



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos
cantón y provincia de Loja

Trabajo de y Titulación, previo a
la obtención del título de
Ingeniero en Geología Ambiental
y Ordenamiento Territorial.

AUTOR:

Jhon Michael Cango Piedra

DIRECTOR:

Ing. Oscar Adrián Estrella Lima. Mg. Sc

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 16 de abril de 2024

Ing. Oscar Adrián Estrella Lima, Mg.Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y Provincia de Loja”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero En Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de autoría del estudiante **Jhon Michael Cango Piedra** con **cédula de identidad N° 1104955008**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Oscar Adrián Estrella Lima, Mg.Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Jhon Michael Cango Piedra**, declaro ser el autor 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 del 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.



Firmado electrónicamente por:
**JHON MICHAEL
CANGO PIEDRA**

Firma:

Cédula de identidad: 1104955008

Fecha: 16/04/2024

Correo electrónico: jmcangop@unl.edu.ec

Teléfono: 0986061043

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, **Jhon Michael Cango Piedra**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación denominado: **Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y Provincia de Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y de 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, en la ciudad de Loja, a los dieciséis días del mes de abril del dos mil veinticuatro.



Firmado electrónicamente por:
**JHON MICHAEL
CANGO PIEDRA**

Firma:

Autor: Jhon Michael Cango Piedra

Cédula: 1104955008

Dirección: Calle Pío Montufar, entre Lauro Coronel y Manuel Ignacio Godoy

Correo electrónico: jmcangop@unl.edu.ec

Teléfono: 0986061043

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Oscar Adrián Estrella Lima, Mg. Sc

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios, por haberme brindado la vida, el conocimiento y la comprensión para tomar los mejores caminos y decisiones es en estos años de vida como estudiante universitario. A mis abuelitos, que sus consejos llenos de sabiduría y amor forjaron en mi ser el respeto y la bondad; a mi querida madre que desde el cielo me cuida y me protege; a mis tíos y hermanas que fueron los que me ayudaron y motivaron incondicionalmente para poder concluir esta tan noble carrera.

Jhon Michael Cango Piedra

Agradecimiento

Mi eterno agradecimiento con Dios por haberme dado la vida, además por brindarme el conocimiento y las fuerzas en este periodo de formación universitaria. A mi querida madrecita, abuelitos, tíos y hermanas, que fueron mi motivación para alcanzar este noble logro académico.

A la querida Alma Mater Lojana la Universidad Nacional de Loja por haberme brindado un espacio en la prestigiosa Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, y así poder formarme como Profesional.

Al equipo multidisciplinario de docentes de la honorable Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, que lo largo del transcurso como estudiante universitario fueron los que me brindaron sus sabios conocimientos y enseñanzas dentro y fuera de las aulas, con el afán de poner en práctica la ciencia y la academia, y actuando siempre con ética y valores hacia la sociedad y el medio ambiente.

De manera muy especial agradezco al Ing. Oscar Adrián Estrella Lima, Mg. Sc, por haberme dirigido el presente Trabajo de Titulación, ya que, gracias a sus valiosos aportes y observaciones, sirvieron de base primordial para culminar este importante trabajo investigativo.

Jhon Michael Cango Piedra

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de Tablas	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de anexos	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Topografía	6
4.1.1. Uso de drones en topografía.....	6
4.1.2. Tipos de drones	6
4.1.3. Resoluciones en escala de trabajo que otorga el equipo	7
4.2. Geología.....	8
4.2.1. El ciclo de las rocas	9
4.2.2. Clasificación general de las rocas	9
4.2.3. Formación de las rocas sedimentarias	10
4.2.4. Clasificación de las Rocas Sedimentarias	11
4.2.5. Estructuras sedimentarias	12
4.3. Hidrogeología	12
4.4. Nivel Freático	12
4.5. Porosidad	13
4.6. Permeabilidad	14
4.7. Ámbito geotécnico.....	16
4.7.1. Geotecnia.....	16
4.7.2. Métodos de Exploración de Suelos	17
4.8. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	31

4.8.2.	Análisis de Datos Espaciales.....	32
4.8.3.	Mapas de zonificación geotécnica.....	32
5.	Metodología.....	33
5.1.	Descripción general del área de estudio	33
5.1.1.	Ubicación	33
5.1.2.	Acceso	34
5.2.	Descripción biofísica del área de estudio	35
5.2.1.	Clima	35
5.2.2.	Hidrografía	36
5.2.3.	Geología regional	36
5.3.	Materiales y equipos.....	41
5.4.	Métodos y técnicas	41
5.4.1.	Investigación no experimental.....	41
5.4.2.	Investigación experimental.....	42
5.5.	Metodología para el primer objetivo	42
5.5.1.	Levantamiento topográfico.....	42
5.5.3.	Mapa de pendientes	48
5.5.4.	Mapa geomorfológico	49
5.5.5.	Mapa de uso actual del suelo.....	50
5.5.2.	Levantamiento geológico	51
5.6.	Metodología para el segundo objetivo	55
5.6.1.	Exploración geotécnica	55
5.7.	Metodología para el tercer objetivo.....	71
6.	Resultados	74
6.2.	Resultados del primero objetivo.....	74
6.2.1.	Topografía	74
6.2.2.	Pendientes.....	75
6.2.3.	Geomorfología	76
6.2.4.	Uso del suelo	80
6.2.5.	Geología local	85
6.3.	Resultados del segundo objetivo	99
6.3.1.	Exploración geotécnica	99
6.4.	Resultados del tercer objetivo	120
6.4.1.	Capacidad portante de la zona de estudio	120

6.4.2. Zonificación geotécnica	120
7. Discusión	123
8. Conclusiones	124
9. Recomendaciones	127
10. Bibliografía	128
11. Anexos	134

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones técnicas para ortofotos digitales	8
Tabla 2. Clasificación de las rocas sedimentarias según el origen mecánico	11
Tabla 3. Clasificación de las rocas sedimentarias según el origen químico y orgánico.....	11
Tabla 4. Valores de porosidades totales y eficaces de diversos materiales en porcentaje (%)	14
Tabla 5. Valores típicos de la resistividad de los geomateriales.	20
Tabla 6. Escala de clasificación de tamaños de granos de partículas sedimentarias de Wentworth.....	26
Tabla 7. Límites de separación del tamaño del suelo.....	27
Tabla 8. Clasificación de Suelos AASHTO	28
Tabla 9. Asignación de primera y/o segunda letra	29
Tabla 10. Asignación de segunda letra.....	29
Tabla 11. Clasificación de suelos S.U.C.S. para Grano Grueso.....	30
Tabla 12. Sistema de clasificación de Suelos S.U.C.S, para grano fino	31
Tabla 13. Coordenadas de ubicación del polígono de estudio (UTM/WGS-84/Zona 17S)....	33
Tabla 14. Temperatura media mensual de la parroquia Malacatos.	35
Tabla 15. Precipitación media mensual de la parroquia Malacatos	35
Tabla 16. Materiales de campo, laboratorio y gabinete.....	41
Tabla 17. Punto de partida; Puntos de control.....	45
Tabla 18. Clasificación de las pendientes.....	48
Tabla 19. Tipos de uso y cobertura del suelo.	51
Tabla 20. Ubicación de calicatas geológicas.....	53
Tabla 21. Localización de las líneas de los sondeos eléctricos verticales.....	56
Tabla 22. Ficha de campo para la obtención de datos SEV	57

Tabla 23. Valores de resistividad de los geomateriales.....	58
Tabla 24. Ubicación y Profundidad (S.P.T.)	58
Tabla 25. Ensayos realizados según las normas ASTM.....	60
Tabla 26. Consistencia de las arcillas versus número de golpes (N).....	60
Tabla 27. Consistencia relativa del suelo (CR)	66
Tabla 28. Comportamiento del suelo con respecto al índice de liquidez (IL).....	67
Tabla 29. Criterios para determinar el cambio de volumen	68
Tabla 30. Criterios para determinar el potencial expansivo	69
Tabla 31. Ubicación de muestras inalteradas de suelo.	70
Tabla 32. Valores nominales de capacidad de carga para diseños preliminares	72
Tabla 33. Clases y rangos de las pendientes de la zona de estudio.	76
Tabla 34. Unidades geomorfológicas del área de estudio.	77
Tabla 35. Clasificación sobre el uso actual del suelo del barrio el Sauce bajo.	84
Tabla 36. Ubicación geográfica de los afloramientos.	86
Tabla 37. Resumen de resultados sobre ensayos de corte directo.	99
Tabla 38. Ubicación geográfica de los sondeos SPT's	101
Tabla 39. Consistencia relativa (CR)	106
Tabla 40. Resultados del índice de liquidez (IL).....	107
Tabla 41. Tipología del suelo en base al índice de plasticidad con límite líquido	108
Tabla 42. Ubicación geográfica de los sondeos eléctricos verticales SEV's	110
Tabla 43. Datos obtenidos en campo del SEV 1	110
Tabla 44. Perfil geológico del SEV 1	112
Tabla 45. Datos obtenidos en campo del SEV 2	112
Tabla 46. Perfil geológico del SEV 2.....	113
Tabla 47. Datos obtenidos en campo del SEV 3	114
Tabla 48. Perfil geológico del SEV 3.....	115
Tabla 49. Datos obtenidos en campo del SEV 4	116
Tabla 50. Perfil geológico del SEV 4.....	117
Tabla 51. Datos obtenidos en campo del SEV 5	118
Tabla 52. Perfil geológico SEV 5.....	119

Tabla 53. Parámetros para el cálculo de la capacidad portante del suelo.....	120
Tabla 54. Parámetros para la zonificación geotécnica del área de estudio.	120

Índice de figuras

Figura 1. Escalas de trabajo según la tecnología.....	8
Figura 2. Relación entre cámaras estándar / resolución espacial / altura de vuelo	8
Figura 3. El ciclo de las rocas	9
Figura 4. Proceso de formación de las rocas sedimentarias	11
Figura 5. Esquemización de las diferentes zonas de saturación.....	13
Figura 6. Valores de permeabilidad de la matriz rocosa en (m/s).....	15
Figura 7. Valores de permeabilidad de macizos rocosos fracturados y/o alterados (m/s)	15
Figura 8. Coeficientes de permeabilidad para algunos tipos de suelos y rocas	15
Figura 9. Interpretación de datos SPT, considerando el número de golpes y la profundidad.	18
Figura 10. A la izquierda “Esquema SPT”; a la derecha “características de la saca muestras partido.....	19
Figura 11. Arreglo Schulumberger y Wenner.....	21
Figura 12. Medida de resistividades del terreno mediante métodos eléctricos “SEV’s”	21
Figura 13. Márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales.	22
Figura 14. Estados del suelo en función del contenido de humedad.	24
Figura 15. Límites de Atterberg e índices con ellos asociados.	25
Figura 16. Ensayo para determinar el límite líquido según la Norma ASTM D-4318	25
Figura 17. Gráfica de plasticidad	30
Figura 18. Ubicación geográfica del área de estudio.	33
Figura 19. Acceso a la zona de estudio. A) De Quito hacia Loja y B) De Loja hacia la zona de estudio.....	34
Figura 20. Mapa geológico regional de la zona de estudio.....	40
Figura 21. A) ubicación de puntos de control; B) Vehículo aéreo tripulado (UAV dron modelo ZENMUNSEP1).....	43
Figura 22. Ubicación del punto base e inicio del vuelo del dron.	44
Figura 23. Ubicación de la estación GNNS de monitoreo continuo LJEC.	44

