositivos. Se trata en realidad, de un dispositivo límite que, aunque irrealizable prácticamente de modo riguroso, presenta grandes ventajas teóricas y puede llevarse a la práctica con suficiente aproximación. La idea de Schlumberger es hacer que la distancia a que separa los electrodos M y N tiendan a cero. (Orellana Ernesto, 1972, p. 116)

Es decir, se disponen geoméricamente en línea los electrodos AMNB, donde la distancia MN es menor que la distancia entre los electrodos de corriente AB. La condición que debe cumplir es que la distancia que separa a los electrodos de corriente (AB) tiene que ser aproximadamente 5 veces la distancia entre los electrodos de potencial (MN), es decir, $AB > 5MN$. El dispositivo geométrico para el arreglo tipo Schlumberger es:

$$k = \pi \frac{b(b+a)}{a}$$

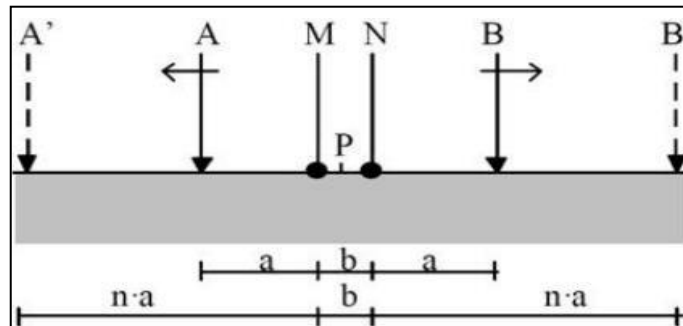


Figura 4. Esquema de dispositivo electrónico Schlumberger

Nota: Anaya (2010).

4.3.1.3. Dispositivo Wenner – Schlumberger. Es una de las configuraciones más usadas en tomografía eléctrica, se trata de una modificación de la distribución del tipo Schlumberger para que pueda ser usada con espaciamiento constante entre electrodos.

Se ubican los electrodos de corriente en el orden AMNB, con una distancia “a” entre los electrodos de voltaje MN y una distancia “na” entre AM y NB

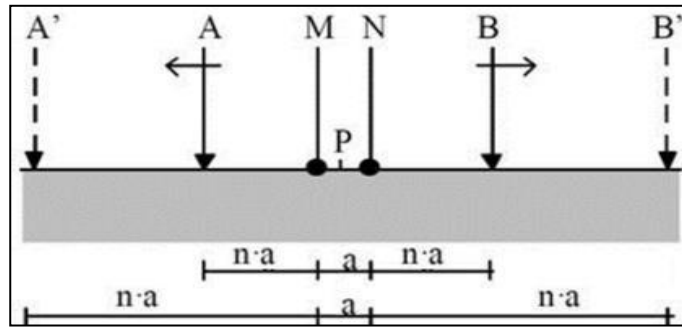


Figura 5. Esquema de dispositivo eléctrico del dispositivo Wenner-Schlumberger

Nota: Anaya (2010).

Su factor geométrico es:

$$K = \pi n(n + 1)a$$

M. Loke (1999), deduce que la intensidad de la señal es inversa al cuadrado de “n”, por lo cual será más alta que el caso del arreglo dipolo – dipolo. El arreglo tiene una sensibilidad ligeramente menor que el dispositivo Wenner en la región entre A-M y N-B, sin embargo, es un poco más sensible entre los electrodos de potencial MN. Esto indica que este arreglo tiene una sensibilidad moderada tanto para estructuras verticales y horizontales, por lo que es una buena opción en zonas donde se espera encontrar ambos tipos de estructuras geológicas.

4.3.1.4. Dispositivo Dipolo – Dipolo. Fue creado por Alpín en 1966 y utilizado en estudios de resistividad y polarización inducida, gracias al bajo acoplamiento entre los circuitos de corriente y potencial. La geometría es ABMN, al principio la distancia es equidistante entre todos los electrodos “a” pero va incrementando “n x a” en AB y MN. (Loke M., 1999)

La desventaja de este dispositivo es que la intensidad de la señal es relativamente baja si se le compara la intensidad generada por el resto de los dispositivos. Este dispositivo suele usarse para estudios muy superficiales ya que tiene buena resolución y buena cobertura horizontal.

El factor geométrico de este dispositivo es:

$$k = \pi n(n + 1) (n + 2)a$$

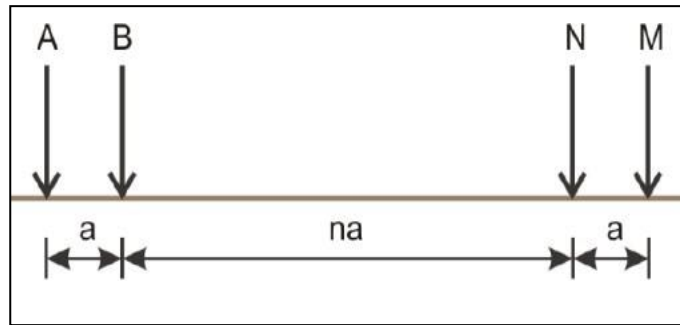


Figura 6. Esquema eléctrico del dispositivo Dipolo-Dipolo

Nota: Anaya (2010).

4.3.2. Inversión de pseudo secciones

Es necesario realizar la inversión de las pseudo secciones aparentes para conocer la resistividad verdadera, para ello se realiza el proceso de inversión.

Debido a que los valores obtenidos mediante las mediciones en campo corresponden a resistividades aparentes del terreno, es necesario obtener las resistividades reales, para ello se realiza el proceso de inversión, con la ayuda de softwares de inversión de datos, tales como; EarthImager 2D, ZondRes2D y ZondRes3D, SensInv2D y RES2DINV.

En esta investigación, se empleará el software RES2DINV para llevar a cabo el proceso de inversión, que tiene como objetivo determinar las resistividades reales a partir de las resistividades aparentes obtenidas a través de un pseudo-perfil. Este proceso implica la generación de un modelo hipotético que representa las resistividades reales del subsuelo. Para obtener las resistividades aparentes, se resuelve el "cálculo del problema directo" o "modelización directa".

Las resistividades aparentes resultantes se comparan con las mediciones reales, y se calcula un error en función de esta comparación. Utilizando este error como referencia, se recalcula el modelo hipotético de resistividades reales, y el proceso se repite. De esta manera, a través de un conjunto de iteraciones sucesivas, se logra obtener un modelo de resistividades reales que puede explicar las resistividades aparentes medidas en el campo. (Molina Walter, 2006, p. 41)

4.4. Hidrogeología

Mediante el Comité Coordinador del decenio hidrológico, como se citó en (Vélez María, 1999), define a la hidrogeología, como:

“Una ciencia que trata de las aguas terrestres, de sus maneras de aparecer, de su circulación y distribución en el globo, de sus propiedades físicas y químicas y sus interacciones con el medio

físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre”. (p. 7)

4.4.1. Nivel Freático

Quintanilla Stephanie (2020), señalo la definición de Ferrer del 2010, en donde define que el agua, se encuentra acumulada en el subsuelo y la cual podría aprovecharse a través de pozos. Al querer controlar el dinamismo del agua subterránea en las que se opte por disminuir el nivel freático para la alguna obra de construcción o movimiento de tierras a nivel de excavación del terreno se requieren.:

- **Caracterización hidrogeológica adecuada:** Las complejidades de la caracterización de las condiciones hidrogeológicas del agua subterránea dependen de la importancia de las obras a realizar que imponen su intensidad.
- **Efecto de las pantallas impermeables y elementos de bombeo:** Para saber la importancia del efecto de las pantallas impermeables y los bombeos se plantean modelos analíticos y numéricos. (p. 26)

4.4.2. Agua Subterránea

Los autores Collazo María y Montaña Jorge (2012) afirman que:

Es el agua que se aloja y circula en el subsuelo, conformando los acuíferos. La fuente de aporte principal es el agua de lluvia, mediante el proceso de infiltración. Otras fuentes de alimentación localizada pueden ser los ríos, arroyos, lagos y lagunas. El agua subterránea se sitúa por debajo del nivel freático y está saturando completamente los poros y/o fisuras del terreno y fluye a la superficie de forma natural a través de vertientes o manantiales o cauces fluviales. Su movimiento en los acuíferos es desde zonas de recarga a zonas de descarga, con velocidades que van desde metro/año a cientos de m/día, con tiempos de residencia largos resultando grandes volúmenes de almacenamiento, aspectos característicos del agua subterránea. (p. 16)

4.4.2.1. Distribución del agua subterránea en el subsuelo. En un perfil de subsuelo, normalmente se presentan dos zonas con caracteres hidráulicos diferentes, integradas por varias franjas o fajas. La zona más somera se denomina de aireación o zona no saturada y la más profunda de saturación o zona saturada.

Zona no saturada: Es la situada entre la superficie del terreno y la superficie freática y sus poros y/o fisuras están ocupados por agua y aire.

Zona saturada: Está situada debajo de la superficie freática y donde todos los poros existentes en el terreno están llenos de agua (p. 17)

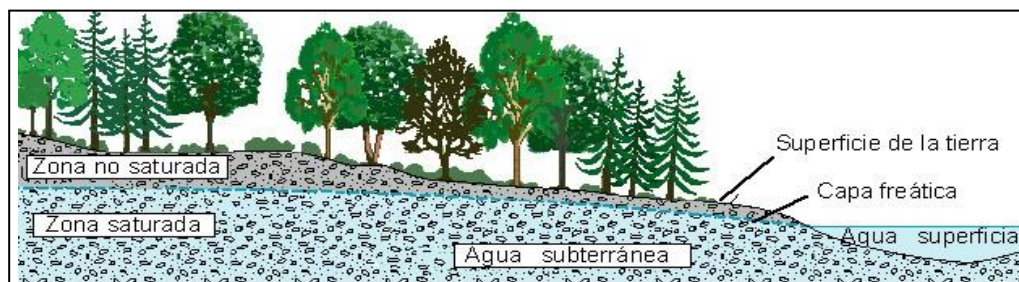


Figura 7. *Distribución vertical del agua subterránea*

Nota: Waller Roger M. (1982)

4.5. Topografía

Tradicionalmente la topografía se ha definido como:

La ciencia aplicada a determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, así como la representación en un plano de una porción (limitada) de la superficie terrestre; es decir, estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada. También ejecuta replanteos (trazos) sobre el terreno para la realización de diversas obras de ingeniería, a partir de las condiciones del proyecto establecidas sobre un plano. Asimismo, realiza trabajos de deslinde, división de tierras (agrodesia), catastro rural y urbano, así como levantamientos y trazos en trabajos subterráneos. (Dante Alcántara, 2014, p. 2)

Es una herramienta primordial para poder representar gráficamente y cuantitativamente la realidad del terreno que se quiera dar a conocer, mediante mediciones extensionales de la superficie, capturando datos esenciales para su representación gráfica en un plano y una escala específica.

4.5.1. Levantamiento Topográfico por Dron

4.5.1.1. Fotogrametría. Zapata, O.(2003) como se citó en (Ibañez et al., 2019) Definió a la fotogrametría como la ciencia y tecnología que permite obtener información cuantificable partir de fotografías obtenidas por diversos tipos de sensores remotos y la fotointerpretación como lectura análisis e interpretación cualitativa de las misma. (p. 17)

4.5.1.1.1. Principios de la fotogrametría. El Instituto Geofísico del Perú (2020) manifiesta que esta técnica se basa en proyectar la imagen registrada en una fotografía, de manera ortogonal sobre un plano de referencia, la cual ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central, que es lausada por las lentes (como se citó en

McEwen,1968).

En los últimos años, el uso de drones ha experimentado un notable crecimiento debido a su amplia gama de aplicaciones, lo que ha extendido el alcance de la fotogrametría aérea mucho más allá de sus aplicaciones iniciales. Aunque las técnicas actuales se basan en las tradicionales, se ha producido una reducción sustancial en los requisitos, el equipo necesario y la complejidad de las maniobras.

La utilización de drones para la fotogrametría proporciona la capacidad de recopilar información detallada sobre la topografía del terreno, lo que permite la creación de mapas de alta resolución, la realización de mediciones precisas de longitudes, áreas y volúmenes, así como la generación de modelos tridimensionales con una gran exactitud. Además, esta tecnología presenta notables ventajas en términos de seguridad, eficiencia en el tiempo y costos reducidos.

4.6. Fotografía aérea en el levantamiento geológico

Echeveste Horacio (2018), coordinador del “Manual de levantamiento geológico”, Indica que el empleo y la interpretación de imágenes aéreas son técnicas aplicadas en diversas actividades, que abarcan desde el ámbito militar hasta el ingenieril, y representan una herramienta comúnmente utilizada como soporte en la realización de levantamientos geológicos. La fotografía aérea generalmente proporciona una base cartográfica altamente adecuada para el cartografiado de formaciones geológicas, lo que simplifica las operaciones de campo mediante una planificación más eficaz, una reducción del tiempo empleado en las tareas y la posibilidad de lograr resultados más precisos.

En los relevamientos aerofotográficos las fotografías son verticales, la intersección de la proyección del eje óptico con el terreno determina el punto central o principal del fotograma. La distancia en el terreno entre dos fotos sucesivas se denomina base aérea y puede variar entre 2 y 15 km en fotografías a escala 1:10.000 a 1:60.000 respectivamente.

Para cubrir un área determinada, los vuelos deben ser programados en líneas paralelas. Las fotografías se van tomando automáticamente a medida que el avión avanza en una línea lo más recta posible, con una frecuencia de exposición que asegure un 60 % de traslape o recubrimiento entre fotogramas sucesivos, llamado recubrimiento estereoscópicos. (p. 133)

4.6.1. Ortofoto Digital

El Instituto Geográfico Militar (2008), define a la ortofoto digital como:

“Una imagen de una fotografía aérea, en la cual han sido corregidos los desplazamientos causados por la inclinación de la cámara o sensor y el relieve del terreno. Está referida a una proyección cartográfica, por lo que posee las características geométricas de un mapa, además de la calidad pictórica de la fotografía”. (p. 4)

4.6.1.1.Exactitud Horizontal. La exactitud horizontal de una ortofoto Digital depende de las características de la cámara o sensor, en su caso, del escáner fotogramétrico, de la escala de la imagen fuente y de la exactitud de los puntos de control. Por lo mismo en los meta datos deberán indicarse las características de los insumos y de los procesos y equipos empleados.

Para describir la exactitud horizontal de las ortofotos digitales se acude a un análisis estadístico en los términos establecidos en los Estándares de Exactitud Posicional. En este documento se establece el Círculo de Error probable (CEP) en el intervalo de confianza del 95%, CEP95, como el estadístico a emplear.

La exactitud de la ortofoto digital refleja todas las incertidumbres del proceso de orto rectificación, incluyendo aquellas introducidas por la exactitud de los insumos (p. 9) Los valores mínimos de exactitud que deberán garantizar las ortofotos digitales, son establecidos en la Tabla 2.

Tabla 2. *Especificaciones Técnicas de Ortofotos Digitales*

Escala de la fotografía	Tamaño del pixel (m)	Escala de ortofotos	Tamaño del pixel (m)	Precisión horizontal (m)	Precisión vertical (m)
1: 5 000	0.07	1: 1 000	0.10	0.30	0.25
1: 10 000	0.14	1: 2 000	0.20	0.60	0.50
1: 20 000	0.28	1: 2 500	0.25	0.80	0.60
1: 30 000	0.42	1: 5 000	0.50	1.50	1.25
1: 60 000	0.84	1: 10 000	1.00	3.00	2.50
1: 60 000	0.84	1: 20 000	1.00	6.00	2.50
1: 60 000	0.84	1: 25 000	1.00	7.50	5.00
1: 60 000	0.84	1: 50 000	2.00	15.00	10.00

Nota: Instituto Geofísico Militar (2008)

4.7. Geología

La comprensión del funcionamiento del planeta Tierra y del cómo se encuentra compuesta externa e internamente, se la determina mediante la aplicación de una de las ramas más diversas que existen en el medio ingenieril, la geología. Ciencia aplicada para conocer la evolución del

planeta tierra, a través del estudio de las rocas y suelo; que pese a ser objetos, cuentan su historia a través de millones de años hasta la actualidad.

De acuerdo con Rivera Mantilla (2005) la geología es:

La ciencia que estudia la Tierra, su composición, su estructura, los fenómenos que han ocurrido y ocurren en la actualidad, su evolución como planeta, su relación con los astros del Universo, así como la evolución de la vida mediante los documentos que de ella han quedado en las rocas (p. 8).

El comprender el funcionamiento de la tierra llega a ser algo complejo y parcial, pues la tierra es un planeta dinámico que nunca estará de la misma manera en la cual la observamos hoy en día, ni cómo se la observará después de muchos años.

Los cambios que suscitan en la superficie para moldearla, pueden ser rápidos y violentos, como cuando se producen los deslizamientos o pueden ser cambios muy lentos, que no se los apreciaría durante toda una vida. (Tarbuck Edward & Lutgens Frederick, 2005)

4.8. Movimiento en Masa

Vargas Cuervo (2000), define lo siguiente:

“Un movimiento en masa puede ser definido como todo desplazamiento de material litológico y o de escombros abajo (vertical o en dirección del pie de una ladera) debido a la gravedad”. (p. 39)

4.8.1. Deslizamientos

El deslizamiento en masa implica un movimiento de corte a lo largo de una o más superficies, que generalmente se encuentran en una zona relativamente estrecha. Estos deslizamientos pueden consistir en una única masa coherente en movimiento o involucrar varias unidades o masas semi-independientes. (Suárez Díaz Jaime, 2009)

4.8.1.1. Deslizamiento rotacional. En un desplazamiento rotacional, Suárez Díaz Jaime (2009) observa y establece que, la superficie de la falla adopta una forma cóncava hacia arriba, y el movimiento se produce en un patrón de rotación entorno a un eje paralelo a dicha superficie y transversal al sentido del deslizamiento. El punto de giro se ubica por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento. En una vista desde arriba, el desplazamiento rotacionalse caracteriza por la presencia de fisuras concéntricas que

siguen la dirección del movimiento.

Este movimiento conlleva a la formación de una zona de hundimiento en la parte superior y una de deslizamiento en la inferior, lo que a menudo da lugar a la circulación de materiales por debajo de la base del deslizamiento. La parte frontal del deslizamiento se inclina hacia atrás, y se observa una diferencia en la inclinación de los árboles en la parte frontal y trasera del deslizamiento. (p. 14)

4.8.1.1.1. Curvatura de la superficie de falla. En zonas tropicales, cuando se produce un movimiento rotacional, la superficie de falla tiende a presentar una forma curva, aunque no necesariamente circular, y esta característica se relaciona con la presencia de materiales residuales en los cuales la resistencia al corte aumenta con la profundidad. No obstante, en áreas de meteorización extremadamente profunda y en rellenos de considerable altura, algunas de estas superficies de falla pueden llegar a asemejarse a un círculo. En la mayoría de los casos de desplazamientos rotacionales, se forma una superficie cóncava que se asemeja a una "cuchara" Además, en estos desplazamientos rotacionales, por lo general, se observa una relación D_r/L_r que oscila entre 0.15 y 0.33, según lo señalado por Skempton y Hutchinson en 1969.

En la parte frontal del movimiento, el desplazamiento parece ser semi- vertical y exhibe una rotación limitada. Sin embargo, es importante destacar que la superficie original del terreno gira en la dirección de la corona del talud, aunque algunos bloques pueden girar en sentido contrario. La presencia de escarpes semi-verticales en los deslizamientos de rotación facilita la posibilidad de movimientos retrogradados o progresivos hacia arriba. (p. 15)

4.8.1.1.2. Deslizamiento traslacional. En los desplazamientos de traslación, la masa se mueve hacia fuera o hacia abajo a lo largo de una superficie que es más o menos plana o ligeramente ondulada, y en general, no experimenta movimiento de rotación o volteo, como se muestra en la Figura 8. Los movimientos de traslación, por lo común, exhiben una relación D_r/L_r que es menor al 0.1.

En numerosos desplazamientos de traslación, es común observar que la masa sufre deformaciones y, en algunos casos, fracturas, lo que puede dar lugar a un flujo de materiales, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. (p. 17)

4.8.1.1.3. Dimensiones de los movimientos. Para definir las dimensiones de un movimiento

se utiliza la terminología recomendada por la comisión IAEG sobre deslizamientos de tierra:

- **Ancho de la masa desplazada W_d .** Ancho máximo de la masa desplazada, perpendicular a la longitud L_d .
- **Ancho de la superficie de falla W_r .** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicular a la longitud L_r .
- **Longitud de la masa deslizada L_d .** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- **Longitud de la superficie de falla L_r .** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- **Profundidad de la masa desplazada D_d .** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .
- **Profundidad de la superficie de falla D_r .** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .
- **Longitud total L .** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- **Longitud de la línea central L_c .** Distancia que hay desde la punta (o uña) hasta la corona del deslizamiento, a lo largo de los puntos ubicados sobre la superficie original y equidistantes de los bordes laterales o flancos.

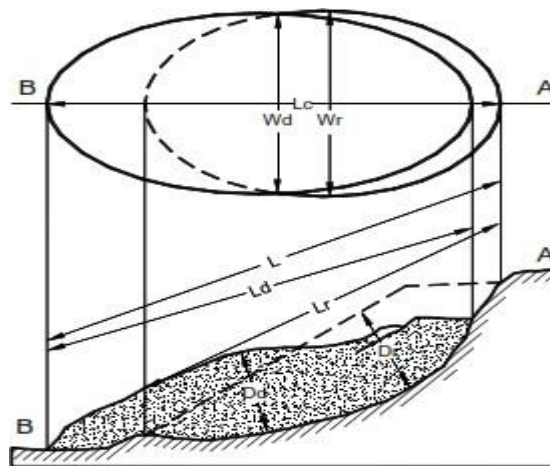


Figura 8. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides (1990).

Nota: Suárez Jaime, 2009.

4.8.2. Factores que Afectan la Estabilidad del Terreno.

(Quintana Álvaro, 2013), citando a Ferrer (1988), identifica los factores que tienen un impacto en la estabilidad y los clasifica en dos categorías principales:

Factores internos. Estos factores influyen en las diferentes formas de deslizamiento, los mecanismos involucrados y los modelos de rotura. Estos factores incluyen las propiedades intrínsecas del material, las características específicas de la ladera y las condiciones ambientales relevantes. Dentro de las propiedades del material se consideran aspectos como la composición geológica, la textura del sustrato, su consolidación y el espesor de los estratos, así como parámetros estructurales relacionados con posibles planos de debilidad. En cuanto a las características de la ladera, se exploran elementos morfológicos como la topografía, la pendiente, la presencia de discontinuidades y su orientación, en relación con los niveles de humedad. El análisis de los factores ambientales implica principalmente la evaluación estacional de la precipitación, la temperatura y el tipo de vegetación.

Factores Externos. Estos factores son agentes que interactúan con el material y generan alteraciones en las condiciones iniciales de las laderas, ocasionando la pérdida de estabilidad debido a las variaciones que inducen. Estas variaciones son principalmente atribuibles a tres elementos: la infiltración de agua, las vibraciones y la actividad humana. La infiltración de agua provoca un aumento en la presión intersticial, lo que resulta en una disminución de la resistencia de los materiales, además de tener un impacto en el nivel de agua subterránea, que guarda una relación directa con la incidencia de deslizamientos. Las vibraciones generan aceleraciones en el terreno que propician la formación de rupturas y fisuras, ya sean ocasionadas por eventos sísmicos o detonaciones artificiales. Por último, la actividad humana también ejerce influencia al perturbar el equilibrio mediante cargas estáticas de construcciones o al efectuar cambios en la vegetación, como reforestaciones o incendios forestal.

5. Metodología

5.1. Descripción del área de estudio

5.1.1. Ubicación

Geográficamente, la ciudad de Loja constituye la cabecera del cantón que lleva su mismo nombre y se erige como la cabecera provincial de Loja, ubicada en la región de la sierra Sur de la República del Ecuador. El cantón de Loja se localiza a una altitud de aproximadamente 2.060 metros sobre el nivel medio del mar, abarcando una superficie de alrededor de 1.894 kilómetros cuadrados.

La zona de estudio se sitúa en el noroeste de la ciudad de Loja, en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco, influenciada por el barrio Eucalipto y el barrio Bolonia.

El polígono de estudio fue digitalizado por un rectángulo que abarca una ocupación total de 162.97 hectáreas, cuyos vértices se determinan a partir de los siguientes puntos, referidos al DATUM WGS 84 ZONA 17 SUR.

Tabla 3. *Coordenadas del polígono de interés.*

DATUM GEOCÉNTRICO: WGS 84 (WORLD GEODETIC SYSTEM 1984) ZONA 17 S.	
COORDENADAS UTM (METROS)	
694611	9558675
695312	9558072
694203	9557983



Figura 9. Ubicación el área de estudio

5.1.2. Acceso

Como se puede observar en la Figura 10, el punto de partida (A) con dirección a la zona de estudio, se lo puede realizar desde el Terminal Terrestre Reina de El Cisne, a 2 km del centro de la ciudad de Loja. Dirigiéndose al Sur Oeste hacia el puente peatonal con dirección a la Avenida 8 de diciembre. Posteriormente, se accede a la carretera Panamericana/ Av. Isidro Ayora, en 4 kilómetros de recorrido, se giró el redondel del Plateado con dirección a la avenida lateral de paso Ángel F. Rojas y se conduce hacia la avenida Villonaco, con el punto de llegada en la capilla del barrio los Eucaliptos. Desde la capilla (B) se iniciará con el recorrido de la campaña geofísica, para la implementación de las líneas.

El recorrido total en automóvil es de 8 kilómetros, en un tiempo de 20 minutos aproximante y en dependencia del tráfico vehicular de la ciudad de Loja.

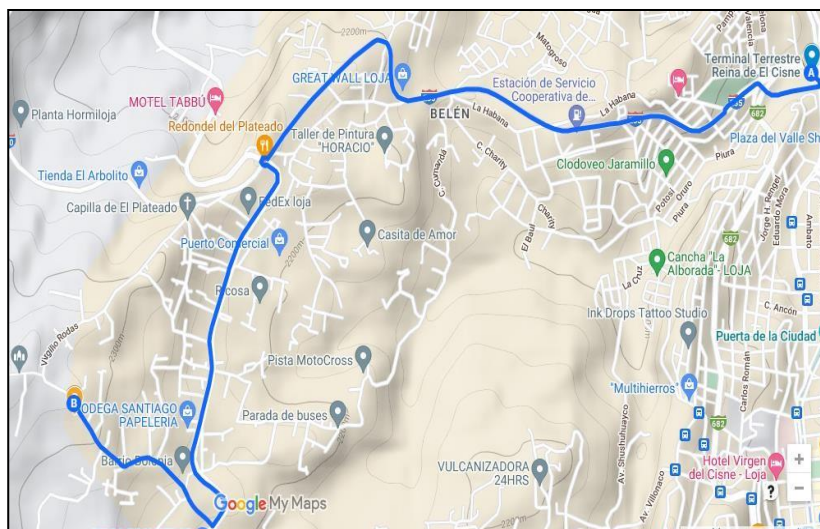


Figura 10. Acceso hacia el área de estudio

Nota: Google My Maps (2023)

5.1.3. Clima

Para llevar a cabo la caracterización del clima en la región de estudio, se realizó una recopilación de datos procedentes de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Estos datos fueron utilizados en conjunto con el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Eólico Ducal y Membrillo en la Provincia de Loja. Se procedió a verificar el análisis climático utilizando la información recopilada de la estación agrometeorológica La Argelia - Loja (M0033) y la estación aeronáutica Aeropuerto Catamayo (M0060), ambas disponen de series de datos que abarcan más de 10 años de recopilación, con un análisis estadístico sobre la base de registros mensuales entre los periodos 2008-2018. (Alemán Miguel, 2021)

En consecuencia, se determina que el área del proyecto y la estación La Argelia- Loja comparten el mismo tipo de clima. Corresponde al mesotérmico templado y los parámetros climáticos específicos son los siguientes:

5.1.3.1. Precipitación. En la estación meteorológica La Argelia - Loja, se observa que el mes de febrero exhibe el mayor índice de pluviosidad, alcanzando los 143,3 mm, en contraste con el mes de septiembre, que registra los índices más bajos de precipitación con 43,8 mm. La precipitación promedio durante el período de análisis se sitúa en 87,4 mm, con un acumulado pluviométrico anual de 1048,7 mm.

Tabla 4. Precipitaciones típicas de la parroquia y cantón Loja.

Precipitación (mm/año)	Característica	Área (Ha)	Porcentaje (%)
775 - 1062	Promedio anual de precipitación considerable, comunes en la región sur del cantón Loja.	1931.93	1.02
1062 - 1350		63326.20	33.64
1350 - 1637	Cantidad significativa de lluvia, frecuentemente en la parte occidental del cantón, impacto relevante en la vegetación y recursos hídricos de la zona	90283.30	47.96
1637 - 1925		21919.71	11.64
1925 - 2499		10760.67	5.71

Nota: PDOT, Municipio de Loja (2019 – 2023)

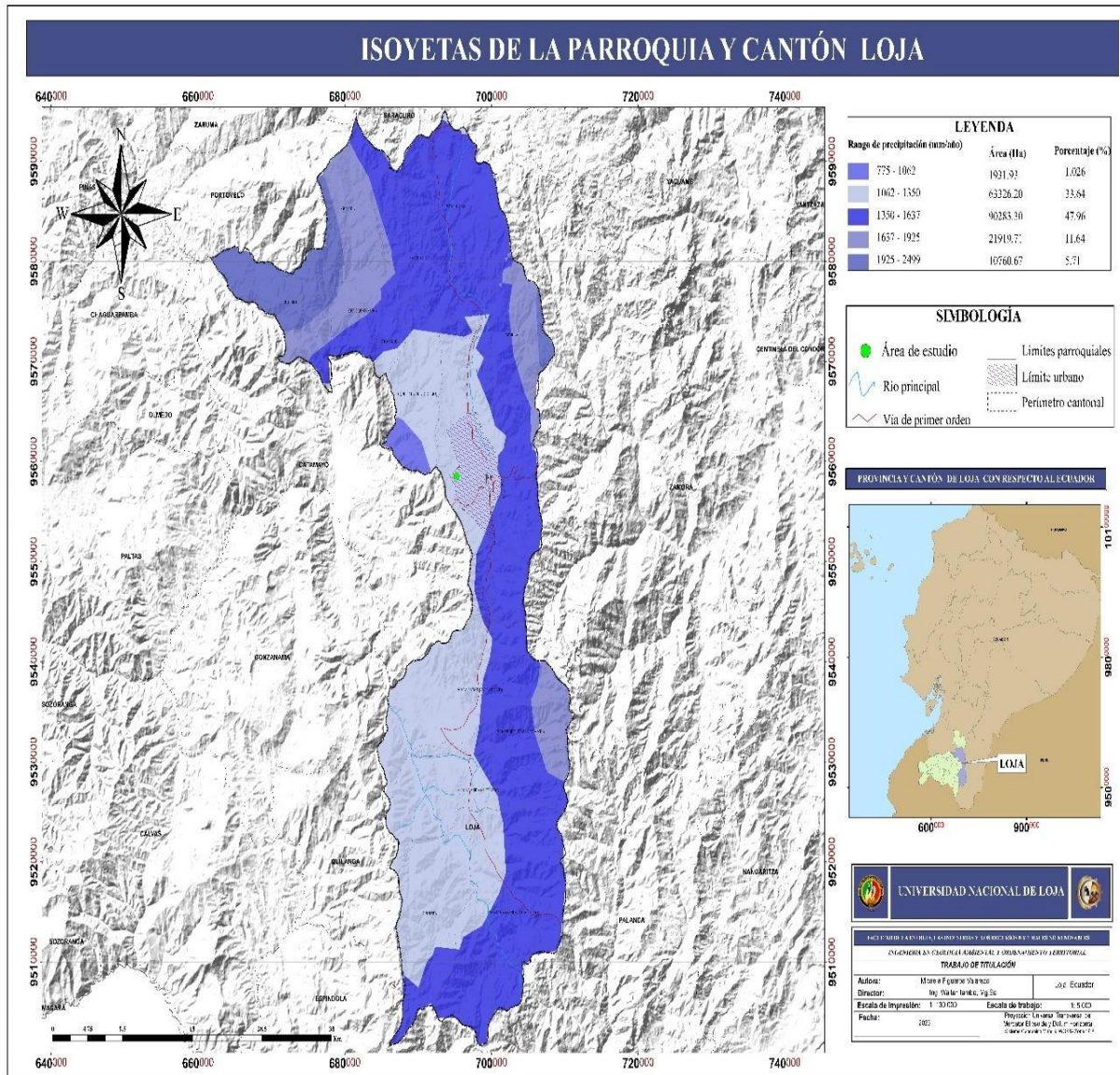


Figura 11. Isoyetas de la parroquia y cantón Loja

Nota: PDOT Municipio de Loja (2019-2023)

5.1.1.1. Temperatura. La temperatura media anual del período considerado, conforme

5.1.2. Geomorfología

Las geoformas predominantes en el cantón Loja abarcan una amplia variedad, que incluye valles fluviales, coluvios, coluviones, depresiones lagunares, áreas de erosión y esparcimiento, barrancos, terrazas, y superficies planas, así como relieves colinados que varían desde muy altos hasta muy bajos. Estas características geomorfológicas ocupan un área total de 233,930.6 hectáreas en el territorio.

Según los datos recopilados del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, el territorio exhibe una diversidad de unidades geomorfológicas con distintos orígenes genéticos, que incluyen procesos tectónicos, erosivos, estructurales, glaciares, tectónicos, denudativos, fluvio-lacustres, deposicionales erosivos y combinaciones de procesos erosivos, deposicionales y acumulativos (Anexo 6).

El mapa que se presentará a continuación se concentra en las geoformas dominantes dentro del área de investigación, que incluyen relieves colinados medios, colinados muy bajos, partes de valles fluviales, vertientes abruptas y áreas coluviales aluviales antiguas. Las diferentes unidades geomorfológicas generales identificadas son las siguientes:

Tabla 6. Unidades geomorfológicas del cantón Loja

Unidad Genética	Geoforma	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Denudativo	Coluvio – aluvial antiguo	2.86	1.75
	Relieve colinado medio	113.60	69.70
Tectónico erosivo	Relieve colinado bajo	8.58	5.26
	Relieve colinado muy bajo	16.76	10.29
	Superficie ondulada	0.0004	0.0003
Deposicional o acumulativo	Valle fluvial	14.50	8.90
Tectónico erosivo	Vertiente abrupta	6.64	4.07

Nota: Basado en la Memoria Técnica Geomorfológica (2013)

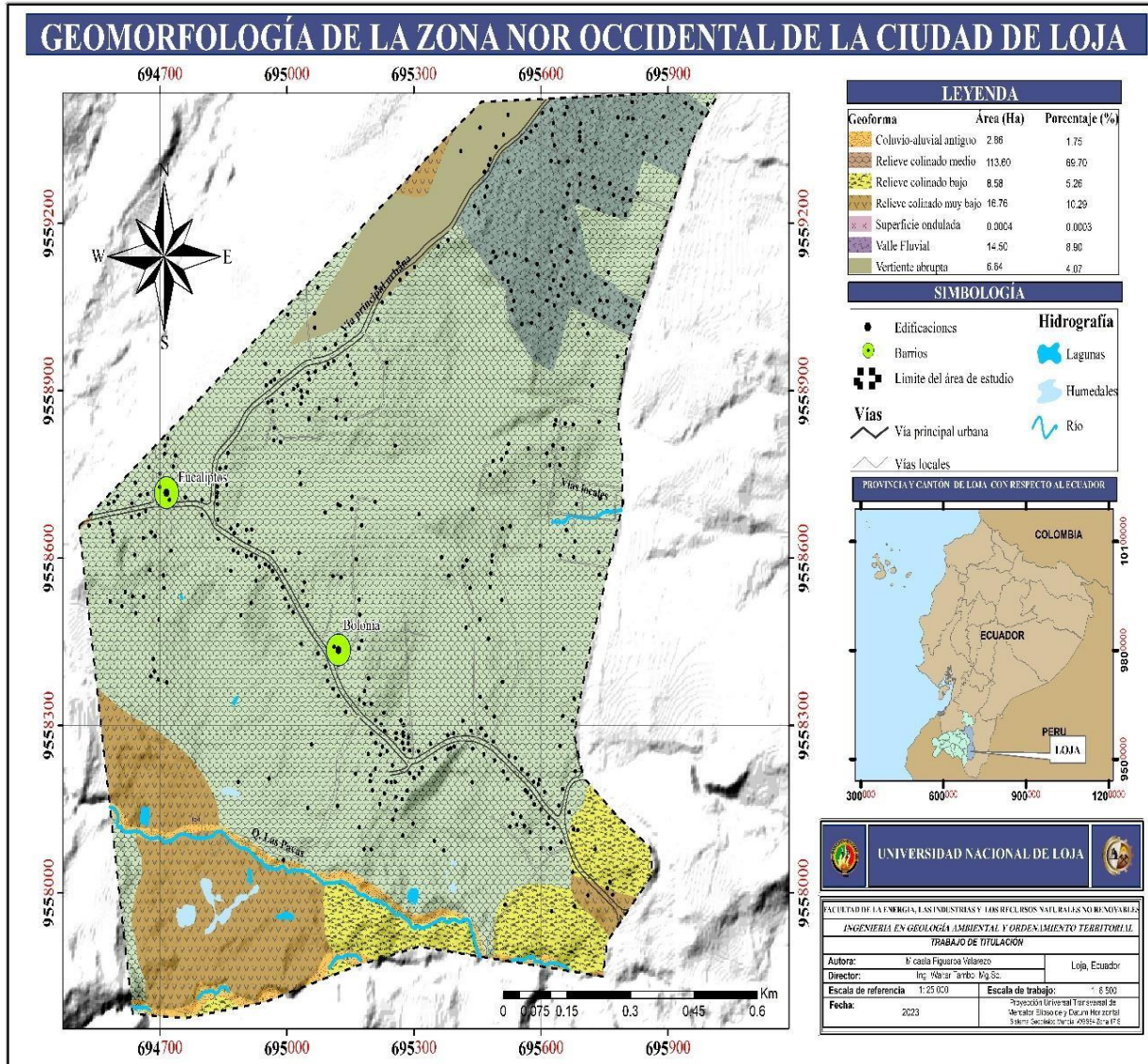


Figura 13. Geomorfología del área de estudio
Nota: Adaptado de SIG TIERRAS (2018).

5.1.1. Pendientes

Siguiendo la clasificación de Demek en 1997, es posible identificar que el área de investigación se compone de cinco categorías de pendientes, que van desde ligeramente inclinadas hasta verticales, como se ilustra en la Figura 14 y en el Anexo 7.

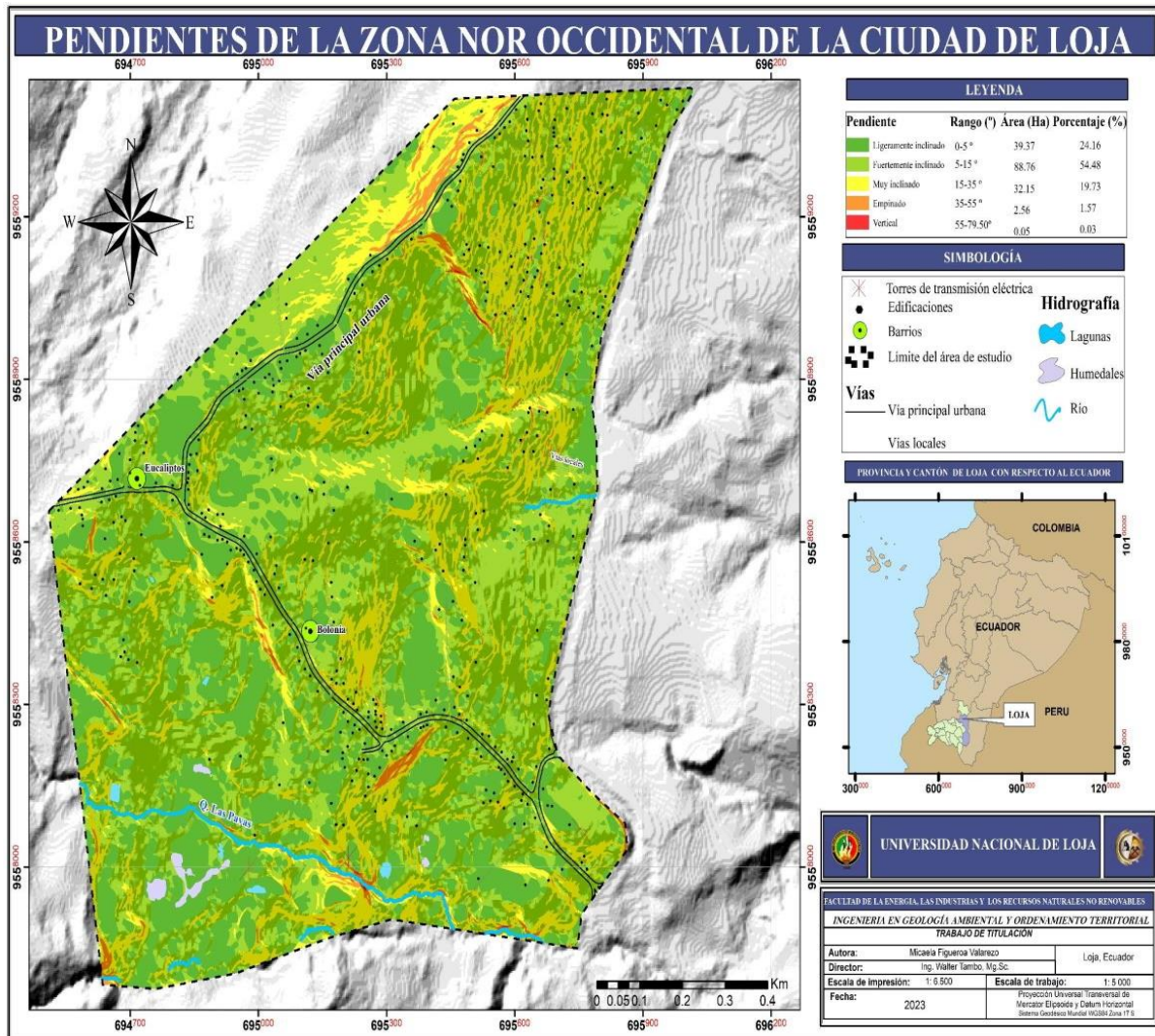


Figura 14. Mapa de pendientes del área de estudio

Tabla 7. Clasificación de pendientes

Rango (°)	Geoforma	Área (Ha)	Porcentaje (%)
0° – 5°	Ligeramente inclinado	38.86	23.85
5° - 15°	Fuertemente inclinado	87.09	53.45
15° – 35°	Muy inclinado	32.65	20.03
35° - 55°	Empinado	4.32	2.65
55° - 61.26°	Vertical	0.01	0.006

En consecuencia, la mayor parte de la región de estudio muestra un predominio del 53.45 % de pendientes fuertemente inclinadas, que abarcan un total de 88.09 hectáreas. Estas pendientes suelen estar conformadas principalmente por suelos residuales, lo que se traduce en una geología dominante de arcilla areniscas en la zonade estudio. Se observa variabilidad en la inclinación, con algunas áreas más empinadas que otras, mientras que el resto del terreno tiende a ser más plano. Por lo tanto, la geomorfología engloba colinas, pequeños valles y áreas llanas, con presencia de

deslizamientos notables, originados en zonas restringidas del área de estudio.

Una ligera inclinación cubre una extensión de 38.86 hectáreas, caracterizada por pendientes moderadas a suaves y superficies onduladas en un contexto tectónico erosivo. Esta zona corresponde principalmente a las áreas donde se ubican los barrios Eucaliptos y Bolonia, dependiendo de las posibilidades de ubicación.

Con un 20.03%, se identifican pendientes muy inclinadas que abarcan un área de 32.15 hectáreas, con un rango mayor de inclinación que varía entre 15° y 35°. Esta característica se manifiesta con mayor intensidad en la parte norte del área de estudio, y se va modificando gradualmente a medida que se aproxima al cerro Villonaco.

En menor proporción, se destacan pendientes empinadas y verticales de inclinación muy abrupta, representando el 1.57% y el 0.03%, respectivamente. Estas pendientes se consideran colinas altas con laderas de longitud considerable, y generalmente presentan un buen drenaje, siendo comunes en áreas con rocas sedimentarias. Estos tipos de pendientes se localizan tanto en la parte Norte como en el Sur del área de interés.

5.1.2. Hidrografía

La porción noroccidental de la ciudad de Loja se encuentra atravesada por redes hídricas fundamentales para múltiples funciones, que incluyen el suministro de agua potable, la gestión adecuada de aguas residuales y pluviales, el riego de áreas verdes y cultivos, y la garantía del acceso al recurso vital del agua, lo que contribuye significativamente a la calidad de vida de sus habitantes en el área de estudio.

Parte de la cuenca superior del río Zamora abarca la zona investigada, conjuntamente con la microcuenca hidrográfica conocida como Las Pavas. La extensión total de esta cuenca alcanza las 2,138.68 hectáreas, y la región de interés se localiza en la porción Nor Oeste de la microcuenca. Además, existe una porción mínima que se encuentra dentro de la microcuenca La Banda, ocupando 8.85 hectáreas, en comparación con su extensión total de 117.59 hectáreas (Anexo 8).

Dentro del área, se observa la presencia de la quebrada Las Pavas, con una longitud de 6.91 kilómetros, que desemboca en el río principal Malacatos. Esta quebrada presenta un patrón de drenaje dendrítico de tipo interandino y su caudal varía a lo largo del año, como resultado de la conformación de las estribaciones del cerro Villonaco.

La mencionada quebrada desempeña un papel importante en el fortalecimiento de

depresiones de terreno, incluyendo lagunas tanto naturales como artificiales, que posiblemente se originan debido a su conexión con sistemas acuíferos subterráneos. Durante el análisis, se identificaron tres lagunas con dimensiones inferiores a 30 metros. Algunas de estas lagunas se encuentran en un estado de estiaje, lo que puede deberse a factores como la evaporación o la reducción de flujos de agua debido a la extracción excesiva para fines agrícolas en la zona.

Se destaca además la presencia de varios humedales con un escaso movimiento de agua, como resultado de la acumulación de agua debida a factores como la lluvia, la aportación de ríos secundarios o las inundaciones que se han generado principalmente en la parte sur del área de estudio, debido a su proximidad a la quebrada Las Pavas, a menudo a una distancia de 5 metros aproximadamente.

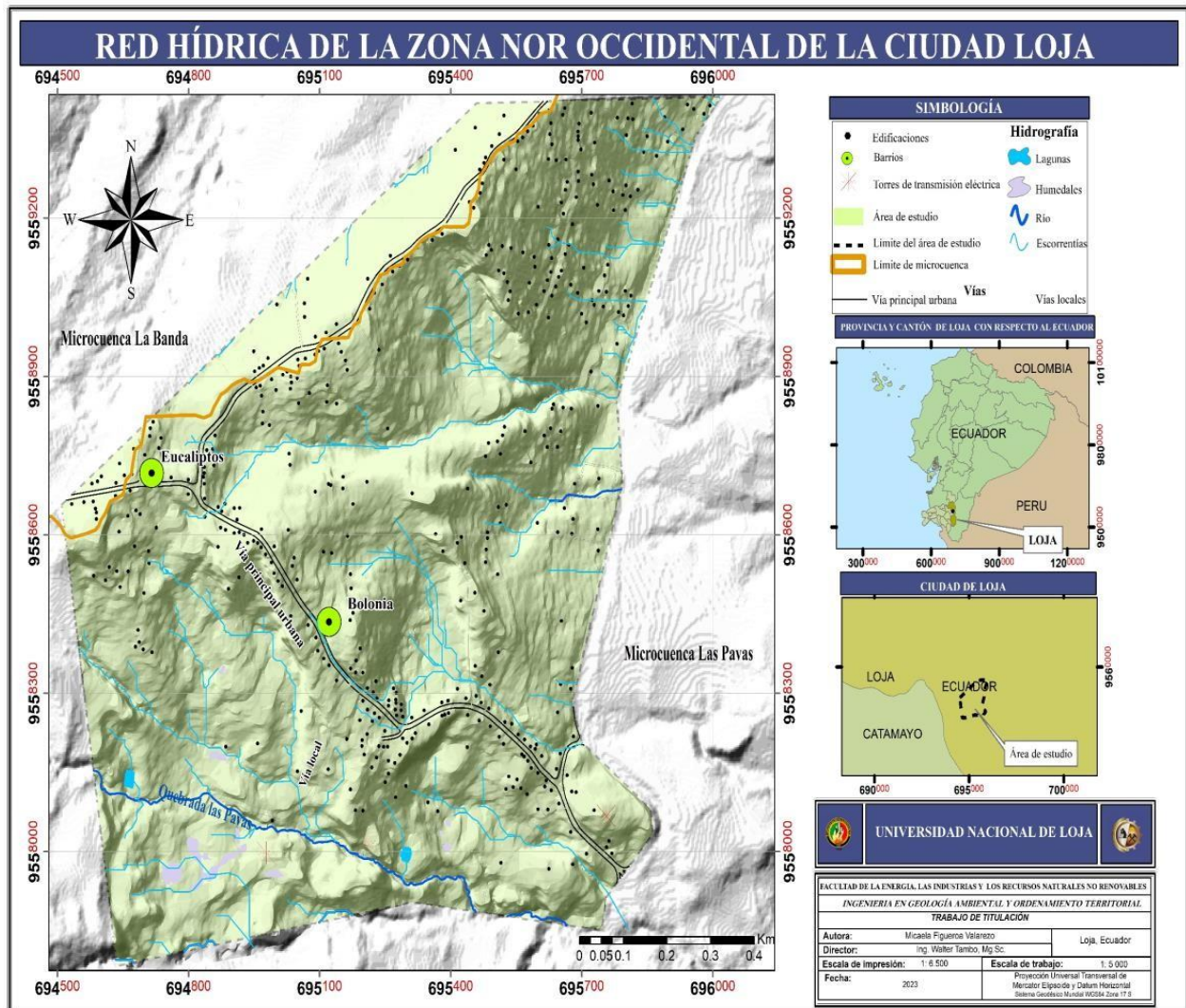


Figura 15. Mapa hidrográfico del área de estudio

5.1.3. Geología Regional

Coincidiendo con lo mencionado de parte de Hungerbühler, se afirma que la ciudad de Loja se ubica sobre una de estas cuencas, que es estrictamente miocénica y cuya capa de sedimentos alcanza un espesor máximo de casi 1000 metros en la parte oriental de la cuenca.

Al considerar la investigación de Hungerbühler y conjuntamente con la interpretación de la carta geológica de Loja, edición 2, perteneciente a la serie J62-G, Hoja 56, N VI-F, a escala 1:100 000, se han identificado las siguientes formaciones que ocupan patrones geológicos regionales relacionados entre diferentes características geológicas a gran escala.

5.1.3.1. Formación Trigal.

Originalmente identificada en el lado occidental de la cuenca sedimentaria de Loja, se encuentra principalmente en exposiciones de afloramientos ubicados a lo largo de la carretera de acceso a Loja desde Catamayo y en el área de Carigán. Desde el punto de vista litológico, esta formación se compone de una secuencia de areniscas con una estratificación predominantemente horizontal, así como de limolitas tobáceas de tonalidades café verdosas y conglomerados que contienen clastos de pequeño tamaño, que generalmente tienen origen volcánico.

De acuerdo con el “Léxico estratigráfico de las cuencas sedimentarias miocénicas del sur del Ecuador”, la formación tiene un espesor de formación de aproximadamente 50 metros hacia el oeste y se extiende hasta unos 150 metros hacia el Este, donde se encuentra en contacto con la Formación La Banda. Estas dos formaciones son concordantes y discordantes en su relación. (Solís Byron et al., n.d.)

Existe un límite geológico entre la Formación Trigal y la parte occidental de la Formación San Cayetano, que se sitúa en la porción oriental de la cuenca, y este límite está definido por una falla conocida como la "Cobijadura".

5.1.3.2. Miembro La Banda.

Esta formación geológica se encuentra expuesta en los cortes geológicos ubicados en la quebrada La Banda - Bolonia. En su porción noroccidental, se observan calizas masivas que contienen estromatolitos y moluscos, así como capas laminadas de dolomitas intercaladas con lutitas que incluyen estratos de chert. Además, se identifican areniscas calcáreas de granulación fina y diatomitas. La acumulación de estos materiales geológicos se produce en capas con

espesores que oscilan entre 10 y 20 metros.

Se dispone de manera concordante sobre la Formación Trigal y se ha datado con una antigüedad de 11.1 ± 1.2 millones de años, lo que corresponde al período del Mioceno Medio. Su origen se asocia a un ambiente de depósito lagunar.

5.1.3.3. Formación Belén.

Surge en los alrededores del barrio Belén y en el corte de la vía San Juan - Salapa Alto. Litológicamente, está constituida por lutitas marrones y limolitas con laminación paralela que ocasionalmente presentan restos vegetales. Existen areniscas con nódulos de yeso y concreciones carbonatadas, además de conglomerados horizontalmente estratificados y depósitos de desfase. Yace concordantemente sobre la formación La Banda, en una potencia estimada de 300 m. La edad asumida, según Hungerbühler es del Mioceno Tardío. (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, 2017)

5.1.3.4. Formación San Cayetano.

Esta formación geológica se encuentra expuesta al Este de la falla de Cobijadura, que se extiende a lo largo del río Zamora, y se puede observar en los cortes geológicos que atraviesan desde La Independencia hasta Virgen Pamba, así como entre La Banda, Jipiro y La Rivera.

La formación geológica en cuestión se divide en tres miembros con límites gradualmente transicionales. El miembro inferior consiste en capas de areniscas que contienen estratos de grano grueso, algunas pequeñas capas de conglomerados canalizados y varias capas de carbón. El miembro intermedio está compuesto por limolitas laminadas en tonos grises y blancos, con presencia de abundantes capas de diatomita y algunos piroclastos horizontales, además de una rica microflora y gastrópodos. El miembro superior se compone de areniscas con una tendencia hacia la formación de estratos crecientes.

La edad de esta formación geológica se sitúa en un rango de 13.8 ± 1.2 a 10.0 ± 1.4 millones de años, lo que corresponde al período del Mioceno Tardío hasta el último tramo de dicho período.

5.1.3.5. Depósitos coluviales.

Los sectores de Chuquiribamba así como al borde occidental y al norte de la cuenca de Loja, predominan depósitos de avalanchas y “debris slope” que presentan cantos y guijarros de rocas metamórficas en matriz arenosa.

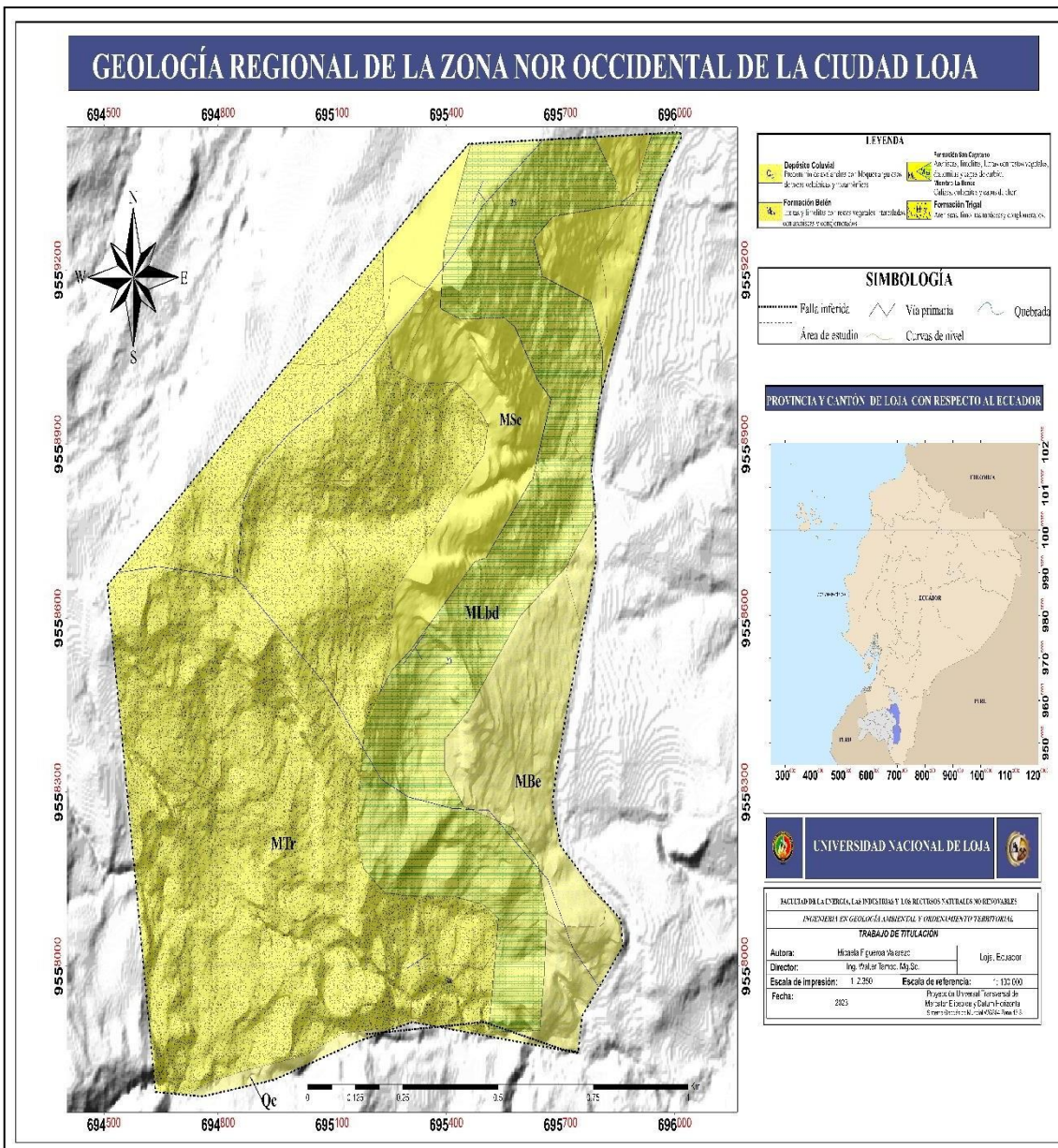


Figura 16. Geología regional del área de estudio

Nota: Adaptado del (INIGEMM, 2017)

5.2. Materiales

Los materiales utilizados para el desarrollo de cada objetivo, fueron los siguientes:

5.2.1. *Materiales de campo*

- ❖ Carta cartográfica geológica, impresa de Loja a escala 1: 10000, obtenido del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico del año 2017.
- ❖ Brújula marca Brunton.
- ❖ Martillo geológico.
- ❖ Cinta métrica.
- ❖ Libreta de campo.
- ❖ Fichas descriptivas para deslizamientos y afloramientos.
- ❖ GPS Garmin 64x.
- ❖ Ácido clorhídrico al 10%.
- ❖ Baterías marca BOSCH 12v.
- ❖ Equipo de sondeo geofísico ABEM Terrameter LS.
- ❖ Electrodo de acero.
- ❖ Cable DC (batería externa).
- ❖ Cable de ERT resistividad.
- ❖ Cables jumper.
- ❖ Memoria USB.
- ❖ Combo de acero.
- ❖ Laptop.
- ❖ Cámara fotográfica.

5.2.2. *Materiales de gabinete*

- ❖ Laptop
- ❖ Impresora
- ❖ Carta geológica 2017 – 2018, a escala 1: 100 000 de Loja, obtenido del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico del año 2017.

5.2.2.1. Programas de información

- ❖ ArcGis versión 10.8.
- ❖ SasPlanet versión 2012.12.

- ❖ Google Earth pro versión 7.1.8.
- ❖ My maps Google.
- ❖ Res2dinv x 32 versión 3.71.118.
- ❖ Agisoft Metashape Profesional.

5.3. Métodos.

Para llevar a cabo a cada uno de los objetivos planteados y con estos, llegar a alcanzar el cumplimiento del objetivo primordial del trabajo de investigación. Se empleó los siguientes métodos: Método mixto, exploratorio, experimental, descriptivo y científico. Siendo un estudio transversal, en el que se estudió el comportamiento del medio geológico del suelo y subsuelo, relacionado con el desarrollo social, ambiental y económico.

5.3.1. Metodología para el primer objetivo

“Caracterizar la litología predominante en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco”.

5.3.1.1. Revisión y selección de la base bibliográfica.

Se realizó una amplia recopilación y selección bibliográfica de temas referentes a la geología, geología estructural, topografía, y su levantamiento geológico, conjuntamente con la interpretación litológica, que condicionan a la ocurrencia de inestabilidades en los distintos materiales geológicos.

Se consideró los siguientes componentes:

- ❖ Carta geológica de Loja 2017, descargada de geoenergía a escala 1: 100000.
- ❖ Modelo Digital de Elevación (MDE) con una resolución de pixelaje 3 metros facilitada por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos.
- ❖ Ortofoto del polígono a investigar, con resolución espacial de 10 cm de pixel, facilitada por CELEC, EP.

5.3.1.2. Levantamiento topográfico.

El objetivo primordial del levantamiento topográfico llevado a cabo en los barrios Bolonia y Eucaliptos fue la obtención de una cartografía base de la región. Este propósito se orientó hacia la creación de mapas temáticos precisos destinados a la caracterización geológica del área.

La técnica empleada para la recopilación de datos topográficos y geospaciales en la zona específica se basó en el uso de una aeronave no tripulada, más comúnmente conocida como dron. Se utilizó un dron de tipo DJI Matrice 210, equipado con la cámara DJI X5S y un sistema de posicionamiento global (GPS) integrado.

5.3.1.2.1. Trabajo de campo.

Antes de la operación, se planificó lo siguiente:

Marcación de los puntos de control.

Se emplearon marcadores distinguidos en el terreno como puntos de referencia para mejorar la exactitud y la precisión de los datos capturados por el dron. Estos marcadores se destacaron mediante símbolos en forma de "X" de tonalidades blancas y se ubicaron estratégicamente en puntos de amplia visibilidad.

Al medir con instrumentos de alta precisión la ubicación exacta de estos puntos en el terreno, es posible corregir posibles distorsiones y errores presentes en los datos obtenidos durante el vuelo del dron. Además, al conocer las coordenadas geográficas precisas de estos puntos de referencia, se logra una georreferenciación precisa de todos los datos recopilados por el dron. En otras palabras, cada punto en las imágenes o datos recolectados se vincula con su ubicación precisa en la superficie terrestre.

En el campo, se establecieron un total de 15 puntos de control. Es importante señalar que los primeros nueve puntos; detallados en la Tabla 8, se encuentran dentro del área de interés, mientras que los seis restantes se localizan en sus cercanías. La distribución de estos puntos se justifica debido a la presencia de obstáculos como árboles, edificaciones y cambios abruptos de elevación en el terreno circundante.

Se buscó una disposición uniforme de los puntos de control a lo largo de toda el área con el objetivo de obtener resultados precisos y coherentes en todas las regiones cartografiadas. La configuración de las líneas, representada en la Figura 17, garantizó que los puntos de control se colocaran de manera que reflejaran las características topográficas y las condiciones que se deseaba cartografiar.

Tabla 8. Coordenadas de los puntos de control

Datum Geocéntrico: WGS 84 (World Geodetic System 1984) Zona 17 S			
Punto	COORDENADAS UTM (metros)		
	X	Y	Z
1	694535	9558669	2303
2	694643	9558350	2276
3	695036	9558493	2277
4	695275	9558221	2237
5	695703	9558207	2179
6	695817	9558739	2175
7	696136	9559544	2171
8	695571	9559520	2198
9	694628	9559794	2192
10	694102	9558439	2331
11	694332	9557948	2324
12	694146	9558001	2394
13	693686	9558056	2452
14	693580	9557712	2491
15	693207	9558094	2627

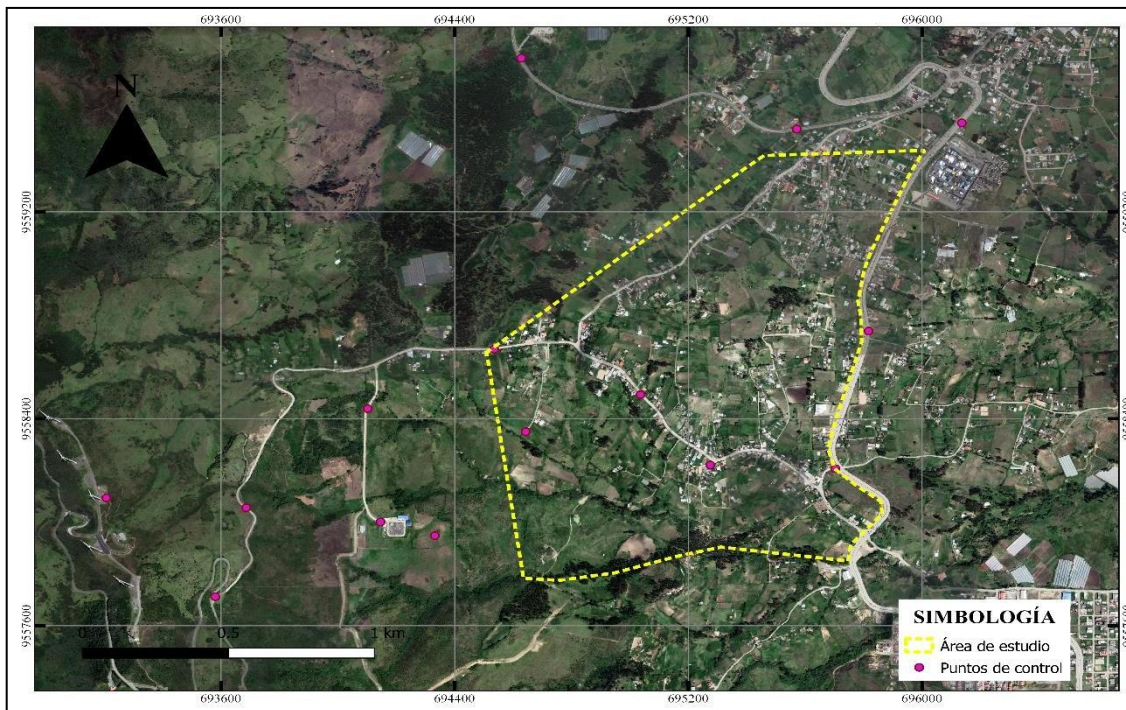


Figura 17. Ubicación de los puntos de control

Planificación del vuelo del dron.

La planificación del vuelo del dron se ejecutó meticulosamente, teniendo en cuenta los requisitos específicos del proyecto; los cuales involucran la creación de mapas temáticos a una

escala de 1:5 000. Por lo tanto, se definió un plan de vuelo que operaría a una altitud de 50 metros. Esta altitud se seleccionó estratégicamente con el propósito de equilibrar la precisión de los datos requeridos con la cobertura espacial necesaria para el levantamiento topográfico.

Posteriormente, se realizaron configuraciones detalladas de los parámetros de la cámara y del sistema de posicionamiento global (GPS) con el fin de asegurar la obtención de los niveles de precisión deseado.

Vuelo.

Durante la fase de vuelo, el dron despegó siguiendo un patrón de vuelo predefinido, específicamente un patrón en zigzag, también conocido como mapeo en espiral. Este patrón de vuelo permitió una cobertura gradual de la totalidad del área, que abarcaba 325 hectáreas. La elección de este enfoque se basó en la naturaleza irregular del terreno y la necesidad de capturar imágenes desde múltiples ángulos.

5.3.1.2.2. Trabajo de gabinete.

En esta fase del proceso, se procedió a recopilar y organizar toda la información adquirida durante el trabajo de campo. Esto incluyó las fotografías aéreas, las cuales se subdividieron y agruparon en cinco clases de vuelos para cada uno de los polígonos fotográficos del área investigada.

Continuamente, se utilizó el software conocido como Agisoft Metashape Profesional, es un programa de fotogrametría y procesamiento de imágenes utilizado para crear ortofotos, nubes de puntos a partir de imágenes aéreas o terrestres. Se realizó los siguientes procedimientos para llevar a cabo el procesamiento de cada uno de los planes de vuelo:

- ❖ Elección del sistema correspondiente al área, en este caso es el WGS 84/UTM zona 17S (EPSG::32717), para una correcta importación de fotografías aéreas.
- ❖ Alineación de las fotografías mediante la aplicación de técnicas de orientación. Esto se logró mediante el uso de la herramienta 'Orientar Fotos' dentro del software, donde se seleccionaron los parámetros específicos, incluyendo la preselección genérica y la preselección de referencias con una alta precisión.

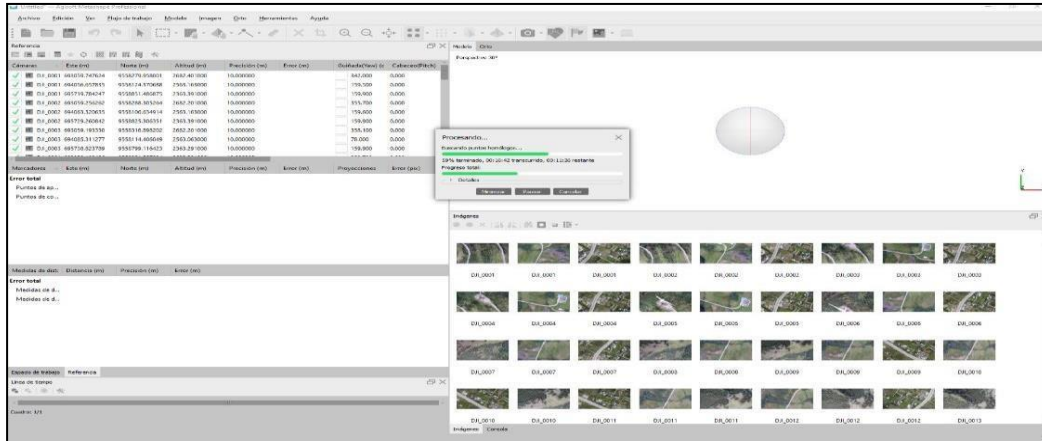


Figura 18. Alineación de fotografías aéreas

- ❖ Los drones pueden experimentar errores de posición debido a factores como la deriva del GPS. Al incorporar los datos de los puntos de control conocidos con las coordenadas registradas por el dron, es posible calcular y corregir errores. A su vez, sirvió para calibrar las imágenes. Esto fue esencial para garantizar que las imágenes se ajusten correctamente al terreno y que la información recopilada sea precisa y coherente. Al incorporarlos en el programa, se evitó de esta manera márgenes de errores superiores a 2 metros. Cada fotografía que se encuentra influenciada por el punto de control, será representada a través de marcadores que indiquen la señalización que se hizo en campo, tal cual, se demuestra en la Figura 19.

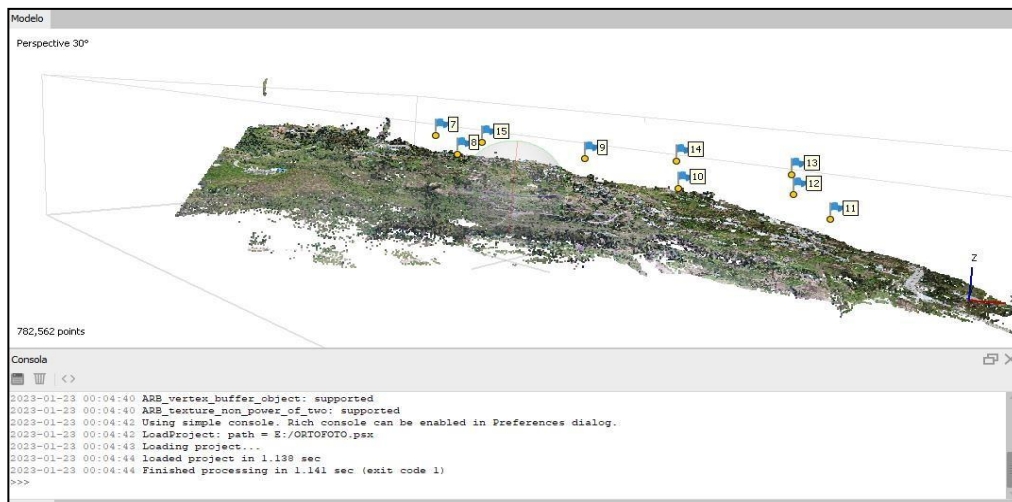


Figura 19. Incorporación de los puntos de control

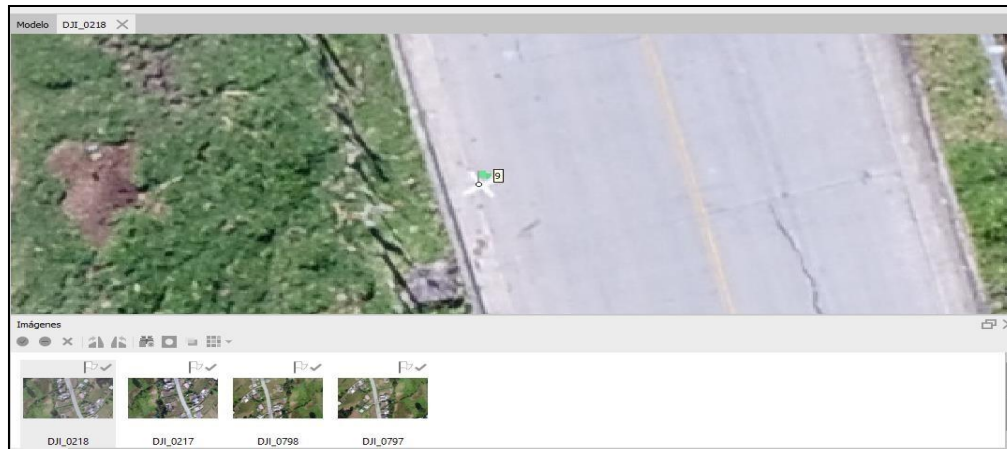


Figura 20. Localización de los puntos de control, por medio de una representación gráfica “x”

- ❖ Generación de la nube de puntos densa, con la finalidad de que el programa, con base en las posiciones estimadas, pueda calcular la información de profundidad real, entre el terreno y altura de vuelo. Es decir, cada punto en la nube de puntos corresponde a un punto en la superficie del terreno u objeto que se está cartografiando. Utilizada para modelar la superficie del terreno y representan las coordenadas XYZ (longitud, latitud, altitud) de la superficie o los objetos.

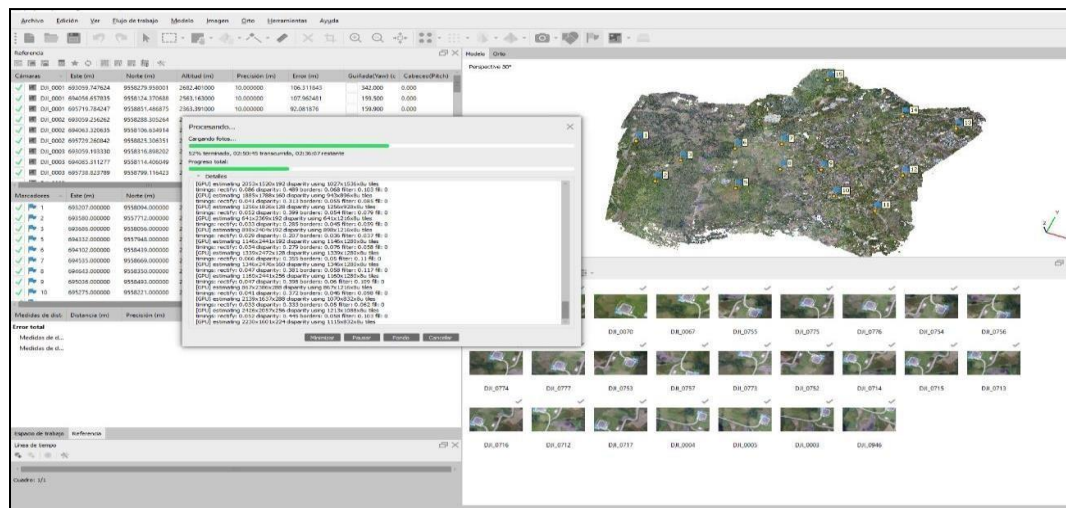


Figura 21. Procesamiento de nubes de puntos densa

- ❖ Clasificación de la nube de puntos densa con selección a factores como: ángulo máximo, distancia máxima y tamaño de celda, con esto se procede a identificar si un punto pertenece o no al terreno. Procedimiento realizado, debido a que la nube de puntos capturada a partir de la imagen aérea suele contener puntos que representan una variedad de elementos en la superficie, como el terreno, edificios, árboles, vehículos y

otros objetos. La clasificación de las nubes de puntos implica identificar y categorizar estos puntos en función de las características que representan

Finalmente resulta en una ortofoto con su correcta profundidad.

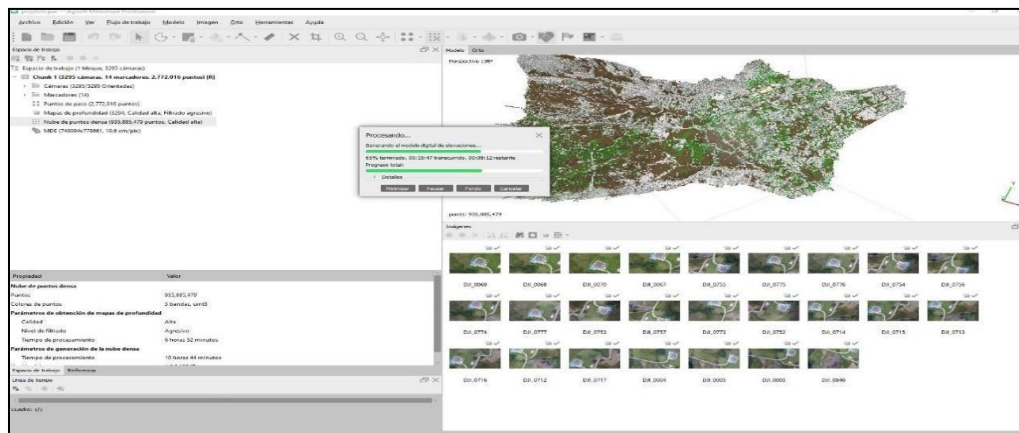


Figura 22. Clasificación de la nube de puntos

- ❖ Con los puntos clasificados y el proceso de interpolación aplicado, el software crea un Modelo Digital de Elevación (MDE) o Modelo Digital del Terreno (MDT). Este modelo representa las altitudes del terreno de manera continua y puede visualizarse en forma de una malla de triángulos o en una representación de píxeles en una grilla regular. Se configuró diferentes parámetros, como la resolución y la escala vertical del MDE, según las necesidades específicas del proyecto, para finalmente exportarlo hacia el software Global Mapper 21.0, con la finalidad de obtener un mejor rendimiento y depuración de puntos, en donde se clasificó el terreno, generando el MDE.
- ❖ Una vez generado el MDE, se exportó el archivo a un archivo TIF, adecuado para ser exportado al software ArcGis, y generar las curvas de nivel para un mapa topográfico representando un incremento de 1 metro en la altitud o elevación con respecto a la curva de nivel adyacente.
- ❖ Finalmente, las curvas de nivel son exportadas al software AutoCad para su depuración y corregir errores menores.

5.3.1.3. Levantamiento geológico.

La realización del mapa geológico local, conlleva la recopilación de información directa y detallada sobre las características geológicas del área específica. A través del levantamiento geológico para comprender la estructura y la composición litológica determinada.

5.3.1.3.1. Trabajo de gabinete.

La información base, consistente esencialmente en:

- ❖ Ortofoto con resolución cada 10 cm de pixel. Base esencial para identificar afloramientos y deslizamientos, señalándolos con sus coordenadas
- ❖ Elaboración de fichas geológicas, las cuales se pueden observar en el Anexo 1.

5.3.1.3.2. Trabajo de campo.

Para el cumplimiento de esta fase se consideró el *Manual de levantamiento geológico. Una introducción a la geología de campo*, coordinado por Echeveste Horacio (2018) específicamente sobre el tema de los métodos de mapeo condicionados por la escala en que el mapa será editado. Según la interpretación de las condicionantes expuestas en el manual y el tipo de mapeo que se ajusta a la zona de estudio, es el de *mapeo por afloramientos*, En este método se debe examinar tantos afloramientos como sea posible, en la delimitación del área de estudio.

Se procedió al levantamiento, con el recorrido de la zona e ir visualizando y marcando con GPS para ubicar con precisión cada exposición rocosa. Posteriormente, se realizó un análisis litoestratigráfico que incluyó una descripción detallada de las rocas y materiales encontrados. Esta información se registró en el campo, anotando la composición mineralógica, tamaño de grano, textura, estructura y color en la superficie fresca en una libreta de campo.

Durante el trabajo de campo, se asignaron nombres descriptivos a las rocas, considerando características específicas observadas en el lugar, como el tamaño de grano, color, contenido mineral, entre otros, a través de los instrumentos geológicos (brújula, cinta métrica, piqueta, ácido clorhídrico, ficha de campo, lupa 20x Hastings, rayador).

5.3.2. Metodología para el segundo objetivo

“Generar el modelo del subsuelo de la zona crítica de estudio, por el método de tomografía de resistividad eléctrica”.

Para el cumplimiento del segundo objetivo, se procedió a:

La prospección geofísica, mediante la técnica de tomografías de resistividad eléctrica, adaptando los siguientes pasos:

5.3.2.1. Características del equipo.

El equipo más adecuado para la obtención de los objetivos perseguidos, es el

denominado ABEM Terrameter Ls.; es un equipo ampliamente utilizado en estudios geofísicos debido a su versatilidad y precisión, permite medir la resistividad eléctrica del subsuelo mediante la inyección de corriente eléctrica, a través de electrodos y la medición de la diferencia de potencial resultante.

Es de importancia, obtener un conocimiento previo de cómo se encuentra compuesto el equipo geofísico, sus componentes, características técnicas y limitaciones. Este conocimiento nos ahorra tiempo en el levantamiento geofísico dentro de campo; tiempo indispensable para poder procesar adecuadamente las líneas, en tiempos óptimos.

Por medio del manual de Instrucción de ABEM, se rescató las características que serán mencionadas a continuación. Es importancia mencionar, que el equipo Terrameter, requiere una calibración adecuada, para que se adapte a distintas condiciones del terreno.

Las características generales son las siguientes:

- **Estuche:** Aluminio corrugado cumple con las especificaciones IEC IP66.
- **Computadora Integrada:** tipo ARM 9, 200 MHz
- **GPS:** 20 canales, tipo SirFstarIII chip.
- **Pantalla:** 8,4" Activa, tipo TFT LCD, a colores, legible bajo la luz solar.
- **I / O:** puertos 2 puertos KPT de 32 pines para 2D, 1 puerto KPT para SEV. AUX, Interconector (no para la edición de SEV) C1, C2, P1 (ch1), P2 (ch1), 2 puertos USB, RJ45 para LAN
- **Punto de servicio:** Accesible a través de Internet
- **Capacidad de Memoria:** 4 GB
- **Energía:** Pack de baterías internas de 12 V NiMH Opcional batería externa de 12 V DC
- **Rango de Temperatura:** - 20 oC a + 70 oC funcionando 1, 2 - 30 oC a +80 oC almacenada.
- **(Ancho x Largo x Alto):** 39 x 21 x 32 cm
- **Peso:** 12 kg

El Terrameter LS es totalmente compatible con partes externas de los sistemas de ABEM para la adquisición de imágenes tomográficas, tales como: cables de electrodos, conectores puentes de cables, conectores de electrodos y unidades selectoras de electrodos para expansión.

El equipo cuenta con accesorios conectores, como los son: *carretes de cable multi-core* tal como, se puede observar en la Figura 24. Estos carretes de cable permiten la instalación de tendidos eléctricos de hasta 800 metros y una profundidad máxima de 153 metros según las especificaciones técnicas del Manual de instrucción. (Terrameter LS, 2011)

Por lo cual, se emplearon cuatro cables previamente enumerados y fueron conectados de manera consecutiva de la siguiente manera: 1-10, 11-21, conexión al equipo (ABEM), 11-21, 1-10. Esto dio lugar a la formación de un total de dos cables con una longitud de 200 metros cada uno. El procedimiento se ilustra en la Figura 23, indicando la disposición de los electrodos.