Figura 24. Levantamiento de puntos de control GCP	45
Figura 25. Ubicación del punto base y puntos de control GCP	46
Figura 26. Líneas de vuelo y altura de vuelo del equipo topográfico.	47
Figura 27. Velocidad de despegue y de vuelo del equipo topográfico.	47
Figura 28. Superposición lateral y frontal del equipo topográfico.....	47
Figura 29. Esquema para obtener el mapa de pendientes mediante el Model Builder	49
Figura 30. Esquema para la ejecución del mapa geomorfológico.....	50
Figura 31. Ficha de descripción de Afloramientos.	52
Figura 32. Ficha técnica para descripción de calicatas geológicas	53
Figura 33. Ubicación geográfica de calicatas geológicas	54
Figura 34. Realización de calicatas geológicas.....	54
Figura 35. A) Resistivímetro ABEM Terrameter (SAS 1000); B) Obtención de resistividades aparentes.....	56
Figura 36. Ubicación en campo de los ensayos SPT.....	59
Figura 37. Datos técnicos considerados en el ensayo SPT.	59
Figura 38. Recolección de muestras inalteradas mediante ensayo SPT.....	60
Figura 39. Ensayo para determinar los contenidos de humedad.	62
Figura 40. Ensayo de clasificación de suelos.....	63
Figura 41. Determinación del límite líquido a través del equipo de Casagrande.....	64
Figura 42. Carta de plasticidad para suelos cohesivos.	66
Figura 43. Valores de resistencia a la compresión inconfiada del suelo.....	67
Figura 44. Valores de consolidación del suelo.....	68
Figura 45. Relación de arcillas según el índice de plasticidad e índice líquido.....	68
Figura 46. Criterio de expansividad de las arcillas	69
Figura 47. Ubicación y recolección de muestras inalteradas de suelo.....	70
Figura 48. Tallado y colocación de la muestra en la caja de corte.....	71
Figura 49. Esquema para la elaboración del mapa de zonificación geotécnica.	73
Figura 50. Mapa topográfico del área de estudio.	74
Figura 51. Perfil topográfico longitudinal dirección (N-S).....	75
Figura 52. Perfil topográfico transversal dirección (W-E).....	75

Figura 53. Mapa de pendientes de la zona de estudio.....	76
Figura 54. Laderas heterogéneas.....	77
Figura 55. Relieve colinado medio.	78
Figura 56. Relieve colinado bajo.....	78
Figura 57. Superficie disectada.	79
Figura 58. Coluvio aluvial.....	79
Figura 59. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.	80
Figura 60. Cultivos anuales.....	80
Figura 61. Cultivos semipermanentes	81
Figura 62. Cultivos permanentes.....	81
Figura 63. Vegetación arbustiva.....	82
Figura 64. Vegetación herbácea.....	82
Figura 65. Vías d acceso	82
Figura 66. Zona poblada	83
Figura 67. Zona sin cobertura vegetal.....	83
Figura 68. Cuerpo de agua natural	83
Figura 69. Cuerpo de agua artificial.....	84
Figura 70. Mapa de uso actual del suelo de la zona de estudio.....	85
Figura 71. Afloramiento de limolitas y areniscas gris – azuladas en altitudes de 2600 m.s.n.m.	88
Figura 72. Afloramiento de areniscas y microconglomerados en altitudes de 2500 m.s.n.m.	89
Figura 73. Afloramiento de lutitas y areniscas.....	90
Figura 74. Afloramiento de metalutitas y areniscas.....	91
Figura 75. Afloramiento de intercalación de lutitas, carbón y yeso.....	92
Figura 76. Afloramiento de microconglomerados con clastos volcánicos y metamórficos....	94
Figura 77. Afloramiento de areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y metamórficos.	94
Figura 78. Depósito aluvial.	96
Figura 79. Depósito coluvial.	97
Figura 80. Geología del barrio el Sauce bajo.	97
Figura 81. Corte geológico longitudinal del área de estudio.....	98

Figura 82. Corte geológico transversal del área de estudio.....	98
Figura 83. Ubicación de las calicatas geotécnicas en el área de estudio.....	99
Figura 84. Ubicación de los SPT's en el área de estudio.	100
Figura 85. Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 1.....	101
Figura 86. Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 2.....	102
Figura 87. Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 3.....	103
Figura 88. Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 4.....	104
Figura 89. Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 5.....	106
Figura 90. Carta de plasticidad considerando los ensayos SPT	107
Figura 91. Criterio de expansividad de las arcillas (caolinitas)	109
Figura 92. Ubicación de los SEV's en el área de estudio.	110
Figura 93. Curvas de resistividad del SEV 1	111
Figura 94. Curvas de resistividad del SEV 2	113
Figura 95. Curvas de resistividad del SEV 3	115
Figura 96. Curvas de resistividad del SEV 4	117
Figura 97. Curvas de resistividad del SEV 5	119
Figura 98. Mapa de zonificación geotécnica del barrio El Sauce bajo.	122

Índice de anexos

Anexo 1. Ficha de descripción de afloramientos.	134
Anexo 2. Fichas de calicatas geológicas	161
Anexo 3. Fichas de campo de los ensayos SEV.....	174
Anexo 4. Resultados de laboratorio de los ensayos SPT	177
Anexo 5. Resultados y cálculos en gabinete de los datos de ensayos SPT	177
Anexo 6. Reporte de resultados de los ensayos de corte directo	177
Anexo 7. Cartografía temática del área de estudio	177
Anexo 8. Certificado de traducción del resumen	178

1. Título

**Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y
Provincia de Loja**

2. Resumen

El presente trabajo de investigación titulado “Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y Provincia de Loja”. El cual comprende un área de 20 ha. Se inicio elaborando la topografía a escala 1:1000, para posteriormente efectuar el levantamiento de las principales litologías conformadas por cinco formaciones geológicas: Formación San Francisco que se caracteriza por poseer limolitas, areniscas y microconglomerados con clastos metamórficos. La Formación Santo Domingo está compuesta por intercalaciones de lutitas, metalutitas, areniscas, capas de yeso y carbón. Formación San José compuesta de materiales como areniscas calcáreas y microconglomerados con clastos volcánicos y metafóricos. Depósitos coluviales conformados por materiales alterados como granitos tipo (S) de origen volcánico. Depósitos aluviales compuestos de gravas, cantos y bloques provenientes de las fuentes metamórficas ubicadas en las partes altas. Luego se realizaron cinco sondeos eléctricos verticales (SEV), que sirvieron para estimar la presencia de niveles freáticos en el subsuelo y corroboración de la geología, mediante la comparación de valores de resistividades de los geomateriales preexistentes en el área de estudio. También se efectuaron cinco ensayos de penetración estándar (SPT), con el fin de conocer y establecer la resistencia a la penetración según el número de golpes, además se pudo recolectar muestras alteradas de suelo, para posteriormente ser analizadas en laboratorio; conjuntamente se elaboró in situ, cinco calicatas geotécnicas y en cada una de ellas recolectó muestras inalteradas para posteriormente realizar ensayos de corte directo. En base a las muestras obtenidas se efectuó el análisis físico-mecánico en el laboratorio, en base a las Normas ASTM, se determinaron los valores de los parámetros de: contenidos de humedad, límites de Atterberg y granulometría, ángulo de fricción y cohesión. Todos estos parámetros que fueron calculados cumplieron un rol indispensable para obtener los valores idóneos de capacidad portante, mismo que fue descrito según la fórmula establecida por Meyerhof (1963). De esta manera se estableció el mapa de zonificación geotécnica a escala 1:1000, con tres zonas geotécnicas compuestas por capacidades portantes bajas de (0 a 0.71 Tn/m²), medias de entre (9.6 a 11.1 Tn/m²) y altas de (47.5 a 54.2 Tn/m²), las cuales ayudarán a tener una mejor realidad de las características geológicas y mecánicas del suelo del área de estudio.

Palabras clave: *Geotecnia, ASTM, SUCS, AASHTO. capacidad portante, índice de expansión*

Abstract

The present research work entitled “Geotechnical zoning of the Sauce bajo neighborhood, Malacatos parish, canton and Province of Loja.” Which includes an area of 20 hectares. The topography began at a scale of 1:1000, to later carry out the survey of the main lithologies made up of five geological formations: San Francisco Formation, which is characterized by having siltstones, sandstones and microconglomerates with metamorphic clasts. The Santo Domingo Formation is composed of intercalations of shale, metallute, sandstone, layers of gypsum and coal. San José Formation composed of materials such as calcareous sandstones and microconglomerates with volcanic and metaphorical clasts. Colluvial deposits made up of altered materials such as type (S) granites of volcanic origin. Alluvial deposits composed of gravel, pebbles and blocks from metamorphic sources located in the higher parts. Then, five vertical electrical surveys (SEV) were carried out, which served to estimate the presence of phreatic levels in the subsoil and corroborate the geology, by comparing the resistivity values of the pre-existing geomaterials in the study area. Five standard penetration tests (SPT) were also carried out, in order to know and establish the resistance to penetration according to the number of blows, in addition, altered soil samples could be collected, to later be analyzed in the laboratory; Jointly, five geotechnical pits were prepared in situ and in each of them unaltered samples were collected to later carry out direct cutting tests. Based on the samples obtained, the physical-mechanical analysis was carried out in the laboratory, based on the ASTM Standards, the values of the parameters of: moisture content, Atterberg limits and granulometry, friction angle and cohesion were determined. All these parameters that were calculated played an indispensable role in obtaining the ideal values of bearing capacity, which was described according to the formula established by Meyerhof (1963). In this way, the geotechnical zoning map was established at a scale of 1:1000, with three geotechnical zones composed of low bearing capacities of (0 to 0.71 Tn/m²), medium ones of between (9.6 to 11.1 Tn/m²) and high bearing capacities of (47.5 to 54.2 Tn/m²), which will help to have a better reality of the geological and mechanical characteristics of the soil in the study area.

Keywords: *Geotechnics, ASTM, SUCS, AASHTO. bearing capacity, expansion index*

3. Introducción

En los últimos veinte años la parroquia Malacatos ha tenido un acelerado crecimiento poblacional, debido a las condiciones climáticas y optimas que lo vuelven un valle de clima cálido y templado. Es por eso que, debido a estos nuevos asentamientos humanos, han surgido una serie de problemáticas de origen natural y antrópicos. De acuerdo a los fenómenos geológicos naturales que se han presentado en varios sectores de la parroquia, especialmente en el barrio el Sauce bajo, son la presencia de fallas geológicas, hundimientos y aparición de deslizamientos en forma de reptación, cabe señalar que la mayoría de estos problemas geológicos son inducidos en gran parte por la misma población que se encuentra y llega a asentarse en estos sectores de riesgo, debido al desconocimiento de las características geológicas y mecánicas que tiene este suelo. Implícitamente las autoridades locales y seccionales juegan un rol importante en estos escenarios debido a que omiten las regulaciones de control establecidas en la ley. Ya que no existen adecuados planes de Uso y Gestión del Suelo, así como de Ordenamiento y Planificación Territorial, y muchas veces se los infringe.

Actualmente el barrio el Sauce bajo no contiene un estudio geológico-geotécnico que muestre la realidad de sus verdaderas características del comportamiento del suelo, para así tomar medidas correctas de construcción y mitigación de amenazas geológicas como los hundimientos del terreno y deslizamientos.

Es por ello que nace la necesidad de realizar este proyecto titulado como “Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y Provincia de Loja”, ejecutado a detalle en un área de 20 hectáreas.

con el fin de identificar las características propias del terreno. La ejecución del presente proyecto abarco tres fases de trabajo, la primera fase denominada campo, donde preliminarmente se contó con los insumos necesarios para realizar el levantamiento geológico y topográfico a detalle, así como la recolección de muestras alteradas (SPT) e inalteradas (Corte directo) de suelo, también se aplicaron métodos geofísicos (SEV). La segunda fase se desarrolló en laboratorio considerando metodologías propuestas por las normas ASTM, SUCS y AASHTO.

Finalmente, en la fase de gabinete se realizaron los cálculos de los diversos parámetros encontrados en la fase de laboratorio, todo esto con la finalidad de poder determinar la capacidad portante del suelo y elaborar el mapa de zonificación geotécnica a detalle a escala 1:1000.

Toda esta información descrita en este proyecto será entregada a los habitantes del barrio el Sauce bajo así como a las autoridades del Gobierno Autónomo Parroquial de Malacatos, con el fin de que consideren el mapa de zonificación geotécnica, como una ayuda complementaria que previene posibles amenazas geológicas presentes en zonas de exclusión para la implementación de alguna obra o infraestructura, y que requiera conocer las características físico-mecánicas y la capacidad portante del suelo.