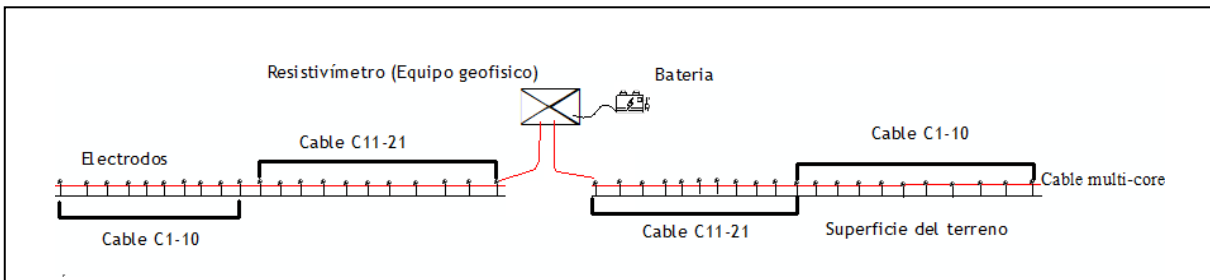


Figura 23. Esquema del tendido geofísico

Cada cable posee conectores metálicos para la unión del electrodo, ubicado en el suelo con conexión a un jumper, Figura 24. Los electrodos son de cobre y miden aproximadamente 40 cm, con un diámetro de 3 cm.



Figura 24. Fuente de conexión de corriente de los cables y electrodos metálicos.

Las baterías externas son utilizadas como fuente de energía adicional, y son conectadas a través de cables DC. Son fundamentales para la ampliación de la duración de operación, y como un respaldo de energía con capacidades específicas de necesidad, según la duración de la sesión de trabajo geofísico. El tipo de batería BOSCH 12 voltios, fue elegida con la precaución de compatibilidad de diseño que posee la batería, para suministrar energía a dispositivos que operan con este mismo rango de voltaje.



Figura 25. *Batería BOSCHO de 12v*

5.3.2.2. Campaña de adquisición de datos.

Para la planificación de campaña geofísica de reconocimiento, se realizó una visita técnica previa a los terrenos afectados por deslizamientos o con posibles movimientos en masa. Los criterios que fueron considerados, fueron:

- ❖ Delimitación de objetivos perseguidos.
- ❖ Profundidad máxima de investigación.
- ❖ Número de líneas geo eléctricas realizadas y su ubicación.
- ❖ Uso del dispositivo electrónico, configuración del dispositivos, número y separación de los electrodos.
- ❖ Medidas preventivas adoptadas para asegurar la calidad de los datos.
- ❖ Manejo práctico del equipo ABEM Terrameter Ls.

5.3.2.2.1. Trabajo en campo.

Adquisición de datos

Una vez, comprendidas las características del terreno en el aspecto geológico y en la distribución de sus materiales; se procedió a:

Implementar 10 líneas geo eléctricas en una posición transversal y paralela entre sí; orientadas desde el Norte-Sur y Oeste-Este (Figura 26). La elección de los lugares a investigar en profundidad, fueron elegidos por la vulnerabilidad que adquieren a posibles activaciones y origen de deslizamientos. Dichos lugares, de la misma manera, soportan la infraestructura esencial de la Corporación Eléctrica del Ecuador en Loja, como también viviendas e infraestructura.

Tabla 9. Localización de las líneas geofísicas en campo

Código	Lugar de referencia	Localización de líneas geofísicas		Coordenadas UTM/WGS 84 ZONA 17 SUR			
		Distancia de la línea	Distancia entre electrodos	Punto	Cota	X	Y
Perfil 1	Frente a la capilla Eucaliptos	200 m.	Cada 5 m.	Inicial -1	2296	694742	9558674
				Final - 42	2273	694785	9558482
Perfil 2	Frente a la capilla Eucaliptos	200 m.	Cada 5 m.	Inicial - 1	2292	694836	9558622
				Final - 42	2304	694634	9558619
Perfil 3	Frente a la capilla Eucaliptos	200 m.	Cada 5 m.	Inicial - 1	2288	694681	9558478
				Final - 42	2282	694875	9558519
Perfil 4	Cerca de la torre de transmisión eléctrica 4	200 m.	Cada 5 m.	Inicial - 1	2233	695163	9558055
				Final - 42	2193	695367	9558041
Perfil 5	Cerca de la torre de transmisión eléctrica 4	200 m.	Cada 5 m.	Inicial - 1	2201	695344	9557982
				Final -42	2210	695340	9558180
Perfil 6	Cerca de la torre de transmisión eléctrica 4	200 m.	Cada 5 m.	Inicial -1	2237	695189	9558125
				Final -42	2197	695386	9558112
Perfil 7	Cerca de la torre de transmisión eléctrica 4	120 m.	Cada 3 m.	Inicial -1	2219	695226	9558009
				Final -42	2236	695190	9558120
Perfil 8	Cerca de la torre de transmisión eléctrica 3	200 m.	Cada 5 m.	Inicial -1	2226	695068	9558012
				Final - 42	2231	694974	9557846
Perfil 9	Cerca de la torre de transmisión eléctrica 3	200 m.	Cada 5 m.	Inicial -1	2231	694954	9558038
				Final - 42	2227	694925	9557840
Perfil 10	Diagonal a la Subestación Central Eólica (Torre 2)	200 m.	Cada 5 m.	Inicial -1	2239	694755	9557880
				Final - 42	2246	694735	9558078

Se utilizó un total de cuatro cables multielectrónicos, cada uno con una longitud de 200 metros, a excepción de la línea geo eléctrica identificada como la 7, que tuvo una longitud de 120 metros. Se conectaron un total de 42 jumpers a través de conectores tipo caimán a 42 electrodos de hierro. Estos electrodos se insertaron en el suelo a una profundidad suficiente para asegurar un óptimo contacto entre el electrodo y el suelo. Cada uno de los electrodos se ubicó con una separación de 5 metros entre sí. Sin embargo, en la línea geofísica 7 específica al sur del área de interés, la separación se redujo a 3 metros debido a las limitaciones impuestas por la disponibilidad de acceso al terreno, así como la presencia de obstáculos naturales e infraestructurales en la zona.

Previo a la activación del resistivímetro, se debe llevar a cabo una evaluación de la resistencia de contacto entre los electrodos y el suelo, dado que este factor desempeña un papel crítico en las mediciones de resistividad eléctrica. Para garantizar resultados fiables; es esencial que la resistencia de contacto sea mantenida en niveles bajos. En general, se busca que la resistencia de contacto no exceda los 100 *ohmios-metro*.

Posteriormente, se procede a conectar dos baterías externas al equipo para iniciar su

funcionamiento. A través de la interacción y navegación en el dispositivo, se selecciona el tipo de configuración o dispositivo con el cual se trabajará. Si durante la medición se detecta un salto de error en el equipo durante la prueba de electrodos; se llevará a cabo una inspección exhaustiva de los electrodos. Esto implica verificar que estén correctamente insertados a la profundidad adecuada, limpiar su superficie y su área circundante, y ligeramente humedecer la zona alrededor de la varilla con sal de manera moderada. Estos procedimientos tienen como finalidad mejorar el flujo de corriente eléctrica durante la medición.

Finalmente, la información recolectada durante las mediciones es remitida directamente a una memoria USB hacia la computadora y poder exportar la tarea como un archivo DAT.

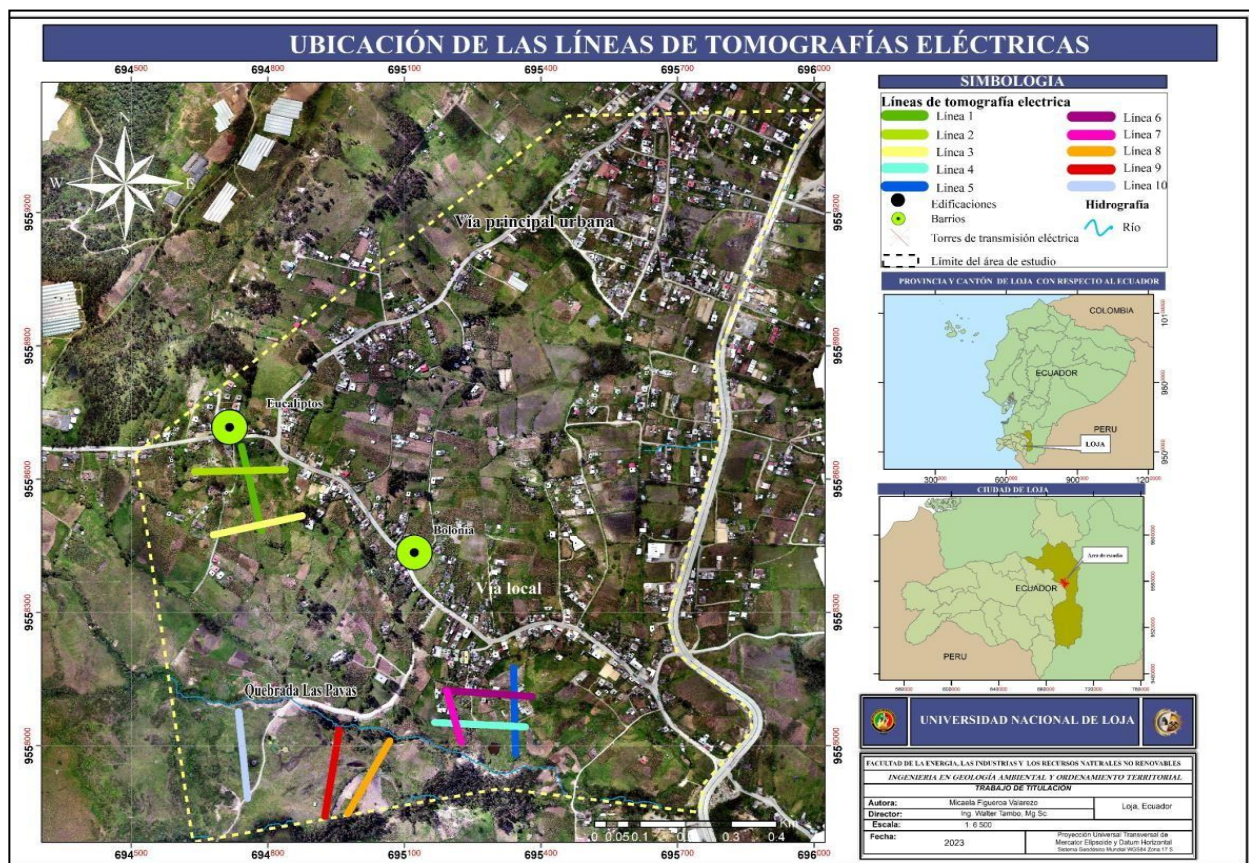


Figura 26. Ubicación de las líneas geofísicas en campo.

Profundidad máxima de investigación

En cuanto a la profundidad máxima de investigación, la cual proporciona una estimación de la profundidad a la que es posible adentrarse en el subsuelo utilizando un enfoque específico. Estos valores se determinan al integrar la función de sensibilidad con la profundidad, según lo propuesto por Edwards (1997). Es importante destacar que esta profundidad media no está

influenciada por la resistividad aparente medida ni por la resistividad de un modelo de terreno homogéneo. Y cabe mencionar que estas profundidades son aplicables específicamente a un modelo de terreno homogéneo.

Es así, que se consideró la propuesta de la regla general de M.H. Loke (2000), en donde indica que la profundidad media de investigación para los dispositivos geo eléctricos, es del orden de 0,2 veces a la longitud total del perfil. Por lo tanto, si la mayoría de las líneas geofísicas tiene una longitud de 200 metros, la profundidad media de investigación, está aproximadamente a 40 metros.



Figura 27. Disposición de equipo geofísico en terreno de interés.

5.3.2.2.2. Trabajo en gabinete.

Programa de inversión de datos Res2DINV

El programa seleccionado para esta investigación, es altamente compatible con el entorno Windows; es el software conocido como Res2DINV. Este software se utiliza para procesar y generar modelos de inversión a partir de datos obtenidos de una pseudosección de resistividades aparentes, lo que permite determinar un modelo bidimensional de resistividades reales del subsuelo. Su enfoque se centra en la generación automática de un modelo de resistividad en dos dimensiones a partir de datos obtenidos mediante encuestas de imágenes eléctricas. (D.H Griffiths & R.D Barker, 1993)

En el contexto de las tomografías eléctricas, se emplea comúnmente la técnica de inversión basada en celdas, en la cual la superficie se divide en celdas rectangulares de tamaño y

posición fijos (M. H. , A. I. , & D. T. Loke, 2003). La Figura 28 ilustra la discretización mediante bloques con una malla y muestra la ubicación de los puntos de datos de resistividad aparente.

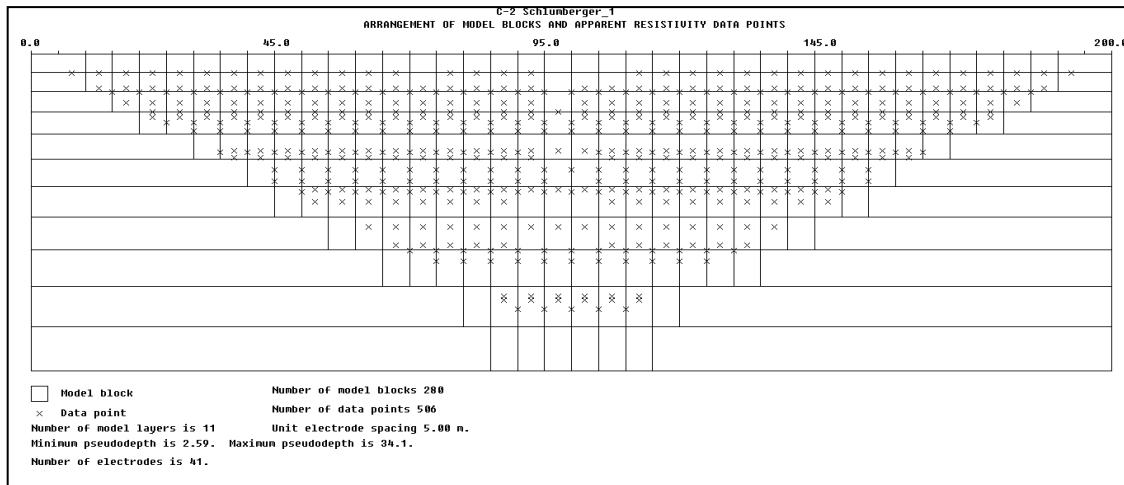


Figura 28. Disposición de bloques de modelo y puntos de datos de resistividad aparente

En otras palabras, se utilizan datos de resistividad aparente (ρ_a) para generar una pseudosección, la cual proporciona una representación aproximada de la verdadera resistividad del subsuelo. Esta pseudosección sirve como una herramienta visual para presentar gráficamente los valores de resistividad aparente y como punto de partida para una interpretación cuantitativa más detallada. En este proceso, se considera la pseudosección como una sección en profundidad, donde cada valor de ρ_a se representa gráficamente como si fuera la resistividad verdadera (ρ) de un punto ubicado directamente bajo el centro del arreglo de electrodos. La relación entre ρ_a y ρ está relacionada con el espaciamiento de los electrodos 'a'. Para obtener una distribución precisa de las resistividades en el subsuelo, se requiere realizar una inversión de la pseudosección de resistividades aparentes. (M. H. Loke, 2000)

A través del manual de Res2DINV publicado por Geotomo Software en 2010, se establecen los pasos a seguir en el software de manera lógica y segura, lo que garantiza la obtención de resultados óptimos y más cercanos a la realidad del terreno investigado.

Selección del arreglo eléctrico a procesar.

De acuerdo con la disposición de los electrodos y las propiedades físicas del terreno, se han tenido en cuenta los siguientes criterios: la simetría del suelo, las características hidrogeológicas del subsuelo y la ausencia de objetos metálicos que puedan interferir con las mediciones. Es fundamental considerar la geología del área de interés y la profundidad a la que se pretende investigar para seleccionar la configuración eléctrica más apropiada en el terreno, lo que

permitirá obtener datos más precisos.

En el levantamiento geofísico llevado a cabo en el área de interés, se consideraron varias configuraciones, entre las cuales se incluyeron: Wenner, Dipolo Dipolo, Schulmberger y Gradiente. No obstante, al introducir toda la información en el programa, se realizó un análisis preliminar y una comparación de las configuraciones eléctricas disponibles. Según lo destacado en la segunda edición de 'Prospección Geoeléctrica' compilado por Ernesto Orellana y por las condiciones del terreno, se determinó que la configuración Schlumberger resultaba ser óptima para cumplir con los objetivos establecidos en el presente trabajo de investigación.

La elección del dispositivo Schlumberger se basa en sus notables ventajas teóricas y su aplicabilidad en el campo en un tiempo reducido. Así mismo, es altamente sensible a cambios en la resistividad tanto en dirección vertical como horizontal, con una profundidad media de investigación que representa aproximadamente el 10% en comparación con otras configuraciones.

El método opera con dos arreglos fundamentales, donde la separación entre los electrodos C1-P1 y P2-C2 se denota como 'a', y el factor 'n' representa la relación entre la distancia 'a' y el par de electrodos de potencial. Muestra la profundidad teórica (también llamada profundidad aparente) alcanzada cuando los electrodos de corriente se mueven lateralmente.

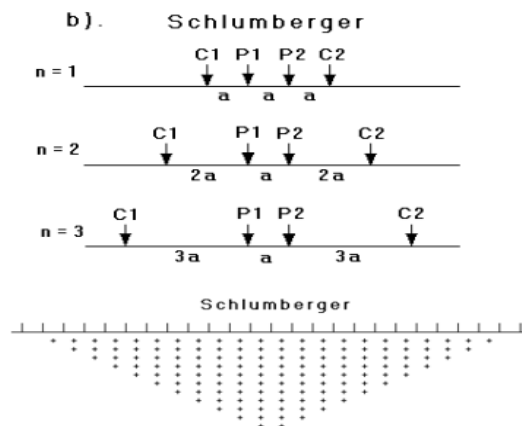


Figura 29. Configuración Schlumberger, $n =$ nivel; $a =$ separación de electrodos; C1, C2 = electrodos de corriente; P1, P2 = electrodos de potencial.

Nota: Loke (2002).

Es relevante destacar que, en esta metodología, la obtención de mediciones de resistividad aparente implica la realización de un mayor número de mediciones en la superficie en comparación con los métodos anteriores. La manipulación de los electrodos de *potencial* y *corriente* se lleva a cabo mediante su conexión y desconexión de manera automática, lo que

permite el cambio de nivel sin la necesidad de realizar un desplazamiento físico de los electrodos.

Para proporcionar una mejor comprensión de la función de la configuración Schlumberger en el software Res2Dinv, se recurrió a la consulta y ejecución del manual de (Electro Pro), un software que permite la creación de secuencias en 2D/3D de las mediciones para resistivímetros.

La Figura 30, demuestra cómo es la variación de la resistividad aparente en función de la distancia entre electrodos y la profundidad. Esta variación se relaciona con el fenómeno conocido como el efecto de la profundidad de penetración. A medida que se avanza a lo largo de la pseudosección, los triángulos (color rojo) pueden abrirse o cerrarse para mostrar cómo cambia la resistividad aparente en función de estas dos variables. Los triángulos invertidos en color rojo representan los electrodos de corriente (C1C2), mientras que los azules corresponden a los de potencial (P1P2).

Conforme los electrodos de *potencial* se desplazan a lo largo de la línea de la pseudosección, se mantienen en la misma posición hasta que el voltaje observado se vuelve demasiado pequeño de medir. Esto se debe a que las mediciones de *potencial* son menos sensibles a las variaciones en la resistividad superficial. A pesar de que la resistividad pueda experimentar cambios en el subsuelo, las mediciones de *potencial* no se ven tan influenciadas por dichos cambios, lo que resulta en una apertura más constante de los triángulos azules. Por otro lado, los electrodos de *corriente* tienden a separarse más debido a que las mediciones de corriente son más sensibles a las variaciones en la resistividad del subsuelo. A medida que la resistividad del subsuelo varía, la distribución de la corriente también se modifica. Lo que provoca una mayor apertura de los triángulos rojos en áreas donde se producen cambios significativos en la resistividad.

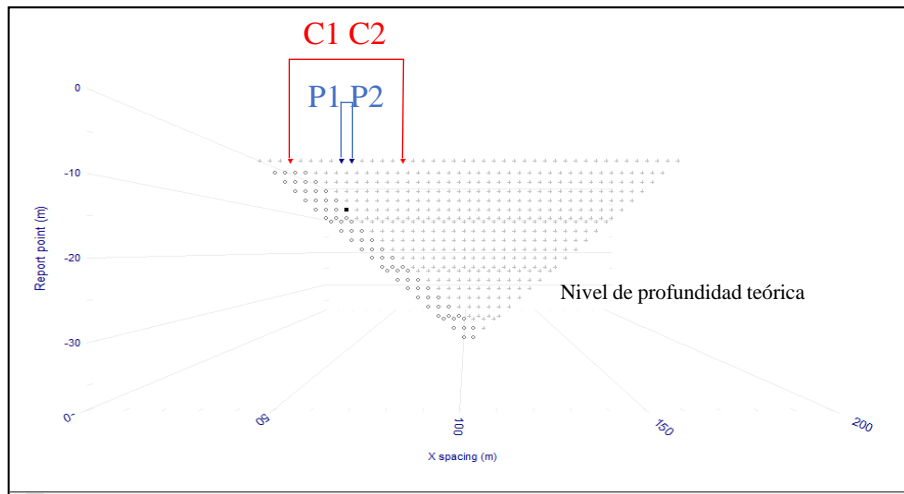


Figura 30. Distribución de los electrodos de potencia y corriente, por el método Schlumberger

En el pasado, era común mantener una separación MN , que fuera menos de un quinto de la separación entre los electrodos de corriente AB , con la condición de que $AB/2 \gg 5MN$, tal como se indica en el trabajo de Ernesto Orellana (1982). Sin embargo, en los resistivímetros modernos, ya no se requiere que la separación MN sea tan pequeña.

En el caso de la herramienta geofísica Terrameter LS, el control de las distancias de los electrodos se realiza de forma automática, como se mencionó anteriormente. Cuando se colocan los electrodos de corriente, el equipo asegura que la distancia entre ellos sea mayor que la distancia entre los electrodos de potencial. Ajusta las distancias de acuerdo con la configuración seleccionada, garantizando así que se cumpla la condición $AB > 5MN$. Este ajuste automático asegura la obtención de mediciones de resistividad precisas y confiables.

Implementación de valores de resistividad y topografía al programa Res2DINV

Durante esta fase, se procedió a trabajar con un archivo de texto en formato TXT utilizando el editor de texto Bloc de Notas de Windows. Se implementaron y utilizaron diversos datos, incluyendo: coordenadas, espacios, valores de resistividad aparente, entre otros, como se describe detalladamente en la Figura 31. Los datos se organizaron en un formato ASCII que se delimita mediante comas, espacios en blanco o saltos de línea. Cada línea de la Figura 32 tiene el siguiente significado:

- **1 línea:** Título.
- **2 línea:** Distancia unitaria entre electrodos "x".

- **3 línea:** Tipo de matriz general (11).
- **4 línea:** Tipo de arreglo (1-Wenner, 2 – Polo-Polo, 3 Dipolo-Dipolo, 4 - Wenner Beta, 5 -Wenner Gamma, 6- Polo -Dipolo, 7-Schlumberger y 8 Dipolo-Ecuatorial).
- **5 línea:** Tipo de medida (0= aplicación de resistividad; 1= resistencia)
- **6 línea:** Valor de resistividad aparente.
- **7 línea:** Número de puntos de datos.
- **8 línea:** Indicador, formato de coordenadas para el tipo de posición en x.(1 para distancias horizontales verdaderas, 2 para distancias terrestres)
- **9 línea:** (0, No hay valores de IP).
- **10 línea y consecutivamente:** número de electrodos, coordenadas x y z de C1, C2, P1 Y P2. Electrodo, resistividad aparente o resistencia.
- Al finalizar los números de los electrodos, continuas líneas para la “Topography in separate list”, topografía incluida.
- Finalizar con ceros.

El implemento de la topografía, nos da a conocer la elevación exacta de los electrodos de corriente y potencial en relación con la superficie del terreno, es posible calcular con mayor precisión la resistividad aparente en cada punto de la pseudosección, por causa.

Schlumberger_1-2022-02-04-112414: Bloc de notas		Topography in separate list	
Archivo Edición Formato Ver Ayuda		2	
C-3 Schlumberger_1		42	
5.00		0	2219.83
11		3	2220
7		6	2220.04
Type of measurement (0=app.resistivity,1=resistance)		9	2220.14
1		12	2220.2
524		15	2220.31
2		18	2220.4
0		21	2220.46
↓ C1 ↓ C2 ↓ P1 ↓ P2 ↓ resistencia		24	2220.52
4	0.00 0.00 15.00 0.00 5.00 0.00 10.00 0.00 0.534778	27	2220.58
4	0.00 0.00 25.00 0.00 10.00 0.00 15.00 0.00 0.0941062	30	2220.67
4	5.00 0.00 20.00 0.00 10.00 0.00 15.00 0.00 0.470629	33	2220.73
4	0.00 0.00 30.00 0.00 10.00 0.00 20.00 0.00 0.147982	36	2220.82
4	0.00 0.00 35.00 0.00 15.00 0.00 20.00 0.00 0.0410711	39	2220.9
4	5.00 0.00 30.00 0.00 15.00 0.00 20.00 0.00 0.112343	42	2221.13
4	10.00 0.00 25.00 0.00 15.00 0.00 20.00 0.00 0.568295	45	2222.15
4	5.00 0.00 35.00 0.00 15.00 0.00 25.00 0.00 0.228284	48	2222.73
4	0.00 0.00 45.00 0.00 15.00 0.00 30.00 0.00 0.116765	51	2223.25
4	0.00 0.00 45.00 0.00 20.00 0.00 25.00 0.00 0.0422111	54	2223.9
4	5.00 0.00 40.00 0.00 20.00 0.00 25.00 0.00 0.0802166	57	2224.83
4	10.00 0.00 35.00 0.00 20.00 0.00 25.00 0.00 0.225074	60	2225.49
4	15.00 0.00 30.00 0.00 20.00 0.00 25.00 0.00 0.99095		
4	10.00 0.00 40.00 0.00 20.00 0.00 30.00 0.00 0.275892		
4	0.00 0.00 50.00 0.00 20.00 0.00 30.00 0.00 0.0589071		
4	5.00 0.00 50.00 0.00 25.00 0.00 30.00 0.00 0.0323715		

Figura 31. Clasificación de columnas con la diversidad de datos geofísicos y columna de la topografía

Depuración de valores

Previo a la inversión y como segundo paso, se efectuó manualmente la filtración de información, por medio de la depuración de datos para la mejora de resultados finales. La herramienta que ofrece el software Res2Dinv denominada “Exterminación de datos malos”, permite eliminar datos anómalos representados en puntos y picos, que podrían estar asociados a ruidos aleatorios naturales en el subsuelo al momento de realizar la adquisición.

Este proceso, se lo realizará a la configuración deseada que presenten el ejemplode la Figura 32.

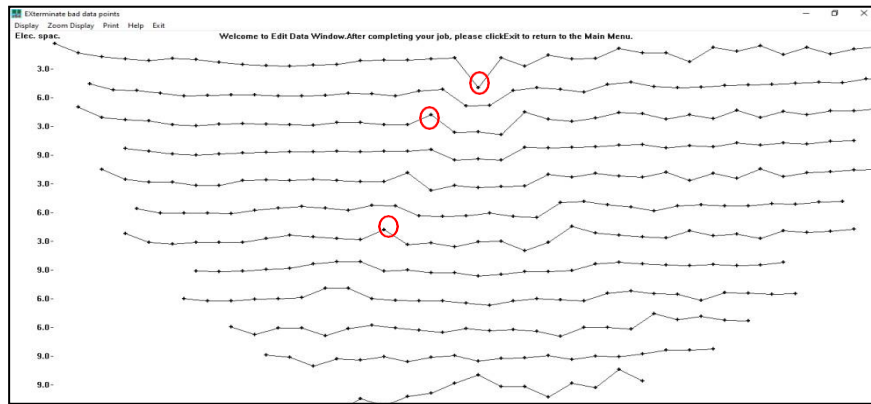


Figura 32. *Depuración de picos de valores erróneos.*

Cambio de ajustes del programa

El método empleado para resolver las ecuaciones de mínimos cuadrados en el algoritmo de inversión utilizado en el procesamiento de las 10 líneas geofísicas, es el método estándar de Gauss-Newton. Este método es un enfoque directo para resolver la ecuación de mínimos cuadrados, según lo especifica (Geotomo Software, 2010). Dicho método proporciona una solución precisa de los valores de resistividad que se ajustan a la realidad del terreno.

En el algoritmo de Gauss-Newton, el factor de amortiguamiento, definido como un multiplicador de Lagrange representado por λ , se determina en función del perfil de ruido de cada una de las tomografías realizadas y su pseudosección de resistividades aparentes. El valor inicial del factor de amortiguamiento seleccionado es 0.15, y el valor mínimo del factor de amortiguamiento es 0.02.

Expuesto lo anterior, el programa dispone de ajustes predefinidos que suelen ser adecuados para la mayoría de los datos, aunque en ocasiones puede ser beneficioso modificar los

parámetros para obtener resultados más precisos. Por lo cual, se modificó las variables de la opción "*Parámetros de amortiguación de inversión >> Factores de amortiguamiento*", para poder normalizar la magnitud del ruido y la contaminación presentes en el perfil, al mismo tiempo que permitió la aplicación de un coeficiente de amortiguamiento en la capa inicial.

Inversión de datos

Se llevó a cabo, la inversión de los datos adquiridos en el campo, con el objetivo de obtener una representación cercana a la realidad de lo medido. En este proceso de inversión, se genera un modelo homogéneo de resistividades y, a partir de este, se calcula un modelo de resistividades aparentes.

Este procedimiento se denomina 'interactivo' y se realiza con el propósito de encontrar un modelo de resistividades reales que minimice la diferencia entre el modelo de resistividades aparentes calculado y el medido. La finalización de este proceso ocurre cuando se alcanza un valor de RMS (Root Mean Square) inferior al valor predefinido. Para lograr un límite de convergencia del 0,1% en la variación del RMS, se aplicaron un total de 4 iteraciones (que es la cantidad máxima permitida por el programa). Esto se hizo para garantizar que el error no excediera el 10%. Es decir, esto establece el error RMS porcentual en la inversión de los datos de resistividad aparente en el que el programa se detendrá después de que el modelo de productos tiene un error RMS inferior a este límite. Normalmente, un valor de entre 2% y 5% se debe utilizar, dependiendo de la calidad de los datos. (Geotomo Software, 2010).

Configuración de la inversión

Para obtener los resultados más precisos y confiables en la modelación de la estructura del subsuelo, se seleccionó los siguientes parámetros:

- **Modificación del método de mínimos cuadrados de suavidad** (Modify smoothness constrained least-squares method). – Esta técnica se empleó para aplicar una restricción de suavidad en la ecuación de mínimos cuadrados para los valores de resistividad. Se observó que al aplicar esta restricción se obtienen resultados mejorados. Además, al combinar esta técnica con el algoritmo de Marquardt, se logra una mayor resolución en la detección de estructuras compactas como cavernas y cuerpos mineralizados (M. ; B. R. Loke, 1996). Por lo tanto, en los procesos de inversión realizados, se optó por utilizar el método de mínimos cuadrados suavizado con el propósito de mejorarla resolución de las estructuras presentes.

Un aspecto crucial que se consideró en la obtención de estos modelos fue la elección del método para resolver la ecuación de mínimos cuadrados. Esta ecuación reviste gran importancia en el contexto de las tomografías eléctricas, ya que se utiliza para ajustar un modelo matemático de resistividad a un conjunto de datos observados, minimizando la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. Aunque este proceso se encuentra automatizado en el software, cabe destacar la relevancia de la elección del método utilizado, que en este caso fue el estándar de Gauss-Newton, un procedimiento automático que proporciona soluciones exactas para dicha ecuación.

La metodología aplicada en el procesamiento de los datos en el software Res2Div, se presenta en la Figura 33.

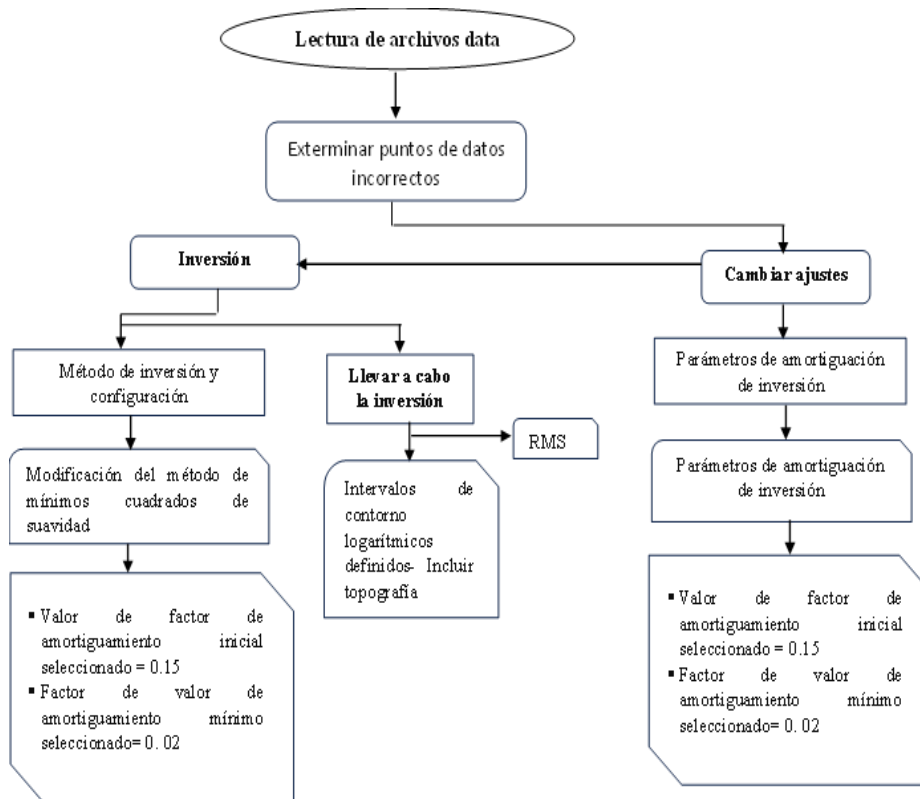


Figura 33. Metodología empleada para el procesamiento de datos en Res2Div

5.3.3. Metodología para el tercer objetivo

“Interpretar los resultados de las condiciones geofísicas y geológicas del subsuelo, que incentivan a la ocurrencia de deslizamientos”.

5.3.3.1. Trabajo en campo.

Visualización y registro técnico de los deslizamientos

Durante el proceso de recopilación de datos en campo, previo a la implementación de las líneas geofísicas, se llevaron a cabo observaciones detalladas de las áreas que presentaban una mayor susceptibilidad a deslizamientos y donde se podían identificar posibles eventos de deslizamientos.

En esta fase, se procedió a realizar una caracterización superficial de los deslizamientos que fueron objeto de estudio. Es importante destacar que esta descripción se considera parcial, ya que el enfoque principal de la investigación se centra en la aplicación de las tomografías de resistividad eléctrica para comprender las causas que provocan los deslizamientos. Estas causas pueden estar relacionadas con la presencia de discontinuidades en el subsuelo, la sobresaturación del suelo o el tipo de material que compone el deslizamiento. La investigación se concibe como un punto de partida esencial para futuros estudios más profundos, orientados hacia la mitigación y control de estos eventos de deslizamiento.

La caracterización de los deslizamientos implicó la medición de variables como:

- Medidas morfométricas (Ancho, largo, dirección, etc.).
- Cobertura de los deslizamientos.
- Descripción litológica.
- Estado del deslizamiento.

Otras características relevantes, así como la determinación de su ubicación geográfica mediante el uso de un sistema de posicionamiento global (GPS), son registrados en la ficha descriptiva, detallada en el Anexo 3.

5.3.3.2. Trabajo en gabinete.

Recopilación de información descriptiva.

Después de haber realizado la descripción detallada de cada deslizamiento a través de las fichas descriptivas en el campo, se procede a organizar y adjuntar los datos de una manera adecuada, en un software de procesamiento de texto, en este caso, el software Word; con la finalidad de llevar a cabo una caracterización detallada de los mismos.

Una herramienta fundamental en esta etapa es el software ArcGIS 10.8. Utilizando esta herramienta, se llevó a cabo la visualización bidimensional de la forma geográfica de cada uno de los deslizamientos. Esto se logró mediante la superposición de las imágenes ortofotográficas, con una resolución de pixel de 0.10 metros, lo que permitió obtener una representación precisa

de la configuración espacial de los deslizamientos.

Mediante toda la información recopilada en campo y reunida en la herramienta y el reconocimiento realizado, se desarrolló una modelación con la aplicación tecnológica ArcGIS, se los puntos trabajados en las zonas de priorización, con esto se hizo un análisis de los factores que intervienen exactamente en los deslizamientos.

Interpretación del modelo de inversión

La interpretación de los modelos de resistividad verdadera obtenidos mediante la inversión individual, se correlaciona con Tabla 10:

Tabla 10. *Rango de resistividades eléctricas*

Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Correlación litológica
< 1	Materiales finogranulares (arcillas marinas); Arenas con agua salada
1.0 – 1.7	Materiales finogranulares (arcillas/arcillolitas); Limos con agua salada a salobre
1.7 - 2.9	Materiales finogranulares (limos y arcillas/arcillolitas); Agua salada a salobre
2.9 - 4.9	Materiales finogranulares (limos/limolitas); Agua salada a salobre
4.9 – 8.4	Suelo limoso; Arenas/areniscas/calizas y limos saturas; Aguas salobres
8.4 – 14.2	Suelo limo-arenoso; Arenas/areniscas finas y calizas saturadas; Aguas salobres
14.2 – 24.1	Suelo limoso; Arenas medias/areniscas medias/calizas saturadas
24.1 – 41.0	Arenas/arenisca/calizas gruesas saturadas
41.0 – 69.8	Arenas y gravas saturadas; Roca (Arenisca/calizas) muy fracturada, saturada
69.8 - 119	Materiales superficiales secos; Gravas y arenas saturadas; Roca (ígneas, arenisca/calizas) muy fracturada, saturada?
119 - 202	Materiales superficiales secos; Arenas secas; Grava saturada; Roca (ígneas/areniscas/calizas) fracturada, saturada?
202 -343	Materiales superficiales secos; Roca (ígneas, areniscas/calizas) fracturada
343 - 583	Materiales superficiales secos; Roca (ígneas, areniscas/calizas) poco fracturada
583 - 990	Materiales superficiales secos; Roca (ígneas, areniscas/calizas) muy poco fracturada

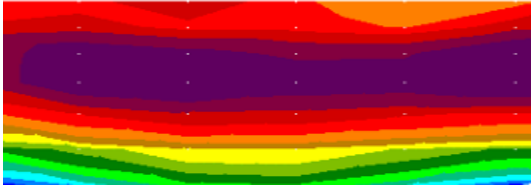
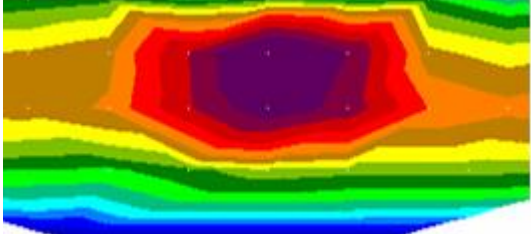
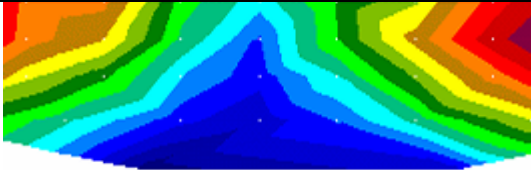
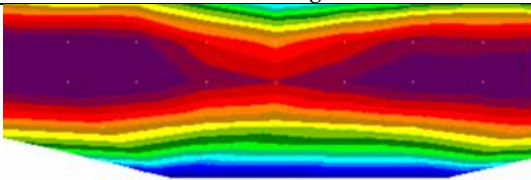
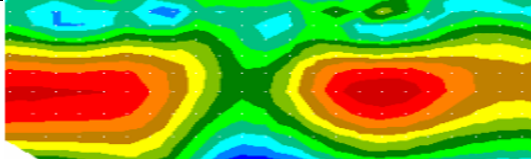
Nota: Secretaria nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (2022)

Los datos recopilados durante la campaña de prospección geofísica, se los llevó a cabo a un proceso organizado para analizarlos. Estos datos se procesaron de manera sistemática y se analizó la distribución de las resistividades en el subsuelo de las áreas de investigación, teniendo en cuenta las condiciones geológicas presentes. El enfoque principal de este objetivo, es identificar los factores que podrían desencadenar los deslizamientos en los barrios Eucalipto, Bolonia y en la Subestación Central Eólica Villonaco.

La visualización de los resultados se presentó mediante un modelo en 2D que representa las resistividades reales en el subsuelo. Estas resistividades se relacionaron con la morfología de los deslizamientos y se identificaron áreas que podrían contribuir al movimiento del terreno.

Para determinar qué tipo de estructuras formadas en el subsuelo, se utilizó una plantilla de interpretación de imágenes de tomografía eléctrica, tal como se evidencia en la Tabla 11. Se trata de plantillas para dispositivos tipo Schlumberger o tipo Wenner, adaptadas por Porres José (2003).

Tabla 11. Plantilla para la interpretación de imágenes obtenidas por tomografía eléctrica.

Dispositivo Schlumberger y Wenner	
Imagen	Significado
<i>Nivel resistivo sobre nivel conductor (Ausencia de anomalías)</i>	<p>Significado genérico: Contacto entre dos materiales de distinta resistividad. Material de alta resistividad sobre material de baja resistividad.</p> <p>Expresión geológica: Contacto entre rocas de distinta resistividad (Arena-arcilla o caliza-margas), o localización de nivel freático.</p>
	
<i>Anomalía positiva de forma circular u ovalada</i>	<p>Significado genérico: Hueco o bloque resistivo de sección circular o cuadrada.</p> <p>Expresión geológica: cavidad rellena de aire en rocas de resistividad media-alta o bloque de roca masiva entre materiales de resistividad media-baja.</p>
	
<i>Anomalía negativa convexa hacia arriba</i>	<p>Significado genérico: Hueco conductor a un sustrato conductor.</p> <p>Expresión geológica: Cavidad rellena de agua que descarga por filtración a niveles inferiores.</p>
	
<i>Adelgazamiento de nivel resistivo por anomalía negativa</i>	<p>Significado genérico: Hueco conductor entre materiales resistivos.</p> <p>Expresión geológica: Cavidad rellena de arcilla o sales en rocas de resistividad media-alta</p>
	
<i>Corte de nivel resistivo por franja subvertical conductora</i>	<p>Significado genérico: Nivel resistivo con una interrupción conductora.</p> <p>Expresión geológica: Fractura rellena de arcilla o agua de un nivel de alta resistividad (caliza, arenisca, granitos,..)</p>
	

Nota: Porres José (2003).

6. Resultados

6.1. Resultados del primer objetivo

6.1.1. Topografía

El área cartografiada abarca un polígono de 162.97 hectáreas y se seleccionó específicamente con el propósito de llevar a cabo el estudio de deslizamiento mediante la aplicación de tomografías eléctricas. Para la elaboración de este mapa (Figura 34). Se consideró la extensión desde el Este en la capilla Plateado, hasta el Oeste adyacentemente a la Subestación Central Eólica Villonaco.

Esta área presenta una topografía regular, con elevaciones que varían desde un máximo de 2316 metros sobre el nivel del mar, hasta un mínimo de 2137 metros. El terreno en los barrios Bolonia y Eucaliptos exhibe un terreno ondulado, con áreas que presentan pendientes pronunciadas. Esta característica topográfica influye directamente en la planificación urbanística, uso de suelo y construcción de edificaciones en la zona.

La zona comprende dos tipos de vías: las principales, la Avenida Villonaco, que conecta con el cantón Catamayo; y las vías locales que enlazan los barrios Eucalipto y Bolonia con el centro de la ciudad, y viceversa.

El mapa presenta una infraestructura de gran importancia para el desarrollo de la ciudad, como las tres torres de transmisión eléctrica (torres 2, 3 y 4), pertenecientes a la Corporación Eléctrica del Ecuador, Loja. Estas torres son fundamentales para el suministro de energía eléctrica a la población de Loja (Anexo 9).

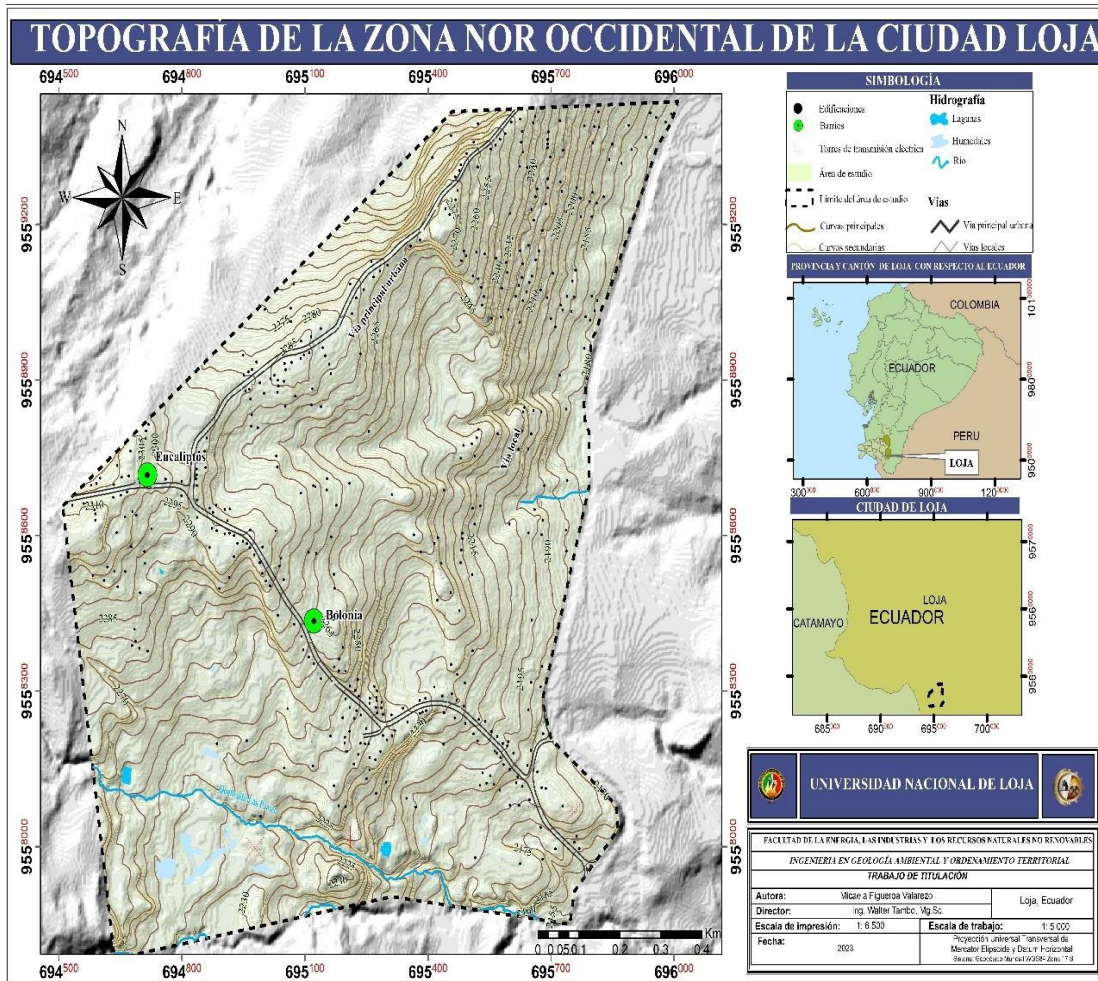


Figura 34. Topografía del área de estudio

6.1.2. Geología Local

El sector se caracteriza por su geología predominante, correspondiente al período comprendido entre el Mioceno Tardío y el Mioceno Medio, con una datación de aproximadamente 11.1 a 11.2 millones de años. Esta área se encuentra sobre el basamento metamórfico conocido como Chiguinda y está cubierta por diversas litologías que forman parte del área de interés.

Se identificaron diversas litologías sedimentarias predominantes en las formaciones, las cuales fueron identificadas en 15 afloramientos caracterizados en campo. Los cuales son descritos en orden cronológico, comenzando desde la formación más reciente a la más antigua.

6.1.2.1 Depósitos coluviales

La litología que sobresale en la parte baja Oeste del polígono de interés, son los depósitos coluviales. Formados como resultado de la acumulación de sedimentos y fragmentos metamórficos que se han desplazado hacia la parte inferior, por la pendiente de la ladera y debido a la acción de

la gravedad. Estos materiales han sido acumulados de una manera no consolidada, en un barranco estrecho. El barranco posee dimensiones de lo alto de 15 metros aproximadamente y en lo largo 865.7 metros. Esta serie sedimentaria está influenciada por la presencia de la quebrada las Pavas.

Los afloramientos observados a lo largo del barranco, son de tipo natural y contienen una cantidad moderada de agua, acechada con fisuras, por lo que los materiales no se encuentran consolidados. La mayoría de estos afloramientos se encuentran cubiertos por clastos cuarcíticos rodados y por cantos de roca metamórfica, como el esquistos característicamente foliado. La roca más abundante es la arenisca, seguidamente de caliza y fragmentos de roca limolita con tonalidades más claras. La descripción del afloramiento ha sido identificada con la numeración 1, como se observa en el Anexo 4. En la base también es observado estos clastos de esquistos y guijarros sedimentarios. Es importante destacar que estos materiales son originarios del período cuaternario y se caracterizan por su naturaleza coluvial.

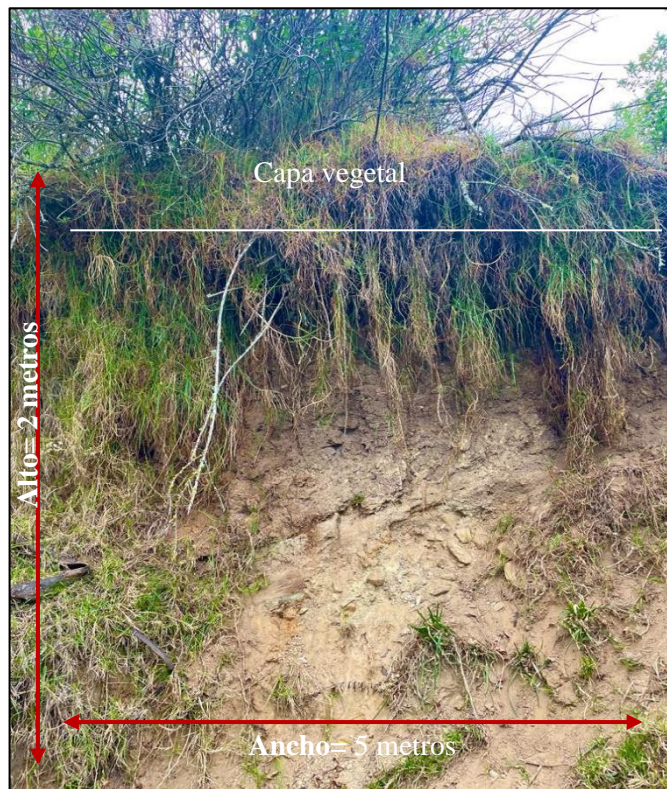


Figura 35. *Depósito sedimentario no consolidado*

6.1.2.2. Formación Belén

En la parte baja central del área de estudio, en lo superior del barranco; predomina principalmente roca arenisca gruesa yuxtapuesta en una matriz limo arcillosa de alta plasticidad,

son rocas sedimentarias neógenas con un grado de meteorización alto a medio, erosionadas por la acción de la precipitación. La edad de deposición de las rocas, datan en el Cenozoico, del período Mioceno medio.

Los afloramientos exhiben una secuencia de litologías sedimentarias intercaladas, que varían desde capas de arenisca grisácea de grano medio, con un espesor de 20 centímetros, hasta capas fragmentadas de lutitas marrones, con espesores de 35 centímetros, y finalmente compuestos por capas de arcillas de coloración marrón anaranjada, como se evidencia en el afloramiento 2.

En el afloramiento 3, se observa la continuidad de la predominancia de la roca arenisca de grano grueso de tonalidad grisácea clara; se extiende hacia el Norte desde la formación original. Estas rocas presentan una textura clástica dispuesta en una estructura estratificada y se encuentran en una matriz limo-arenosa. En términos de composición mineralógica, están compuestas principalmente por cristales de cuarzo y algunos minerales arcillosos. Además, como es notorio en la Figura 36, hay intercalaciones de arcillas anaranjadas en la parte inferior, seguidas de limonitas de óxido de hierro con una textura terrosa. Estos materiales se formaron debido a la oxidación de minerales de hierro en un ambiente húmedo, típico del sector; exhibiendo un alto grado de meteorización, lo que los hace obtener esa característica fragmentada, debido a la contracción de las arcillas. En la parte superior derecha del afloramiento, se identifican formaciones de lentes con variaciones de arenisca calcárea de coloración grisácea oscura. También se evidencia presencia de la caliza en un menor porcentaje, y se presenta de manera dispersa en forma de guijarros o cantos.

Con dirección al Oeste, se identifica un afloramiento enumerado con el 4. Este afloramiento exhibe un material compacto de naturaleza areno-arcillosa en una estructura litoestratigráfica paralela. Los materiales se encuentran intercalados desde grano medio a fino, cubiertos por gruesas capas de cantos rodados. En la parte superior del afloramiento, se encuentra arenisca metamorfizada de tonalidad beige clara con una textura áspera y granular. Estas litologías se presentan de manera consecutiva y están encapsuladas dentro de la matriz. A la derecha, a unos cuantos metros, resalta un breve cambio en la matriz compactante del afloramiento 5; siendo una matriz arenosa de grano medio, en presencia de limos. En la parte derecha del afloramiento, aflora un conjunto de lutitas estratificadas y metamorfizadas.

Finalmente, descrita la geología a detalle de la formación Belén, se puede destacar que las

rocas sedimentarias, generalmente tienen una orientación de SE, con inclinaciones de capas de la roca al NE.

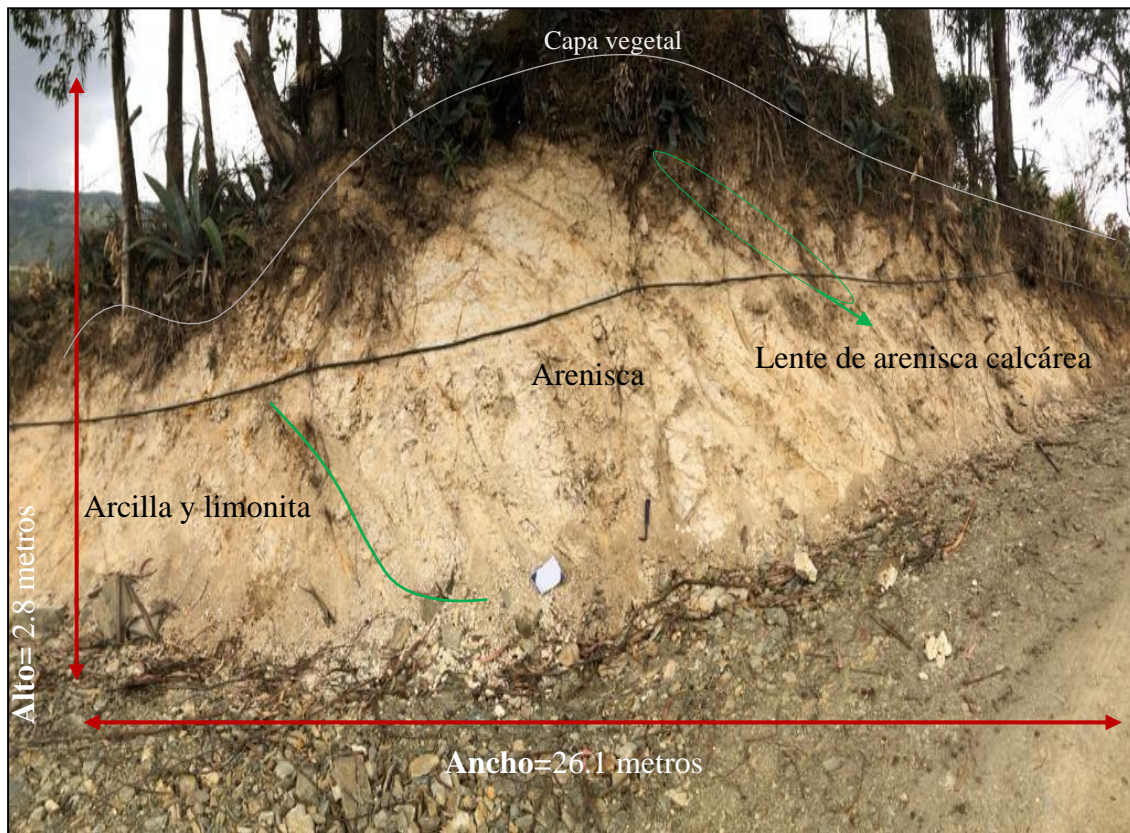


Figura 36. Afloramiento sedimentario compuesto por arenisca gruesa.

6.1.2.3. Formación La Banda

En la zona oriental del barrio Bolonia y en las regiones occidentales cercanas a las torres de transmisión eléctrica, se observa una composición que es consistentemente destacable en todos los afloramientos identificados durante el trabajo de campo. Estas rocas comunes poseen una edad geológica correspondiente al Mioceno Superior y presentan una orientación predominante hacia el Noroeste.

La zona está compuesta principalmente por lutitas laminadas, formadas con partículas de limo de grano muy fino. Las capas de la roca poseen inclinaciones características, en mantos delgados y paralelos entre sí. La descripción común de este material, se encuentra descrita en el afloramiento 6 del anexo 4. Las lutitas en este afloramiento están depositadas gradualmente, con un rumbo de N19°E y un buzamiento de 9°SE. Su característica común es su tonalidad blanquecina, con bajo grado de metaforización.

Cerca del barrio El Plateado, destaca el afloramiento 7, el cual muestra estratificaciones con finas capas de lutitas laminadas, que presentan un fracturamiento laminar. Estas capas exhiben una tonalidad que varía de pardo a marrón oscuro, su color característico se debe al alto contenido de materia orgánica. El material que se encuentra compactando a la lutita, consiste en arena con granos calcáreos y pequeños granos de lodolita, con un diámetro aproximado de 0.5 mm.

En la parte superior de esta estructura descrita se encuentra el afloramiento 8, que continúa manifestando el mismo tipo de roca sedimentaria, pero con un cambio en la tonalidad, la cual es más blanquecina a grisácea. Se ha confirmado que esta roca está compactada por una matriz limo-arenosa que contiene granos de varios tamaños, desde visibles hasta finos y redondeados. La deposición de estos materiales ocurre de forma paralela y horizontal en estratos que tienen menos de 4 centímetros de espesor.

Dentro del barrio Bolonia, se mantiene la presencia de rocas lutitas en los afloramientos, conservando la misma orientación y dirección, como se observa en el afloramiento 9. No obstante, en este caso se trata de lutitas carbonatadas con intercalación de caliza, que varía en la tonalidad desde blanquecina hasta grisácea. Estas lutitas se encuentran unidas o comprimidas por una matriz limo arenosa. En la parte izquierda de este afloramiento, se presenta la lutita con un mayor grado de meteorización, lo que la hace propensa a la fácil rotura. Se puede notar que el afloramiento está compuesto por pequeñas fisuras que podrían evolucionar en cárcavas, lo que podría conducir a la erosión de los materiales sueltos hacia la carretera.

En cuanto al afloramiento 10, se evidencia la presencia de lutita carbonatada con una cantidad mínima de compuestos de calcita.

A mayor prominencia de los afloramientos previamente descritos, se identificó un micropliegue, formado en el afloramiento identificado como 11, es localizado en las zonas más altas del afloramiento 10. Este micropliegue consiste en litologías con estratos paralelos, inclinados y similares a las lutitas mencionadas anteriormente, pero con la distinción de que estas últimas están altamente metamorfozadas y contienen limo de grano muy fino. Su tonalidad varía de grisácea a beige. En la parte derecha de esta estructura, se presenta un micropliegue tipo anticlinal. En el flanco izquierdo del micropliegue, la orientación del rumbo es de $S32^{\circ}W$ con una inclinación de $41^{\circ}SE$. El flanco derecho, por su parte, muestra una orientación de rumbo de $S18^{\circ}W$ y un buzamiento de $61^{\circ}NW$. Cerca de este flanco derecho, se observan nódulos de diatomita

silícica y concreciones carbonatadas con características distintivas, como su coloración blanca y su textura clástica, harinosa y lisa. Estos materiales se presentan en bancos delgados y laminados, tal como se puede apreciar en la Figura 37.

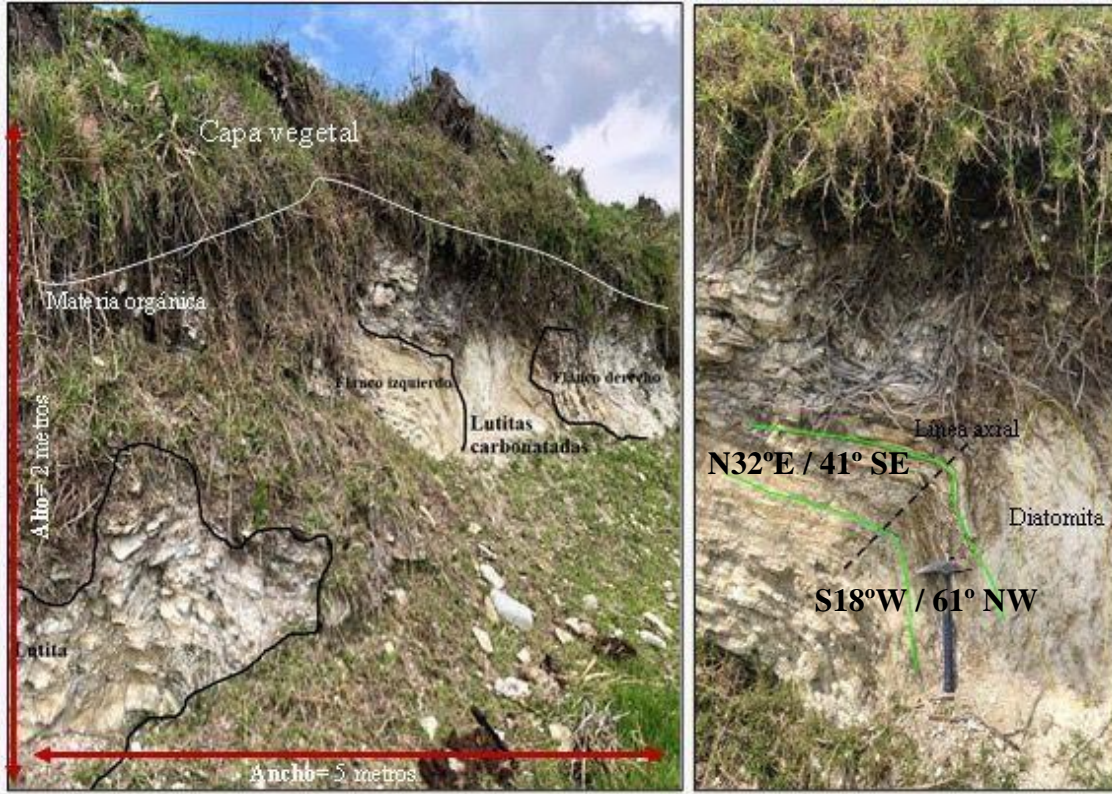


Figura 37. Micropliegue de constitución sedimentario, específicamente lutitas.

En la parte inferior del área de investigación, destacan depósitos de material relacionado con roca limolita detrítica y roca arenisca carbonatada, que es rica en mineral de calcita. Ambos materiales están unidos por una matriz de naturaleza arenosa y arcillosa. Estos materiales se encuentran dispuestos en una estructura estratificada y paralela, con un alto grado de meteorización. En la parte superior izquierda del afloramiento 12, se observan gradualmente capas de cherts de tonalidad negra que están en proceso de oxidación. En la parte central superior de la estructura, se encuentran capas de arcillas que son ricas en sustancias orgánicas por su coloración que varía de marrón oscuro a claro. Estas capas de arcilla se alternan con capas de arenisca y tienen un espesor aproximado de 15 centímetros. Los materiales presentan surcos que han sido formados por agentes erosivos, lo que ha dado como resultado la apariencia de bloques desordenados. En la base del afloramiento, se presentan rocas sedimentarias con una estructura septaria, que se asemeja a concreciones, debido a la circulación libre de agua.

6.1.2.3. Formación Trigal

En la parte occidental del área de estudio, que incluye el barrio Eucaliptos y parte de Bolonia, se encuentran afloramientos sedimentarios del Mioceno del Neógeno. Estos afloramientos experimentan un proceso de meteorización gradual debido a las condiciones climáticas cálidas de la zona. Como resultado de este proceso, los materiales presentan una textura limo-arenosa y la roca arenisca gruesa de color beige petrificada, lo que indica una deposición gradual con un tamaño de grano decreciente. Además, debido a la meteorización y al transporte de fragmentos de rocas más grandes, se puede observar la consolidación de capas sedimentarias en forma de microconglomerados, observables en la parte inferior derecha del afloramiento 13. Estos microconglomerados están compuestos por clastos angulares que son partículas visibles y tienen un tamaño mayor a > 90 mm.

La limolita, ha sido observada de una manera concentrada y conjunta con una matriz arcillosa de alta plasticidad, presentando una estratificación gradual de deposición de litologías de grano creciente, es decir, desde granos finos hasta gruesos. En la parte superior de esta estructura, se encuentra lutita de tonalidad grisácea, y en la parte central se desarrollan arcillas laminadas como resultado de un proceso de hidrólisis al que fue sometido a un material en descomposición. La superficie está cubierta por una espesa capa de clastos angulosos y materiales arenosos meteorizados. Estos clastos son el esquistos y filitas de tamaños pequeños, compuestos mineralógicamente por minerales ferromagnéticos y fragmentos de cuarzo. En la parte inferior o base del afloramiento, se encuentran cubierto por gruesas capas rocas metamórficas como la roca filita y esquisto compuesto de grafito. Estas rocas fueron transportadas por agentes erosivos desde el cerro Villonaco y las zonas altas que conforman la Unidad Chinguinda, obsérvese en el afloramiento 14.

Una pequeña porción de la unidad Chinguinda fue identificada en la dirección Oeste superior del área, específicamente en el afloramiento 14, presenta una litología diversa. En el lado izquierdo de este afloramiento, se encuentra material metamórfico del periodo Paleozoico, compuesto principalmente por esquistos con minerales (feldespáticos) alineados en bandas paralelas. Esta roca tiende a fracturarse de manera irregular y en láminas. En menor porcentaje, se destacan las cuarcitas y filitas de textura laminar, constituidas por micas y diminutos minerales de cuarzo, compactados en un material arenoso de textura terrosa de grano grueso. En el lado derecho del

afloramiento, se presenta material sedimentario del Mioceno, como es la arcillolita de grado medio. Esta roca, identificada en campo, se caracteriza por presentar un alto grado de saturación que la convierte en un material altamente húmedo, por ende su típico color anaranjado, se evidencia en la Figura 38.

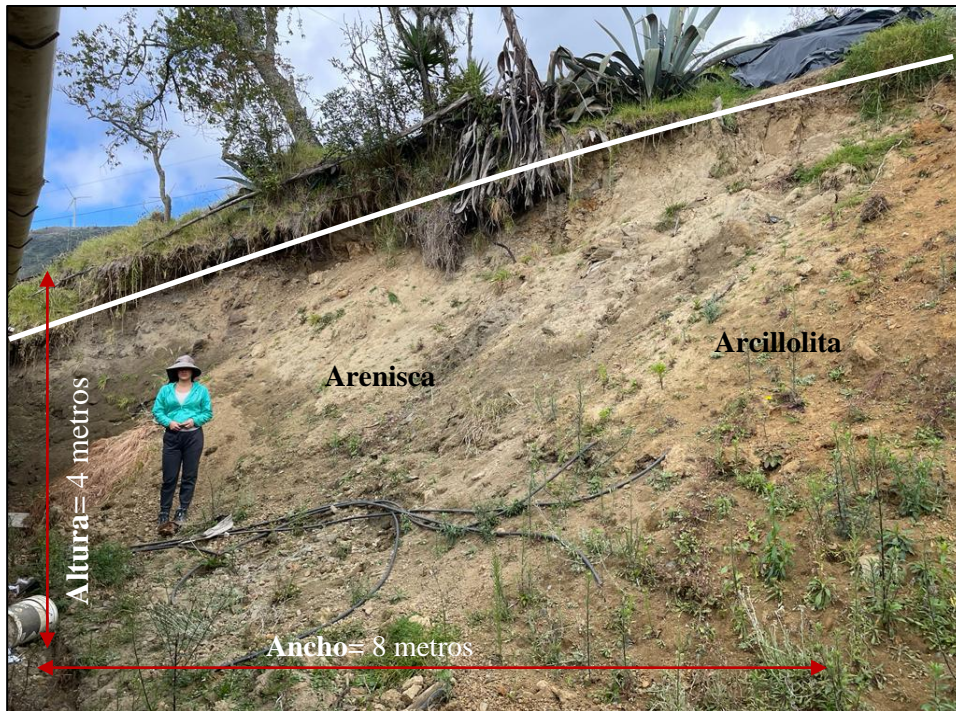


Figura 38. Afloramiento sedimentario con roca altamente saturada.

Finalmente se obtuvo el resultante mapa geológico local (Figura 39) y se puede afirmar que la zona se encuentra asentada subyacentemente en la unidad Chiguinda, la cual está compuesta por rocas de origen metamórfico. De manera discordante con la unidad Chiguinda, se ubica la formación Trigal, que se originó como resultado de la acumulación de sedimentos lacustres en un entorno fluvial. Esta formación está compuesta principalmente por arenisca gruesa, intercalada con finas capas de microconglomerado.

abarcan unas 13.91 hectáreas. Estos materiales tienden a ser menos compactos y más sueltos en comparación con las rocas previamente mencionadas. La formación Belén está compuesta principalmente por arenisca de grano fino a grueso, con intercalaciones de calizas y escasas lutitas, todo ello comprimido en una matriz arcillosa.

Por último, se destaca la presencia de depósitos coluviales que abarcan una extensión de 1.40 hectáreas. Estos depósitos se formaron como resultado de procesos de erosión en las laderas y la influencia de la gravedad, lo que dio lugar a una mezcla heterogénea de partículas de diversos tamaños y tipos de materiales. Estos materiales, debido a su nivel de metamorfismo, tienden a ser vulnerables a los deslizamientos (Anexo 10).

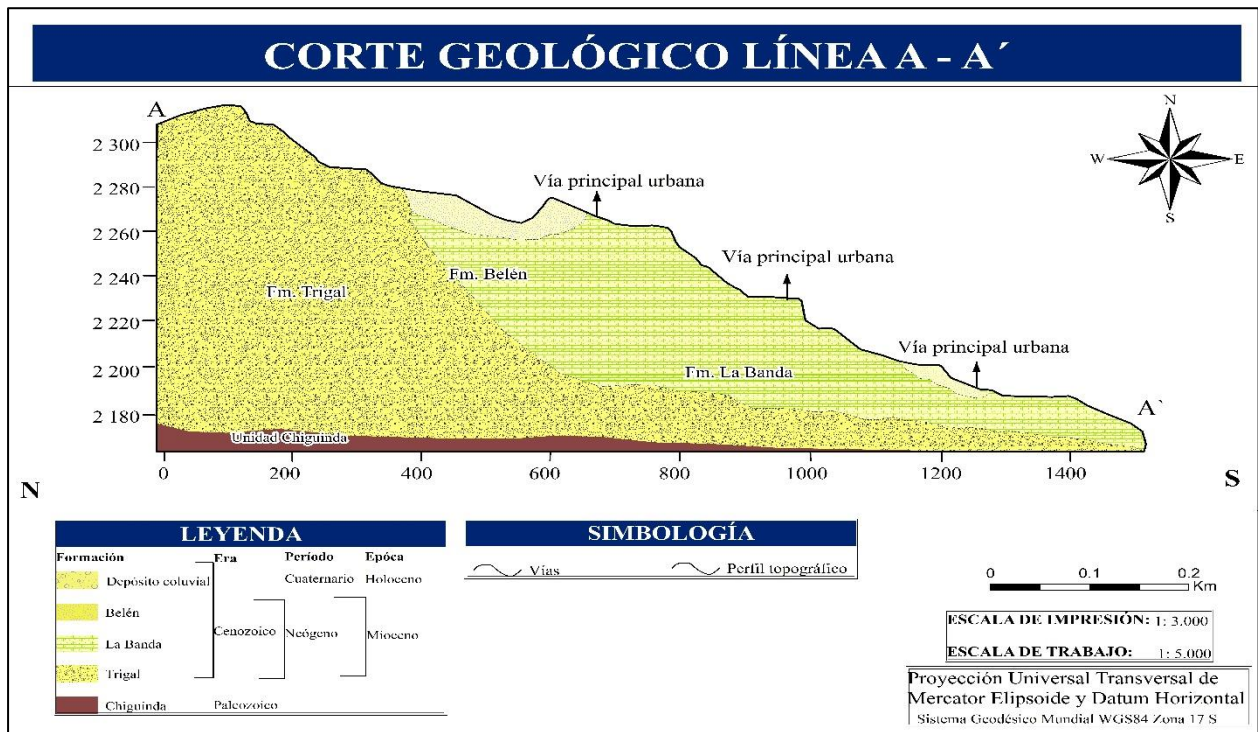


Figura 40. Corte geológico A-A' vertical del área de estudio

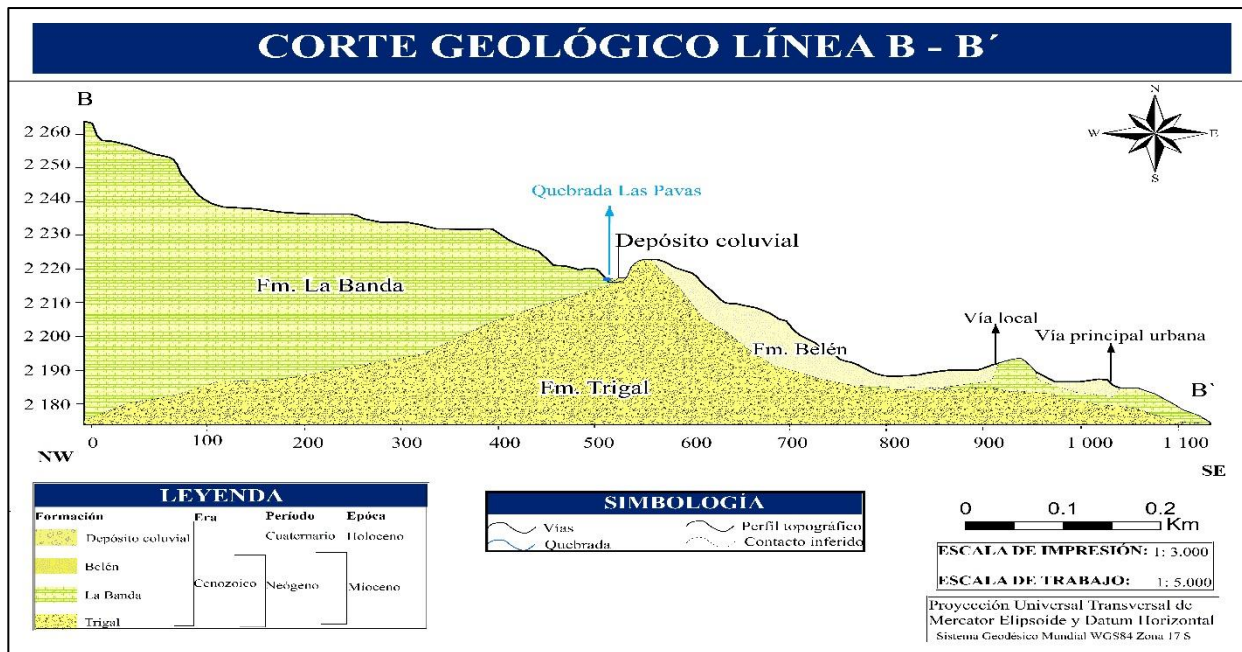


Figura 41. Corte geológico B-B` horizontal, del área de estudio

6.2. Resultados del segundo objetivo

Esta sección de estudio se centra en el análisis detallado y específico de los modelos resultantes, a través del software Res2dinv. El periodo de la señal empleado en cada uno de los tendidos geos eléctricos se estableció en 20 segundos, durante inyecciones activas que abarcaron aproximadamente 1 hora y 30 minutos. La duración de estas inyecciones se ajustó según la necesidad de recopilar datos suficientes para múltiples algoritmos y análisis estadísticos del programa. La representación simplificada y conceptual de la distribución de resistividad en el subsuelo se obtuvo mediante la generación de 10 modelos de pseudosección.

6.2.1. Modelo de líneas geofísicas.

Se analizó el modelo derivado de dos líneas geofísicas altamente representativas en la zona de estudio: la línea geo eléctrica 1 y la línea 7, seleccionadas debido a que su tendido fue sobre los dos deslizamientos, que serán descritos en el resultado del tercer objetivo.

La Figura 42 presenta tres gráficos:

La gráfica A muestra el patrón y la variación de la resistividad de los datos en el campo, así como los valores invertidos obtenidos a partir de estos datos (datos medidoso invertidos). En el eje vertical se representa la posición a lo largo del perfil del terreno, medida en metros, y en el eje horizontal se representa la resistividad eléctrica en ohmios por metro (*ohm-m*).

Por otro lado, la gráfica *B* muestra una sección del modelo de resistividad basado en los datos calculados; son los valores obtenidos mediante la inversión del programa a partir de las mediciones de resistividad realizadas en el campo. En el lado izquierdo de la pseudosección, se presentan los valores calculados en líneas continuas, lo que representa las variaciones de resistividad a diferentes profundidades.

La figura *C* representa el modelo de *resistividades reales* obtenido mediante un proceso de inversión que incluyó modificaciones de los parámetros mencionados previamente y la comparación de criterios de error del RMS. Este proceso permitió obtener resultados que se acercan a la realidad del subsuelo.

Es frecuente observar formas cónicas en los modelos, donde las resistividades disminuyen o aumentan gradualmente a medida que se profundiza en el subsuelo. Estas formas cónicas podrían indicar la presencia de un lente o cuerpo de material con propiedades eléctricas distintas. También se pueden identificar formas irregulares que están relacionadas con características geológicas específicas, como fallas, fracturas, cavidades o intrusiones, y que generan cambios abruptos en las resistividades.

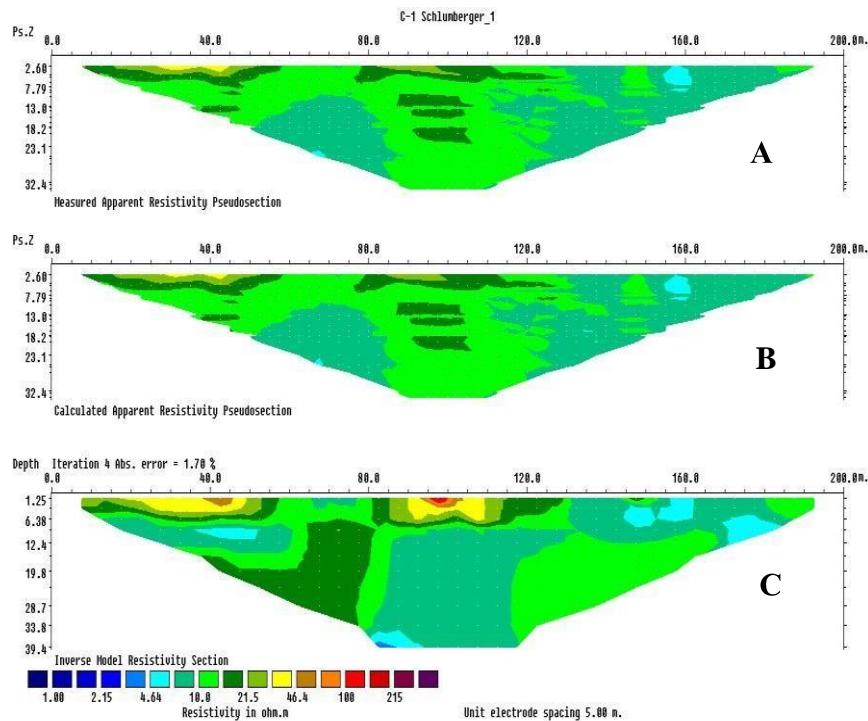


Figura 42. Modelo de resistividad eléctrica, línea geo eléctrica 1

La topografía afecta la distribución de la corriente eléctrica en el subsuelo. Integrar datos

topográficos en el programa permitió corregir los datos de resistividad eléctrica para tener en cuenta la variación en la profundidad de los electrodos y obtener resultados más precisos. Además de una mejor visualización más realista de cómo se distribuyen las propiedades eléctricas en relación con la superficie del terreno.

El perfil de la Figura 43, muestra la topografía del terreno después de haber aplicado la corrección para eliminar tendencias topográficas. Las tendencias topográficas son las variaciones suaves y continuas en la elevación del terreno, las cuales pueden afectar las mediciones de resistividad eléctrica. La eliminación de tendencias es un paso importante para asegurar de que las mediciones reflejen principalmente las variaciones en la resistividad del subsuelo y no estén influenciadas por cambios en la elevación del terreno.

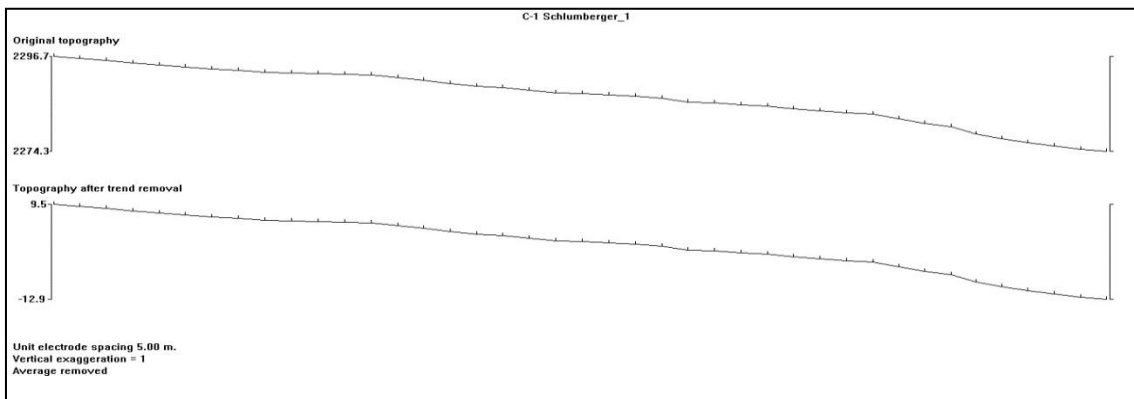


Figura 43. Perfil topográfico de la línea geo eléctrica 1

Los valores calculados durante el proceso de inversión, como las resistividades eléctricas estimadas para diferentes capas o bloques del subsuelo, así como otros parámetros relacionados con el modelo geofísico obtenido. Se los puede analizar en la Figura 44, son valores esenciales para interpretar y comprender las características del subsuelo y las propiedades eléctricas del mismo a partir de los datos de resistividad eléctrica recopilados en el campo:

- **Puntos de referencia totales:** El software discurrió como primera tendencia a mediciones como un "punto de referencia", a los puntos distribuidos en el largo de las líneas de perfil geofísico. En comparación con el total de puntos de referencia, se refiere a la suma de todos los puntos de referencia en todos los perfiles utilizados en el estudio. Es decir, es la cantidad total de mediciones de resistividad aparente que se han realizado durante el proceso de inversión. En este caso, 487 puntos de referencia fueron utilizados para realizar la inversión y generar el modelo de resistividad.

La distancia horizontal entre los puntos donde se tomaron las mediciones de resistividad aparente en el campo. Se utilizó para calcular la resistividad aparente en función de la distancia, estas distancias son las que se manipulan para calcular la resistividad aparente en cada punto.

En el resultado del modelado, serían que estos 487 puntos se encuentran en una “x-distancia horizontal” de referencia a lo largo de la línea y el valor "9.0332" representa esa distancia horizontal entre cada uno de estos puntos de medición. Es decir, la distancia entre cada punto de medición sería de aproximadamente 9.0332 metros.