La ejecución de este proyecto fue en base a los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Elaborar la zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y provincia de Loja

Objetivos específicos

- Efectuar el levantamiento de las principales unidades geológicas del barrio el Sauce bajo, en un área de 20 hectáreas a escala de detalle 1:1000.
- Determinar las propiedades físico - mecánicas de los geomateriales que componen el área de estudio, mediante la realización de métodos directos e indirectos.
- Elaborar el mapa de zonificación geotécnica en base a los parámetros de capacidad portante de los suelos a escala 1:1000

4. Marco teórico

4.1. Topografía

Los autores (Torres & Villate, 2001, p. 17), señalan que la topografía sirve para medir y levantar pequeñas y grandes extensiones de terreno, considerando cada uno de los parámetros y etapas que involucra el trabajo de campo y de oficina durante y después de su ejecución, con la finalidad de plasmar en un plano, sus dimensiones reales, escala, forma y relieve. Esto se logra gracias a los datos obtenidos por el técnico en topografía durante el levantamiento topográfico y mediante procedimientos y cálculos matemáticos, donde se mide puntos, distancias horizontales y verticales, ángulos, direcciones, áreas, volúmenes, elevaciones y coordenadas. Siendo esta la rama más importante dentro de los trabajos de ingeniería.

4.1.1. *Uso de drones en topografía*

(Villareal, 2015, p. 7), indica que los drones realizan una medición fotogramétrica a control remoto es decir de forma autónoma, estos vehículos cuentan con un programa de vuelo previamente programado, poseen una cámara fotográfica incorporada la cual es programada para realizar una serie de capturas fotográficas desde una determinada altitud, para así poder obtener ortofotos y Modelos Digitales de Elevación (DEM).

Hoy en día los drones son indispensables dentro de la rama de la topografía, ya que gracias a su autonomía se puede realizar levantamientos topográficos en grandes extensiones de terreno, minimizando así los tiempos y costos en cada trabajo que se requiera.

4.1.2. *Tipos de drones*

- *Drones de ala fija*

(Sánchez, 2017, p. 14), describe que su fisionomía es muy parecido a la de un aeroplano, ya que está compuesto por dos alas, una cola y un rotor de propulsión eléctrica que le brindan una facilidad, estabilidad y autonomía de vuelo; es el más eficiente en tema aerodinámico, en cuanto a su desventaja son los que menos carga pueden llevar consigo, debido a que en el aire no pueden permanecer inmóviles, por ende tienen menos agilidad de realizar maniobras, para despegue y aterrizaje necesitan una pista de aterrizaje considerable debido a su velocidad, pero su gran autonomía y precisión lo vuelve favorito dentro de labores de fotogrametría y agricultura.

- ***Drones de ala móvil o multicopteros***

(Peña y Peña 2020, p. 36), mencionan que existen drones multirrotores que presentan características y autonomías más sofisticadas en referente a otros modelos de drones, especialmente para realizar trabajos de vuelos profesionales del alguna obra o levantamiento especial; o también se puede realizar vuelos de actividad recreativa. Esto ira en dependencia del tipo de estudio y detalle que se desee realizar. Estos drones multirrotor gracias a su maniobrabilidad son capaces de realizar una superposición de imágenes con una alta calidad de resolución, generando así excelentes modelos digitales de elevación.

4.1.3. Resoluciones en escala de trabajo que otorga el equipo

(Cepeda, 2017, pp. 17-21), describe que la escala de la fotografía es correspondiente al tamaño de píxel del sensor de la cámara que se esté utilizando, esto quiere decir que la dimensión o tamaño de píxel en el terreno (GSD), siempre ajustara la resolución y ampliara la escala de la imagen. Es por ello que siempre se debe tener en cuenta la siguiente ecuación, con la finalidad de ajustar el GSD/tpíxel adecuado, su expresión es la siguiente:

$$E = \text{Escala Fotografía} = \frac{H}{f} = \frac{GSD}{tpíxel} = \frac{D_A}{T_A}$$

Donde:

H: Altura de vuelo

GSD: Tamaño de píxel en el terreno

Tpíxel: Píxel de la cámara del equipo

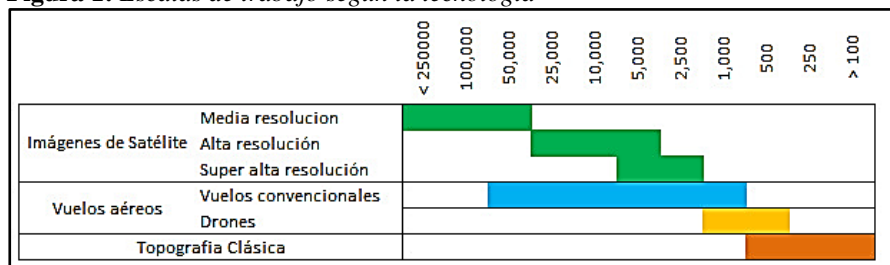
D_A: Distancia cubierta en tierra por el ancho de un fotograma tomado desde UAV(m).

T_A: Tamaño real del ancho de sensor (mm), UAV-liviano es 6.317 mm.

Esta ecuación es ajustable a cualquier dispositivo, ya que existen algunos prototipos, en donde los equipos que poseen mayor tamaño presentan una ventaja que mejora el rendimiento de volar amplias alturas, es por ello que se consigue lograr una igualdad que beneficia los resultados GSD, en relación a sensores que vuelan a pequeñas alturas. Es por ello que, un Vehículo aéreo no tripulado (UAV-liviano) de bajo precio, puede sobrevolar hasta una altura de 115 m, y producir un GSD = 5 cm/píxel, proporcionando una escala fotográfica de 1:31.483, en cambio un UAV más completo y avanzado, sobrevuela hasta los 500m de altura, y genera un GSD igual de 5 cm/píxel, sin embargo, la escala aumenta a 1:4.167 (Cepeda, 2017, p. 21).

Al momento de seleccionar la altura de vuelo, distancia focal, tamaño de píxel y escala de trabajo, tenemos que considerar algunos parámetros que se encuentran dentro de las siguientes figuras 1 y 2, las cuales se ilustran a continuación. En ellas se relacionan entre sí, con la finalidad de poder definir el área a cubrir por cada toma, solape, intervalo de toma y rendimientos, etc. (García, 2015).

Figura 1: Escalas de trabajo según la tecnología



Nota: Obtenido de García, (2015)

Figura 2: Relación entre cámaras estándar / resolución espacial / altura de vuelo

	Ancho del sensor (mm)	Ancho del sensor en píxel	Sensor (Megapíxeles)	Formato eq. 35 mm	Focal (mm)	Focal eq. 35mm	Resolución (cm) en el terreno según la altura de vuelo (m)			
							1.000	500	200	100
CÁMARA FOTOGRAMÉTRICA VEXCEL ULTRACAM PAN	70	11.704	92	0,5	70	35	8,5	4,3	1,7	0,9
CÁMARAS FULL FRAME	36	7.360	36	1	35	35	14,0	7,0	2,8	1,4
					55	55	8,9	4,4	1,8	0,9
CÁMARAS APS-C	22,3	5.184	18	1,6	22	35	19,6	9,8	3,9	2,0
					35	55	12,3	6,1	2,5	1,2
					65	102	6,6	3,3	1,3	0,7
CÁMARAS 1/2.3"	6,17	4.384	14	5,7	5	28	28,1	14,1	5,6	2,8

Nota: Obtenido de García, (2015)

El Instituto Geográfico Militar, (IGM, 2008, p. 9), menciona que la exactitud refleja las incertidumbres del procedimiento de ortorectificación y establece valores mínimos de exactitud para la generación de Ortofotos digitales de gran calidad y resolución.

Tabla 1: Especificaciones técnicas para ortofotos digitales

Escala de trabajo	Tamaño del píxel (en metros)	Escala de ortofotos	Tamaño del píxel (en metros)	Precisión horizontal (en metros)	Precisión vertical (en metros)
1:5 000	0,17	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	1:2 000	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: Recuperado del Instituto Geográfico Militar, (IGM, 2008, p. 9)

4.2. Geología

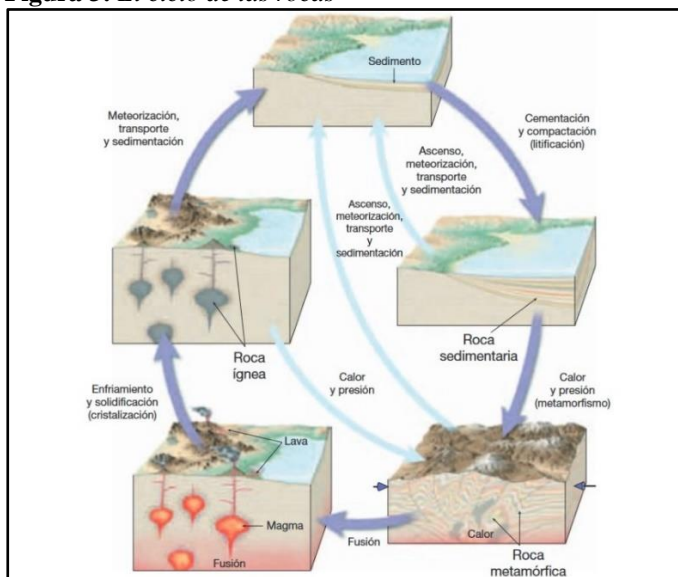
La geología se ha encargado de estudiar los materiales que conforman la corteza terrestre, que son formados por fenómenos endógenos y exógenos, los cuales han estado en constante interacción desde hace millones de años desde su evolución.

(Blyth y Freitas, 1984, p. 1), describen que la “Geología es la disciplina que estudia el planeta y a los diversos materiales que lo constituyen y que fueron formados hace millones de años, dando forma a la superficie terrestre a lo largo del tiempo.

4.2.1. *El ciclo de las rocas*

Según (Tarbuck y Lutgens 2005, p. 24) el ciclo básico empieza con la consolidación del magma que es la roca fundida que se genera en el fondo de la corteza de terrestre. Con el pasar del tiempo, el magma llega a enfriarse y solidificarse. Este proceso geológico, conocido como cristalización, puede darse debajo de la superficie terrestre o, también después de una erupción volcánica generada en la superficie. Creando como resultado la formación de rocas ígneas, las cuales llegan a tener un proceso de metamorfismo, para posterior a ello convertirse en rocas metamórficas (*ver figura 3*).

Figura 3: *El ciclo de las rocas*



Nota: Obtenido de Tarbuck y Lutgens (2005. pág. 27)

4.2.2. *Clasificación general de las rocas*

4.2.2.1. **Rocas Ígneas.**

(Monroe et al., 2008 p. 22) definen que todas las rocas ígneas se derivan del magma, y que existen dos procesos distintos de formación. Se forman cuando primero el magma o lava se enfrían y cristalizan para formar minerales, o también por los materiales piroclásticos que se consolidan para formar un agregado sólido a partir de fragmentos previamente sueltos. Las rocas ígneas que resultan del enfriamiento de flujos de lava y de la consolidación de materiales piroclásticos son rocas volcánicas o rocas ígneas extrusivas, es decir rocas ígneas que se han

formado a partir de materiales expulsados a la superficie. En cambio, el magma que se enfría bajo la superficie forma rocas plutónicas o rocas ígneas intrusivas.

4.2.2.2. Rocas Metamórficas.

Según (Klein y Hurlbut 1997, p. 645) este tipo de rocas provienen de las rocas preexistentes (ígneas, sedimentarias o metamórficas), ya que en ellas llegan a producirse cambios mineralógicos, de textura y estructurales. Estos cambios pueden ser el resultado de variaciones importantes de temperatura, presión y tensiones de cizalla a considerable profundidad en la corteza terrestre. Las rocas metamórficas pueden también ser el resultado de cambios muy grandes en la presión en conjunción con la temperatura metamórfica creciente.

4.2.2.3. Rocas Sedimentarias.

(Rivera 2005, p. 150) manifiesta que son todas las rocas que afloran sobre la superficie terrestre, ya que están expuestas a diversos procesos de meteorización mecánica, química y a la acción de los organismos. Generando que las rocas preexistentes se disgreguen, creando materiales residuales y fragmentos de rocas no consolidadas, conocidos comúnmente como sedimentos. Estos materiales en forma de partículas sólidas, en suspensión y en solución se depositan en cuencas sedimentarias, a temperaturas y presiones ordinarias, y mediante procesos de litificación y la diagénesis, que se producen en fondos marinos, lagos, etc. Para finalmente convertirse en rocas endurecidas llamadas rocas sedimentarias.

4.2.3. *Formación de las rocas sedimentarias*

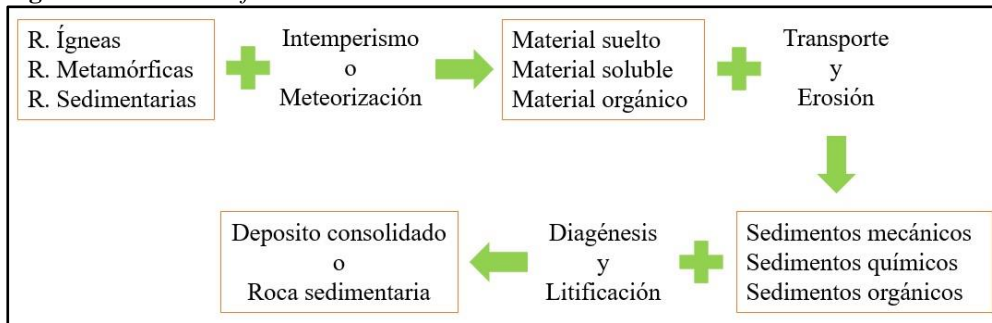
(Duque 2020, p. 171) manifiesta que a causa de la meteorización, ciertos materiales con presencia de fluidos en solución, flotando o en suspensión, son arrastrados o rodados. Dándose así la formación de rocas mediante partículas donde ha prevalecido su integridad física durante el transporte, son consideradas rocas detríticas tales como; conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitas. Mientras que las sustancias que sufren una disolución a partir de precipitaciones, generan la existencia de rocas de origen físico-químicas así como; carbonatos, evaporitas, ferruginosas y fosfatos.

Según el mismo autor, describe la existencia de un tercer grupo de rocas sedimentarias llamadas biogénicas, que son formadas por procesos de interacción de organismos vivos.

El transporte y depósito de los materiales producidos por la descomposición y desintegración de las rocas, en zonas de acumulación por erosión marina, glacial o eólica. Hacen que posteriormente estos depósitos lleguen a formarse en rocas sedimentarias mediante

procesos de litificación y diagénesis, sumándose a ellas la compactación y cementación de materiales disgregados o poco consolidados (Duque 2020, pp. 172-173). (ver figura 4).

Figura 4: Proceso de formación de las rocas sedimentarias



Nota: Recuperado de Duque, 2020. p. 174.

4.2.4. Clasificación de las Rocas Sedimentarias

De acuerdo con (Duque 2020, p. 174) menciona que la génesis de las rocas sedimentarias y su clasificación es de origen mecánico, químico y orgánico.

El origen mecánico se produce por la creación de depósitos y rocas, a causa de la presencia de agentes como el agua, viento y hielo. (ver tabla 2).

Tabla 2: Clasificación de las rocas sedimentarias según el origen mecánico

Origen	Agente	Depósito	Roca
Mecánico	Agua	Canto rodado	Conglomerados
		Guijarro	Brechas, aglomerados
		Arena	Areniscas
		Limo	Limolitas, lodolitas
		Arcilla	Arcillolitas, lutitas
	Viento	Médanos o dunas	Areniscas
		Loess (limo)	Limolitas
	Hielo	Till (peñascos en una matriz fina)	Morrenas y otras tillitas (peñascos en una matriz fina pero consolidados)

Nota: Duque, (2020, p. 174).

Según la clasificación de origen químico y orgánico, esta depende de los diversos materiales que conforman la naturaleza del depósito, ya que los sedimentos llegan hacer compactados y posteriormente se crean los sedimentos consolidados. (ver tabla 3).

Tabla 3: Clasificación de las rocas sedimentarias según el origen químico y orgánico

Origen	Naturaleza	Sedimento consolidado
Químico	Calcárea	Caliza, dolomía, travertino
	Calcárea-arcillosa	Marga
	Silícica	Pedernal, geiserita
	Salina (evaporitas)	Sal, yeso, bórax
Orgánico	Carbonosa (% de C libre)	Turba C<50 %: carbón compresible y de formación reciente
		Lignito C ≈ 50 %: carbón de formación Intermedia
		Hulla C ≈ 75 %: carbón fósil o mineral

Nota: Duque, (2020, p. 174.)

4.2.5. Estructuras sedimentarias

(Navarrete, 2017, p. 75) describe que “una estructura sedimentaria es cierta orientación o disposición geométrica de los elementos que constituyen el sedimento”. Se basa en el principio del actualismo, para la comprensión de las diversas estructuras.

La formación de las distintas estructuras sedimentarias, se producen por diversas fuerzas que actúan sobre las estratificaciones, que dieron origen a las rocas. Por procesos físicos algunos depósitos originados por la sedimentación de las condiciones hidrodinámicas del agua, se llegan a formar importantes estructuras sedimentarias. También se llegan a formar estructuras mediante procesos químicos, pero en cambio no se las estudia a detalle como a las que se dan por la formación física. Iriando (2009, p. 163).

“Los mismos procesos y leyes físicas que actúan hoy en día actuaron a través de todo el tiempo geológico, aunque no necesariamente con la misma intensidad del presente”. (Thornbury, 1960, p. 17).

4.3. Hidrogeología

Atendiendo a los conceptos de (Villón 2004, p. 21) en el cual describe que “la hidrogeología es la ciencia natural que estudia el agua, su origen, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluidos los seres vivos”.

Cabe destacar la importancia que la hidrología proporciona al ingeniero o hidrólogo las herramientas y métodos para solucionar las diversas problemáticas que se generan dentro de los proyectos de estructuras hidráulicas que abarca el diseño, planeación y operación.

4.4. Nivel Freático

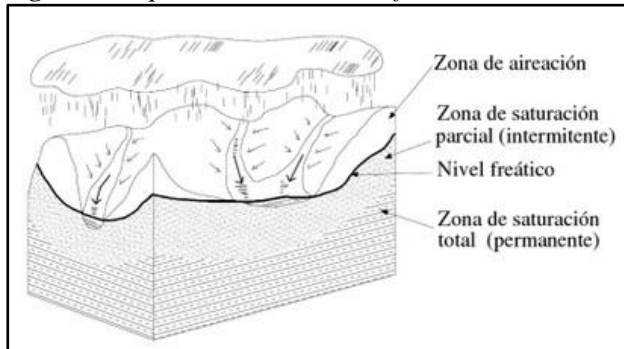
(Tarbuck & Lutgens, 2005, p. 481) describen que “El nivel freático es importante para predecir la productividad de los pozos y explican los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, justificando las fluctuaciones del nivel de los lagos”.

(González, 2001, p. 34) menciona que el nivel freático “se define como el lugar geométrico que alcanza la superficie del agua en pozos de observación en libre comunicación con los vacíos del suelo in situ”.

El mismo autor argumenta que el nivel freático también se lo conoce como al sitio donde la tensión del agua es nula con respecto a la atmósfera. Los niveles freáticos también

suministran agua a los ríos y lagos, ya sea que estos estén ubicados en valles o cumbres. (ver figura 5).

Figura 5: Esquematisación de las diferentes zonas de saturación



Nota: Recuperado de González, (2001, p. 34)

4.5. Porosidad

(González 2002, p. 271) describe que la porosidad es un parámetro adimensional que considera a la relación que existe entre el volumen de huecos y el volumen total de una roca, depende únicamente de las características litológicas de la textura del suelo o roca, no se considera la forma o estructura geométrica ni la potencia de los estratos en las cuales se hayan constituido, ni tampoco su mecanismo de funcionamiento hidráulico en la naturaleza. El mismo autor describe en su libro denominado Ingeniería Geológica, dos tipos de porosidad que a continuación se mencionan:

Porosidad total (n): Se refiere al volumen total de poros, independientemente de que el fluido tenga o no la capacidad de circular entre ellos. Puede ser calculada mediante la siguiente expresión matemática:

$$n = \frac{\text{volumen de los poros}}{\text{volumen total}}$$

Porosidad eficaz (n_e): También denominada porosidad cinemática, referida al volumen de poros conectados por los que el transporte de fluido es posible, y queda ligada no solo a la textura de la formación, sino también a las características del fluido, de igual forma su valor puede ser encontrado, utilizando la siguiente ecuación:

$$n_e = \frac{\text{volumen de poros conectados}}{\text{volumen total}}$$

Tabla 4: Valores de porosidades totales y eficaces de diversos materiales en porcentaje (%)

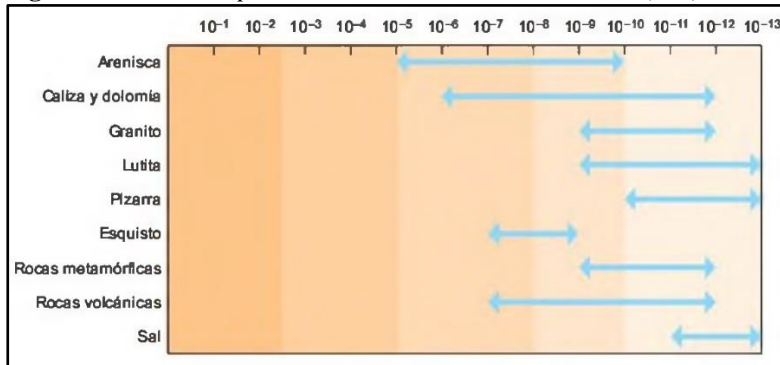
Material		Porosidad total % m					Porosidad eficaz % m_e			Observaciones
Tipo	Descripción	Med	Máx	Mín	Máx	Mín	Med	Máx	Mín	
Rocas masivas	Granito	0,3	4	0,2	9	0,05	<0,2	0,5	0,0	A
	Caliza masiva	8	15	0,5	20		<0,5	1	0,0	B
	Dolomía	5	10	2			<0,5	1	0,0	B
Rocas metamórficas		0,5	5	0,2			<0,5	2	0,0	A
Rocas volcánicas	Piroclastos y tobas	30	50	10	60	5	<5	20	0,0	C, E
	Escorias	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pumitas	85	90	50			<5	20	0,0	D
	Basaltos densos, fonolitas	2	5	0,1			<1	2	0,1	A
	Basaltos vacuolares	12	30	5			5	10	1	C
Rocas sedimentarias consolidadas (ver rocas masivas)	Pizarras sedimentarias	5	15	2	30	0,5	<2	5	0,0	E
	Areniscas	15	25	3	30	0,5	10	20	0,0	F
	Creta blanda	20	50	10			1	5	0,2	B
	Caliza detrítica	10	30	1,5			3	20	0,5	
Rocas sedimentarias sueltas	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Gravas	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Loess	45	55	40			<5	10	0,1	E
	Arenas	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos glaciares	25	35	15			15	30	5	
	Limos	40	50	35			10	20	2	E
	Arcillas sin compactar	45	60	40	85	30	2	10	0,0	E
Suelos superiores	50	60	30			10	20	1	E	

Nota: **A** = Aumenta m y m_e por meteorización, **B** = Aumenta m y m_e por fenómenos de disolución, **C** = Disminuye m y m_e con la edad, **D** = Disminuye m y puede aumentar con m_e con la edad, **E** = m_e muy variable según circunstancias y tiempo, **F** = Variable según el grado de cementación y su solubilidad. Obtenido de (Custodio y Ramón 1983, p. 468)

4.6. Permeabilidad

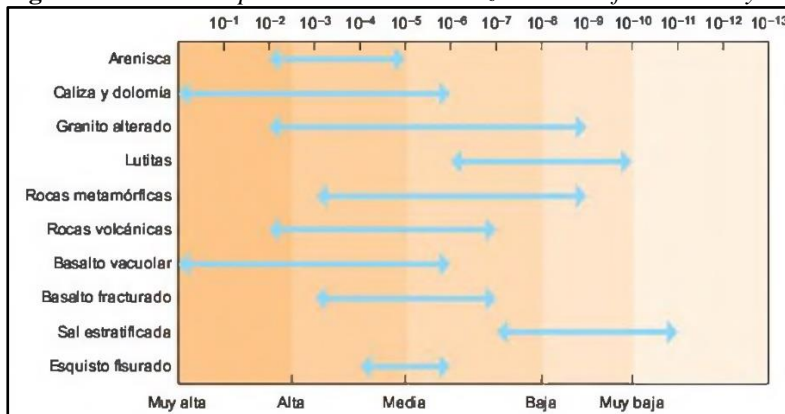
(Rivera, 2005, pp. 211-212) menciona que “es la capacidad que poseen las rocas y los suelos para transmitir el fluido entre sus poros interconectados. La permeabilidad varia con la forma y tamaño de los poros y la forma y extensión de su interconexión”.