- **Capas:** En cuanto a las capas que presentaron todas las líneas geofísicas, fueron 11, y representan divisiones horizontales en el subsuelo a diferentes profundidades. Tener 11 capas significa que estás considerando 11 niveles diferentes de profundidad en el subsuelo. Cada capa tiene un espesor específico y se asume que la resistividad dentro de cada capa es constante.
- **Bloques:** Dentro de cada capa, el software Res2dinv dividió el área en bloques más pequeños, en un total de 280 bloques en todas las líneas. Estos bloques representan volúmenes discretos dentro de cada capa y son la unidad básica de modelado. La resistividad asignada a cada bloque se ajusta durante la inversión para lograr el mejor ajuste posible entre los datos medidos y el modelo.
- Los 280 bloques significaron que se está subdividiendo cada capa en un total de 280 áreas discretas, cada una de las cuales tiene su propia resistividad asignada. Como se obtuvo un número alto de bloques, se logró una alta resolución espacial en la interpretación, ya que se puede detectar cambios sutiles en la resistividad a pequeña escala.
- **Interacción:** El objetivo de esta fase, es indicar como se considera la interacción entre los bloques durante el proceso de inversión. Representa una ponderación o ajuste que el software efectúa para que los valores de resistividad de bloques adyacentes se ajusten de manera más coherente.

El programa, como tal, permitió una interacción máxima de 4. Por lo tanto, en la línea geofísica 1, se alcanzó un valor de 5.93. Indica que durante la primera interacción del proceso de inversión, se otorgó un peso significativa a la interacción entre bloques. La última interacción arrojó un valor de 1.70 (RMS), un valor muy bajo en comparación

con las 3 interacciones iniciales y pueden ser observadas en la ilustración 44. Las interacciones resultantes indican la influencia mutua entre los bloques que se consideran con menos énfasis, permitiendo que el modelo se acerque aún más a una solución final ajustada a las mediciones y refleje mayor precisión las propiedades del subsuelo.

- **Resistividad de referencia:** Los valores de resistividad de referencia obtenidos en la línea fueron de 10.91; es un valor de resistividad que se toma como base para la inversión de los datos y la generación del modelo de resistividad. El dato mencionado es un parámetro que el software utiliza para calibrar y ajustar las resistividades en las interacciones del modelo para que se acerquen a las mediciones reales del suelo.
- **Sensibilidad promedio.** La sensibilidad promedio final que dio la inversión, es de 3.81. Pequeña variación en los valores de resistividad en el subsuelo, que ha afectado a las mediciones de resistividad aparente. Por esta razón, las mediciones en el perfil contribuyen de manera significativa, pero no extremadamente alta, a la construcción del modelo final de resistividad. Esto sugiere que las mediciones tienen una importancia intermedia en términos de su capacidad para mejorar la precisión y la representación en modelo final.

```
C-1 Schlumberger_1
Electrode spacing is 5.000.
General array
Wenner-Schlumberger array arrangement
No user defined model depths.
Total number of datum points is 487.
X-distances are surface distances.
487 9.0332
Number of electrodes is 41
Number of data levels is 23.
Topography present 2.
Minimum and maximum electrode locations are 0.0 and 200.0.
Line length is 200.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Reading inversion results.
The model has 11 layers and 280 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 5.93.
Iteration 2 : Abs. error 2.97.
Iteration 3 : Abs. error 2.07.
Iteration 4 : Abs. error 1.70.
Reference resistivity used is 10.913
Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 3.810.
Inversion constraints information present.
```

Figura 44. Resultados, de la inversión en la línea 1

La representación del modelo de la línea geofísica 7 se muestra en tres gráficas distintas.

La gráfica A presenta un ligero cambio en los patrones en la sección del modelo de datos medidos, con variaciones de resistividad baja consolidadas en estructuras de forma elongada.

El apartado B del modelo de datos calculados en la Figura 45, mantiene un patrón similar de resistividades, reflejando elongaciones horizontales centrales con pequeñas variaciones en los valores de resistividad. Estos valores tienden a aumentar a medida que se profundiza en el subsuelo. Los modelos indican una concordancia entre los datos medidos y los datos calculados en el apartado B, lo que sugiere una buena calidad en el ajuste de la inversión de los datos originales.

Las estructuras alargadas o elongadas representadas en los modelos indican que las resistividades cambian gradualmente con la profundidad, creando una tendencia alargada en el perfil. Esto puede indicar la presencia de capas inclinadas o una transición gradual entre diferentes tipos de roca o sedimento. En otras palabras, estos modelos reflejan la distribución relativa de resistividades en las unidades geológicas, representadas por líneas continuas que convergen en la parte central de los modelos.

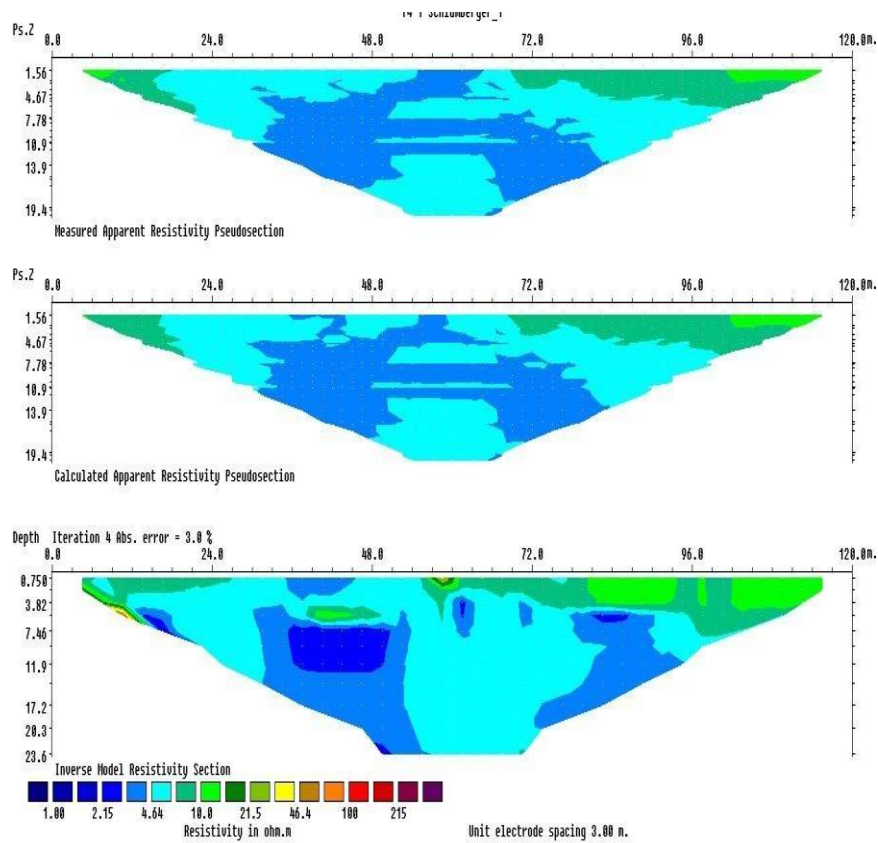


Figura 45. Modelo de resistividad eléctrica, línea 7


```

T4-4 Schlumberger_1
Electrode spacing is 5.000.
General array
Wenner-Schlumberger array arrangement
No user defined model depths.
Total number of datum points is 480.
X-distances are surface distances.
480 9.0853
Number of electrodes is 41
Number of data levels is 23.
Topography present 2.
Minimum and maximum electrode locations are 0.0 and 200.0.
Line length is 200.0.
Minimum electrode spacing is 5.0.
Reading inversion results.
The model has 11 layers and 280 blocks.
Iteration 1 : Abs. error 4.63.
Iteration 2 : Abs. error 3.77.
Iteration 3 : Abs. error 2.38.
Iteration 4 : Abs. error 2.01.
Reference resistivity used is 5.743
Topographical data present in inversion file.
Damped topography was incorporated into inversion model.
Blocks sensitivity information present.
Average sensitivity is 3.432.
Inversion constraints information present.

```

Figura46. Resultados, de la inversión de la línea 7

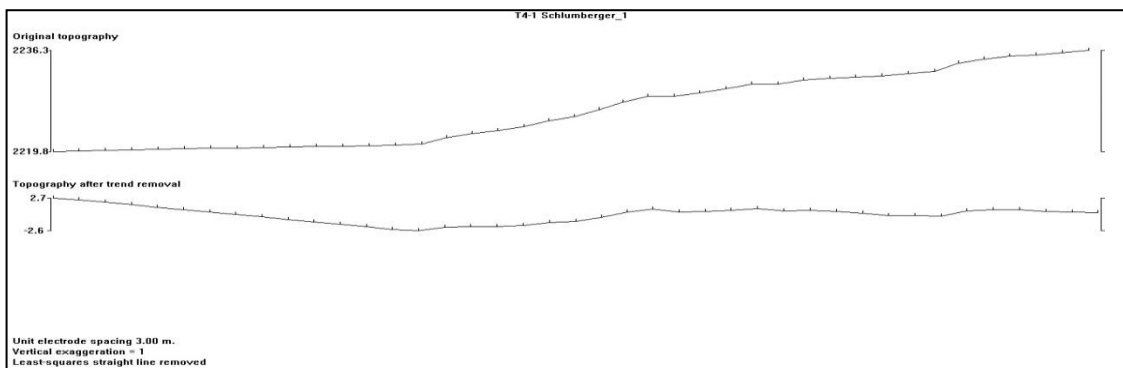


Figura 47. Perfil topográfico de la línea geofísica 1

El resultado del objetivo, se enfoca en dos líneas geofísicas relevantes para futuros estudios geotécnicos. Son descritos detalladamente en los resultados siguientes; sin que se minimice la importancia del conocimiento de los otros modelos de resistividades eléctricas de las demás líneas geofísicas.

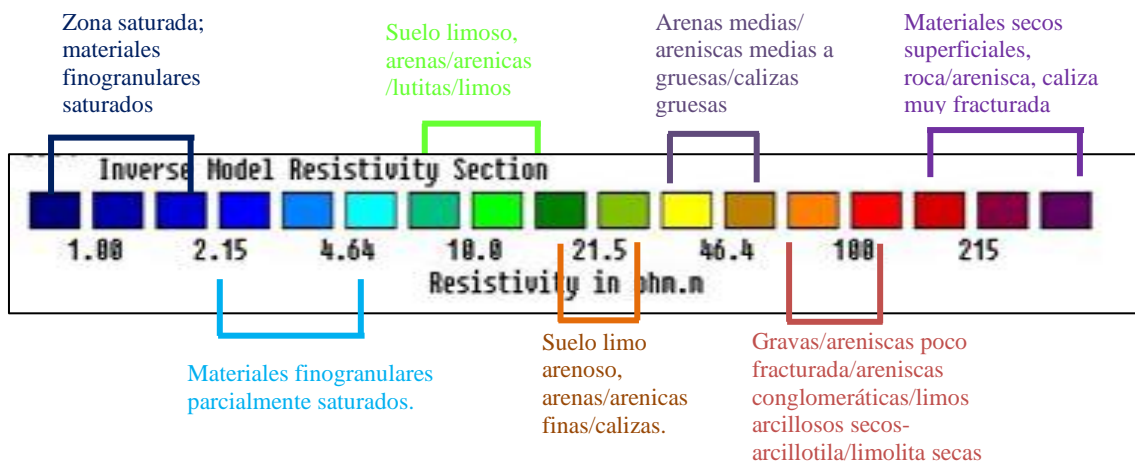
En la tabla 12, se proporciona información clave sobre los diferentes aspectos de las líneas geofísicas, como: el error absoluto, el total de puntos de referencia, los valores de referencia de resistividad y los valores de sensibilidad promedio. Estos datos son esenciales para evaluar y comprender la calidad y precisión de las mediciones realizadas en cada línea durante el proceso de tomografía eléctrica.

Tabla 12. Aspectos del proceso de inversión las líneas geofísicas.

Líneas geofísicas	Interacciones	Error absoluto	Total de puntos de referencia	Valores de referenciade resistividad	Sensibilidad promedio
1	4	1.70	487	10.91	3.81
2		3.20	506	12.16	4.21
3		3.03	499	9.19	3.90
4		2.01	480	5.74	3.43
5		2.25	511	9.76	3.72
6		2.30	482	9.76	3.62
7		2.67	485	5.45	3.81
8		3.63	502	39.10	4.25
9		2.34	517	15.15	4.1
10		2.21	493	4.65	3.78

El programa utiliza un logaritmo de intervalos de contorno para las pseudosecciones y secciones del modelo a mostrar. Sin embargo, dado que la zona consiste en materiales homogéneos se ha optado por elegir la opción denominada "intervalos de contornos logarítmicos definidos por el usuario". En esta opción, se han personalizado los intervalos de valores mediante la configuración "1.47 (6 contornos por década)". La configuración se refiere a la razón entre los valores de resistividad en cada intervalo logarítmico. En este caso, 1.47 significa que los valores en cada intervalo logarítmico serán aproximadamente 1.47 veces mayores que los valores en el intervalo anterior. Además, los "6 contornos por década" se refiere al número de líneas de contorno que se trazarán en cada década logarítmica para ayudar a visualizar de manera equilibrada las variaciones a lo largo de diferentes rangos de resistividad. Por ello, la escala logarítmica para todas las líneas geofísicas se mostrará desde valores iniciales de 1 hasta 257 $\text{ohm}\cdot\text{m}$, representadas en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de resistividades, ajustados a los modelos de resistividad real



6.3. Resultados del tercer objetivo

Los modelos de resistividades verdaderas que se obtuvieron a través de un proceso de configuración de inversión, nos orientaron en detectar y comprender la variedad de características y fenómenos geológicos que presenta la Figura 48.

Mediante la aplicación de las tomografías, las líneas geofísicas fueron tendidas sobre dos deslizamientos. De tal modo, que en el presente objetivo se presenta el mapa geológico que fue desarrollado conjuntamente con el primer objetivo, para poder comprender la distribución de las líneas geofísicas señaladas en el segundo objetivo y digitalización de los deslizamientos mencionados (Anexo 11).

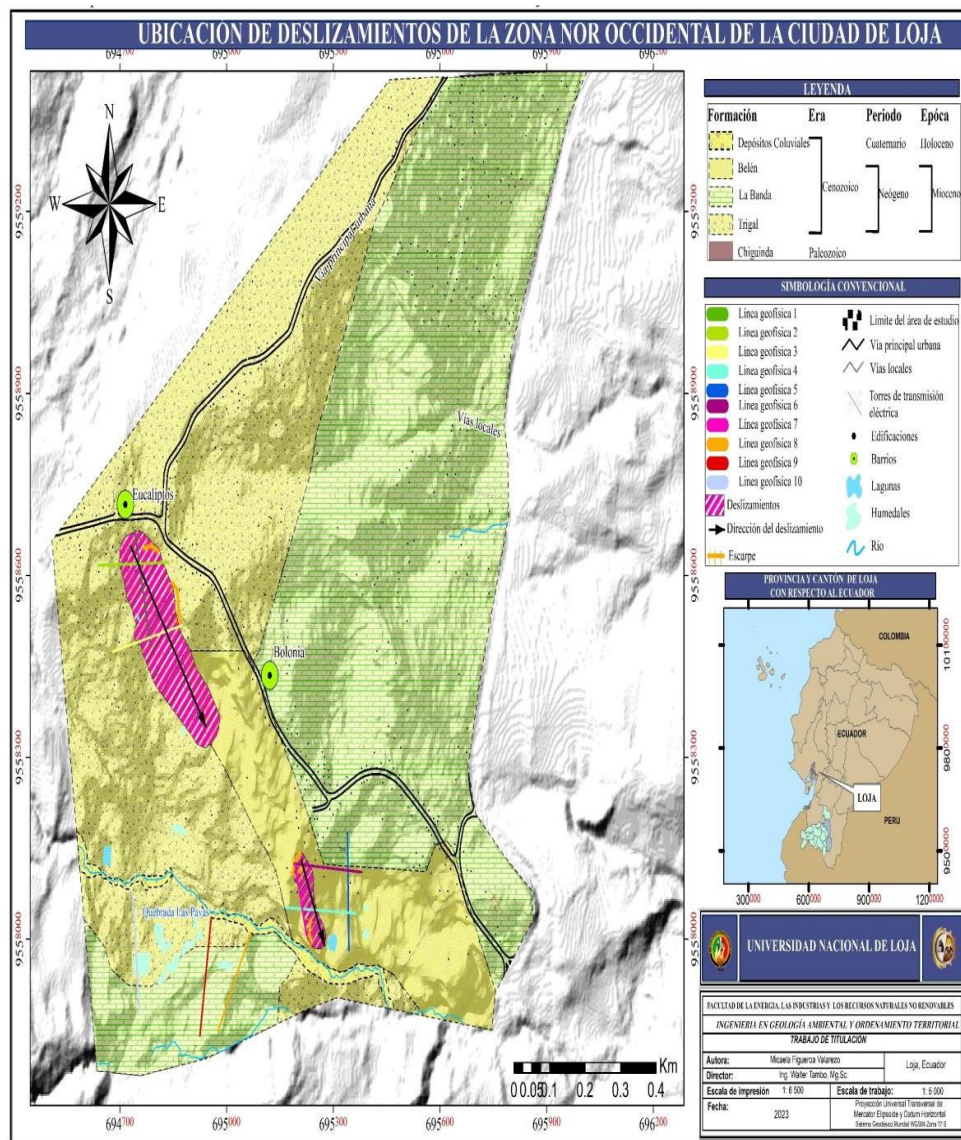


Figura 48. Ubicación de los deslizamientos inactivos, del lugar

6.3.1. Interpretación de la línea geo eléctrica 1.

6.3.1.1. Caracterización del deslizamiento 1

Con el análisis de las condiciones topográficas irregulares y con el estudio de la guía de la clasificación de Varnes, se identificó la presencia de un deslizamiento de tipo traslacional, observable en la Figura 49. El deslizamiento se encuentra localizado en las coordenadas geográficas X: 694805; Y: 9558523, próximo a la vía Villonaco y a la capilla Eucaliptos. En cuanto, a las características físicas, se observó una superficie del terreno desordenado, distinguidos por la presencia de múltiples grietas de considerable dimensión y resaltables áreas con saturación de agua. Estos indicios sugieren que el deslizamiento se encuentra en un estado latente y podría experimentar una reactivación en algún momento. El suelo se compone principalmente de materiales sedimentarios de tonalidad marrón clara, que están cubiertos por una capa orgánica húmeda. En esta capa se pueden encontrar detritos, arenas gruesas y medianamente compactas, todos ellos en una matriz limosa. Además, se observan bloques metamórficos trasladados, que han sido desplazados por procesos de erosión y que son cuantificables en la zona.

Además, es importante destacar que las estructuras residenciales presentan evidentes signos de deterioro, con fallos en los materiales estructurales alineados en la misma dirección que el movimiento del deslizamiento.



Figura 49. Deslizamiento traslacional, caracterizado en el área de interés

Detallando las características principales del deslizamiento, observables en la Tabla 14 y las características que han sido destacadas en campo; se puede asentar que el deslizamiento es de tipo traslacional, por las siguientes consideraciones; Se originó en una pendiente pronunciada y en superficies relativamente planas o ligeramente onduladas en combinación con suelos residuales, lo cual son condiciones propicias para la ocurrencia de estos deslizamientos. En la parte superior de la ladera, se produce una zona de hundimiento leve, mientras que en la parte inferior no experimentó una rotación significativa o un volteo. Además, la inclinación de los árboles y vegetación, encontrados en la cercanía de la cabeza y pie del deslizamiento, tienden a inclinarse en la misma dirección debido al movimiento horizontal. Finalmente se puede destacar que, con dependencia a lo justificado por (Suárez Díaz Jaime, 2009), en su libro denominado “Deslizamientos: Análisis geotécnico”, en donde establece que; si la relación de D_r/L_r de un desplazamiento, es menor a 0.1 se lo considera traslacional. Por lo cual, se procedió a relacionar los dos componentes del deslizamiento, con un D_r de 40 y un L_r de 295, dando como resultado 0.13, e indicando un desplazamiento predominantemente horizontal.

Se determinó que el movimiento del deslizamiento es hacia el Sur Este. En donde, se han formado múltiples escarpes claramente visibles en el terreno. Y se estimó que las dimensiones del deslizamiento son de 328 metros de largo y 129 metros de ancho. El volumen inicial del deslizamiento, antes de su deterioro, se calcula en $1,089,763 m^3$, con un volumen desplazado de $60,439 m^3$. Se estima que la superficie de ruptura se encuentra a una profundidad de 40 metros. Las medidas de la morfometría, puede ser comparada con la Tabla 14 y Figura 50.

Tabla 14. Características principales del deslizamiento 1

DATOS GENERALES DEL DESLIZAMIENTO					
Tipo de deslizamiento	Traslacional				
Estado del deslizamiento	Activo:		Reactivado:	x	Latente:
	Estabilizado:		Relicto:		
Pendiente	Plana de 0 a 2%		Muy suave de 2 a 5%	x	Suave de 5 a 12 %
	Media de 12 a 25 %		Media a fuerte 25 a 40%		Fuerte 40 a 70 %
	Muy fuerte 70 a 100%		Escarpado > a 100%		
Causas del deslizamiento	Erosión fluvial:		Deforestación:		Deficiencia de sistemas de drenaje: x
	Socavación:		Erosión pluvial:		Vibración artificial:
	Mov. Tectónico:	x	Sismo:		Lluvias: x
Velocidad	Rápido:		Moderado:		Lento: x
Material (%)	Roca:	10	Suelo:	60	Detrito: 30
Composición (%)	Bloques:		Grava:		Arena: 30
	Limo:	40	Arcilla:	10	Mat. Orgánica 20
Humedad del suelo	Seco:		Lig. Humedo:		Humedo: x
	Muy humedo:		Mojado:		
Origen del suelo	Residual:		Sedimentario:	x	Coluvial:
	Volcánico:				
MORFOMETRÍA					

GENERAL		DIMENSIONES			
Diferencia de altura corona a punta (m)	40	Ancho de la masa desplazada, Wd (m)	122	Volumen inicial (m3)	1089763.6
Longitud horizontal corona a punta (m)	336	Ancho de la superficie de ruptura, Wr (m)	129.15	Volumen desplazado (m3)	60439.07
Pendiente en ladera en post falla (°)	5.71	Longitud de la masa desplazada, Ld (m)	3	Área inicial (m2)	42590.34
Dirección del movimiento	NW-SE	Longitud de la superficie de falla, Lr (m)	295	Área desplazada (m2)	44078.92
Azimut de la ladera	160°	Espesor de la masa desplazada Dd, (m)	4	Deformación del terreno	
		Profundidad de superficie de ruptura, Dr (m)	40	Ondulación	x
		Longitud total, L (m)	328	Escalonamiento	

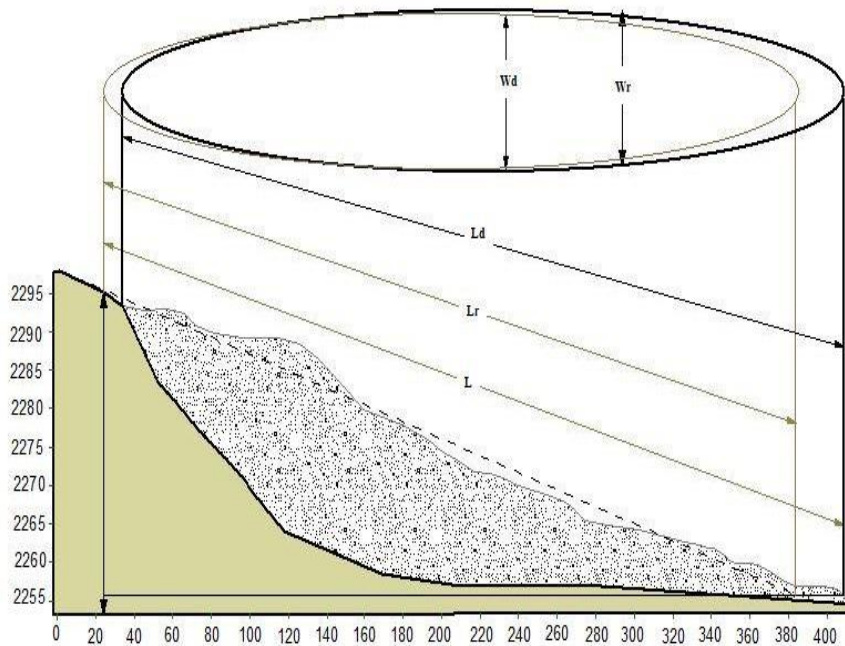


Figura 50. Morfometría del deslizamiento 1

Continuando con la interpretación de la línea geofísica número 1; la cual se encuentra ubicada al Nor-Oeste de la zona de estudio, frente a la iglesia del Barrio Eucalipto. Se la predispuso en dirección Norte -Sur aproximadamente a 185°, diagonal a unos pocos metros de la gran depresión morfológica originada en la vía Villonaco. El tendido de la línea tuvo una longitud total de 200 metros, con la aplicación de 42 electrodos y separados cada 5 metros entre sí.

Se observa en la Figura 26 que las líneas de medición ERT 1, 2 y 3 están dispuestas de manera perpendicular. Las líneas están posicionadas en la dirección del deslizamiento. La línea geofísica 1 presentada en la Figura 51, presenta tres composiciones de resistividades, típicas de la formación Trigal; las cuales son:

Resistividad baja. – En ambos lados, de izquierdo a derecho del perfil, surgen anomalías de espesores menores a 5 metros, con una tonalidad celeste clara (A), poseen resistividades de 4.64 *ohm·m* aproximadamente. Esto, da a entender la presencia de unidades de limolitas formadas de tamaño intermedio de arena y arcilla, típicas de la Formación el Trigal, constituido por intercalaciones de arcillas expansivas.

Resistividad media. – Los materiales que muestran un tono de color verde claro corresponden a una resistividad de 21.5 *ohm·m*. Esta sección presenta una orientación paralela a la superficie (C) en comparación con las otras capas o contactos. El cambio en la dirección y la falta de continuidad en el tipo de resistividad podrían indicar la presencia de una discontinuidad de estratos en los materiales. Esto puede ocurrir debido a tensiones que generan fracturas, fisuras o cambios en la orientación de las capas geológicas existentes. Además, la presión y el movimiento del material deslizado pueden dar lugar a la separación o desconexión de estratos que antes estaban unidos de manera continua. También es posible que la infiltración de agua en las capas debilite la cohesión entre los estratos y contribuya a la formación de discontinuidades.

La mayoría de los materiales con esta resistividad se infiltran sobre las lutitas (B), que se encuentran en el centro del perfil. La zona, con este valor eléctrico sugiere que se trata de rocas pertenecientes a la formación Trigal, específicamente areniscas de grano grueso con un bajo grado de saturación. La mayor parte de los resultados obtenidos del modelo concuerdan con materiales que tienen resistividades menores a 10 *ohm·m*. Los materiales son principalmente lutitas arcillosas ricas en óxidos de hierro, así como areniscas que contienen agua en sus poros. La profundidad de estas capas puede alcanzar hasta 30 metros.

Resistividad alta. – La resistividad en el lateral izquierdo es alta, con un valor de 46.4 *ohm·m*. Se encuentran materiales altamente competentes y compactados, como arenisca fracturada y posiblemente material metamórfico debido al desplazamiento de rocas de las laderas superiores (D), por ende, se acumula en la parte superficial directamente. Contienen diferentes conductividades, lo que explica las variaciones leves en las tonalidades. La composición se repite a lo largo de 90 metros en la superficie.

El plano de rotura se ha manifestado en estos materiales sedimentarios, particularmente en las capas que presentan inclinación o debilitamiento debido a fracturas y a la saturación de agua en las rocas. La formación del plano de rotura conduce al desplazamiento de una porción de la masa de suelo sobre otra y se estima que ocurre a una profundidad aproximada de 40 metros a lo largo del perfil.

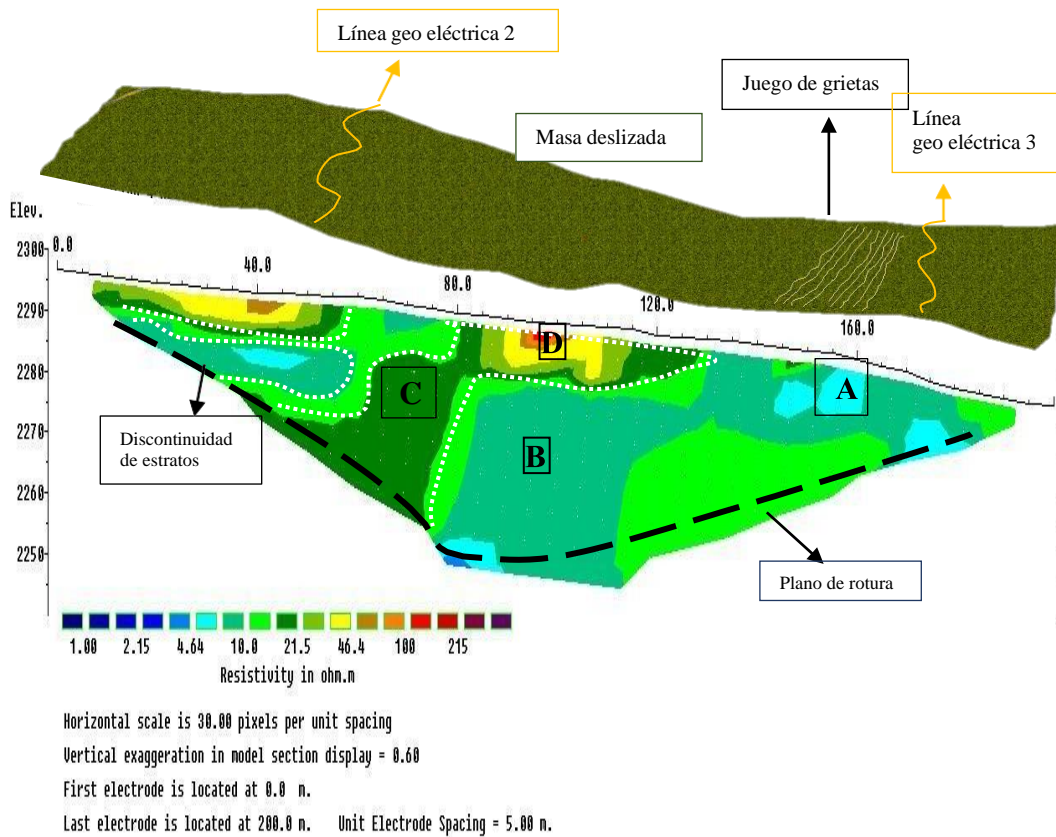


Figura 51. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 1

Tabla 15. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 1

Zona geo eléctrica	Resistividad $Ohm \cdot m$	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10	Suelo limoso, compuesto por lutitas arcillosas y presencia de arenisca saturadas de agua.
C	21.5	Suelo limo arenoso, compuesto por areniscas medias y presencia de calizas gruesas
D	46.4	Materiales superficiales secos, constituidos por arenisca poco fracturada y seca.

6.3.2. Interpretación de la línea geo eléctrica 2.

La línea geofísica número 2, se encuentra ubicada al Nor-Oeste de la zona de estudio, frente a la iglesia del Barrio Eucalipto. Se la dispuso en dirección Este – Oeste aproximadamente a 98°, paralelo y en sentido horizontal, a unos pocos metros de la gran depresión morfológica de la vía. El tendido de la línea se encuentra asentada perpendicularmente a la línea geo eléctrica 1, en la parte superior del movimiento en masa, a una longitud total de 200 metros, con la implementación de 42 electrodos y separados cada 5 metros entre sí. Se utilizó la configuración Schlumberger.

Resistividad baja. – En el perfil geofísico analizado, se han identificado valores de resistividad extremadamente bajos, alcanzando 1 *ohm-m*, principalmente en el lado derecho del perfil, tanto a una profundidad de 5 metros como a 35 metros (Zona A). Estos valores indican de manera evidente la presencia de zonas saturadas o niveles freáticos a esas profundidades. La tendencia observada en la resistividad muestra cambios graduales a medida que se profundiza, sugiriendo la existencia de acumulaciones ascendentes de agua, probablemente relacionadas con las precipitaciones y posibles fugas en las estructuras subterráneas de conducción de fluidos, indicando la probabilidad de un plano de rotura a 35 metros de profundidad.

El lado izquierdo del perfil, se distinguen materiales con menor conductividad eléctrica, especialmente una resistividad de 10 *ohm-m*. Estos valores se corresponden con rocas más densas y compactas, específicamente lutitas levemente saturadas y presentes en suelos limo arenosos, se lo puede observar en la sección (B).

Resistividad media. – Desde la superficie hasta las capas más profundas, se prevé la presencia de un material ligeramente más compacto, que domina en todo el modelo geofísico. Esta formación muestra una conductividad eléctrica moderada y una resistividad de 21.5 *ohm-m*, principalmente en la parte central del perfil (C), identificada por su tonalidad verde oscuro. La secuencia central del perfil de la línea 1, es compuesta por roca arenisca, intercalada de caliza con bajo grado de saturación y arenisca fina.

Resistividad alta – En la zona D, se observa claramente la presencia de bloques con potencias desde 10 metros constituidos de materiales altamente compactados, tales como rocas fracturadas como arenisca seca e incluso material metamórfico perteneciente a la formación Chiguinda, posiblemente ha sido arrastrado desde las partes superiores de la zona de estudio. Sin

embargo, como se mencionó anteriormente, estos materiales solo se encuentran en las capas superficiales y muestran un asentamiento progresivo y temporal. Estos materiales tienen una resistividad alta que varía de 46.4 a 100 $ohm \cdot m$ y su condición de compactación es variable, ver en la Figura 52.

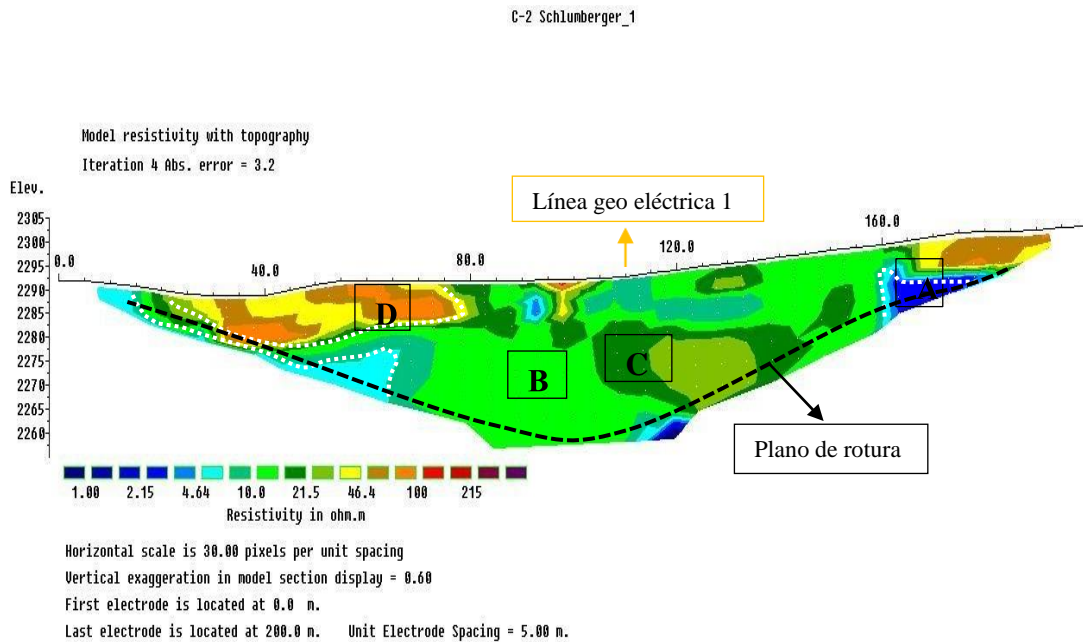


Figura 52. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 2

Tabla 16. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 2

Zona geo eléctrica	Resistividad $Ohm \cdot m$	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10	Suelo limoso, compuesto por lutitas; arenisca saturadas de agua.
C	21.5	Suelo limo arenoso, compuesto por areniscas medias y presencia de calizas gruesas
D	46.4	Materiales superficiales secos, constituidos por arenisca poco fracturada y seca.

6.3.3. Interpretación de la línea geo eléctrica 3.

La línea geofísica número 3, se encuentra ubicada al Nor-Oeste de la zona de estudio, frente a la iglesia del Barrio Eucaliptos. Se la predispuso en dirección Este – Oeste aproximadamente a 286°, perpendicular a la línea 1. El tendido de la línea tuvo una longitud total de 200 metros, con

la implementación de 42 electrodos y separados cada 5 metros entre sí. Se utilizó la configuración Schlumberger.

Resistividad baja. – La Figura 53, exhibe una secuencia de estratos horizontales con distintas resistividades, destacando una capa central de baja resistividad, alrededor de 4.64 a 5 *ohm-m* con un espesor de 25 metros, sección (A). Esta capa se encuentra entre estratos de roca limolita con intercalaciones de capas saturadas de arenisca y bloques de arcilla de conductividad moderada. Este tipo de material nos orienta a identificar el plano de rotura, a una profundidad de 30 metros.

Resistividad media. – A una profundidad de 45 metros, en la sección identificada como componente (B), se identifica capas con resistividades de alrededor de 10 *ohm-m*. Esta capa está mayormente conformada por areniscas gruesas y compactas, que presentan variaciones cromáticas que oscilan desde tonos verdosos claros hasta oscuros. En esta capa también se encuentran presentes calizas y sedimentos más densos en suelos limosos. Es importante destacar que estas capas poseen una orientación predominante hacia el Oeste con respecto a la línea geofísica. Así mismo, en la porción superficial del perfil geofísico, se identifica nuevamente la presencia de este tipo de material. Aquí, se observa la existencia de bloques de rocas fracturadas de dimensiones menores a 5 metros. A consecuencia, se puede inferir que se encontró un suelo caracterizado por una estratificación horizontal. Esta característica puede indicar un cambio en las condiciones de deposición sedimentaria a lo largo del tiempo.

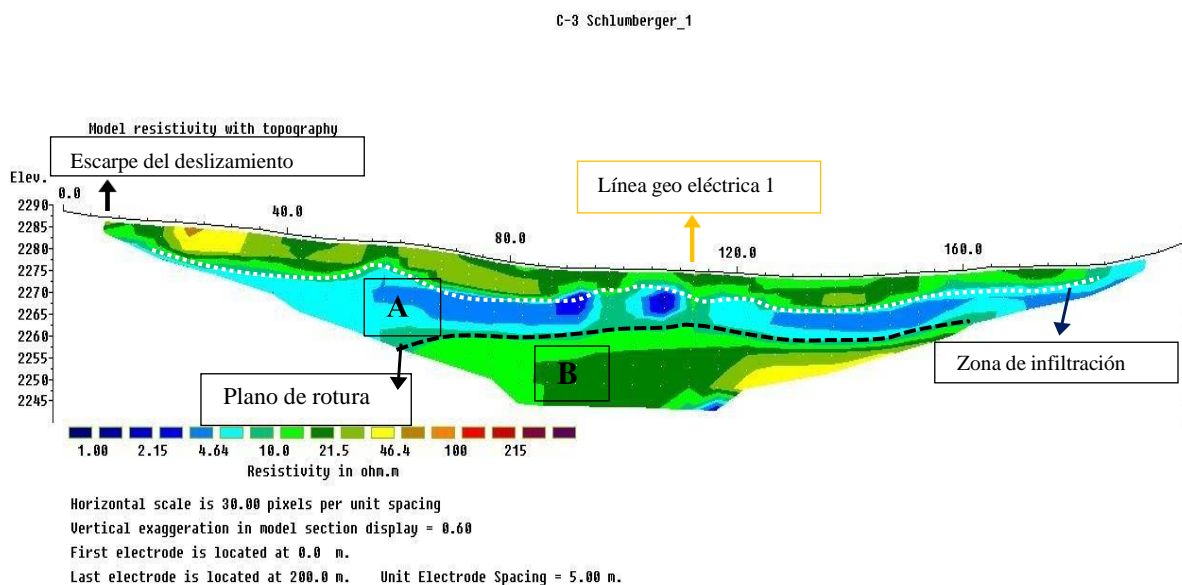


Figura 53. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 3

Tabla 17. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 3

Zona geo eléctrica	Resistividad <i>Ohm*m</i>	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada o de infiltración, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10-21.5	Suelo limoso o arenoso, compuesto por lutitas arcillosas y presencia de arenisca saturadas de agua y calizas secas

6.3.4. Interpretación de la línea geo eléctrica 4.

La ubicación de la línea geofísica 4 data al Sur-Oeste del área de interés, en una disposición horizontal con dirección Oeste-Este en 103°. La línea se encuentra asentada paralelamente en la inmediación de la torre de transmisión eléctrica número 4, extendida en una longitud total de 200 metros, con implementación de 42 electrodos, separados cada 5 metros cada uno. Tanto la línea geofísica 4,5,6 y 7 fueron tendidas sobre la formación Belén.

A una distancia de 48 metros a lo largo del tramo del tendido geo eléctrico, se encuentra la línea con numeración 7, y a una longitud de 174 metros, cruza la línea geofísica 5. La línea se la asentó de manera perpendicular a la línea 7, que sigue la dirección del movimiento del deslizamiento, lo que implica que parte inicial de esta línea que se va analizar, se posicionó en la base o pie del deslizamiento.

Mediante el resultado del modelado geofísico real, se obtuvo los siguientes valores de resistividad:

Resistividad baja. – Con un espesor de 42 metros aproximadamente, se logró visualizar una agrupación elongada de derecha a izquierda de resistividades bajas (A) de 1 a 2.15 *ohm·m*, lo que indica materiales de baja consolidación como son las arcillas saturadas; por la forma en la que se encuentran recubiertas, da entender que están en un suelo limo arenoso compactado y comprimido por el material trasladado de la parte superior del fenómeno geológico, significando una zona altamente saturada, por posibles infiltraciones y por el material descrito. El desplazamiento de esta pendiente implica compactaciones y alineaciones de estas arcillas expansiva, lo cual es indicativo de una capa inclinada o de una transición gradual entre los diferentes tipos de sedimentos; a la vez muestra la composición de pequeños bloques de areniscas. Propiedades geofísicas anómalas que ayudan a identificar un plano de rotura a 50 metros de

profundidad, observable en la Figura 54.

Resistividad media. – A una profundidad de 25 metros, se identifica un bloque de dimensiones considerables que exhibe valores de resistividad en el rango de 15 a 21.5 $ohm\cdot m$, con una tonalidad verde clara a oscura. Este bloque representa una zona compuesta por lutitas intercaladas con capas de arenisca sana de grano fino. Más adelante en la secuencia de capas, se espera la presencia de micro conglomerados, dado que esta región exhibe valores de resistividad superiores a los del material circundante. Se observa una disminución gradual en la resistividad de los estratos de Este a Oeste a profundidades mayores y en el lado izquierdo superficialmente se aprecia una capa de roca similar con un espesor de 1 metro. La zona previamente descrita es denominada zona B, muestra una interrupción vertical en su estrato más profundo, de manera análoga a la sección izquierda de la superficie. A pesar de que los materiales en esta zona tienen resistividad similar a la zona A, sus respuestas eléctricas exhiben diferencias sutiles. La interrupción en la formación continua de las lutitas con resistividades de rango medio a bajo y condirección hacia la superficie, parece estar cubierta por gruesas y profundas capas por los materiales transportados.

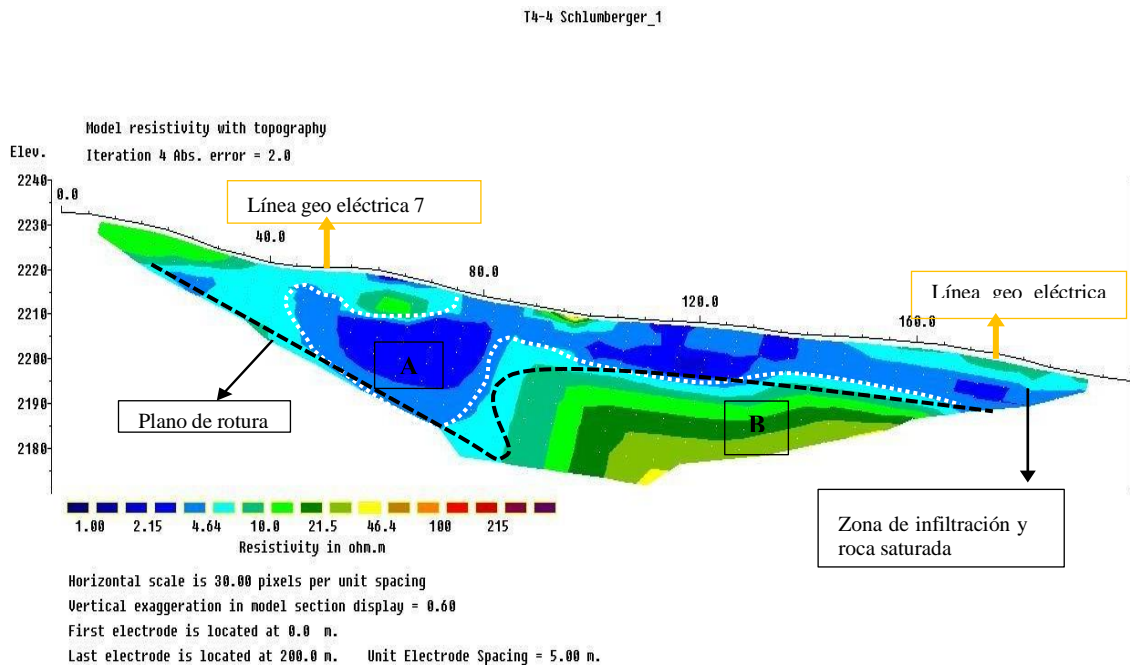


Figura 54. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 4

Tabla 18. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 4

Zona geo eléctrica	Resistividad $Ohm \cdot m$	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada o de infiltración, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10-21.5	Suelo limoso o arenoso, compuesto por lutitas arcillosas y presencia de arenisca saturadas de agua y presencia de calizas secas

6.3.5. Interpretación de la línea geo eléctrica 5.

La línea geofísica 5, se encuentra dispuesta hacia el Sur-Oeste del área de interés, en un asentamiento vertical con dirección Norte-Sur en 198° . La línea fue asentada frente a la torre de transmisión eléctrica número 4 y perpendicular a la línea 4, extendida en una longitud total de 200 metros, con implementación de 42 electros, separados cada 5 metros cada uno.

Resistividad baja. – La línea en cuestión es interceptada por el trazado geofísico 4 a lo largo de 137 metros y también se cruza con la línea geofísica 6, a una distancia de 62 metros. Esta sección presenta un intervalo de influencia de considerable extensión, cuyo valor de resistividad eléctrica es $4.64 \text{ ohm} \cdot m$, la cual corresponde a estratos superficiales. Estos estratos poseen espesores de hasta 18 metros y se componen de rocas altamente conductoras en términos eléctricos. Dichas capas están ubicadas en la porción inicial de la línea geofísica, a una altitud de 2235 metros sobre el nivel del mar, extendiéndose horizontalmente hasta una distancia de 108 metros, se lo puede observar en la Figura 55.

Durante la investigación en terreno, se pudo verificar la existencia de una compactación significativa y la intercalación frecuente de arcillas con tonalidad marrón, así como arenas de grano grueso y suelto, características típicas de terrenos con resistividad eléctrica baja a media (A). Además, se observó la presencia de lutitas con grano muy fino desplazadas de las laderas superiores hacia la zona y provenientes de la formación geológica conocida como "La Banda". Es bien sabido que las lutitas suelen ser rocas de baja permeabilidad, lo que implica una limitada capacidad para transmitir fluidos como el agua. No obstante, en el área de estudio, estas lutitas han sido influenciadas por compuestos minerales que les confieren los valores de resistividad mencionados.

Resistividad media a alta. – En la zona correspondiente a la parte izquierda del perfil y a

una profundidad de 45 metros, se identifica la presencia de un bloque cuyo espesor ronda los 25 metros aproximadamente. Este bloque exhibe valores máximos de resistividad eléctrica en el rango de 46.4 a 60 $ohm\cdot m$, zona (C). Dicha configuración es característica de una anomalía relacionada con la existencia de un cuerpo incrustado compuesto por una variedad de arenisca de grano medio, la cual se encuentra fracturada debido a una reducción en su porosidad. Además, es posible que este cuerpo presente mezclas de rocas carbonatadas, como ciertos tipos de dolomitas provenientes de la formación geológica conocida como "La Banda".

En el lado derecho del perfil, emerge una resistividad de 10 a 21.5 $ohm\cdot m$, lo cual indica la presencia de capas compuestas principalmente por calizas, como se evidencia en la sección (B). Estas capas de caliza están intercaladas con fragmentos de arenisca de grano grueso en su mayoría características de la formación Belén.

Se ha observado que estas capas geológicas siguen una configuración cónica en su disposición, siguiendo un patrón predecible. A medida que se profundiza, las resistividades eléctricas aumentan gradualmente. Esta tendencia gradual en el aumento de las resistividades sugiere la presencia de diferentes niveles de compactación y composición mineral a lo largo de la secuencia estratigráfica.

Al considerar la información recopilada, es posible determinar una zona de contacto en profundidad entre las diferentes capas geológicas que conforman el perfil en estudio.

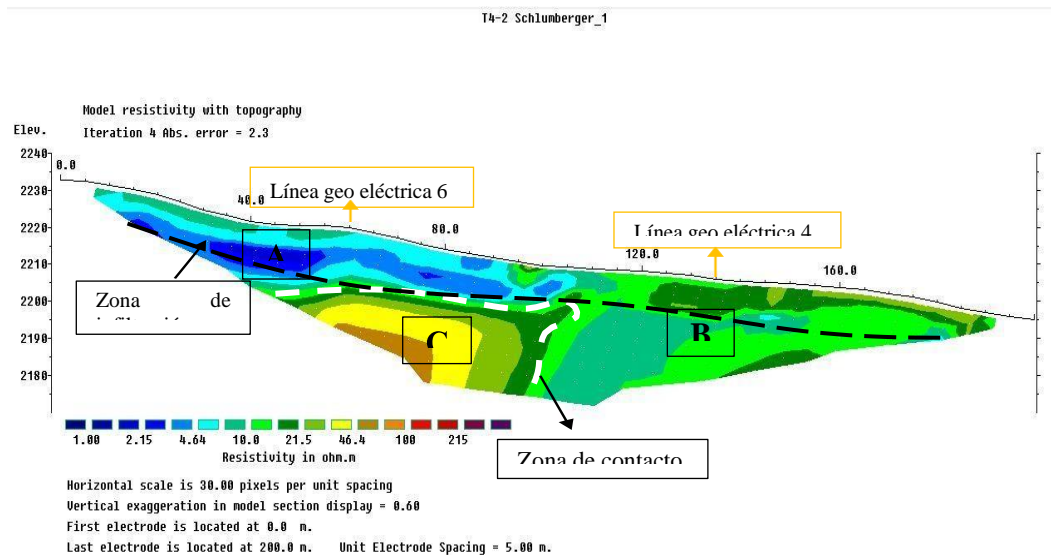


Figura 55. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 5

Tabla 19. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 5

Zona geo eléctrica	Resistividad <i>Ohm*m</i>	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada o de infiltración, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10	Suelo limoso, compuesto por lutitas arcillosas y presencia de calizas saturadas.
C	46.4	Materiales superficiales secos, constituidos por arenisca poco fracturada, y presencia de roca dolomita.

6.3.6. Interpretación de la línea geo eléctrica 6.

La línea geofísica número 6, se encuentra ubicada al Sur-Oeste de la zona de estudio, cercana a la torre de transmisión eléctrica 4, unida y convergente a la línea 4 y 5. Se la predispuso en dirección Oeste-Este aproximadamente a 104°. El tendido de la línea tuvo una longitud total de 200 metros, con la implementación de 42 electrodos y separados cada 5 metros entre sí. Se utilizó la configuración Schlumberger.

Resistividad baja. – La línea geofísica exhibida en la Figura 56, refleja dos intersecciones notables: una con el trazado geofísico 7 a una distancia aproximada de 5 metros, y otra con la línea geofísica 5 a una longitud de 150 metros.

La capa superficial presenta materiales con resistividad eléctrica notablemente bajas. Estos materiales, caracterizados por su eficiente capacidad para conducir electricidad, albergan una alta concentración de agua. Esta condición da origen a zonas con una saturación de humedad considerable, donde los componentes principales son arcillas expansivas. Dichas arcillas poseen una destacada habilidad para absorber y retener volúmenes significativos de agua dentro de sus estructuras cristalinas. También existe la posibilidad, que el terreno refleje esta resistividad por algún tipo de fuga de agua, en el sector.

Considerando la naturaleza de una pendiente pronunciada, es común observar la acumulación de materiales como gravas y areniscas arcillosas en proximidad a esta formación rocosa. Estos materiales exhiben características de resistividad similar (A), y son propensos a coexistir con la configuración geológica mencionada.

Cabe destacar que este mismo tipo de material se presenta de manera similar a una

profundidad de 50 metros.

Resistividad media. – A lo largo de una extensa porción central de la línea geofísica, se observa una distribución abundante de roca de lutita (B) y arenisca la cual se presenta de manera intercalada en forma de lentes dispersas en este tramo. Estas lentes de arenisca se extienden desde la superficie hasta la parte inferior del perfil. La característica distintiva de estos materiales es su rango de resistividad eléctrica, que varía entre 10 *ohm·m*.

Estos depósitos de arenisca intercalada se insertan de manera discontinua dentro de un material de mayor resistividad eléctrica. Este último consiste en capas de caliza, compuestas por areniscas con fracturación limitada y la presencia de micro conglomerados. Las capas de arenisca de grano medio exhiben resistividades eléctricas en el rango de 21.5 *ohm·m* (C).

La interrupción en la secuencia de materiales en la zona B, puede estar indicando una discontinuidad de los tipos de roca presentes, lo que podría estar influenciada por una zona fracturada o grieta en la estructura. Esta disrupción podría ser causada por la presencia de una grieta o falla en la roca, lo que resulta en una mezcla desordenada de los diferentes materiales presentes en la formación geológica.

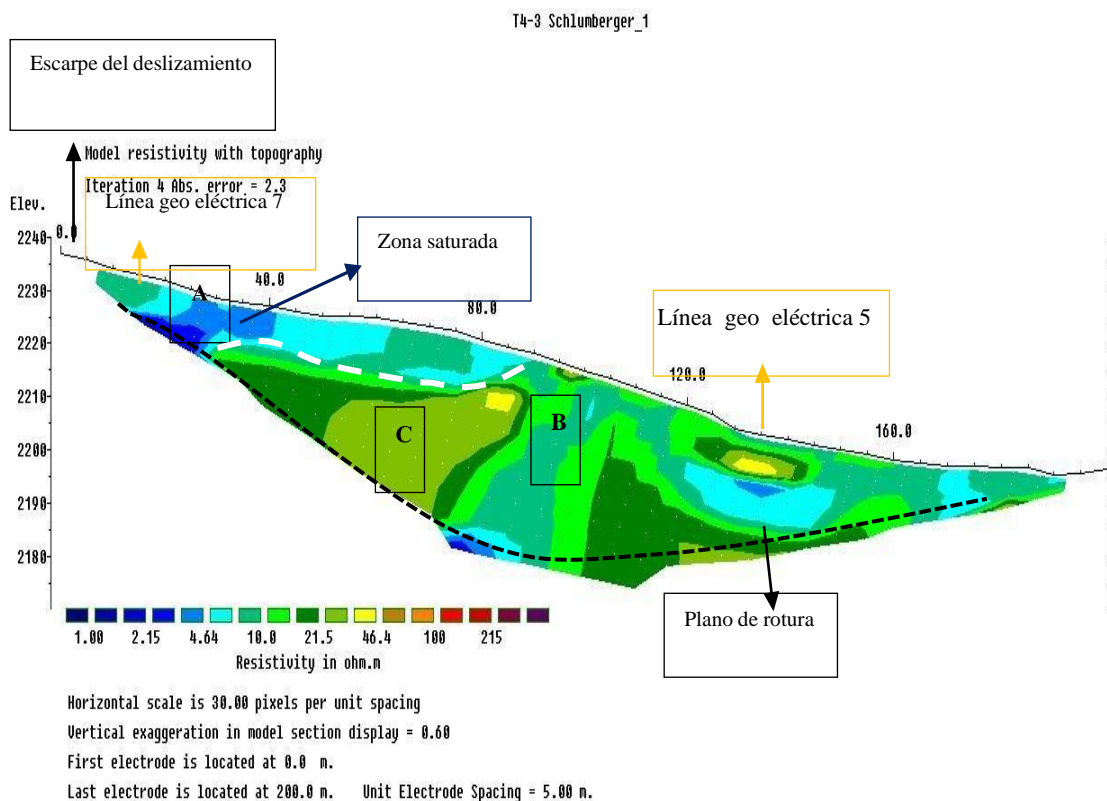


Figura 56. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 6

Tabla 20. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 6

Zona geo eléctrica	Resistividad $Ohm*m$	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10	Suelo limoso, compuesto por lutitas arcillosas y presencia de arenisca saturadas de agua.
C	21.5	Suelo limo arenoso, compuesto por areniscas medias y presencia de capas calizas gruesas levemente saturadas.

6.3.7. Interpretación de la línea geo eléctrica 7.

6.3.7.1. Caracterización del deslizamiento 2

Hacia el sur del área de estudio, se ha identificado el origen de un deslizamiento de tipo traslacional, situado en las siguientes coordenadas geográficas: **X:** 695226; **Y:** 9558009. Gran parte de la superficie está cubierta por vegetación herbácea, con asentamientos infraestructurales en la zona afectada. Al igual que en el deslizamiento previamente mencionado, observable en la Figura 57, el evidente deterioro de las viviendas que han sido afectadas por este fenómeno




Figura 57. Deslizamiento rotacional, caracterizado en el área de interés

Desde el punto de vista litológico, el suelo presenta una tonalidad marrón oscuro y está compuesto principalmente por arcilla, junto con diversos materiales sedimentarios como la arenisca fina, que no se encuentra compacta, y la presencia de limolitas. Se apreció una capa orgánica espesa y húmeda en la superficie.

Es importante destacar que, aunque este deslizamiento se encuentra actualmente inactivo, pero las características geológicas que presenta sugieren que podría reactivarse en un futuro cercano. Y de acuerdo con las características destacadas y considerando lo mencionado por (Suárez Díaz Jaime, 2009) a través de los estudios de Skempton y Hutchinson en 1969; alude que los desplazamientos rotacionales, si su curvatura de superficie de falla se observa una relación D_r/L_r que oscila entre 0.15 y 0.33, se considera un deslizamiento de tipo rotacional. Por lo cual, el deslizamiento 2 presenta un D_r de 30 y un L_r de 130, dando como resultado 0.15 e indica un deslizamiento rotacional.

El volumen inicial de la masa desplazada fue de aproximadamente $112,407 m^3$. Durante el evento del deslizamiento, se movilizaron alrededor de $7671 m^3$ de material, lo que resultó en un impacto significativo en la topografía local. En términos de las dimensiones del deslizamiento, este abarca una longitud total de 168 metros y un ancho promedio de 44 metros. La identificación de la línea o plano de ruptura reveló que esta se encuentra a una profundidad de aproximadamente 20 metros bajo la superficie. La profundidad de la línea de ruptura está determinada por una serie de factores, como la composición geológica de los materiales involucrados, las condiciones de saturación del suelo, la topografía del terreno y las tensiones que actúan sobre la masa de suelo. Es importante destacar que comprender estas características morfométricas es esencial para evaluar la magnitud y las implicaciones del deslizamiento, así como la toma de decisiones en gestión de riesgos y sus medidas de mitigación en la zona afectada. La información detallada y proporcionada en la tabla 21, contribuye significativamente a una comprensión más completa de este fenómeno geológico.

Tabla 21. Características principales del deslizamiento 2

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables		
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial		
Ficha de reconocimiento geológico en campo			
Deslizamiento N°:	2		
Proyecto:	Trabajo de investigación		
Localización:	Barrio Bolonia bajo	Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S

Coordenadas:	X:	695226	Y:	9558009	Z:	2240
DATOS GENERALES DEL DESLIZAMIENTO						
Tipo de deslizamiento	Rotacional					
Estado del deslizamiento	Activo:		Reactivado:	x	Latente:	
	Estabilizado:		Relicto:			
Pendiente	Plana de 0 a 2%		Muy suave de 2 a 5%		Suave de 5 a 12 %	x
	Media de 12 a 25 %		Media a fuerte 25 a 40%		Fuerte 40 a 70 %	
	Muy fuerte 70 a 100%		Escarpado > a 100%			
Causas del deslizamiento	Erosión fluvial:		Deforestación:		Deficiencia de sistemas de drenaje:	
	Socavación:		Erosión pluvial:	x	Vibración artificial:	
	Mov. Tectónico:	x	Sismo:		Lluvias:	x
Velocidad	Rápido:		Moderado:		Lento:	x
Material (%)	Roca:	20	Suelo:	50	Detrito:	30
Composición (%)	Bloques:		Grava:		Arena:	30
	Limo:	10	Arcilla:	40	Mat. Orgánica:	10
Humedad del suelo	Seco:		Lig. Humedo:	x	Humedo:	
	Muy humedo:		Mojado:			
Origen del suelo	Residual:		Sedimentario:	x	Coluvial:	
	Volcánico:					
MORFOMETRÍA						
GENERAL			DIMENSIONES			
Diferencia de altura corona a punta (m)	27	Ancho de la masa desplazada, Wd (m)	36	Volumen inicial (m3)	112407.74	
Longitud horizontal corona a punta (m)	170	Ancho de la superficie de ruptura, Wr (m)	44	Volumen desplazado (m3)	7671.54	
Pendiente en ladera en post falla (°)	9.02	Longitud de la masa desplazada, Ld (m)	164	Área inicial (m2)	7425.63	
Dirección del movimiento	NW-SE	Longitud de la superficie de falla, Lr (m)	130	Area desplazada (m2)	8079.01	
Azimut de la ladera	172 °	Espesor de la masa desplazada Dd, (m)	19	Deformación del terreno		
		Profundidad de superficie de ruptura, Dr	20	Ondulación		
		Longitud total, L (m)	168	Escalonamiento	x	

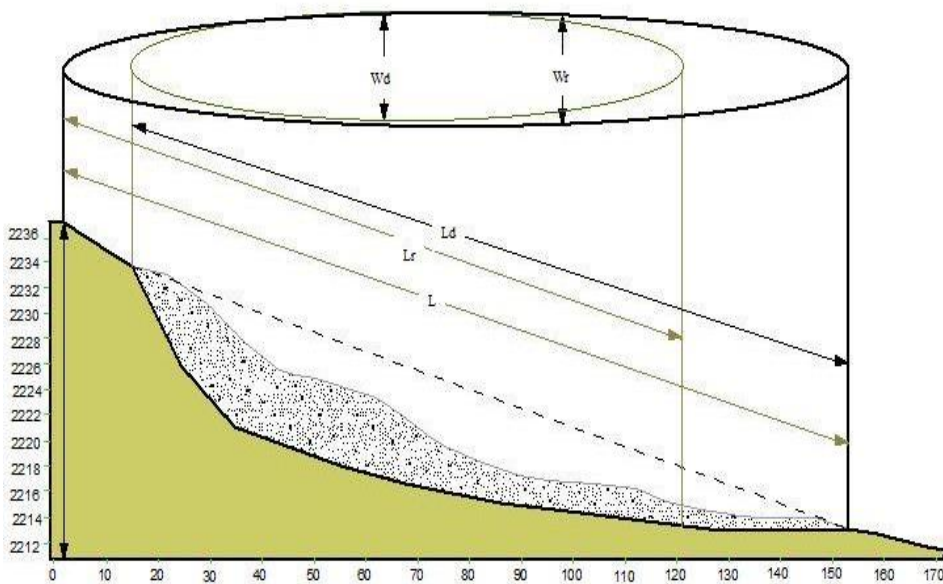


Figura 58. Morfometría del deslizamiento 2

Para llevar a cabo un análisis geofísico efectivo y comprender mejor la dinámica del deslizamiento, se dispuso la línea geofísica número 7 en una ubicación estratégica y con una orientación específica. Esta línea se posicionó en dirección al Sureste (SE), lo que coincide con

la dirección del movimiento en masa que se observa en el área afectada. Su ubicación se encuentra en la parte Sur-Oeste de la zona de estudio, en las proximidades de la torre de transmisión eléctrica número 4. Esta línea geofísica está conectada y converge con las líneas 4, 5 y 6, lo que permite obtener una visión más completa de la estructura del deslizamiento y su entorno.

La orientación de la línea geofísica número 7 se estableció en dirección Norte- Sur, aproximadamente a 182 grados, desde la parte superior o corona hasta justo antes de llegar a la base del movimiento. Es relevante destacar que, en contraste con las líneas geofísicas previamente implementadas, el tendido de la línea geofísica número 7 tuvo una longitud total de 120 metros y se utilizó un total de 42 electrodos, espaciados a intervalos de 3 metros entre sí. Esta disposición se debió a la presencia de obstáculos infraestructurales en el área de estudio que afectaron la disposición estándar de los electrodos. Para la adquisición de datos geofísicos, se aplicó la configuración Schlumberger.

Es importante mencionar que esta línea geofísica es interferida por tendido geofísico número 4 a una distancia de 40 metros y se cruzó con la línea número 6 a una longitud de 126 metros, lo cual puede tener implicaciones en la interpretación de los datos recopilados.

En la Figura 59, se ha representado la región donde se observa una alta incidencia de microgrietas, que son el resultado de: tensiones internas en los materiales, variaciones en la humedad y movimientos tectónicos. Además, se ha marcado la zona de transformación de la masa disgregada en flujo. Esta área corresponde a la región donde los materiales inicialmente disgregados y fragmentados comienzan a comportarse de manera más cohesionada y móvil. En otras palabras, los materiales sueltos empiezan a adquirir propiedades de flujo debido a la interacción de factores como la humedad, la presión y la pendiente del terreno. Esta información es esencial para comprender la dinámica del deslizamiento y sus posibles implicaciones.

El modelo de resistividad real de las tomografías eléctricas, ha permitido la correspondencia de caracteres geológicos con las siguientes resistividades:

Resistividad baja. – Una parte significativa del deslizamiento exhibe una distribución de resistividad anómala que señala la existencia de una "zona de conversión" o "zona de transformación" de la masa. Estas anomalías denotan áreas con una resistividad excepcionalmente baja y variable, que oscila entre 2 y 5 *ohm-m*; indicativo de una combinación heterogénea de materiales con buena conductividad eléctrica, disgregados y con baja cohesión. Estos materiales

son principalmente arcillas expansivas con baja capacidad de drenaje y alto grado de plasticidad, distribuidas en capas de limolitas en un lecho de suelos limo-arenosos.

Las capas de arcilla son uniformes en su estructura, con un espesor aproximado de 15 metros (A). A partir de este evento, la masa desplazada se vuelve más densa, con un grosor de hasta los 10 metros, en donde su conductividad disminuye hacia la superficie y hacia el extremo final del deslizamiento. En estas áreas, se encuentran rocas o suelos temporales de mayor resistividad, que han sido desplazados debido al movimiento del mismo.

El contacto entre las franjas geológicas debilitadas y las que presentan una estabilidad mediana, caracterizadas por una resistividad eléctrica de 1 *ohm·m* en contra posición a la franja con 2.15 *ohm·m*, brinda la posibilidad de discernir la probable ubicación de la línea de rotura o zona de debilitamiento en el deslizamiento. La inferencia se basa en que la zona con la resistividad de 1 *ohm·m* muestra una mayor saturación de agua, compuesta principalmente de arcilla, y una menor resistividad eléctrica, atribuible a la presencia de fluidos conductivos. El punto de transición pudo ser identificado a una profundidad aproximada de 30 metros, y con ello identificar un posible nivel freático o línea subsuperficial a unos 15 metros, por la línea continua de resistividad cercanas a 0 *ohm·m*.

Resistividad media. – En la altitud mayor del perfil, se detecta la superficie deslizante inicial, caracterizada por roca arenisca, con un grosor de 6 metros y una resistividad baja a media gradualmente saturadas, con valores de 10 a 12 *ohm·m* (B). En una extensión de 10 metros, se encuentra esta unidad sedimentaria de grano fino que alternan capas de lutitas y están inmersas en una matriz limo arcillosa. La saturación que poseen estas rocas a un grado de humedad suficiente, refleja el plano del deslizamiento.

A la izquierda la superficie se evidencia una masa deslizante, la cual experimenta una transición desde areniscas alteradas de alta resistividad a arcillas conductoras. Esta transformación se interpreta como una conversión de la masa disgregada en un flujo más fluido, lo que resulta en una reducción tanto en la resistividad como en el grosor de la zona afectada por el deslizamiento. Un análisis detallado de la parte superior del perfil revela que entre los 50 y los 120 metros de longitud se ubica una masa con valores de resistividad más altos, lo cual concuerda con los datos de campo. Sin embargo, la falta de información en los extremos del perfil impide definir con certeza el punto de contacto entre las areniscas inferiores alteradas y las arcillas saturadas, dejando

indefinido el límite inferior del deslizamiento. Entre los 0 y los 24 metros de longitud, y a una profundidad aproximada de 2 metros, se observa un incremento en la resistividad de las areniscas no afectadas por el deslizamiento, lo cual se interpreta como una disminución en su contenido de humedad. Este cambio podría actuar como un factor de frenado en la superficie, contribuyendo a la acumulación del material en la base del deslizamiento.

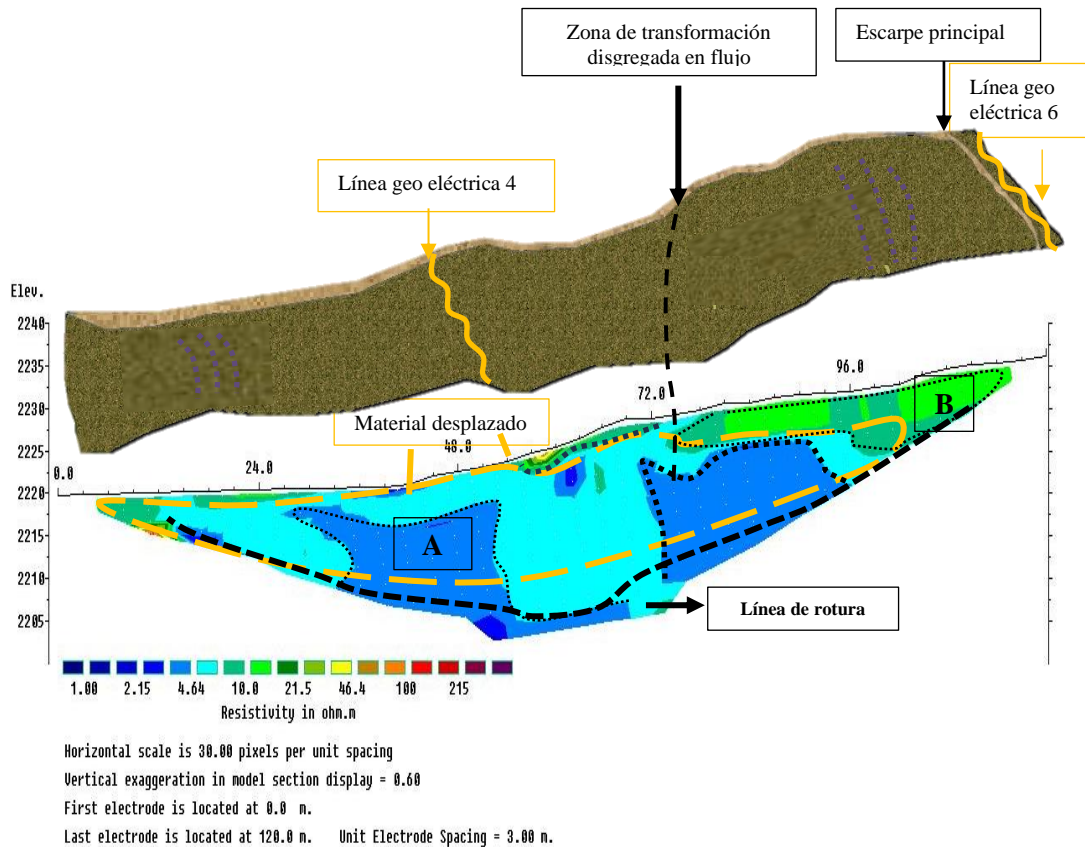


Figura 59. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 7

Tabla 22. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 7

Zona geo eléctrica	Resistividad $Ohm*m$	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10	Suelo limoso, compuesto por lutitas arcillosas y presencia de arenisca saturadas de agua.

6.3.8. Interpretación de la línea geo eléctrica 8.

La línea geofísica 8, se encuentra dispuesta hacia el Sur-Oeste del área de interés, en un asentamiento vertical con una inclinación de dirección Nor - Oeste con 232° . La línea se encuentra

asentada frente a la torre de transmisión eléctrica número 3 y paralela a la línea 4, extendida en una longitud total de 200 metros, con implementación de 42 electrodos, separados cada 5 metros cada uno. El tendido de la línea geofísica se encuentra sobre la formación La Banda.

Resistividad baja a media. – A lo largo de 110 a 200 metros, en la zona designada como (A), a una profundidad de 35 metros, se encuentran estratos inclinados hacia la izquierda que contienen arcillolita y limolita con una resistividad máxima registrada de 4.64 $\text{ohm}\cdot\text{m}$. De manera continua, en la sección (B), se presenta la disposición de materiales sedimentarios clástica, la naturaleza de estos materiales es predominantemente la roca arenisca gruesa con la presencia intercalada de capas finas de conglomerado y caliza, esta estratigráfica es una característica distintiva en la zona y refleja la secuencia de rocas y su relación geométrica en el subsuelo de la formación Trigal. La disposición de forma alargada se caracteriza por una resistividad de 21.5 $\text{ohm}\cdot\text{m}$. Estos materiales se extienden desde la superficie hasta profundidades considerables.

Resistividad alta. – Las rocas exhiben una resistividad notoriamente elevada, llegando a 100 a 200 $\text{ohm}\cdot\text{m}$, y son evidentes en el flanco izquierdo del perfil geofísico (C). Estas formaciones se presentan en un bloque con un espesor de aproximadamente 25 metros. Su origen suele asociarse a rocas de extrema dureza o a materiales que manifiestan una porosidad sustancialmente reducida. Entre las posibles composiciones se incluyen rocas altamente metamorfozadas o fracturadas, con una densidad moderada. Un ejemplo de estas formaciones es representado por las lutitas altamente metamorfozadas encontradas en el área de estudio, además de estratos compuestos por chert, que se caracterizan por su resistividad elevada. Este rasgo se atribuye a su estructura altamente compacta y su inherente baja conductividad eléctrica. Estos tipos de rocas son frecuentes en la formación geológica denominada "La Banda".

La disposición del perfil geofísico exhibe una configuración inusual o desigual, la cual resulta de un cambio abrupto en los valores de resistividad, tanto en esta interpretación como en interpretaciones previas. Estas variaciones pronunciadas en las resistividades indican claramente la existencia de un fenómeno singular en el subsuelo. Además, es oportuno mencionar que estos indicios son significativos al notar la presencia de una zona de contacto en profundidad, donde la formación geológica "La Banda" subyace a la formación "Trigal". Esta transición brusca en las propiedades eléctricas de las rocas es reveladora de una alteración geológica de importancia.

El cambio notorio entre estos dos tipos de materiales con diferente resistividad, es debido

a que la zona A, se encuentra en frente a una laguna de pequeña dimensión, la cual, trasciende a una resistividad baja, mientras que, la zona B representa una transición abrupta de resistividad alta, por encontrarse suelo seco y compacto.

T3-2 Schlumberger_1

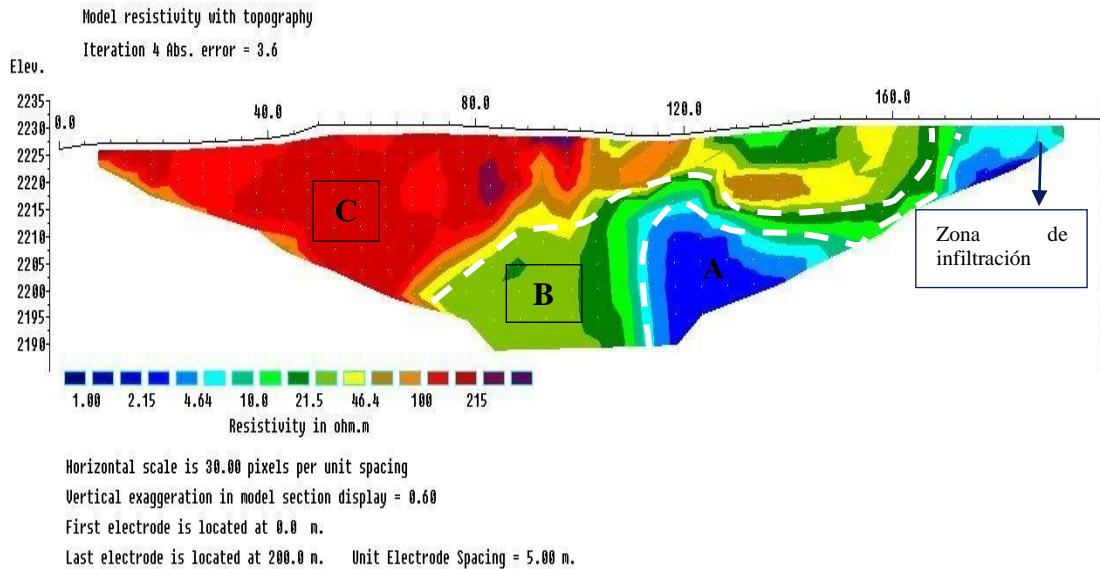


Figura 60. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 8

Tabla 23. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 8

Zona geo eléctrica	Resistividad $Ohm*m$	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10	Suelo limoso, Arenisca media y caliza de grano medio.
C	100-200	Materiales superficiales secos, roca arenisca muy poca fractura y seca; capas de chert.

6.3.9. Interpretación de la línea geo eléctrica 9.

La línea geofísica 9, se encuentra dispuesta hacia el Sur-Oeste del área de interés, en un asentamiento vertical con una inclinación de 210° hacia el Nor - Oeste. La línea se encuentra asentada frente a la torre de transmisión eléctrica número 3 y adyacente a la línea geofísica número 8. Fue extendida con una longitud total de 200 metros, con implementación de 42 electrodos, separados cada 5 metros cada uno.

Resistividad baja a media. – A lo largo del perfil geofísico en la sección que abarca desde los 120 hasta los 160 metros de longitud, se identifican materiales que presentan una gama de resistividades con variaciones relativamente bajas entre ellos. Estos materiales se encuentran agrupados en un bloque con un espesor de aproximadamente 19 metros, y muestran una resistividad de $2.15 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ (A). En este caso, los materiales son arcillas expansivas que prevalecen en suelos con características limosas, tal como se puede observar en la Figura 61.

En el rango de resistividades que oscila entre 15 y $21.5 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, se da lugar a la formación de materiales con una menor capacidad de conductividad eléctrica, como se observa en la sección (B). Esta particularidad es indicativa de la presencia de arenisca gruesa y limolitas en la zona y en menor porcentaje lutitas.

Resistividad alta. – En el lado izquierdo del perfil geofísico, se observa una vez más la aparición de materiales con una resistividad considerablemente alta, registrando valores de alrededor de $100 \text{ ohm}\cdot\text{m}$. Los materiales corresponden a roca caliza que se encuentra altamente fracturada, lo que contribuye a su elevada resistividad. Adicionalmente, se identifica la presencia significativa de lutita metamorfozada, que se presenta en un bloque con un espesor de aproximadamente 30 metros, obsérvese en la sección (C).

La observación en campo respalda la existencia de capas de chert en esta zona, que tienden a exhibir una resistividad alta debido a su composición rica en sílice. Estos diversos materiales se encuentran cubiertos en la superficie por materiales de menor resistividad, que son característicos de la formación Trigal.

Una vez más se destaca cambios de resistividad en la misma dirección que la línea geoelectrica anterior. Esto es, la consecuencia de que la parte superior de las líneas, y son representados la zona A se encuentran influenciadas por humedales y sedimentos saturados.

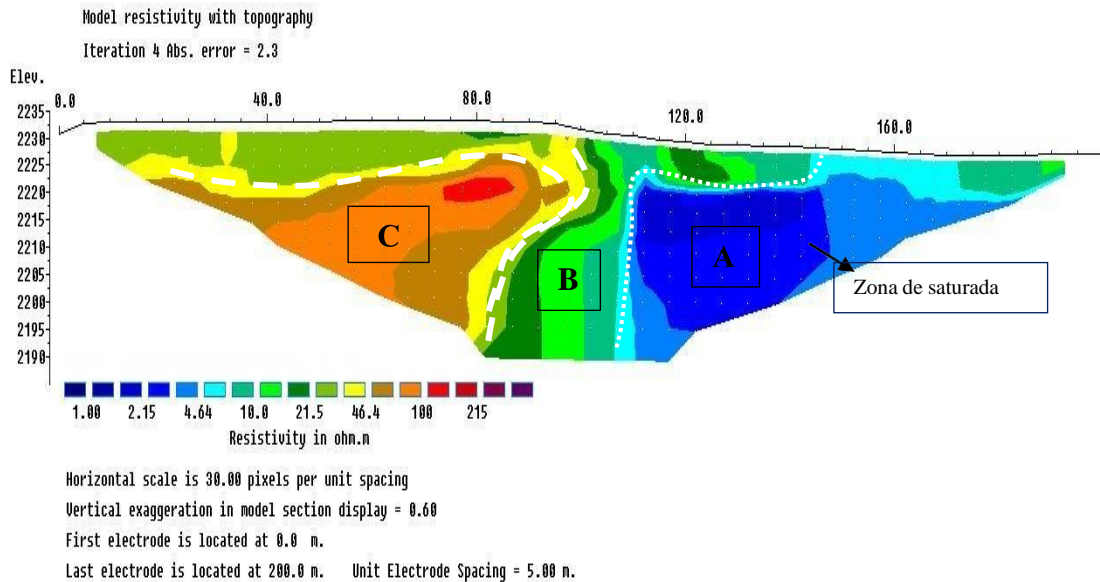


Figura 61. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 9

Tabla 24. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 9

Zona geo eléctrica	Resistividad $Ohm \cdot m$	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10	Suelo limoso o arenoso, compuesto por lutitas arcillosas y presencia de arenisca saturadas de agua y calizas secas.
C	100	Materiales superficiales secos, constituidos por arenisca poco fracturada y seca.

6.3.10. Interpretación de la línea geo eléctrica 10.

La línea geofísica 10, se encuentra dispuesta hacia el Sur-Oeste del área de interés, en un asentamiento vertical con una inclinación de 193° hacia el Nor - Oeste. La línea se encuentra asentada frente a la torre de transmisión eléctrica número 2 y asentada entre la línea geofísica número 9 y cerca de la Subestación Central Eólica Villonaco. Fue extendida con una longitud total de 200 metros, con implementación de 42 electrodos, separados cada 5 metros cada uno. El tendido de la línea, se encuentra sobre la formación Trigal.

Resistividad baja. – En una franja de 35 metros de espesor a profundidad, se originan materiales que presentan resistividad en valores bajos. Estos materiales exhiben una configuración

alargada y están organizados en forma de capas en la parte central del depósito. En particular, se identifica la presencia de roca limolita con una resistividad de aproximadamente 3 *ohm·m*.

Así mismo, se pueden observar cuerpos aislados que adoptan la forma de lentes con dimensiones de 5 metros. Estos cuerpos están mayormente compuestos por arcillas o limos altamente saturados de agua, exhibiendo una resistividad cercana a 2.15 *ohm·m*.

A medida que se profundiza en el subsuelo, se evidencia la progresión de desarrollo de estos materiales y su disposición en la zona de estudio.

Resistividad media. – En la porción superficial a lo largo de una longitud de 120 metros, se identifican rocas con una resistividad que varía entre 30 y 46.4 *ohm·m*. Estas rocas se caracterizan por ser arenisca y gravas, conformando una composición conglomerática. Además, estas rocas se encuentran dispuestas en un entorno de suelos secos. En este contexto, se observa la existencia de lentes de lutitas con espesores inferiores a 5 metros. Las lutitas están ubicadas en los laterales superficial y profundo del perfil geofísico.

La combinación de todos los materiales mencionados conforma una estructura estratificada de orientación horizontal. Y la disposición de los materiales, es de grano grueso con predominancia en la base, mientras que los materiales de grano fino se ubican en la parte superficial. Esta disposición resulta en la formación geológica que se puede caracterizar como una secuencia de granulometría creciente. Y la línea geo eléctrica al ser predispuesta en la base de una montaña, a menudo recibe una mayor cantidad de agua debido a la escorrentía de la montaña y el flujo es acumulado en estas áreas bajas, por ende, el resultado de una resistividad muy baja, representada en la Figura 62.