Figura 6: Valores de permeabilidad de la matriz rocosa en (m/s)



Nota: Obtenido de (González 2002. pág. 140)

Figura 7: Valores de permeabilidad de macizos rocosos fracturados y/o alterados (m/s)



Nota: Obtenido de (González 2002. pág. 140)

Coefficiente de permeabilidad (k): (Ayala, 2006, p. 165-166) define al “coeficiente de permeabilidad como a la propiedad del material que permite la filtración de fluidos a través de los poros o huecos interconectados. Sus unidades son (cm/s o mm/s) y miden la resistencia del terreno al flujo del agua”.

Figura 8: Coeficientes de permeabilidad para algunos tipos de suelos y rocas

	k (cm/s)	Roca intacta	Roca fracturada	Suelo
Prácticamente impermeable	10 ⁻¹⁰	Pizarra		Arcilla homogénea bajo la zona meteorizada
	10 ⁻⁹	Dolomía		
	10 ⁻⁸	Granito		
	10 ⁻⁷			
	10 ⁻⁶			
Baja descarga Mal drenaje	10 ⁻⁵	Caliza	Juntas rellenas de arcilla	Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y arcilla, depósitos glaciares, depósitos glaciares estratificados
	10 ⁻⁴			
	10 ⁻³	Arenisca		
	10 ⁻²		Roca diaclasada	
	10 ⁻¹			
Alta descarga Drenaje libre	1		Roca con juntas abiertas	Arena limpia, mezcla limpia de arena y grava
	10			
	10 ²		Roca muy fracturada	Grava limpia

Nota: Obtenido de (Ayala, 2006. p. 166)

4.7. Ámbito geotécnico

4.7.1. Geotecnia

Según el Servicio Geológico Mexicano, (2020, p. 1) la geotecnia se encarga de estudiar la interrelación que existe entre las obras de construcción civiles y las características propias del terreno, analizando las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo y las rocas que conforman la superficie terrestre, con la finalidad de elaborar y diseñar óptimas cimentaciones para las diferentes estructuras que se deseen emplazar, así como; construcción de vías, túneles, galerías, estabilización de taludes, centrales hidroeléctricas, puentes y edificios, etc. Por ende esta especialidad de la ingeniería civil y geológica están ligados directamente con el terreno.

(Hoyos, 2001, p. 102) señala que la geotecnia es la ciencia donde se utilizan una variedad de principios ingenieriles y procedimientos científicos, para desarrollar e interpretar los diferentes tipos de materiales que conforman la corteza terrestre, brindando de esta manera soluciones a las diversas problemáticas de carácter ingenieril. Esta ciencia está estrictamente relacionada con ramas de la ingeniería geotécnica tales como; la ingeniería de geosistemas, geología, geofísica, hidrología, hidrogeología, mecánica de suelos y la mecánica de rocas.

4.7.1.1. Capacidad portante.

La capacidad portante o carga admisible se entiende como la capacidad que tiene el terreno para soportar las cargas aplicadas hacia el terreno, es el valor más alto de la cantidad de presión que se encuentra en contacto entre la cimentación y el terreno; en otras palabras es la máxima presión que se pueda aplicar al suelo sin que el suelo sufra alguna deformación. Cuando se aplican presiones verticales hacia abajo del suelo, estos tienden a deformarse y a sufrir cambios significativos, ya que todas las partículas que conforman los suelos, se llegan a efectuarse un reajuste de partículas generando asentamientos.

Un suelo cuanto mayor cohesión y compactado se encuentre, tendrá mejores resistencias a la compresión debido a las cargas que actúan sobre él. La capacidad portante siempre dependerá de las características propias del suelo. Es muy importante conocer las características del terreno, en vista de que todos los suelos no tienen la misma firmeza y resistencia.

Cabe señalar que la capacidad portante también depende del tipo de estructura a emplazarse y de la forma de cimentación, acompañado de un factor de seguridad, ya que estos brindan un mejor diseño adecuado que ayuda a conocer las características y estabilización del terreno. (Crespo 2004, p.290)

4.7.2. Métodos de Exploración de Suelos

(Basila, 2013, p. 12) manifiesta que son las técnicas que utiliza el especialista geotécnico, para explorar de manera directa el lugar en donde se van a realizar ya sean estudios geológico-geotécnicos, realizando perforaciones o sondajes, con la finalidad de poder conocer las características del material in situ del subsuelo, para así poder saber si es viable implementar o construir una infraestructura u obra ingenieril. Ya que, al construir en suelos inestables, se debe realizar un previo mejoramiento con la finalidad de evitar gastos innecesarios durante y después de su ejecución. Dentro de la exploración de suelos existen los métodos directos e indirectos.

4.7.2.1. Métodos Directos.

(Figuroa, 2016, p. 2) describe que los métodos directos al momento de aplicarlos se pueden obtener y recuperar muestras del suelo o rocas para su posterior análisis, también se puede conocer la resistencia o la deformación que existe en los diferentes tipos de terrenos.

Los autores (Hernández y Santamarta, 2015, p. 231) del libro “Ingeniería geológica en terrenos volcánicos”, manifiestan que las investigaciones directas se pueden realizar de dos maneras; la primera en superficie, la cual consiste en estudios topográficos a escala de detalle menores a 1.5000. Se pueden medir directamente datos en afloramientos tales como (rumbos, buzamientos, ejes y distancias, etc.), así mismo se pueden tomar datos de los parámetros hidrológicos e hidrogeológicos. Sus características dependerán siempre de su escala de trabajo. La segunda se la puede realizar a profundidad, mediante técnicos especialistas, los cuales se encargan de realizar ensayos in situ, como; calicatas, zanjas, pozos, sondajes y construcción de galerías, con la finalidad de recolectar muestras o testigos de perforación, para posteriormente analizar en un laboratorio su comportamiento mecánico, así como también su estructura y composición petrográfica, mineralógica, geoquímica, etc.

4.7.2.1.1. Calicatas.

(Herráez y Moreno, 2019, p. 254) describen que las calicatas son uno de los métodos más utilizados dentro de la exploración superficial de terrenos relacionados a la investigación geotécnica, son fáciles de realizar y presentan bajos costos de operación. Estos métodos se pueden emplear fácilmente en terrenos cohesivos, ya que se pueden realizar mediante excavaciones manuales o con la ayuda de maquinaria pesada. Su elaboración en forma de pozo o zanja, ayuda a observar en el terreno directamente las estratificaciones, discontinuidades y

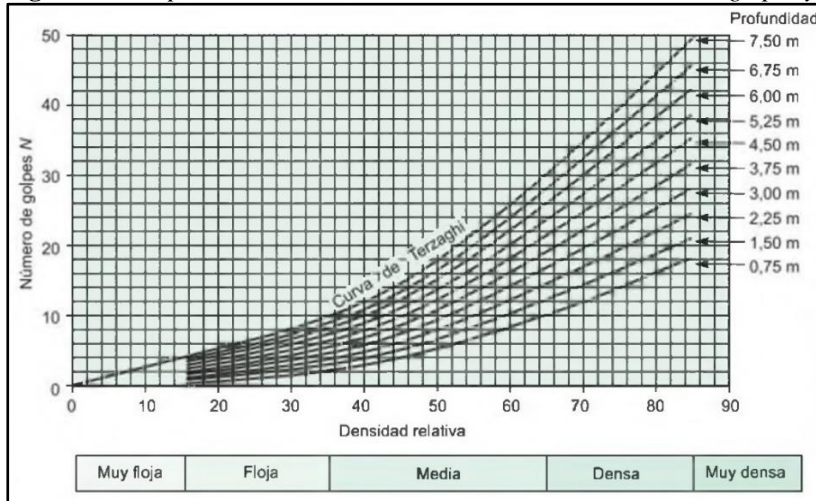
estructuras litológicas, y asu ves se pueden recolectar muestras representativas para posteriores analisis. Llegan a profundidades de hasta 4 metros.

4.7.2.1.2. *Ensayo de Penetración Estándar (SPT).*

(Carmona 2014, p. 30) manifiesta que el ensayo de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test) consiste en realizar una perforación dinámica con la finalidad de conocer a profundidad las características geotécnicas de los materiales presentes en el terreno. Mediante este ensayo se puede conocer la Compacidad portante y la Capacidad de Soporte del suelo no cohesivo, ya que se recolectan diversas muestras con las cuales se puede realizar una correlación entre el número de golpes N_{medido} y la compacidad o el ángulo de fricción del suelo y la resistencia a la compresión simple, por medio de tablas o ábacos previamente establecidos por algunos autores.

(Basila, 2013, p. 13) menciona que el ensayo de penetración estándar o SPT, es un tipo de prueba de penetración dinámica, y se lo realiza con propósito de poder obtener un reconocimiento geotécnico a detalle del terreno. Además, se constituye el ensayo más utilizado dentro de la realización de trabajos de sondeos.

Figura 9: Interpretación de datos SPT, considerando el número de golpes y la profundidad.

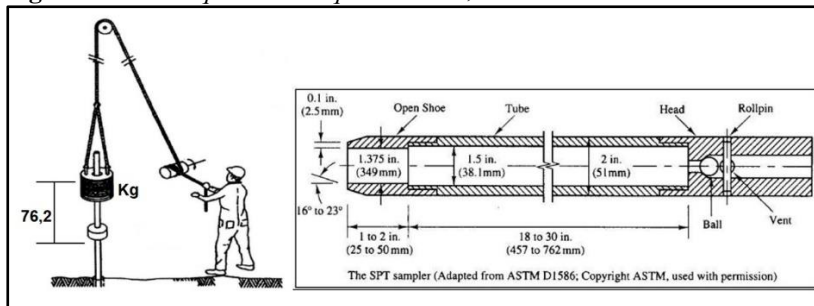


Nota: Recuperado de (González 2002. p. 342)

Según las guías prácticas de diseño de conformidad con la NEC 2015 (Norma Ecuatoriana de Construcción), estable en la guía número 6 para estudios geotécnicos y trabajos de cimentación, p. 17, en la cual describe el ensayo de penetración estándar (SPT) según la norma (ASTM 1586) como al conjunto de perforaciones mecánicas en suelos donde se desee realizar una investigación, el cual se basa en contar el número de golpes (N) necesarios para introducir un toma muestras (cuchara partida). Dentro de los estudios y caracterizaciones

geotécnicas, este método es el más utilizado. Ya que este ensayo se basa en dejar caer de forma repetitiva y constante un peso de 63.5 kg (140 libras) a una altura de 76 cm (30”). En gran parte este ensayo es utilizado para conocer el comportamiento de suelos granulares y arcillosos de consistencia rígida. Pero se debe evitar realizar este ensayo en suelos compuestos por gravas o rocas consolidadas, para no generar así posibles daños en el tubo muestreador del equipo.

Figura 10: A la izquierda “Esquema SPT”; a la derecha “características de la saca muestras partido



Nota: Obtenido de Carmona (2014, pp. 31-33)

Normalización del método según norma ASTM 1586

(López, 2003, p. 10) señala que en la actualidad existe la norma ASTM D 1586 del año 2011, la cual se modificó sin generar cambios significativos en sus ediciones antiguas. A continuación se describen los elementos que intervienen en la normalización de este método, así como las características más importantes según la norma actual.

- Maza de 63,5 kg
- Altura de caída: 76 cm
- Saca muestras: de diámetro externo = (50 mm o 2 pulgadas)
- Saca muestras: de diámetro interno = (35 mm o 1 3/8 pulgadas).
- Variante con diámetro interno 38 mm y tubo porta muestras (diámetro interno final 35 mm).
- Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate
- Barras de sondeo.
- Cabeza de golpeo.

4.7.2.2. Métodos Indirectos.

(Hernández y Santamarta, 2015, p. 231) estos métodos se basan en estudios que proporcionan que el terreno sea reconocido y analizado, sin que exista la posibilidad de que sea alterada o modificada su estructura. En otras palabras, se fundamenta en cálculos y mediciones

de las propiedades físicas, estratificación y su disposición espacial que existen entre las diferentes características litológicas, en las cuales esta constituida la superficie del terreno a estudiar. A este método se lo denomina prospección geofísica. Comúnmente estos métodos deben ir relacionados y acompañados de estudios geológicos a detalle, con la finalidad de poder conocer e interpretar de la mejor manera posible cualquier tipo de investigación que se desee realizar. Dentro de los métodos indirectos más conocidos y utilizados son; eléctricos, sísmicos, gravimétricos y magnéticos.

4.7.2.2.1. Prospección Geofísica.

Según (Arciniega, 2019, p. 3) menciona que la prospección geofísica trata de comprender el origen de las anomalías y los fenómenos físicos producidos en las rocas y minerales de origen metálico, que ocurren dentro de la tierra. Es por ello que mediante la prospección se puede caracterizar un terreno de forma cuantitativa, considerando parámetros físicos como densidad, resistividad, permeabilidad, etc. Para finalmente poder generar un mapa de anomalías geofísicas, que ayuden a describir las características geológicas del subsuelo y también ayuda a conocer si existen posibles zonas de mineralización.

4.7.2.2.2. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

Los autores (Cardozo y Vargas 2015, p. 46) señalan que los estudios mediante la aplicación del método de sondeo eléctrico vertical (S.E.V), se basan en la aplicación de varios métodos geoeléctricos llamados comúnmente métodos de prospección o resistividad de corriente continua. Llegando a así a conocer y estudiar a detalle los diferentes tipos de materiales geológicos presentes en el subsuelo, midiendo los comportamientos de sus resistividades aparentes

A continuación, se pueden observar en la Tabla 5, las resistividades más comunes que presentan los diferentes materiales compuestos por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Tabla 5: Valores típicos de la resistividad de los geomateriales.

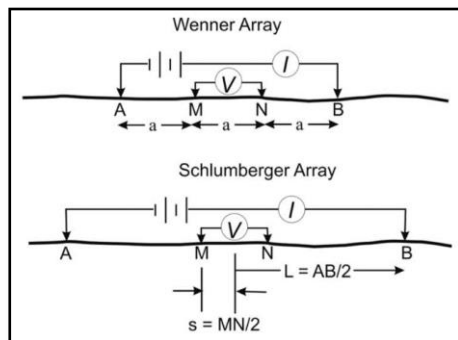
Tipo de material	Resistividad ($\Omega.m$)
Basamento Roca sana con diaclasas espaciadas	>10 000
Basamento Roca fracturada	1 500 – 5 000
Basamento Roca fracturada saturada con agua corriente	100 – 2 000
Basamento Roca fracturada saturada con agua salada	1 - 100
Grass no saturada	500 – 1 000
Grass saturada	40 – 100
Saprolito no saturado	200 - 500
Saprolito saturado	40 – 100
Gravas no saturadas	500 – 2 000
Gravas saturadas	300 – 500
Arenas no saturadas	40 0– 700

Arenas saturadas	100 – 200
Limos no saturados	100 – 200
Limos saturados	20 – 100
Limos saturados con agua salada	5 - 15
Arcillas no saturadas	20 – 40
Arcillas saturadas	5 – 20
Arcillas saturadas con agua salada	1 – 10
Andosoles secos	1 000 – 2 500
Andosoles no saturados	300 – 1 000
Andosoles saturados	30 – 50

Nota: Recuperado de Arias., et al (2012), p. 42-43.

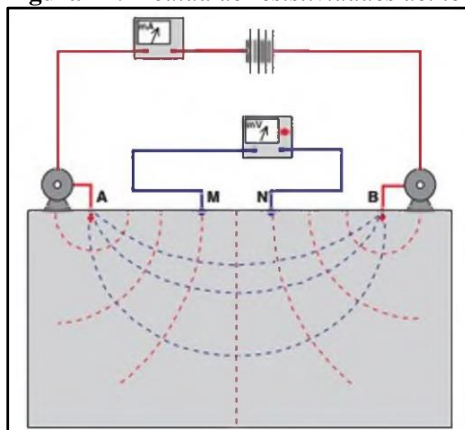
(González, 2002, p. 330) describe que los métodos eléctricos ayudan a realizar las medidas de resistividades en el terreno, uno de ellos es aplicando el arreglo Schlumberger, el cual está constituido de forma simétrica, donde los electrodos de potencial internos MN, son alineados con los electrodos de corriente AB, y además la separación entre M-N debe ser menor a 1/5 de la distancia AB. Por otro lado, se encuentra el arreglo Wenner en donde la disposición de los electrodos es similar a la anterior, pero existe la posibilidad que entre las distancias de los electrodos A-M, M-N y N-B sean iguales. Estos dos métodos se encuentran normalizados y son los más utilizados dentro de la investigación geofísica.

Figura 11: Arreglo Schulumberger y Wenner.



Nota: Obtenido de (Clark y Page, 2011, p. 770)

Figura 12: Medida de resistividades del terreno mediante métodos eléctricos "SEV's"

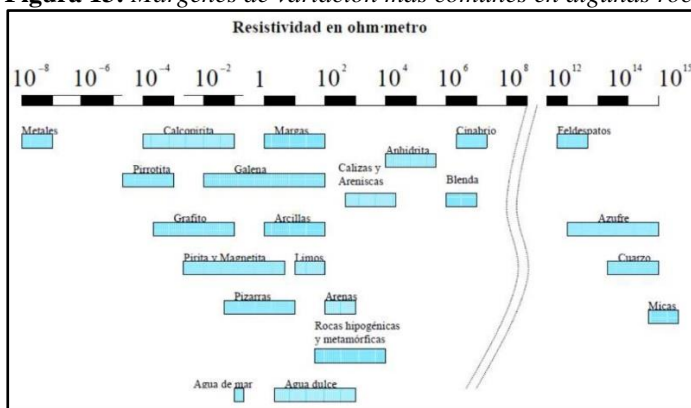


Nota: Obtenido de (González, 2002, p. 330)

Según (Iakubovskii y Liajov, 1980, p. 11) describen en el libro “Exploración eléctrica”, que en las últimas décadas la aplicación de los sondeos eléctricos verticales (SEV) se han vuelto importantes e indispensables para el estudio de las diferentes estructuras geológicas que se encuentran en la corteza terrestre, ya que las rocas presentan diferentes texturas y composiciones, por ende, también poseen diferentes propiedades eléctricas, resistividades, permeabilidades dieléctricas, etc.

A continuación, en la siguiente Figura 13, se presentan algunos valores de resistividades en rocas y minerales que son necesarios para correlacionarlos con los datos obtenidos durante los ensayos geofísicos.

Figura 13: Márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales.



Nota: Obtenido de (Orellana 1982, p. 73)

(Cantos 1987, p. 381) menciona que de acuerdo a los métodos geoelectrónicos, en donde se analiza las propiedades eléctricas de las rocas (resistividad de los materiales), la cual es considerada como un parámetro que se mide en Ohmios entre dos caras opuestas, de un cubo de materia con dimensiones unitarias. Según la ley de Ohm se denomina a la resistencia (R), como al cociente que existe entre la diferencia de potencial y la corriente que pasa por un determinado cuerpo litológico. Y se representa mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Donde:

$R = \text{resistencia}$

$V = \text{voltaje}$

$I = \text{intensidad}$

Cantos (1973, p. 397), describe que, para encontrar la resistividad del material analizado, se debe emplear la siguiente expresión matemática:

$$\rho = k \cdot R \quad (2)$$

También se deduce de la siguiente forma:

$$\rho = k \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

Donde:

$R = resistencia$

$\Delta V = diferencia\ de\ voltaje$

$I = intensidad$

$\rho = resistividad$

$k = constante$

Cantos (1973, p. 397), también determina que el valor de k es una constante que siempre ira en dependencia del tipo de dispositivo utilizado, lo cual se resume en la siguiente expresión:

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BM} \right)^{-1} \quad (4)$$

4.7.2.3. Mecánica de suelos.

(Berry y Reid, 1993, p. 358-359) mencionan que la mecánica de suelos es una de las etapas más importantes dentro de los estudios geotécnicos, donde se realizan varias investigaciones a fin de determinar si es factible o no emplazar algún tipo de estructura, evitando esfuerzos y deformaciones inadecuados que perjudiquen una determinada obra ingenieril. Es por ello que dentro de la mecánica de suelos se adoptan técnicas de mejoramiento del terreno, tales como compactación superficial y profunda, estabilización y uso de geotextiles.

(Cassan, 1982, p. 14) describe que el objetivo primordial que tiene la ciencia de la mecánica de suelos, es la de entender y comprender de manera racional el comportamiento del suelo. Ya que en el se producen cargas, excavaciones, túneles, galerías y diferentes obras de carácter ingenieril. Comunmente a esta disciplina se la conoce también como geotecnia, tiene una estrecha relacion con la geología y la mecánica, ya que en ella se estudian y analizan la reología, hidráulica, elasticidad y plasticidad, etc.

4.7.2.3.1. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Suelos.

Según (Graux, 1975, p. 3-8) Menciona algunas de las propiedades físicas más importantes dentro del estudio de la mecánica de suelos, entre ellas describe al peso específico,

la cual sirve para conocer la compacidad (estado real de densificación o firmeza que tienen los suelos o terrenos). Otra propiedad que también señala, son los materiales constituyentes conformados por la porosidad, índice de vacíos y contenido de agua. Todos estos parámetros guardan una estrecha relación entre sí. Finalmente tenemos a la permeabilidad, límites de Atterberg, consistencia del suelo y ensayos granulométricos, los cuales sirven para caracterizar los diferentes tipos de suelos.

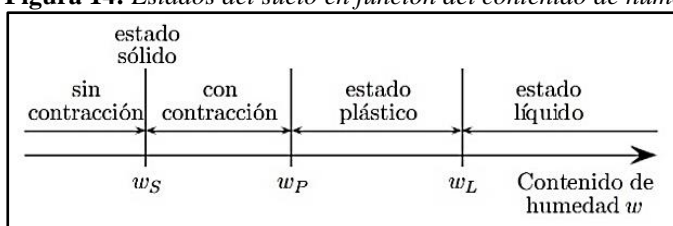
4.7.2.3.2. *Ensayos de Mecánica de Suelos.*

(Bowles, 1981, p. 1) describe la importancia que brindan los ensayos y procedimientos de laboratorio, que son estandarizados mediante las Normas ASTM y AASHTO. Las mediciones de los parámetros que constituyen a los suelos, como la densidad, gravedad específica, porosidad, permeabilidad, niveles de saturación, resistencia cortante y clasificación granulométrica, ayudan a caracterizar las diferentes zonas del terreno, gracias a la implementación de estos estudios a detalle se pueden conocer las propiedades de los suelos, y a su vez realizar mejoramientos previos en zonas geotécnicas de interés.

Límites de Atterberg

(Sáez, 2010, pág. 21), describe que “en la medida que el contenido de humedad de una muestra de suelo decrece, el material pasa por diversos estados”, tal como se observa en la Figura 14.

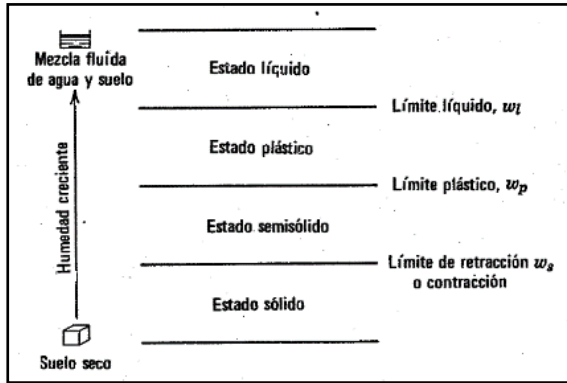
Figura 14: Estados del suelo en función del contenido de humedad.



Nota: Recuperado de Sáez, (2010. pág. 21)

Según (Lambe y Whitman, 1991, p. 45) mencionan que los límites de Atterberg se rigen en el concepto que dice que, la consistencia de un suelo de granulometría fina solo tiende a presentarse en cuatro estados según el contenido de humedad que este contenga. Es decir un suelo se encuentra en estado sólido cuando se encuentra seco, mientras que si se agrega agua, estos pasan al estado semisólido, plástico y líquido.

Figura 15: Límites de Atterberg e índices con ellos asociados.