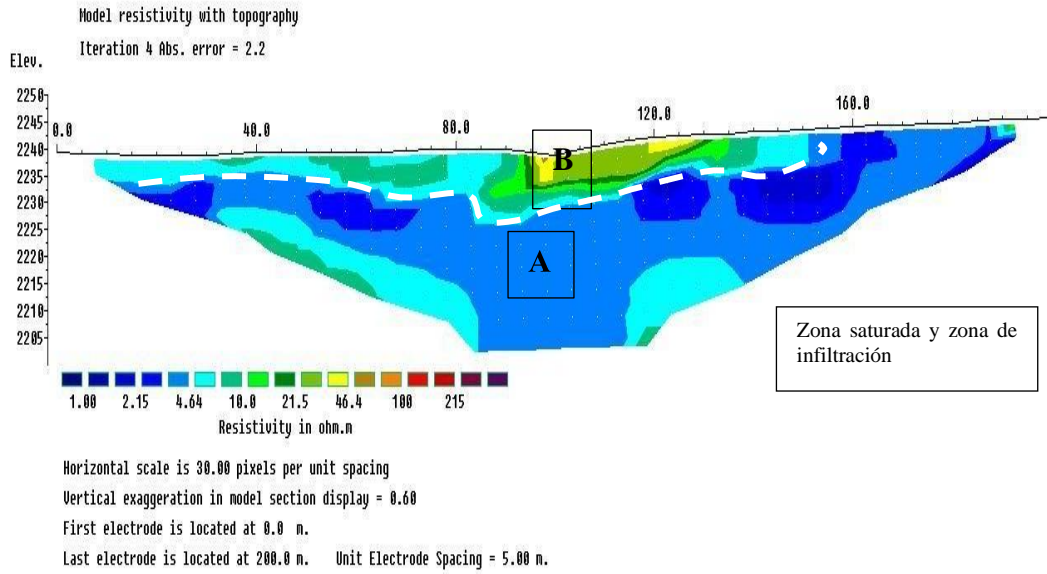


Figura 62. Modelo real de resistividad eléctrica de la línea 10

Tabla 25. Zonas geo eléctricas obtenidas de la línea eléctrica 10

Zona geo eléctrica	Resistividad $Ohm*m$	Descripción geológica
A	1 - 4.64	Zona saturada o de infiltración, compuesta por materiales finogranulares, con alto porcentaje de arcillas expansivas y limolitas.
B	10-21.5	Suelo limoso o arenoso, compuesto por lutitas arcillosas y presencia de arenisca saturadas de agua y calizas secas

7. Discusión

En esta sección, se abordarán detalladamente los resultados y hallazgos obtenidos a lo largo de esta investigación en el campo geológico y geofísico. Este estudio se enfocó en analizar los factores que detonan los deslizamientos, factores resaltables, en base a la aplicación de tomografías de resistividad eléctrica. A lo largo de este análisis, se explorarán las implicaciones de los resultados en relación con estudios previos y contraste con la literatura existente. Además, se considerarán las limitaciones de esta investigación y se propondrán criterios para futuras investigaciones con el fin de abordar temas no explorados.

El primer objetivo general de esta investigación se enfocó en el análisis exhaustivo de la geología de la zona de estudio. Mediante los resultados obtenidos, revelan una correlación sedimentaria de materiales muy poco consolidados en el área de investigación. La secuencia litológica abarca desde un depósito coluvial hasta la presencia de rocas muy notables y comunes entre sí; incluyendo la arenisca de grano grueso y fino, a lutitas con un alto grado de metamorfización, y limolitas. Esto refleja un proceso de deposición gradual a lo largo del tiempo, con cambios en el tamaño de grano de los sedimentos, influenciados por procesos de meteorización y erosión.

Se ha considerado dos tesis relevantes que aportan validez a la comprensión de la composición y estructura geológica del área de estudio. En primer lugar, la investigación realizada por Fajardo Darío (2015), en su tesis titulada: “*Susceptibilidad a deslizamiento en la integración barrial, desde el sector Ciudad Victoria hasta el Plateado en el flanco Oeste de la Ciudad de Loja*”, quien concluyó que la geología predominante en la zona está compuesta principalmente por lutitas carbonatadas y areniscas. Estas litologías son altamente representativas de la Formación El Belén y La Banda, respectivamente, las cuales se formaron en un entorno de sedimentación lacustre, en donde los materiales muestran signos de meteorización física. Conjuntamente, con los resultados del autor Ambuludi Arcentales (2015), en su tema de tesis: “*Estudio geológico estructural e inventario de deslizamiento del área 3 de la cuenca de Loja*” sus hallazgos confirman la presencia de la Formación Trigal. Esta coincidencia en la identificación de la Unidad Chiguinda respalda la consistencia de los datos geológicos en la zona. Además, de la presencia de depósitos coluviales y terrazas aluviales, como se menciona en la investigación de Ambuludi, complementa los resultados obtenidos en esta tesis, que destaca la importancia de los depósitos coluviales en la

zona de estudio. Por lo tanto, este hallazgo se respalda con los estudios previos realizados por los dos autores mencionados.

Como el resultado del segundo objetivo, se enfocó en dos líneas geofísicas que son relevantes para futuros estudios geotécnicos, se consideró la funcionalidad y de las tomografías de resistividad eléctrica a través de la aplicación ERT, con la selección del método Schlumberger, para genera un análisis específico de los modelos resultantes, a través del software Res2Dinv. Para lo cual, se analizó los siguiente literatura:

Weinzettel Pablo et al., (2009), en su artículo denominado “Evaluación de tres dispositivos de tomografía eléctrica para la identificación de horizontes petrocálcicos en el suelo” afirman que el método Schlumbeguer es el más propicio para estudios sobre deslizamientos, sus resultados obtenidos a partir de los dispositivos Schlumberger fueron los que mejor se ajustaron a los controles de campo. Por otra parte, consumieron menos tiempo en el relevamiento, con bajos errores en la inversión. Al contrario del dispositivo dipolo-dipolo, donde muestra datos ruidosos que se traducen en elevados errores en la interpretación, además de consumir más tiempo en las tareas de campo.

En cuanto a la elección del software Res2Dinv dentro del trabajo de investigación, resultó ser optimo y eficaz por los resultados esperados en los deslizamientos; que comparando con una singularidad de estudios relacionados al tema presente, obtuvieron efectos favorecidos para sus objetivos. Tal como, en el caso del artículo de A. Perrone et al., (2012), en el cual, aplica el método ERT 2D y 3D es su estudio “*Tomografías de resistividad eléctrica para el monitoreo de deslizamientos de tierra: una revisión*”, estudia varias áreas de deslizamientos ubicadas en diferentes contextos geográficos y considera el método ERT como una herramienta muy adecuada para investigar deslizamientos durante la etapa pre- fase del evento y posteriores al evento de un ciclo de desastre. De hecho, durante la fase previa al evento, los contrastes de resistividad que caracterizan al ERT 2D permiten definir el entorno geológico del subsuelo. Permitiendo identificar áreas de alto contenido de agua que podrían ser responsables de eventos de reactivación. En la fase posterior al evento, ERT 2D permite reconstruir el cuerpo del deslizamiento proporcionando información también sobre el volumen del material involucrado en el movimiento. Por lo tanto, la posibilidad de utilizar ERT para monitorear los cambios en el contenido de agua en las primeras capas de un área de deslizamiento de tierra agregará

información importante durante la fase de emergencia.

Comparando mis resultados sobre la manejo del software Res2Dinv, con los resultados de Biosca Bárbara (2011), en su tesis titulada “*Optimización de los procesos de medida e interpretación de la Tomografía Geoeléctrica en la prospección superficial*” puedo asentar, la importancia de establecer una serie de pautas en el software, para la mejora de la representación de las secciones de resistividad. La autora, de la misma manera señaló una escala cromática, estableciendo un criterio de selección del rango de resistividades de las secciones de una misma zona, lo que nos permitió en ambos estudios, una discriminación óptima de los distintos niveles geo eléctricos.

Continuando con el enfoque en la evaluación de diversos aspectos relacionados con los deslizamientos en la zona de estudio; el tercer objetivo se centró en la interpretación de las tomografías eléctricas de las 10 líneas implementadas, sobre estos deslizamientos y en lugares aledaños a ellos, que también presentan posibles activaciones de movimiento.

A lo largo de esta sección, se exploran a detalle los resultados obtenidos en la búsqueda de respuestas a este tercer objetivo.

Se presenta en la Figura 63, la correlación de las tres líneas principales que abarcan la parte superior del deslizamiento. A través de esta representación de las resistividades, es posible inferir que en el cruce de la línea 1 (LG 1) con la línea 2, se observa el material deslizante, lo cual se refleja en la disminución de las resistividades en las capas inferiores. Además, en la línea geo eléctrica 1, se aprecia la existencia de una posible fractura o falla, en la parte central superior del deslizamiento, con dirección Norte-Sur, es por la forma en que los materiales de arenisca gruesa y materias con una compactación media, se depositan solo en el lado izquierdo en una sola dirección.

En la mitad y cerca al pie del deslizamiento, en donde se encuentra implementada la línea 3, se identifican zonas saturadas de agua, evidenciadas por la expansión del suelo debido a la saturación presente, reflejando una notable disminución en la resistividad eléctrica, alcanzando tan solo 1 *ohm-m* en esa ubicación. Estas variaciones en el volumen del suelo son consecuencia directa de la expansión ocasionada por la presencia de agua, lo que ha propiciado el desarrollo de una serie de grietas con diversas dimensiones que se forman de manera paralela

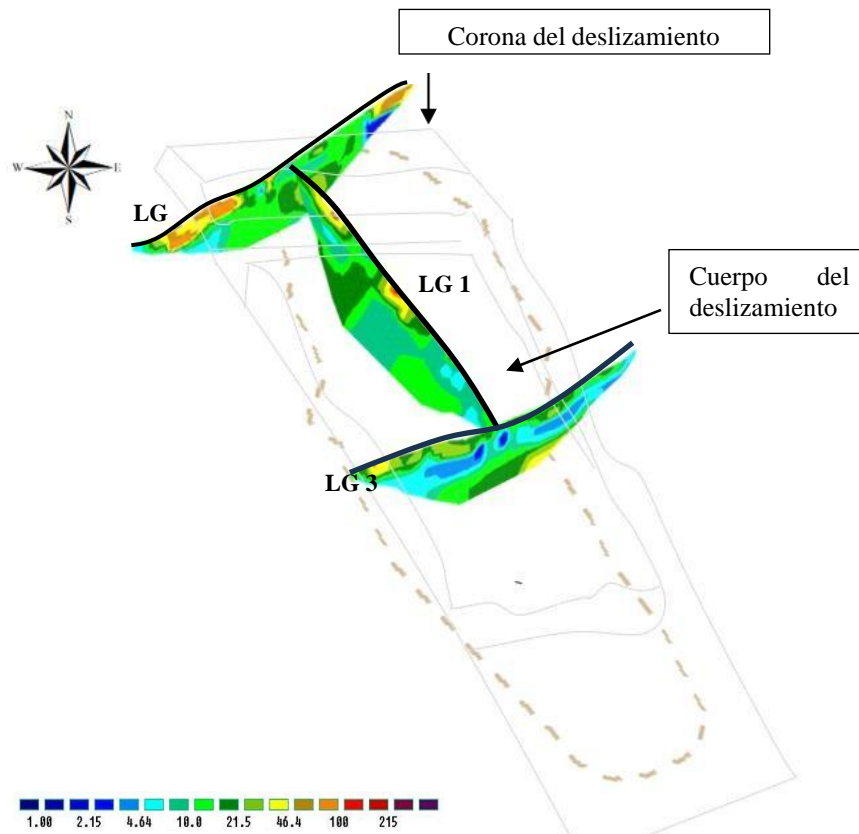
entre sí. Esta zona del terreno se caracteriza por su alta impermeabilidad debido a la composición de los materiales presentes. Y es importante destacar que la comunidad comúnmente emplea sistemas de conducción hídrica mediante mangueras flexibles para fines de riego y abastecimiento local de recursos, lo que puede contribuir a la erosión del suelo y la infiltración hacia el terreno circundante.

Otro aspecto de relevancia es la detección por segmentos de la superficie deslizante (LG 1) en los perfiles transversales. Esta observación sugiere que la masa ha experimentado un desplazamiento no uniforme, adoptando una configuración de grupos de derrubios. Dentro de estos grupos, se identifican unidades de roca con una resistividad eléctrica notablemente más alta, registrando un valor de $46.4 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, las cuales han experimentado un desplazamiento conjunto. Este fenómeno de agrupación y movimiento conjunto de materiales más resistentes puede atribuirse a factores como la influencia de la gravedad y procesos erosivos.

En concordancia con los hallazgos presentados en el informe de la Contraloría General del Estado (2019), titulado "*Examen especial a los estudios y construcción a nivel de pavimento rígido de hormigón para el acceso a la subestación eólica Villonaco desde el Km 11 de la vía antigua Loja-Catamayo*", han verificado la existencia de acumulación de agua e infiltración en el terreno debido a la falta de mantenimiento en los sistemas de drenaje. Así mismo, constaron la presencia de grietas y fisuras en la calzada, las cuales son resultado tanto de movimientos de masas como de la influencia del sistema de alcantarillado defectuoso y la sobresaturación del suelo. Además, observaron el uso inadecuado de mangueras de polietileno para riego y consumo humano. Esta confirmación refuerza y respalda las evidencias y resultados obtenidos en el presente estudio de investigación.

Figura 63

Visión conjunta de las líneas geo eléctricas 1,2, y 3, dispuestas a lo largo del deslizamiento 1



De acuerdo a la correlación de las líneas geoelectricas 4, 5, 6 y 7 a lo largo y ancho del deslizamiento 2 de tipo rotacional, representado en la Figura 64; se prevé que el desplazamiento de la masa se debe principalmente a la saturación excesiva de agua en el suelo. Este suelo se caracteriza por ser altamente impermeable saturado, compuesto por capas principalmente por arcillas expansivas y areniscas masivas muy finas, que se extienden desde la superficie hasta profundidades de 30 metros. La zona del deslizamiento 2 se encuentra afectada por niveles elevados de saturación de agua, similar a lo observado en el deslizamiento 1, ya que la distancia entre ambos deslizamientos es de aproximadamente 550 metros.

En la parte superior del deslizamiento, se registra un aumento de la presión sobre el terreno debido al asentamiento de viviendas y estructuras. Esta sobrecarga ejerce presión adicional sobre las capas de suelo y roca subyacentes.

Se observa una transición geológica leve y comprensible en la zona, pasando de arcillas expansivas a lutitas y calizas a profundidades de hasta 50 metros. Cada tipo de roca o sustrato geológico presenta una resistividad eléctrica característica, lo que se refleja en cambios en las mediciones de resistividad eléctrica. Esta variación en la composición geológica puede influir en la resistividad eléctrica registrada en las líneas geo eléctricas.

En el marco de esta investigación, se ha realizado un análisis integral de las condiciones geotécnicas de la zona de estudio utilizando tomografías de resistividad eléctrica. Sin embargo, para fortalecer la comprensión de las características del subsuelo y obtener una visión más completa, se consideró relevante comparar mis resultados, con los obtenidos por Lapo Andrea (2016), en su tesis titulada “*Análisis de susceptibilidad a deslizamientos de la vía Villonaco; desde la Y sector Eucaliptos hasta la intersección vía Villonaco y vía antigua a Catamayo, cantón y provincia de Loja*” utilizando la técnica de Sondeos Eléctricos Verticales.

Es importante destacar que, aunque ambas técnicas comparten el objetivo de caracterizar la subsuperficie, existen diferencias inherentes en cuanto a la profundidad de investigación y la resolución espacial. Mientras que las (ERT) suelen enfocarse en estructuras poco profundas y proporcionar una alta resolución lateral, los SEV son capaces de investigar a mayores profundidades y ofrecen una visión más profunda del subsuelo, aunque con una menor resolución espacial.

Lapo Andrea, arrojó resultados significativos relacionados con las propiedades geotécnicas y las características del subsuelo en la zona de estudio. Sus hallazgos indican la presencia de materiales con granulometría fina a media, los cuales exhiben niveles significativamente elevados de humedad. Estos materiales han sido identificados en ubicaciones estratégicas de la región, y sus resistividades eléctricas oscilan en un rango que va desde 3.87 hasta 148.6 Ohmios.

La relevancia de estos resultados se vuelve evidente cuando se consideran en el contexto del estudio geofísico en la misma área. Los datos de tomografía de resistividad eléctrica, han revelado la existencia de materiales con resistividades eléctricas bajas, lo que indica la presencia de suelos impermeables y posible nivel freático y, en algunas zonas concretas, están saturadas de agua. Estos suelos impermeables coinciden con la descripción de materiales de granulometría fina a media identificados por la autora Lapo.

La alta humedad observada en los materiales identificados por Lapo, también guarda relación con los hallazgos encontrados, en las zonas de saturación elevada en el subsuelo del área

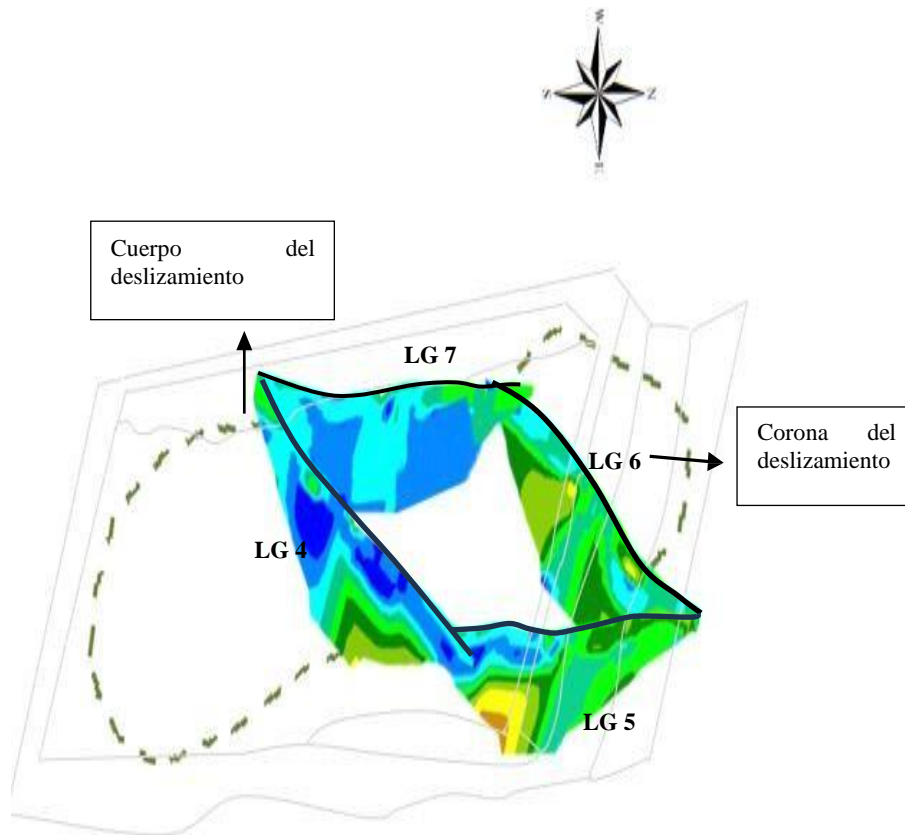
de estudio. Esta sobresaturación del suelo es un factor clave que contribuye al riesgo de movimientos en masa y subsidencia en la región.

Además, la variabilidad en las resistividades eléctricas reportadas por la otra autora, puede atribuirse a la heterogeneidad de los materiales presentes en la zona de estudio, lo cual también es coherente con los resultados obtenidos; al momento de identificar diferentes tipos de materiales en el subsuelo con variaciones significativas en la resistividad eléctrica.

En conjunto, la comparación de los datos geofísicos de la investigación, con los resultados de Lapo Andrea, resalta la coherencia y convergencia de las observaciones sobre la presencia de suelos impermeables, alta humedad y variaciones en las propiedades geotécnicas del área de estudio. Estos hallazgos conjuntos contribuyen a una comprensión más completa de los factores que influyen en el comportamiento del suelo en la zona y refuerzan la importancia de abordar adecuadamente los desafíos geotécnicos presentes en este entorno específico.

Figura 64.

Visión conjunta de las líneas geo eléctricas 4,5,6 y 7, dispuestas a lo largo del deslizamiento 2



8. Conclusión

- ❖ El área se sitúa sobre la unidad Chiguinda, compuesta por rocas metamórficas, contrastando con la formación Trigal, resultado de sedimentos lacustres acumulados en un entorno fluvial. La formación Trigal alcanza más de 50 metros de espesor en la parte occidental, cubriendo aproximadamente 71.57 hectáreas según registros estratigráficos y tomografías de resistividad eléctrica. En una extensión adicional de 76.09 hectáreas, se encuentran materiales geológicos más consolidados, principalmente roca lutita de La Banda, seguida por la formación Belén en 13.91 hectáreas, compuesta por areniscas, calizas y lutitas menos compactas. Además, se identifican depósitos coluviales en 1.40 hectáreas, resultado de procesos erosivos y mezcla heterogénea de materiales, siendo más susceptibles a deslizamientos debido a su grado de metamorfismo.
- ❖ Adicionalmente, los modelos de resistividad eléctrica generados mediante el uso del software Res2dinv han brindado una valiosa visión bidimensional de la distribución de propiedades eléctricas en el subsuelo. Estos modelos no solo han permitido identificar las diferentes capas geológicas y sus características, sino que también han contribuido significativamente a la comprensión de la estructura subyacente de la zona de estudio. Estos parámetros indicaron la solidez de las mediciones realizadas durante el proceso de tomografía eléctrica y la precisión de los modelos resultantes, a la vez que permitieron establecer una escala de colores de los valores de resistividad para una interpretación de datos concreta.
- ❖ Los factores que incentivan a los deslizamientos cercanos a la Subestación Central Eólica Villonaco, fueron los siguientes: suelo sobresaturado de agua, particulares de resistividades muy bajas y características de rocas sueltas y altamente saturadas de agua, también surgen resistividades medias, que representan rocas poco fracturadas a nada fracturadas yacientes en manera de bloques y superficialmente por el transporté que han tenido hacia las partes bajas. La parte más alta del área de estudio y en donde se implantó las líneas geo eléctricas 8,9,10 son indicativo de que la presencia de lagunas y humedales actúan como reservorios de agua, cuando llueve o se acumula agua en estas áreas, una parte de esta agua se infiltra en el suelo circundante. Esta infiltración puede aumentar la saturación de los suelos en la parte alta y contribuir a la elevación del nivel freático en esa zona. También el agua de las lagunas y humedales en la parte alta puede fluir subterráneamente hacia áreas más bajas. A medida que

este flujo de agua subterránea se mueve a través del subsuelo, puede arrastrar partículas de suelo y debilitar la estabilidad de las capas de suelo intermedias.

En la actualidad, los deslizamientos se encuentran en un estado inactivo con movimientos leves; sin embargo, por los resultados obtenidos de resistividad eléctrica, hay que considerar el avance de la pendiente debido a la estructura geológica determinada. Es probable que en el futuro se produzcan movimiento de masa, debido al plano de estos deslizamiento, que se encuentran transversalmente a la dirección de los paquetes de arcillas expansivas y areniscas, materiales que son sometidos a tensiones laterales que conducen al desmoronamiento de la zona de interés. Sumado a ello, el mal estado del sistema de drenaje en la zona de estudio también ha desempeñado un papel crítico en la génesis de los deslizamientos. La falta de mantenimiento en los sistemas de drenaje y el uso anti de técnico de mangueras ha propiciado la acumulación de agua en el terreno y la infiltración excesiva; saturación excesiva de agua en ciertas zonas del subsuelo, es lo que ha ido provocando expansión del suelo, formación de grietas y una marcada disminución en la resistividad eléctrica, determinando el origen de los deslizamientos.

En esta investigación, se ha demostrado que las tomografías de resistividad eléctrica(ERT) constituyen un método geofísico altamente viable y preciso para el estudio de los deslizamientos. Los resultados obtenidos mediante ERT han proporcionado información fundamental sobre las propiedades geotécnicas y la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo de la zona de estudio.

9. Recomendación

- ❖ Para garantizar un desempeño óptimo en la campaña geofísica de tomografías de resistividad eléctricas es necesario, tener una planificación adecuada sobre implemento de líneas geoelectricas, en base a la geología y un análisis detallado del terreno para identificar áreas críticas propensas a deslizamientos y movimientos en masa. La disposición de las líneas debe ajustarse a la topografía y a la distribución esperada de las características geológicas. Además, es esencial seleccionar cuidadosamente los puntos de medición para capturar variaciones significativas en la resistividad eléctrica del subsuelo. Con un registro detallado de la ubicación exacta de los electrodos, condiciones del suelo y cualquier factor ambiental relevante.
- ❖ En cuanto a la inversión de los datos de resistividad eléctrica, es recomendable que antes de ingresar datos al software, realiza una cuidadosa configuración del modelo. Esto implica, definir la geometría del subsuelo de acuerdo con la disposición de las líneas geofísicas y la distribución esperada de las propiedades eléctricas y ajustar adecuadamente los parámetros de inversión según las características del área de estudio y las propiedades esperadas del subsuelo. Este proceso abarca la selección de valores de resistividad inicial, ponderaciones de datos y otros parámetros relevantes.
- ❖ Basándonos en los resultados obtenidos se recomienda que, para abordar la prevención de deslizamientos en esta zona, es esencial implementar un sistema de drenaje efectivo que gestione adecuadamente el flujo de agua en el subsuelo. Con un drenaje superficial eficiente, mediante canales revestidos y canaletas, que conduzcan el flujo, lejos de las áreas propensas a deslizamientos. Complementariamente, se recomienda instalar sistemas de drenaje subsuperficial, como tubos enterrados con materiales filtrantes, para captar y desviar el agua infiltrada. Es esencial evaluar y controlar el nivel freático, utilizando técnicas como pozos de drenaje y sistemas de bombeo.
- ❖ Además, para un estudio más profundo y detallado de la dinámica de los deslizamientos, se recomendaría la aplicación de la geotecnia. Con estos procesos se acudiría a la toma de medidas de mitigación y al desarrollo de obras para la

estabilización del terreno.

10. Bibliografía


- A. Perrone, V. Lapenna, & S. Piscitelli. (2012). Electrical resistivity tomographies for landslide monitoring: a review. *ELSEVIER*.
- A. Samouëlian, I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand, & G. Richard. (2004). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *ELSEVIER*.
- Alemán Miguel. (2021). *Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental del Proyecto Eólico Villonaco 2 (Emplazamiento Ducal Membrillo)*.
- Biosca Bárbara. (2011). *Optimización de los procesos de medida e interpretación de la Tomografía Geoeléctrica en la prospección superficial*. E.T.S. Ingenieros de minas de Madrid.
- Cantos Figuerola José. (1973). *Tratado de Geofísica Aplicada* (2nd ed.).
- Cárdenas Juan, & Galvis Esteban. (2011). *Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de la resistividad del suelo a partir de las configuraciones del método de wenner*.
- Collazo María Paula, & Montaña Jorge. (2012). *Manual de Agua Subterránea* (Producción Responsable- M.G.A.P., Ed.; Primera Edición).
- Contraloría General del Estado. (2019). *Examen especial a los estudios y construcción a nivel de pavimento rígido de hormigón al acceso a la s/e villonaco, desde el km 11 de la vía antigua Loja-Catamayo y enlace con los barrios Eucaliptos, el Plateado y Bolonia de la ciudad de Loja longitud 5,5 km, por el período comprendido entre el 1 de junio de 2012 y el 31 de enero 2018*.
- Dante Alcántara. (2014). *Topografía y sus aplicaciones* (Primera Edición, Vol. 1). Editorial Continental.
- D.H Griffiths, & R.D Barker. (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *ELSEVIER*, 29(3–4), 211–226.
- Echeveste Horacio. (2018). *Manual de levantamiento geológico. Una introducción a la geología de campo* (1a ed.). EDULP.
- Edwards, L. s. (1997). A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Gephysics*, 42.
- Ernesto Orellana. (1982). *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua* (Segunda). Philips.
- Gasulla Manel. (1999). *Obtención de imágenes de la distribución de impedancia eléctrica en el*

- subsuelo. Aplicación a la detección de objetos locales* [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Geotomo Software. (2010). *RES2DINV* (3.59.).
- Ibañez, I., Andrade, A., Loaiza, C., Paternina, J., & Buitrago, H. (2019). *Generalidades, Caracterización e implementación de Tecnologías de Aeronaves Remotamente Tripuladas Para Levantamiento Topográfico* (Servicio Nacional de Aprendizaje, Ed.).
- Instituto Geofísico del Perú. (2020). *Levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones GPS de Alto Larán y Río Chico*. www.igp.gob.pe
- Instituto Geográfico Militar. (2008). *Especificaciones Técnicas para Ortofotos Digitales*.
- Instituto Geográfico Militar. (2017). Hoja geológica de Loja (Escala 1: 100000). In *IGM (J62 - G)*.
- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. (2017). Hoja Geológica de Loja, Ecuador a escala 1:100.000. *República Del Ecuador* .
- Lapo Andrea. (2016). *Análisis de susceptibilidad a deslizamientos de la vía Villonaco; desde la Y sector Eucaliptos hasta la intersección vía Villonaco y vía antigua a Catamayo, cantón y provincia de Loja*. Universidad Nacional de Loja.
- Loke, M. (1999). *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*.
- Loke, M. ; B. R. (1996). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geotomo*.
- Loke, M. H. (2000). *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys*. 61.
- Loke, M. H. , A. I. , & D. T. (2003). Una comparación de métodos de inversión suaves y en bloques en 2D encuestas de imágenes eléctricas. *Geofísica de La Exploración* , 32, 182–187.
- Molina Walter. (2006). *Comparación de los métodos 1-D y 2-D de resistividad eléctrica por medio de sondeos tipo Wenner, Dipolo-Dipolo y Wenner-Schlumberger con la utilización de los programas DCINV, RES2DMOD y RES2DINV*. Universidad Simón Bolívar.
- Montoya Victor. (2019). *Caracterización del suelo e identificación de discontinuidades estructurales de deslizamientos mediante tomografía eléctrica 2D. El Alto, Pampas de Majes*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Orellana Ernesto. (1972). *Prospección Geoelectrica en Corriente Continua* (Segunda). Philips.
- Porres José. (2003). *Caracterización de cavidades en el subsuelo mediante la interpretación de perfiles de Tomografías Eléctricas. Aplicación al yacimiento arqueológico de Clunia*.


- Universidad de Burgos.
- Quintana Álvaro. (2013). *Aplicación de la Tomografía Eléctrica en la Caracterización del Deslizamiento de Doña Mencía*. Universidad de Granada.
- Quintanilla Stephanie. (2020). *Dinámica del nivel freático de aguas subterráneas por explotación artesanal con fines de consumo – Comunidad de Azapampa distrito de Chilca 2019*. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil.
- Rivera Mantilla, H. (2005). *Geología General* (Segunda edición, Vol. 2).
- Scivetti Nicolás, Bahía Marcos, & Spagnuolo Jorge. (2021). *Manual de geofísica y métodos geofísicos* (Para el alumno).
- Solís Byron, León Johanna, Tobar Jonathan, & Coronel Oswaldo. (n.d.). *Léxico estratigráfico de las cuencas sedimentarias miocénicas del sur del Ecuador*.
- Suárez Díaz Jaime. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (Vol. 1). UIS.
- Tarbut Edward, & Lutgens Frederick. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física* (Octava). Prentice Hall / Pearson.
- Terrameter LS. (2011). *Manual de instrucción* .
- Vargas Cuervo, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín de Geología*, 22.
- Vélez María. (1999). *Hidráulica de aguas subterráneas* (2nd ed.).
- Weinzettel Pablo, Varni Marcelo, & Dietrich Sebastián. (2009). Evaluación de tres dispositivos de tomografía eléctrica para la identificación de horizontes petrocálcicos en el suelo. *ReseachGate*.

11. Anexos

Anexo 1. Ficha descriptiva para el levantamiento geológico de afloramientos

 <p>1859</p>	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables						
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial						
	Ficha de reconocimiento geológico en campo						
Nro. de afloramiento:							
Proyecto:							
Localización:				Datum:			
Coordenadas:	X:		Y:		Z:		
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:							
Tipo de afloramiento							
Estado del afloramiento							
Dimensiones:	Ancho:		Alto:				
Datos estructurales	Rumbo:		Buzamiento		Dir. Buzamiento		
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
Observaciones:							

Anexo 2. Ficha técnica, para el levantamiento de deslizamientos

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables					
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
	Ficha de reconocimiento geológico en campo					
Deslizamiento N°:					Fecha:	
Proyecto:						
Localización:					Datum:	
Coordenadas:	X:		Y:		Z:	
DATOS GENERALES DEL DESLIZAMIENTO						
Tipo de deslizamiento	Traslacional					
Estado del deslizamiento	Activo:		Reactivado:		Latente:	
	Estabilizado:		Relicto:			
Pendiente	Plana de 0 a 2%		Muy suave de 2 a 5%		Suave de 5 a 12 %	
	Media de 12 a 25 %		Media a fuerte 25 a 40%		Fuerte 40 a 70 %	
	Muy fuerte 70 a 100%		Escarpado > a 100%			
Causas del deslizamiento	Erosión fluvial:		Deforestación:		Deficiencia de sistemas de drenaje:	
	Socavación:		Erosión pluvial:		Vibración artificial:	
	Mov. Tectónico:		Sismo:		Lluvias:	
Velocidad	Rápido:		Moderado:		Lento:	
Material (%)	Roca:		Suelo:		Detrito:	
Composición (%)	Bloques:		Grava:		Arena:	
	Limo:		Arcilla:		Mat. Orgánica:	
Humedad del suelo	Seco:		Lig. Humedo:		Humedo:	
	Muy humedo:		Mojado:			
Origen del suelo	Residual:		Sedimentario:		Coluvial:	
	Volcánico:					
MORFOMETRÍA						
GENERAL			DIMENSIONES			
Diferencia de altura corona a punta (m)			Ancho de la masa desplazada, Wd (m)		Volumen inicial (m3)	
Longitud horizontal corona a punta (m)			Ancho de la superficie de ruptura, Wr (m)		Volumen desplazado (m3)	
Pendiente en ladera en post falla (°)			Longitud de la masa desplazada, Ld (m)		Área inicial (m2)	
Dirección del movimiento			Longitud de la superficie de falla, Lr (m)		Área desplazada (m2)	
Azimut de la ladera			Espesor de la masa desplazada Dd, (m)		Deformación del terreno	
			Profundidad de superficie de ruptura,		Ondulación	
			Longitud total, L (m)		Escalonamiento	
Esquema del deslizamiento						
Planta			Corte			
Observaciones:						
Fotografías del deslizamiento						

Anexo 3. Datos georreferenciales de las líneas geo eléctricas

Línea geo electrica 1					Línea geo electrica 2				
Longitud de la línea	200 m.	Coordenadas			Longitud de la línea:	200 m.	Coordenadas		
Distancia entre electrodos	Punto	X	Y	Cota	Distancia entre electrodos	Punto	X	Y	Cota
0	Inical - 1	694742.606	9558674.84	2297	0	Inical - 1	9558622	2274.90674	2292
5	2	694741.371	9558668.65	2297	5	2	9558623.89	2274.90674	2292
10	3	694741.806	9558664.22	2297	10	3	9558619.47	2272.68604	2292
15	4	694744.35	9558659.46	2297	15	4	9558619.92	2272.68604	2291
20	5	694746.007	9558655.37	2297	20	5	9558619.82	2272.68604	2290
25	6	694746.441	9558650.28	2297	25	6	9558619.5	2272.68604	2289
30	7	694746.317	9558644.42	2297	30	7	9558619.51	2272.68604	2289
35	8	694746.309	9558640.66	2297	35	8	9558618.86	2272.68604	2289
40	9	694746.297	9558635.02	2293	40	9	9558618.54	2272.68604	2289
45	10	694747.841	9558629.82	2292	45	10	9558618.55	2272.68604	2290
50	11	694747.943	9558625.39	2291	50	11	9558618.01	2272.68604	2291
55	12	694748.6	9558621.19	2290	55	12	9558617.91	2275.79297	2292
60	13	694747.254	9558615	2291	60	13	9558617.81	2275.69971	2292
65	14	694749.131	9558610.02	2291	65	14	9558617.49	2276.22217	2292
70	15	694749.455	9558605.59	2291	70	15	9558616.72	2276.12891	2292
75	16	694749.779	9558601.39	2291	75	16	9558616.4	2276.30615	2292
80	17	694752.766	9558595.86	2287	80	17	9558615.97	2275.98901	2292
85	18	694754.757	9558592.09	2287	85	18	9558614.87	2276.073	2292
90	19	694755.413	9558587.33	2284	90	19	9558614.89	2275.59717	2292
95	20	694757.511	9558581.58	2285	95	20	9558614.01	2276.01709	2292
100	21	694758.837	9558578.15	2285	100	21	9558613.91	2277.13672	2292
105	22	694759.383	9558574.06	2285	105	22	9558613.59	2276.63281	2293
110	23	694761.261	9558569.19	2285	110	23	9558613.16	2277.16455	2293
115	24	694763.027	9558564.21	2285	115	24	9558613.06	2278.10718	2294
120	25	694762.46	9558558.46	2284	120	25	9558611.96	2279.94531	2294
125	26	694761.007	9558554.48	2284	125	26	9558611.75	2279.33862	2295
130	27	694762.106	9558548.84	2284	130	27	9558612.43	2279.69336	2296
135	28	694763.54	9558544.19	2283	135	28	9558611.88	2279.69336	2296
140	29	694765.196	9558539.65	2283	140	29	9558612.67	2279.69336	2297
145	30	694767.185	9558535	2283	145	30	9558613.78	2279.69336	2298
150	31	694767.728	9558529.36	2284	150	31	9558614.68	2279.69336	2298
155	32	694768.942	9558525.6	2284	155	32	9558614.91	2284.17212	2299
160	33	694770.709	9558520.73	2284	160	33	9558615.14	2284.8064	2300
165	34	694771.589	9558516.86	2284	165	34	9558615.59	2286.56055	2301
170	35	694773.468	9558512.76	2285	170	35	9558614.28	2286.93384	2301
175	36	694777.236	9558508.77	2285	175	36	9558614.51	2287.74561	2302
180	37	694778.449	9558504.68	2285	180	37	9558614.41	2288.6228	2302
185	38	694779.438	9558499.81	2285	185	38	9558615.08	2288.55737	2302
190	39	694780.649	9558494.83	2286	190	39	9558615.31	2288.61353	2303
195	40	694783.75	9558490.84	2288	195	40	9558616.65	2288.46411	2303
200	41	694784.741	9558486.86	2289	200	41	9558616.33	2288.71606	2304
205	Final - 42	694785.175	9558482.32	2290	205	Final - 42	9558619	2289.51856	2304



Línea geo eléctrica 5					Línea geo eléctrica 6				
Longitud de la línea:	200 m.	Coordenadas			Longitud de la línea:	200 m.	Coordenadas		
Distancia entre electrodos	Punto	X	Y	Cota	Distancia entre electrodos	Punto	X	Y	Cota
0	Inical - 1	695344.732	9557982.05	2201	0	Inical - 1	695189.889	9558125.26	2237
5	2	695343.408	9557986.25	2202	5	2	695194.332	9558125.58	2236
10	3	695342.089	9557992.67	2202	10	3	695199.332	9558126.34	2234
15	4	695341.876	9557996.65	2202	15	4	695204.105	9558125.34	2233
20	5	695341.108	9558001.07	2202	20	5	695208.658	9558125.11	2232
25	6	695339.56	9558004.51	2202	25	6	695213.876	9558124.32	2231
30	7	695339.462	9558010.37	2202	30	7	695219.649	9558123.42	2229
35	8	695338.695	9558015.35	2202	35	8	695223.87	9558123.75	2228
40	9	695338.817	9558020.43	2202	40	9	695228.647	9558124.18	2227
45	10	695337.72	9558026.85	2202	45	10	695234.197	9558123.06	2226
50	11	695338.838	9558030.27	2202	50	11	695239.97	9558121.83	2225
55	12	695336.188	9558037.47	2202	55	12	695245.189	9558121.71	2225
60	13	695335.198	9558041.89	2202	60	13	695249.078	9558122.7	2225
65	14	695334.651	9558045.99	2201	65	14	695253.631	9558122.24	2224
70	15	695337.437	9558050.18	2200	70	15	695258.961	9558121.79	2223
75	16	695334.783	9558055.5	2201	75	16	695263.071	9558122.33	2223
80	17	695334.571	9558060.25	2201	80	17	695269.066	9558121.55	2221
85	18	695334.137	9558065.23	2202	85	18	695272.952	9558121.1	2220
90	19	695333.705	9558070.65	2202	90	19	695277.17	9558119.98	2218
95	20	695331.603	9558074.64	2202	95	20	695282.722	9558119.2	2217
100	21	695332.059	9558080.05	2201	100	21	695286.94	9558118.41	2215
105	22	695331.516	9558085.8	2201	105	22	695290.49	9558116.64	2214
110	23	695330.084	9558091.45	2201	110	23	695297.375	9558116.07	2212
115	24	695330.427	9558095.65	2201	115	24	695301.48	9558114.07	2210
120	25	695330.326	9558100.74	2201	120	25	695306.032	9558113.84	2209
125	26	695329.887	9558103.06	2201	125	26	695310.584	9558112.72	2207
130	27	695328.564	9558107.38	2201	130	27	695316.911	9558111.16	2204
135	28	695329.244	9558113.79	2202	135	28	695321.353	9558111.26	2203
140	29	695329.142	9558118.32	2202	140	29	695325.352	9558111.81	2202
145	30	695331.927	9558122.08	2202	145	30	695329.79	9558109.81	2201
150	31	695334.713	9558126.83	2203	150	31	695335.562	9558108.14	2200
155	32	695335.169	9558132.24	2203	155	32	695338.558	9558106.91	2200
160	33	695335.624	9558137.33	2203	160	33	695343.884	9558104.8	2198
165	34	695336.189	9558141.75	2204	165	34	695347.552	9558106.23	2198
170	35	695336.31	9558146.51	2204	170	35	695352.997	9558107.66	2197
175	36	695337.318	9558150.49	2204	175	36	695357.889	9558109.97	2197
180	37	695338.22	9558156.57	2205	180	37	695362.885	9558109.51	2197
185	38	695339.119	9558161.43	2205	185	38	695368.328	9558110.06	2197
190	39	695340.463	9558166.96	2205	190	39	695373.095	9558105.73	2195
195	40	695340.253	9558172.27	2206	195	40	695377.985	9558107.38	2196
200	41	695340.814	9558175.25	2207	200	41	695382.099	9558109.58	2196
205	Final - 42	695340.714	9558180.34	2210	205	Final - 42	695386.325	9558112.23	2197