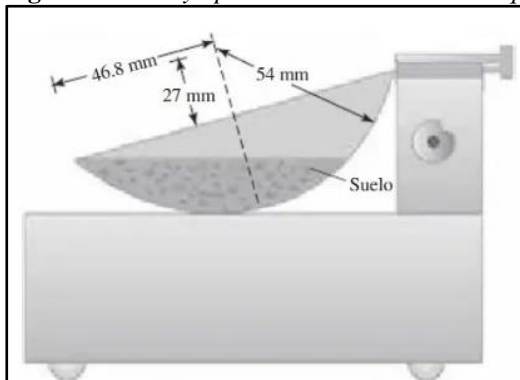
Nota: (Lambe y Whitman, 1991, p. 45)

Límite líquido (LL)

(Crespo, 2004, p. 70) establece que “el límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico”.

Este mismo autor describe que el ensayo se lo realiza en el equipo de Casagrande, en cual primeramente se basa en en tomar 100 gramos de material de suelo seco que pasa por la malla No. 40, y mezclandose con pequeñas cantidades de agua hasta lograr una consistencia suave y homogénea. Luego se coloca en la copa el suelo humedo y homegenizado, y mediante un ranurador se lo procede a dividir en dos porciones. Poterior a ello se acciona la manivela del equipo y se comienza a contar el número de golpes que oscilan entre los (6 y 35 golpes), para que la ranura hecha se cierre en 1, 27 cm (1/2”). Si no se cierra durante estos golpes se añade más agua a la mezcla y se repite el ensayo hasta que alcance la cosistencia exacta dentro de estos intervalos. Existen varias normas para realizar este ensayo, entre las principales tenemos a las; ASTM D 4318, ASSTHO T89, BS 1377-2, DIN 18122, y UNE 103103, UNE 7377, UNE 7002.

Figura 16: Ensayo para determinar el límite líquido según la Norma ASTM D-4318



Nota: Obtenido de Braja, (2015. p. 66)

Límite plástico (PL)

(Lambe y Whitman, 1991, p. 45) afirman que el límite plástico se logra determinar calculando los valores de humedad que presenta el suelo, en forma de reducidos cilindros de un diámetro de 3mm.

Índice de plasticidad (IP)

(Crespo, 2004, p. 78) Se denomina índice de plasticidad o índice plástico (IP) a la diferencia numérica que existe entre los límites líquido y plástico, y que siempre dependerá de la cantidad de arcilla presente en el suelo. Además, este índice describe los márgenes de humedades que se encuentran dentro del estado plástico.

A continuación, se ilustra la ecuación matemática, para hallar el índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP: índice de plasticidad.

LL: Límite líquido del suelo.

LP: Límite plástico del suelo.

Ensayo granulométrico

(Manchego y Peña 2015, p. 30) mencionan que el ensayo de clasificación granulométrico, consiste en la medición y gradación de los tamaños de los granos de material compuesto por rocas sedimentarias, especialmente los suelos. Este procedimiento se realiza con el objetivo de conocer y analizar su origen, así como sus propiedades físicas y mecánicas. Los diferentes tamaños que presentan los suelos son comparados y clasificados en escalas granulométricas previamente normalizadas.

Tabla 6: Escala de clasificación de tamaños de granos de partículas sedimentarias de Wentworth.

Clasificación de sedimentos				
Límites de clases (milímetros)	Clases de tamaños		Término para roca	
2,56		Peñascos		Conglomerado
16	Gravas	Mataténas		Brecha
4		Guijarros		Rudita
2		Gránulos		Rocas rudáceas
1		Arenas muy gruesas		
0,05	Areanas	Arenas gruesas		Arenisca
0,25		Arenas medias		Arenita
0,125		Arenas finas		Rocas arenáceas
0,0625		Arenas muy finas		
0,0312	Limos	Limo grueso		Argilita
0,0156		Limo medio	Limolita	Rocas argiláceas
0,0078		Limo fino		Lodolita

0,0039		Limo muy fino		Roas lodosas
		Arcilla	Lutita	Lutita

Nota: Obtenido de (Achurra, 2003, p. 5)

(Braja 2015, p. 28) indica en el libro “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica” que los suelos en general son llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas del suelo. Es por ello que a continuación se describe cada uno de estos tipos de suelos según sus características mineralógicas.

Los límites de separación del tamaño del suelo según varias organizaciones se muestran en la siguiente tabla 7.

Tabla 7: Límites de separación del tamaño del suelo.

Nombre de la organización	Tamaño de grano en mm			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	<0,002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	<0,002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76,2 a 2	2 a 0,075	0,075 a 0,002	<0,002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	Finos (p.ej., linos y arcillas) 0,075	

Nota: Obtenido de (Braja, 2015, p. 28)

- **Clasificación de Suelos**

(Díaz, 2014, p. 48) describe que “Los sistemas de clasificación de suelos proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos. Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos”.

(Braja 2012, p. 17) señala en el libro “Fundamentos de ingeniería de cimentaciones”, que existe una división de grupos y subgrupos dentro de los sistemas de clasificación de suelos. Ya que en ellos se considera sus propiedades más importantes y representativas tales como, su distribución granulométrica, límites líquido y plástico. Hoy en día son utilizados dos sistemas de clasificación de suelos, el primer sistema lleva el nombre de American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), la cual es usada primordialmente para clasificar los diferentes tipos de capas de pavimento que son colocadas en las carreteras. Por otra parte, tenemos al segundo sistema que se denomina, Unified Soil Classification System (SUCS), o también nombrado sistema unificado de clasificación de suelos. Cada uno de estos sistemas de clasificación brinda una información detallada de la granulometría y propiedades

propias de los suelos, lo cual son una herramienta muy importante dentro del estudio de la mecánica de suelos y la geotecnia.

- **Sistema de clasificación de suelos AASHTO (Norma ASTM D-3282; método AASHTO M145).**

(Braja 2015, p. 78), menciona que el sistema de clasificación de suelos AASHTO, se encuentra clasificado en siete importantes grupos, según su nomenclatura los granos o partículas de los materiales de suelo, van desde el A-1, hasta el A-7 respectivamente. Esta norma agrupa a los suelos de tipo A-1, A-2 y A-3 en materiales granulares, ya que considera que el 35% o menos de las partículas de estos suelos, pasan a través del tamiz número 200. Por otra parte, se encuentran los suelos que se agrupan desde el A-4 hasta el A-7, mismos que se encuentran formados específicamente por limos y materiales arcillosos. Además, dentro de este grupo se considera a los suelos que donde más del 35% pasan a través del tamiz número 200.

(Arízaga 2014, p. 17-18) describe que dentro de la clasificación de suelos AASHTO, los materiales que pertenecen al grupo A-1 son considerados como excelentes componentes para el uso y aplicación de subestructuras dentro de la construcción de vías. Pero en cambio los materiales que están dentro de la clasificación A-7, son considerados los más pésimos.

A continuación se puede apreciar en la Tabla 8, la clasificación de suelos AASHTO, para cada uno de los materiales correspondientes.

Tabla 8: Clasificación de Suelos AASHTO

Clasificación general	Materiales Granulares (35% o menos de la muestra total pasa el tamiz # 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Tamizado % que pasa							
No 10 (2.00mm)	50 máx						
No 40 (425 mm)	30 máx	50 máx	51 máx				
No 200 (75 mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Fración que pasa tamiz No 40							
Límite líquido (LL)				40 máx	41 máx	40 máx	41 máx
Índice de plasticidad (IP)	6 máx		NP	10 máx	10 máx	11 máx	11 máx
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Calificación	Excelente a Bueno						
Clasificación general	Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa el tamiz # 200)						
Clasificación de grupo	A-4		A-5		A-6		A-7
							A-7-5*
							A-7-6*
Tamizado % que pasa							
No 10 (2.00mm)							

No 40 (425 mm)				
No 200 (75 mm)	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Fracción que pasa tamiz No 40				
Límite líquido (LL)	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos de materiales característicos	Principalmente suelos limosos		Principalmente suelos arcillosos	
Calificación	Regular a malo			

*La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2

*Si el índice de plasticidad (IP) es igual o menor que LL-30, la clasificación será A-7-5.

*Si el índice de plasticidad es mayor que el LL-30, la clasificación será A-7-6.

Nota: Sistema de Clasificación AASHTO. Obtenido de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja, 2015, p. 79). Adaptado por El Autor (2022).

- **Sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S (Norma ASTM D-2487)**

En las publicaciones de (Mastropiero, 2019, p. 91), menciona que “el sistema unificado de clasificación de suelos – SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)) es un sistema de clasificación de suelos basado en la textura y el tamaño de las partículas de un suelo”.

Tabla 9: Asignación de primera y/o segunda letra

Símbolo	Definición
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Orgánico

Nota: Obtenido de (Mastropiero, 2019, p. 92)

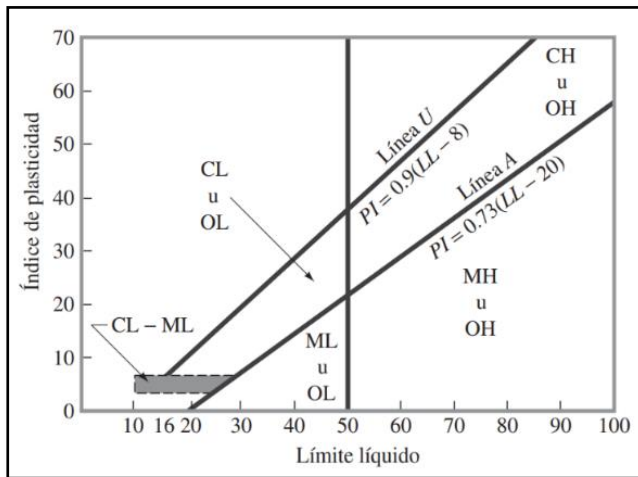
Tabla 10: Asignación de segunda letra

Letra	Definición
P	Pobremente graduado (tamaño de partícula uniforme)
W	Bien graduado (tamaños de partículas diversos)
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad

Nota: Obtenido de (Mastropiero, 2019, p. 92)

(Braja 2015, p. 82), señala en el libro “Fundamentos de ingeniería geotécnica”, que el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, clasifica a los suelos en dos grandes grupos. El primero indica que los suelos de grano grueso compuestos por grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz número 200, ver tabla 11. Mientras que para identificar la arena o suelo arenoso se usa el prefijo S). Por otra parte, se encuentra el segundo grupo, donde se encuentran los suelos de grano fino con 50% o más que pasa el tamiz número 200, ver tabla 12. A continuación, se ilustra la gráfica de plasticidad para determinar los símbolos de grupo de cada tipo de suelo.

Figura 17: Gráfica de plasticidad



Nota: Obtenido de (Braja 2015, p. 84)

Tabla 11: Clasificación de suelos S.U.C.S. para Grano Grueso

		Criterios para la asignación de símbolos de grupo		Símbolos de grupo
Suelos de Grano grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz N.º 200)	Gravas (más del 50% de fracción gruesa es retenida en el tamiz número 4)	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
		Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de la línea "A". (Ver figura 17)	GM
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ o gráficos en o por encima de la línea "A". (Ver figura 17)	GC
	Arenas (50% o más de la fracción gruesa pasa el tamiz número 4)	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP
		Arenas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de la línea "A". (Ver figura 17)	SM
		Más de 12% finos ^{b,d}	$PI > 7$ o gráficos en o por encima de la línea "A". (Ver figura 17)	SC

Nota: ^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$^c C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada (Ver figura 17) se usa doble símbolo: GC-GM o SC-SM.

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada (Ver figura 17) se usa doble símbolo: CL-ML.

Sistema Unificado de Clasificación S.U.C.S. Obtenido de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja, 2015, p. 83). Modificado por El Autor (2022).

Tabla 12: Sistema de clasificación de Suelos S.U.C.S, para grano fino

Criterios para la asignación de símbolos de grupo			Símbolos de grupo	
Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el tamiz N.º 200)	Limos y arcillas (límite líquido L<50)	Inorgánico	PI > 7 y gráficos en o por encima de la línea “A” (Ver figura 17)	CL
			PI < 4 y gráficos por debajo de la línea “A” (Ver figura 17)	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 17; zona OL	OL
	Limos y arcillas (límite líquido L1 50 o >)	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de la línea “A” (Ver figura 17)	CH
			Gráficos PI por debajo de la línea “A” (Ver figura 17)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$; vea la figura 17; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos		Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico	Pt	

Nota: Sistema Unificado de Clasificación S.U.C.S. Obtenido de Fundamentos de Ingeniería de Geotécnica (2015, p. 83). Modificado por El Autor (2022).