Línea geo electrica 7					Línea geo electrica 8				
Longitud de la línea:	120 m.	Coordenadas			Longitud de la línea:	200	Coordenadas		
Distancia entre electrodos	Punto	X	Y	Cota	Distancia entre electrodos	Punto	X	Y	Cota
0	Inical - 1	695226.625	9558009.72	2219.8	0	Inical - 1	695068.928	9558012.94	2226
3	2	695225.076	9558012.6	2220.0	3	2	695064.703	9558010.51	2227
6	3	695223.529	9558016.14	2220.0	6	3	695059.922	9558007.87	2228
9	4	695221.979	9558018.47	2220.1	9	4	695057.023	9558002.79	2228
12	5	695221.984	9558020.9	2220.2	12	5	695054.239	9557999.03	2228
15	6	695220.435	9558023.78	2220.3	15	6	695050.9	9557995.83	2228
18	7	695219.887	9558026.88	2220.4	18	7	695048.225	9557991.19	2228
21	8	695219.67	9558029.42	2220.5	21	8	695044.885	9557987.66	2228
24	9	695217.901	9558032.97	2220.5	24	9	695042.436	9557984.68	2229
27	10	695216.906	9558035.4	2220.6	27	10	695039.097	9557981.26	2229
30	11	695215.356	9558037.62	2220.7	30	11	695036.758	9557978.28	2231
33	12	695213.807	9558040.38	2220.7	33	12	695033.75	9557973.75	2231
36	13	695212.368	9558042.49	2220.8	36	13	695031.518	9557968.78	2231
39	14	695212.818	9558045.03	2220.9	39	14	695029.842	9557964.03	2231
42	15	695211.158	9558047.91	2221.1	42	15	695028.389	9557959.5	2231
45	16	695208.832	9558050.57	2222.2	45	16	695025.825	9557954.97	2231
48	17	695207.949	9558053.11	2222.7	48	17	695027.148	9557950.88	2231
51	18	695207.843	9558055.66	2223.3	51	18	695023.03	9557946.35	2230
54	19	695206.738	9558058.2	2223.9	54	19	695019.356	9557942.16	2230
57	20	695204.745	9558061.3	2224.8	57	20	695018.579	9557942.49	2230
60	21	695204.084	9558063.74	2225.5	60	21	695016.128	9557938.84	2230
63	22	695203.203	9558067.17	2226.6	63	22	695013.343	9557934.76	2229
66	23	695200.431	9558069.28	2227.9	66	23	695009.888	9557929.24	2229
69	24	695198.993	9558071.71	2228.8	69	24	695007.104	9557925.59	2229
72	25	695199.215	9558071.82	2228.8	72	25	695004.097	9557921.62	2229
75	26	695198.441	9558073.59	2229.3	75	26	695001.201	9557917.75	2230
78	27	695197.003	9558075.92	2230.0	78	27	694998.97	9557913.23	2230
81	28	695195.566	9558079.35	2230.7	81	28	694996.408	9557909.69	2231
84	29	695197.237	9558081.89	2230.8	84	29	694993.953	9557903.95	2231
87	30	695195.912	9558085.43	2231.4	87	30	694991.835	9557900.19	2232
90	31	695193.81	9558088.86	2231.7	90	31	694989.715	9557895.77	2232
93	32	695193.041	9558092.85	2231.9	93	32	694989.481	9557890.35	2232
96	33	695194.379	9558095.28	2232.0	96	33	694990.25	9557886.15	2232
99	34	695194.384	9558097.93	2232.5	99	34	694990.35	9557880.95	2232
102	35	695193.498	9558098.93	2232.9	102	35	694988.895	9557875.87	2232
105	36	695192.728	9558102.47	2234.1	105	36	694987.219	9557871.34	2232
108	37	695191.401	9558105.02	2234.8	108	37	694983.656	9557866.92	2232
111	38	695191.187	9558109.11	2235.2	111	38	694982.095	9557863.94	2232
114	39	695191.306	9558112.42	2235.5	114	39	694980.31	9557860.29	2232
117	40	695190.644	9558114.64	2235.8	117	40	694977.854	9557854.44	2232
120	41	695190.093	9558116.85	2236.3	120	41	694976.069	9557850.46	2232
123	Final - 42	695190.434	9558120.17	2236.7	123	Final - 42	694974.727	9557846.26	2231



Línea geo eléctrica 9				
Longitud de la línea:	200	Coordenadas		
Distancia entre electrodos	Punto	X	Y	Cota
0	Inical - 1	694954.481	9558038.4	2231
3	2	694955.356	9558032.09	2233
6	3	694956.683	9558029.21	2233
9	4	694955.89	9558022.03	2233
12	5	694952.107	9558018.94	2233
15	6	694952.21	9558015.07	2233
18	7	694951.756	9558010.53	2233
21	8	694951.858	9558006.44	2233
24	9	694950.85	9558002.46	2233
27	10	694950.284	9557997.04	2233
30	11	694949.492	9557990.3	2233
33	12	694948.927	9557985.66	2233
36	13	694950.029	9557982	2233
39	14	694949.129	9557976.7	2233
42	15	694948.451	9557970.84	2233
45	16	694949.331	9557966.86	2233
48	17	694948.764	9557961.55	2233
51	18	694948.755	9557957.24	2233
54	19	694947.856	9557952.37	2233
57	20	694946.402	9557947.73	2233
60	21	694945.392	9557942.76	2232
63	22	694944.381	9557937.56	2231
66	23	694943.04	9557933.47	2231
69	24	694942.362	9557928.16	2230
72	25	694941.02	9557923.74	2230
75	26	694940.454	9557918.66	2229
78	27	694939.222	9557913.68	2229
81	28	694937.658	9557909.38	2229
84	29	694938.879	9557909.26	2229
87	30	694936.538	9557904.95	2228
90	31	694936.526	9557899.42	2228
93	32	694934.295	9557895.12	2228
96	33	694932.953	9557890.81	2228
99	34	694932.389	9557886.49	2227
102	35	694930.145	9557875.88	2227
105	36	694929.356	9557870.36	2227
108	37	694928.567	9557864.83	2227
111	38	694927.447	9557860.41	2227
114	39	694926.992	9557855.32	2227
117	40	694926.426	9557850.68	2227
120	41	694925.637	9557845.15	2227
123	Final - 42	694925.184	9557840.95	2227


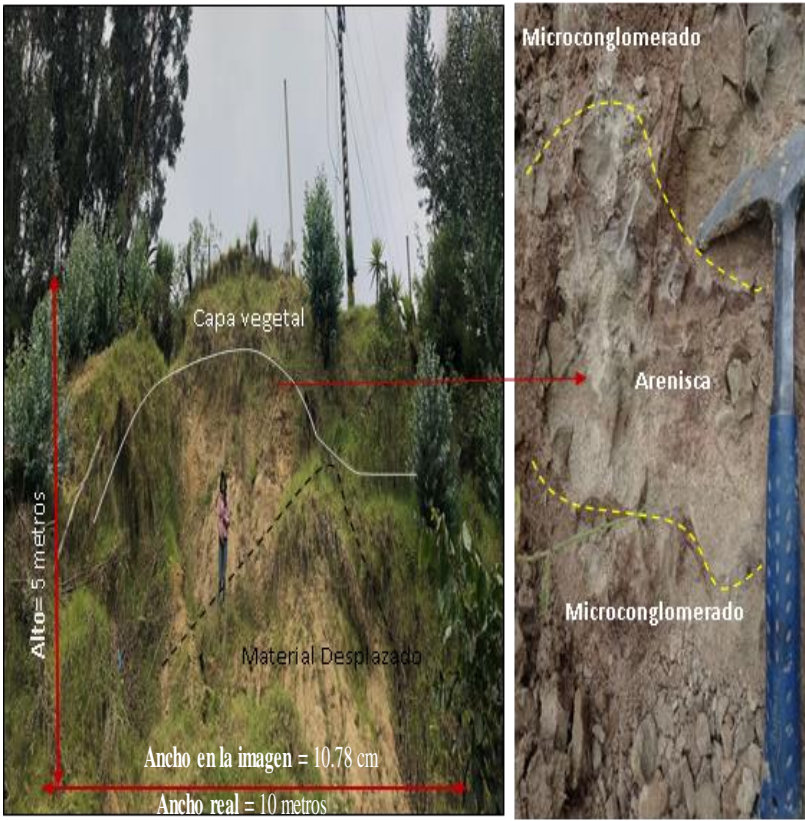
Línea geo eléctrica 10				
Longitud de la línea:	200	Coordenadas		
Distancia entre electrodos	Punto	X	Y	Cota
0	Inical - 1	694755.128	9557880.79	2239
3	2	694754.694	9557885.99	2239
6	3	694756.471	9557885.76	2239
9	4	694754.813	9557889.64	2239
12	5	694752.165	9557897.72	2239
15	6	694750.176	9557902.48	2239
18	7	694749.198	9557912.65	2239
21	8	694747.655	9557918.08	2239
24	9	694745.568	9557929.03	2240
27	10	694744.801	9557933.9	2240
30	11	694742.812	9557938.32	2240
33	12	694741.711	9557943.08	2240
36	13	694741.611	9557948.17	2239
39	14	694740.957	9557953.92	2240
42	15	694740.08	9557959.12	2240
45	16	694739.202	9557963.99	2240
48	17	694738.99	9557968.85	2240
51	18	694738.444	9557973.06	2240
54	19	694738.119	9557977.04	2240
57	20	694745.444	9557922.61	2240
60	21	694748.854	9557907.46	2239
63	22	694736.574	9557981.8	2240
66	23	694734.588	9557987.88	2241
69	24	694733.82	9557992.31	2242
72	25	694734.276	9557997.73	2242
75	26	694734.62	9558002.81	2243
78	27	694734.742	9558007.68	2243
81	28	694735.529	9558012.21	2243
84	29	694735.426	9558016.3	2243
87	30	694735.659	9558021.17	2244
90	31	694735.779	9558025.48	2244
93	32	694736.459	9558031.89	2244
96	33	694736.023	9558035.65	2244
99	34	694736.7	9558040.63	2244
102	35	694736.045	9558046.16	2245
105	36	694735.722	9558050.7	2245
108	37	694735.399	9558055.56	2245
111	38	694735.742	9558060.32	2245
114	39	694736.197	9558064.96	2246
117	40	694736.316	9558069.05	2246
120	41	694735.105	9558074.03	2246
123	Final - 42	694735.337	9558078.67	2246



Anexo 4. Caracterización de afloramientos


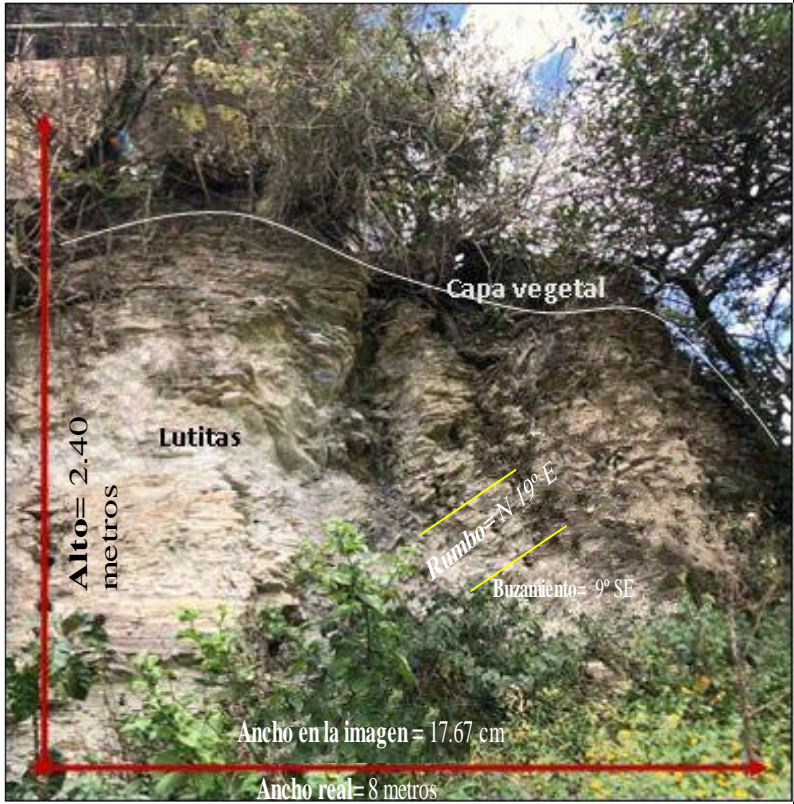
 <p>1859</p>	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables						
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial						
	Ficha de reconocimiento geológico en campo						
Nro. de afloramiento:	1						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	Barrio eucalipto bajo			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695459	Y:	9557899	Z:	2229	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	Depósito Coluvial						
Tipo de afloramiento:	Natural						
Estado del afloramiento:	Baja meteorización						
Dimensiones:	Ancho:	5 m.	Alto:	2 m.			
Datos estructurales	Rumbo:		Buzamiento:		Dir. Buzamiento:		
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>Presencia de abundante vegetación herbácea y arbustiva, la cobertura del depósito se encuentra conformada por finas capas de matriz limosa. Las rocas comunes, a lo largo de este depósito, es la arenisca y caliza, con cierto porcentaje de presencia de guijarros y esquistos debido a la ubicación del depósito. Pues, se encuentra formado a lo largo de una quebrada y es notorio la presencia de rocas rodadas por las partes altas.</p>							
Observaciones:							



		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
		Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables					
		Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
		Ficha de reconocimiento geológico en campo					
Nro. de afloramiento:		2					
Proyecto:		Trabajo de investigación					
Localización:		Villonaco Bajo		Datum:		WGS 1984-UTM-ZONA 17S	
Coordenadas:		X:	695271	Y:	9557971	Z:	2254
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:		Belén					
Tipo de afloramiento		Natural					
Estado del afloramiento		Altamente meteorizada					
Dimensiones:		Ancho:	22.50 m	Alto:	4 m.		
Datos estructurales		Rumbo:		Buzamiento		Dir. Buzamiento	
Descripción:		Fotografía/Esquema:					
<p>Se observa una composición limo-arcillosa de grano fino, con una cobertura vegetal 60 cm en la parte superior. Los sedimentos se encuentran depositados de manera intercalada desde arenisca de grano medio de coloración marrón clara, con lentes de microconglomerados, formados horizontalmente y de manera estratificada. Se asume que este afloramiento pertenece a la formación Belén, que registra una edad del Mioceno Inferior</p>		 <p>The composite image includes: <ul style="list-style-type: none"> A field photograph of a hillside with a person standing at the base for scale. A red double-headed arrow indicates a height of 4 meters. A black outline on the hillside is labeled 'Material desplazado'. A red double-headed arrow at the bottom indicates a width of 22.50 meters, with a note 'Ancho en la imagen = 11.05 cm'. A close-up photograph of a geological hammer on a rock face, with a red arrow pointing to a specific layer. A close-up photograph of a rock sample labeled 'Arenisca'. </p>					
Observaciones:		La toma de datos estructurales se dificulta, porque la consistencia del material es muy deformable y no consolidado. Se encuentra deslizado, por las recurrentes precipitaciones, dando lugar a un flujo rápido.					


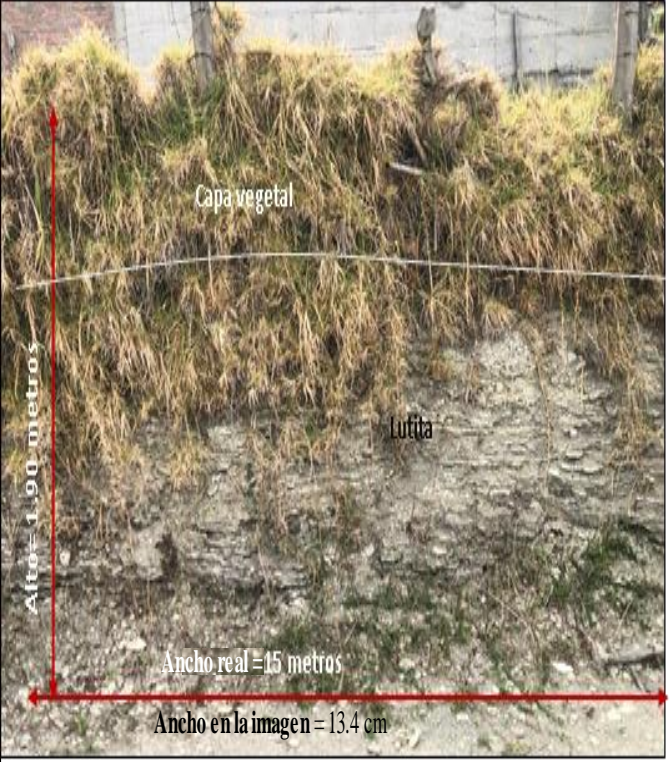
 1859	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables						
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial						
	Ficha de reconocimiento geológico en campo						
Nro. de afloramiento:	3						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	En la vía barrial con dirección a la avenida villonaco			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695123	Y:	9558248	Z:	2292	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	Belén						
Tipo de afloramiento	Antrópico						
Estado del afloramiento	Altamente meteorizada						
Dimensiones:	Ancho:	26.1 m.	Alto:	2.8 m			
Datos estructurales	Rumbo:		Buzamiento:	Dir. Buzamiento:			
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>Talud antrópico, cubierto por una abundante cobertura de vegetación arbustiva y de árboles. Afloramiento de material sedimentario de matriz limo arenosa. Compuesta por roca arenisca de tonalidad grisácea oscura. En la parte izquierda afloran arcillas con grados de oxidación moderados por la colaración anaranjada y limonita, ambas altamente meteorizadas. En la parte superior, cerca del material orgánico, yace un lente de caliza grisácea.</p>							
Observaciones:	Talud antrópico con peinado, por la acción de maquinaria excavadora.						


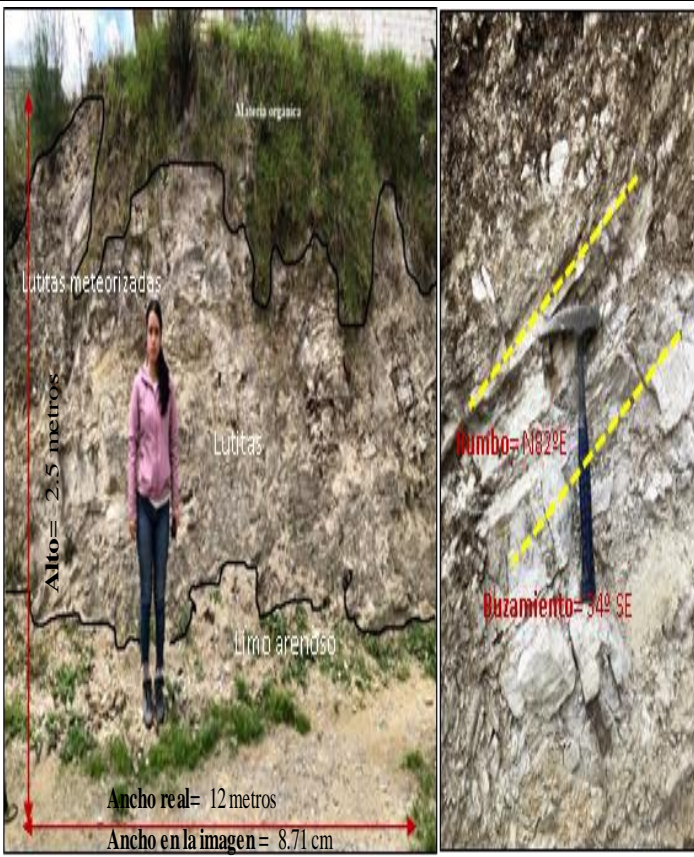
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
		Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables					
		Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
		Ficha de reconocimiento geológico en campo					
Nro. de afloramiento:	4						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	En la vía barrial con dirección a la avenida villonaco			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695039	Y:	9558398	Z:	2310	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	Belén						
Tipo de afloramiento	Natural						
Estado del afloramiento	Media a baja meteorización						
Dimensiones:	Ancho:	10 m.	Alto:	5 m.			
Datos estructurales	Rumbo:		Buzamiento:		Dir. Buzamiento:		
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>Afloramiento cubierto por gran variedad de vegetación herbácea. Predomina una matriz areno-arcillosa de grano medio a fino, en la parte central yace intercalaciones con altitudes de 4 a 5 centímetros; dichas intercalaciones constan de una andesita metamorfizada baja, con presencia de micas y biotita, seguida de capas visibles de microconglomerados angulosos, con una coloración marrón a morado oscuro, debido a la acción de la oxidación.</p>							
Observaciones:			Se encuentra evidencia de movimientos antiguos de materiales sedimentarios, que han ido acumulándose en el pie del afloramiento				


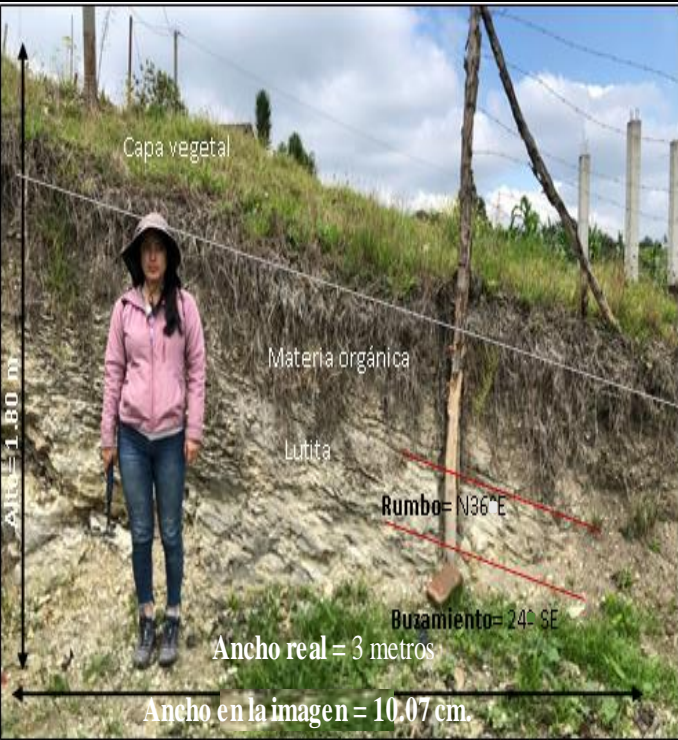
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables						
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial						
	Ficha de reconocimiento geológico en campo						
Nro. de afloramiento:	5						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	En la vía barrial con dirección a la avenida villonaco			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695059	Y:	9558356	Z:	2302	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	Belén						
Tipo de afloramiento	Natural						
Estado del afloramiento	Baja meteorización						
Dimensiones:	Ancho:	1.5 m.	Alto:	0.80 m.			
Datos estructurales	Rumbo:	S 53° E	Buzamiento:	8° NE	Dir. Buzamiento:	37°	
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>Afloramiento de pequeña dimensión, cubierto por vegetación herbácea y una fina capa de materia orgánica. Se observa una matriz arenosa con compactaciones de limo fina amarillenta, en la parte superior derecha surgen lutitas con alto grado de metamorfización</p>							
Observaciones:			Yace lutita altamente metamorfizada.				



 <p>1859</p>	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables						
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial						
	Ficha de reconocimiento geológico en campo						
Nro. de afloramiento:	6						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	Vilonaco bajo			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695314	Y:	9558201	Z:	2276	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	La Banda						
Tipo de afloramiento	Natural						
Estado del afloramiento	Baja meteorización						
Dimensiones:	Ancho:	8 m.	Alto:	2.4 m.			
Datos estructurales	Rumbo:	N19°E	Buzamiento:	9° SE	Dir. Buzamiento:	109°	
Descripción:	Fotografía/Esquema:						
<p>Afloramiento conformado por una escasa capa cobertura vegetal. Su estructura esta ligada a una estratificación cruzada, en su litología predomina, en lutitas blanquecinas, en una estructura de tipo fisibilidad, debido a que refleja capas finas en un espesor uniforme.</p>							
Observaciones:	Afloramiento en estado de compresión, por el asentamiento de viviendas.						



 1859	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables						
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial						
	Ficha de reconocimiento geológico en campo						
Nro. de afloramiento:	7						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	Plateado			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695875	Y:	9559348	Z:	2232	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	La Banda						
Tipo de afloramiento:	Antrópico						
Estado del afloramiento:	Alta meteorización						
Dimensiones:	Ancho:	6 m.	Alto:	1.3 m.			
Datos estructurales	Rumbo:	N 45° E	Buzamiento:	32° SE	Dir. Buzamiento:	135°	
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>La composición litológica de esta formación, surge casi toda el área del barrio El Paraiso, siendo lutitas laminadas altamente diaclasadas y plegadas, con una compactación en limo calcárea. Cuenta con fragmentos de lodolita y arenisca en grano medio. Al encontrarse expuesta a un alto grado de erosión, existe finas capas de cubrimiento de arcilla de color marrón oscura.</p>							
Observaciones:			Las lutitas se encuentran diaclasadas y con fracturamiento laminar.				


 1859		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
		Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables					
		Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
		Ficha de reconocimiento geológico en campo					
Nro. de afloramiento:	8						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	Plateado			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695847	Y:	9559414	Z:	2242	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	La Banda						
Tipo de afloramiento:	Antrópico						
Estado del afloramiento:	Media metamorfización						
Dimensiones:	Ancho:	15 m.	Alto:	1.90 m.			
Datos estructurales	Rumbo:	N 15° E	Buzamiento:	6° SE	Dir. Buzamiento:	105°	
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>Afloramiento cubierto por 40 cm de vegetación herbácea. Su estructura es estratificada y su litología esta compuesto de lutitas blanquecinas laminadas en una matriz limo arenosa de granos finos, seguido de arenisca calcárea con fragmentos de caliza blanca, en granos finos superiores a 2mm de diámetro. La disposición de las lutitas, es de manera horizontal.</p>							
Observaciones:							


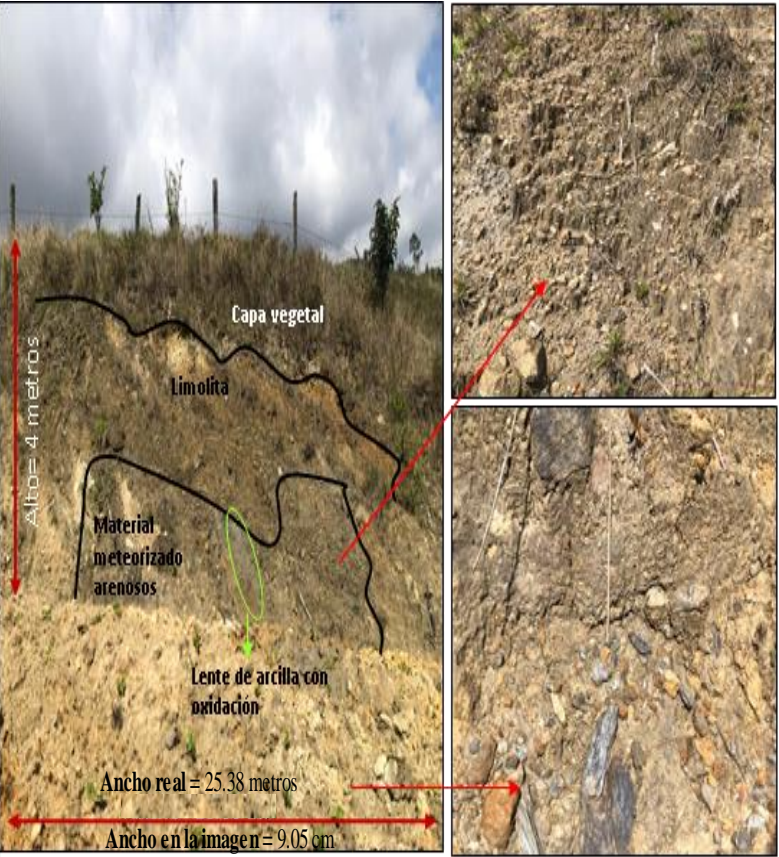
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
		Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables					
		Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
		Ficha de reconocimiento geológico en campo					
Nro. de afloramiento:	9						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	La Banda			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695285	Y:	9558249	Z:	2242	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	La Banda						
Tipo de afloramiento:	Antrópico						
Estado del afloramiento:	Media meteorización						
Dimensiones:	Ancho:	12 m.	Alto:	2.5 m.			
Datos estructurales	Rumbo:	N82°E	Buzamiento:	34°SE	Dir. Buzamiento:	172°	
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>Afloramiento influenciado por asentamiento de actividad humana, se encuentra compuesta por una litología cálcarea de lutitas con fragmentación laminar, con finas capas de material limoso. La formación de los estratos es de manera estratificada inclinada y paralela, en la parte de arriba, en donde se encuentra cubierto por vegetación herbácea esta, en estado de compresión, por el mismo motivo de de la compresión de viviendas.</p>							
Observaciones:	La relación de los estratos es concordante.						

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables						
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial						
	Ficha de reconocimiento geológico en campo						
Nro. de afloramiento:	10						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:				Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695293	Y:	9558405	Z:	2248	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	La Banda						
Tipo de afloramiento:	Antrópico						
Estado del afloramiento:	Meteorización Baja						
Dimensiones:	Ancho:	3 m.	Alto:	1.80 m.			
Datos estructurales	Rumbo:	N36°E	Buzamiento:	24° SE	Dir. Buzamiento:	126°	
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>El afloramiento corresponde a una estructura de fisibilidad sedimentaria, por su depositación en finas capas de lutitas y diminutas fragmentaciones de calcita, la roca como tal, presenta una coloración beige a lutitas negras, esto como causa de la acción de la materia orgánica.. En la parte derecha inferior yacen materiales detríticos arenosos y en la parte superior cerca de la capa vegetal herbácea, afloran lutitas que cambian de tonalidad a negras por acción de la materia orgánica.</p>							
Observaciones:							

 <p>1859</p>	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables					
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
	Ficha de reconocimiento geológico en campo					
Nro. de afloramiento:	11					
Proyecto:	Trabajo de investigación					
Localización:				Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S	
Coordenadas:	X:	695331	Y:	9558677	Z:	2304
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO						
Formación/Unidad:	La Banda					
Tipo de afloramiento:	Natural					
Estado del afloramiento	Alta Metamorfización					
Dimensiones:	Ancho:	5 m.	Alto:	2 m.		
Datos estructurales	Rumbo F. Izq.	S32 °W	Buzamiento:	41° SE	Dir. Buzamiento:	122°
	Rumbo F. Dcha.	S18W°	Buzamiento:	61° NW	Dir. Buzamiento:	288°
Descripción:			Fotografía/Esquema:			
<p>Comprende una litología de lutitas grisácea a beige, presenta un micropliegue tipo anticlinal asimétrico en la parte derecha final del afloramiento. En la parte izquierda superior en cantidades pequeñas, del afloramiento yace un tipo de roca silíceo denominada diatomita, por las características industriales que posee, que son; un brillo terroso mate, con una plasticidad baja y con un color blanco.</p>						
Observaciones:						






	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables						
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial						
	Ficha de reconocimiento geológico en campo						
Nro. de afloramiento:	12						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	Hacienda, barrio eucalipto bajo			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	694740	Y:	9557877	Z:	2295	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	La Banda						
Tipo de afloramiento:	Antrópico						
Estado del afloramiento:	Alta meteorización						
Dimensiones:	Ancho:	20.79 m.	Alto:	7 m.			
Datos estructurales	Rumbo:		Buzamiento:		Dir. Buzamiento:		
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>La litología corresponde a una matriz limo arcillosa de tonalidades claras con alta plasticidad, con yacencia de limolitas y areniscas carbonatadas, el afloramiento refleja en las partes superiores de derecha, depositaciones estratificadas cruzadas de areniscas de color marrón oscuro con grano granulado. Y en la parte izquierda aflora una intrusión gruesa de material chert de tonalidad negra con evidencia de oxidación de hierro.</p>							
Observaciones:							


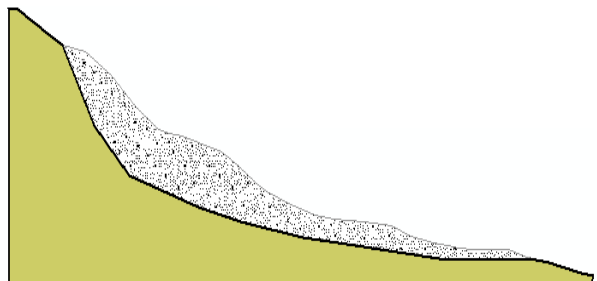


 1859	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
	Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables					
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
	Ficha de reconocimiento geológico en campo					
Nro. de afloramiento:	13					
Proyecto:	Trabajo de investigación					
Localización:	Villonaco Bajo		Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	695058	Y:	9558090	Z:	2276
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO						
Formación/Unidad:	Trigal					
Tipo de afloramiento	Antrópico					
Estado del afloramiento	Altamente meteorizada					
Dimensiones:	Ancho:	30.92	Alto:	3 m.		
Datos estructurales	Rumbo:		Buzamiento	Dir. Buzamiento		
Descripción:			Fotografía/Esquema:			
<p>En la parte superior del afloramiento se puede observar una capa de 50 cm de vegetación herbácea. Seguido se presenta una estratificación gradual de tipo sedimentario. En la parte superior se presenta un lente de arcillas anaranjadas, con un grado moderado de compactación. Seguido se presentan areniscas de color crema de grano fino. En la parte inferior se presenta microconglomerados de gravas semiangulares.</p>						
Observaciones:		Talud antrópico, con presencia de carcávas minimas por el escurrimiento hidrico que existe en la parte superior.				

 1859		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
		Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables					
		Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
		Ficha de reconocimiento geológico en campo					
Nro. de afloramiento:	14						
Proyecto:	Trabajo de investigación						
Localización:	Barrio eucalipto bajo			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X:	694605	Y:	9558216	Z:	2320	
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO							
Formación/Unidad:	Trigal						
Tipo de afloramiento:	Natural						
Estado del afloramiento:	Baja meteorización						
Dimensiones:	Ancho:	25.38 m	Alto:	4 m.			
Datos estructurales	Rumbo:		Buzamiento:		Dir. Buzamiento:		
Descripción:			Fotografía/Esquema:				
<p>El afloramiento se encuentra gradualmente estratificado por roca limolita en una matriz arcillosa de alta plasticidad, con presencia de gravas redondeadas. En la parte baja central, resalta una litología de limolitas grisáceas con finas capas de microconglomerado. En la parte inferior comprende bloques pequeños de roca metamórfica, posiblemente por un depósito coluvial.</p>							
Observaciones:							

 <p>1859</p>	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
	Facultad de Energí, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables					
	Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
	Ficha de reconocimiento geologico en campo					
Nro. de afloramiento:	15			Fecha:	28/12/2022	
Proyecto:	Trabajo de investigación					
Localización:	Barrio eucalipto bajo			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S	
Coordenadas:	X:	694675	Y:	9558582	Z:	2345
DATOS GENERALES DEL AFLORAMIENTO						
Formación/Unidad:	Trigal/Chiguinda					
Tipo de afloramiento:	Antrópico					
Estado del afloramiento:	Meida meteorización					
Dimensiones:	Ancho:	4 m.	Alto:	8m.		
Datos estructurales	Rumbo:		Buzamiento:		Dir. Buzamiento:	
Descripción:			Fotografía/Esquema:			
<p>Esta litología indica en la parte izquierda del afloramiento, con material metamórfico siendo esquistos foliados por la presencia de micas con cierta cantidad de roca filita, en una matriz arenosa. En la parte derecha yace calcarenita, que es una arenisca de grano muy grueso, con un medio grado de metamorfización en una matriz limo arenosa</p>						
Observaciones:						

Anexo 5. Ficha descriptiva de los deslizamientos

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA			
		Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables			
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
Ficha de reconocimiento geológico en campo					
Nro. de deslizamiento:	1				
Proyecto:	Trabajo de investigación				
Localización:	Barrio Eucalipto	Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S		
Coordenadas:	X: 694805	Y: 9558523	Z: 2323		
DATOS GENERALES DEL DESLIZAMIENTO					
Tipo de deslizamiento	Traslacional				
Estado del deslizamiento	Activo:	Reactivado:	Latente:		
	Estabilizado:	Relicto:			
Pendiente	Plana de 0 a 2%	Muy suave de 2 a 5%	Suave de 5 a 12 %		
	Media de 12 a 25 %	Media a fuerte 25 a 40%	Fuerte 40 a 70 %		
	Muy fuerte 70 a 100%	Escarpado > a 100%			
Causas del deslizamiento	Erosión fluvial:	Deforestación:	Deficiencia de sistemas de drenaje:		
	Socavación:	Erosión pluvial:	Vibración artificial:		
	Mov. Tectónico:	Sismo:	Lluvias:		
Velocidad	Rápido:	Moderado:	Lento:		
Material (%)	Roca:	Suelo:	Detrito:		
	Bloques:	Grava:	Arena:		
Composición (%)	Limo:	Arcilla:	Mat. Orgánica:		
	Seco:	Lig. Humedo:	Humedo:		
Humedad del suelo	Muy humedo:	Mojado:			
	Residual:	Sedimentario:	Coluvial:		
Origen del suelo	Volcánico:				
MORFOMETRÍA					
GENERAL		DIMENSIONES			
Diferencia de altura corona a punta (m)	40	Ancho de la masa desplazada, Wd (m)	122		
Longitud horizontal corona a punta (m)	336	Ancho de la superficie de ruptura, Wr (m)	129.15		
Pendiente en ladera en post falla (°)	5.71	Longitud de la masa desplazada, Ld (m)	3		
Dirección del movimiento	NW-SE	Longitud de la superficie de falla, Lr (m)	295		
Azimut de la ladera	160 °	Espesor de la masa desplazada Dd, (m)	4		
		Profundidad de superficie de ruptura, Dr (m)	40		
		Longitud total, L (m)	328		
			Deformación del terreno		
			Ondulación		
			Escalonamiento		
Esquema del deslizamiento					
Planta		Corte			
					
Observaciones:		Deslizamiento cubierto por vegetación herbácea, conformado por un tipo de suelo limoso sedimentario, con bloques de roca arenisca, de tonalidad marrón clara. Se observa que la actividad lenta del movimiento a provocado el deterioro de infraestructura residencial.			
Fotografías del deslizamiento					
					

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
Facultad de Energía, las Industrias y de los Recursos Naturales no Renovables						
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial						
Ficha de reconocimiento geológico en campo						
Nro. de deslizamiento:	2					
Proyecto:	Trabajo de investigación					
Localización:	Barrio Bolonia bajo			Datum:	WGS 1984-UTM-ZONA 17S	
Coordenadas:	X:	695226	Y:	9558009	Z:	2240
DATOS GENERALES DEL DESLIZAMIENTO						
Tipo de deslizamiento	Rotacional					
Estado del deslizamiento	Activo:		Reactivado:	x	Late nte:	
	Estabilizado:		Relicto:			
Pendiente	Plana de 0 a 2%		Muy suave de 2 a 5%		Suave de 5 a 12 %	x
	Media de 12 a 25 %		Media a fuerte 25 a 40%		Fuerte 40 a 70 %	
	Muy fuerte 70 a 100%		Escarpado > a 100%			
Causas del deslizamiento	Erosión fluvial:		Deforestación:		Deficiencia de sistemas de drenaje:	
	Socavación:		Erosión pluvial:	x	Vibración artificial:	
	Mov. Tectónico:	x	Sismo:		Lluvias:	x
Velocidad	Rápido:		Moderado:		Lento:	x
Material (%)	Roca:	20	Suelo:	50	Detrito:	30
Composición (%)	Bloques:		Grava:		Arena:	30
	Limo:	10	Arcilla:	40	Mat. Orgánica:	10
Humedad del suelo	Seco:		Lig. Humedo:	x	Humedo:	
	Muy humedo:		Mojado:			
Origen del suelo	Residual:		Sedimentario:	x	Coluvial:	
	Volcánico:					
MORFOMETRÍA						
GENERAL		DIMENSIONES				
Diferencia de altura corona a punta (m)	27	Ancho de la masa desplazada, Wd (m)	36	Volumen inicial (m3)	112407.74	
Longitud horizontal corona a punta (m)	170	Ancho de la superficie de ruptura, Wr (m)	44	Volumen desplazado (m3)	7671.54	
Pendiente en ladera en post falla (°)	9.02	Longitud de la masa desplazada, Ld (m)	164	Área inicial (m2)	7425.63	
Dirección del movimiento	NW-SE	Longitud de la superficie de falla, Lr (m)	130	Área desplazada (m2)	8079.01	
Azimut de la ladera	172 °	Espesor de la masa desplazada Dd, (m)	19	Deformación del terreno		
		Profundidad de superficie de ruptura, Dr	20	Ondulación		
		Longitud total, L (m)	168	Escalonamiento	x	
Esquema del deslizamiento						
Planta			Corte			
						
Observaciones:			Deslizamiento cubierto por vegetación herbácea, conformado por un tipo de suelo arcilloso sedimentario, con bloques de roca arenisca y limolita, de tonalidades oscuras. Se observa que la actividad lenta del movimiento a provocado el deterioro de infraestructura residencial.			
Fotografías del deslizamiento						
						

Anexo 6. *Mapa geomorfológico de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja*

Anexo 7. *Mapa de pendientes de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja*

Anexo 8. *Mapa red hídrica de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja*

Anexo 9. *Mapa topográfico de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja*

Anexo 10. *Mapa geológico local de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja*

Anexo 11. *Mapa de ubicación de deslizamientos de la zona Nor Occidental de la ciudad de Loja*

(Ubicados en el CD-R Nro. 1)

Anexo 12. *Certificado de traducción del resumen*

Loja, 12 de diciembre de 2023

Sr. Jhoel Fernando Herrera Granda

CERTIFICADO GRADE (B2) OTORGADO POR CAMBRIDGE ENGLISH LANGUAGE ASSESSMENT

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de **Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial** titulado "**Aplicación de tomografías de resistividad eléctrica en la caracterización del deslizamiento, ubicado en las inmediaciones de la Subestación Central Eólica Villonaco, al noroeste de la ciudad de Loja**", de autoría de la señorita estudiante **Micaela Alexandra Figueroa Valarezo** con cédula **1150179594**.

Se autoriza al interesado hacer uso de la misma para los trámites que crea conveniente.

**JHOEL
FERNAND
O HERRERA
GRANDA** Firmado digitalmente por JHOEL FERNANDO HERRERA GRANDA
Fecha: 2023.12.12 11:50:05 -05'00'

.....
Sr. Jhoel Fernando Herrera Granda
C.I. 1150231890