4.8. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

(Peña, 2010, p. 3) señala que los SIG, “utilizan información y herramientas informáticas (programas y software) para su análisis con unos objetivos concretos. Por otra parte, al incluir el término (geográfica), se asume que la información es espacialmente explícita, es decir, incluye la posición en el espacio”.

(Santos, 2004, p. 14) manifiesta que un sistema de información geográfica (SIG), es un conjunto de herramientas informáticas multipropósito capaces de gestionar y analizar la información georreferenciada, su objetivo principal está dirigido a solventar diversas problemáticas de carácter territorial (planificación territorial, gestión catastral) y medioambiental (prevención de riesgos naturales).

Las principales características que se dan dentro de la utilización de los sistemas de información geográfica SIG son, la localización directa, localización condicionada, tendencias, rutas, pautas y modelos. (Santos, 2004, p. 14-16)

4.8.2. *Análisis de Datos Espaciales*

(Rigol et al. 2011 p. 62-63) considera que el análisis espacial de la información realizada mediante estudios geocientíficos, se ha convertido comúnmente en la superposición de datos analógicos recopilados en forma de mapas. En la actualidad el uso de datos espaciales SIG sirven para elaborar cartografías y mapas descriptivos y temáticos. Se pueden implementar diversas metodologías en el análisis de datos espaciales mediante los SIG, ya que se presentan en diversas categorías y grupos.

4.8.3. *Mapas de zonificación geotécnica*

(De la Vega, 2002, p. 58) argumenta, que el estudio y elaboración de mapas geotécnicos brindan la información más importante que puede ser utilizada dentro de las ramas de la ingeniería civil y ciencias de la tierra. La aplicación de estos mapas involucra estudios a detalle de las características geológico-geotécnicas de los geomateriales, ya que en su desarrollo se debe conocer previamente las propiedades físicas y mecánicas que constituyen a las rocas y suelos. Su realización se basa con la finalidad de conocer si los terrenos son aptos para la implementación de cualquier tipo de obra ingenieril, o si previamente se debe realizar algún mejoramiento, esto con la finalidad de evitar daños innecesarios entre el terreno e infraestructuras.

(González, 2002, p. 376) establece, que “los mapas geotécnicos incluyen información descriptiva sobre los materiales, procesos geológicos, datos cuantitativos de los diferentes componentes del medio geológico y de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales e información interpretativa para su aplicación geotécnica o ingenieril”.

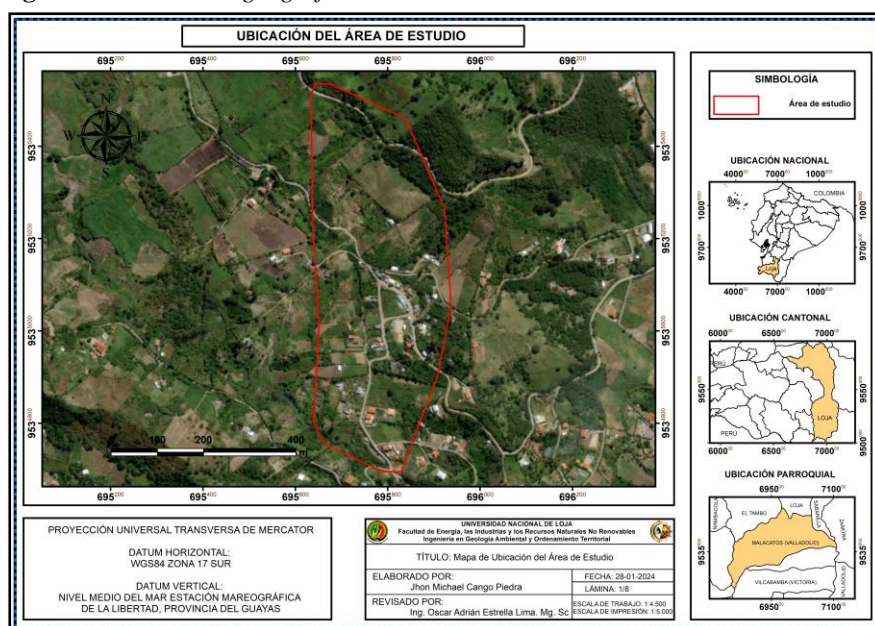
5. Metodología

5.1. Descripción general del área de estudio

5.1.1. Ubicación

Geográficamente la zona de estudio está ubicada en la zona de planificación número 7 del Ecuador, específicamente en la parte Sur Oriental de la Provincia de Loja, Cantón del mismo nombre, parroquia Malacatos, barrio el Sauce bajo. (Ver Figura 18), el cual se encuentra aledaño al Norte con el barrio Belén, al Este con los barrios El Carmen y Landanguí, hacia el Sur con el Barrio San José de las Peñas y al Oeste con el barrio La Granja. Cuenta con una superficie de 20 ha, presenta una altitud aproximada de 1630 m.s.n.m.

Figura 18: Ubicación geográfica del área de estudio.



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

A continuación, se describen las coordenadas del polígono de la zona de estudio (Ver Tabla 13). Mientras que en el Anexo 7.1, se puede evidenciar el mapa de ubicación a escala 1:4.500.

Tabla 13: Coordenadas de ubicación del polígono de estudio (UTM/WGS-84/Zona 17S)

Punto	X	Y	Z
1	695599	9535487	1708 m
2	695637	9535558	1737 m
3	695842	9535465	1754 m
4	696010	9535313	1723 m
5	695861	9534671	1587 m
6	695807	9534624	1586 m
7	695543	9534830	1608 m
8	695594	9535158	1644 m

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

5.1.2. Acceso

- **Por vía terrestre.**

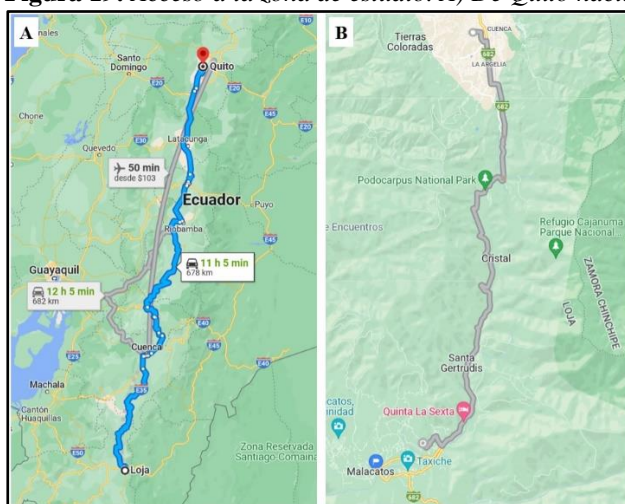
El acceso a la zona de estudio se lo puede realizar desde la ciudad de Quito por vía terrestre, hasta la ciudad de Loja, partiendo desde la Terminal Terrestre de Quitumbe por la carretera Panamericana/Troncal de la Sierra E35, hasta llegar a la Terminal Terrestre Reina de El Cisne de la ciudad de Loja, en un recorrido de 651 km en un lapso de tiempo de 10 h con 28 min. Luego desde la ciudad de Loja nos dirigimos por la vía de Integración barrial (Lateral de paso) hasta llegar al barrio El Capulí, y proceder a dirigirnos por la vía Loja-Malacatos hasta el barrio Landanguí, para finalmente tomar una vía de segundo orden en dirección N-O, hasta llegar al barrio el Sauce bajo. Este trayecto consta de 32,7 km y un tiempo de duración de 40 min.

- **Por vía aérea.**

El acceso al área de estudio por vía aérea, se lo realiza partiendo desde el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de la ciudad de Quito, hasta llegar al Aeropuerto ciudad de Catamayo, en un tiempo de vuelo aproximado de 1 h con 5 min. También se puede viajar desde el Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo de la ciudad de Guayaquil, hasta el Aeropuerto Ciudad de Catamayo, con un tiempo de vuelo de 1 h con 32 min.

Posteriormente desde la ciudad de Catamayo nos dirigimos ya sea en vehículo de transportación pública o privada, por la vía Intervalles, hacia la Parroquia Malacatos hasta llegar al barrio el Sauce bajo. Con una duración de recorrido de 47,6 km, en un tiempo aproximado de 1 h con 12 min.

Figura 19: Acceso a la zona de estudio. A) De Quito hacia Loja y B) De Loja hacia la zona de estudio.



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

5.2. Descripción biofísica del área de estudio

5.2.1. Clima

La parroquia Malacatos posee un ambiente subtropical-seco, debido a que el clima de la Sierra va variando conforme se da la traslación del sol con la tierra durante los doce meses del año. Además, esta parroquia se encuentra entre los valles interandinos que receipta diversas masas de aire oceánicas y amazónicas; y también de grandes fluctuaciones de masas de aire que se originan en la zona de subducción. La temperatura promedio anual de esta parroquia se establece en 19.9 °C; debido a que las zonas que se encuentran ubicadas en las partes altas de este sector, presentan un clima templado con temperaturas que oscilan desde los 11°C hasta los 20 °C. Durante los meses de septiembre a enero son considerados los más calurosos, mientras que desde febrero hasta agosto se dan las temperaturas más frías. (PDyOT-Malacatos, 2015-2019, p. 48-50).

Tabla 14: Temperatura media mensual de la parroquia Malacatos.

Código	M033	M143	M144	M147
Estación	La Argelia (Loja)	Malacatos	Vilcabamba	Yangana
Enero	16.1	20.1	20.7	19.5
Febrero	16.1	19.7	20.6	19.2
Marzo	16.2	19.6	20.8	19.2
Abril	16.4	19.8	20.7	19.4
Mayo	16.2	19.9	20.6	19.3
Junio	15.6	19.8	20.6	19.1
Julio	15.1	19.8	20.5	18.4
Agosto	15.4	19.9	20.8	19
Septiembre	16.1	20.1	21.2	19.5
Octubre	16.5	20	21.3	19.7
Noviembre	16.5	20.1	21.1	19.9
Diciembre	16.5	20.2	21	19.5
Total	16.1	19.9	20.8	19.3

Nota: INAMHI. CLIRSEN-MAGAP, 2012; adaptado por PDyOT-Malacatos 2019

En esta parroquia durante el año se producen las dos estaciones climáticas como son, el invierno y el verano. Los meses donde se producen las lluvias más constantes y por ende la llega del invierno, son durante los meses de octubre hasta abril. Actualmente se tiene un valor promedio de precipitación anual de 669,1 mm. Durante los meses de mayo y septiembre las precipitaciones se ausentan, ya que durante estos meses se da la estación de verano. (PDyOT-Malacatos, 2015-2019, p. 52).

Tabla 15: Precipitación media mensual de la parroquia Malacatos

Código	M033	M143	M144	M145	M147	M764
Estación	La Argelia (Loja)	Malacatos	Vilcabamba	Quinara (INAMHI)	Yangana	Quinara (PREDESUR)
Enero	94.2	65.7	106.3	98.4	131.8	95.8
Febrero	128	89.3	132.5	141.8	171.4	92.9
Marzo	150.7	120.3	156.9	171.6	191.7	134.4

Abril	99.1	98	110.2	120.9	119.7	99
Mayo	63.5	35.8	50.3	31	79	42.7
Junio	53.5	7.5	15.5	12.7	58.3	15.1
Julio	499	5.5	8.7	7.2	44.8	3.3
Agosto	41.6	4.9	6.2	5.5	30	5.5
Septiembre	39.4	24.2	32	29.5	38.5	30.6
Octubre	71.2	76.1	82.5	101.1	93.7	67.2
Noviembre	75.5	60.3	76	85.4	82.9	73
Diciembre	89.8	81.5	92.7	138.5	118.2	123
Total	956.4	669.1	869.7	943.5	1160.1	782.5

Nota: INAMHI. CLIRSEN-MAGAP, 2012; adaptado por PDyOT-Malacatos 2019

5.2.2. Hidrografía

La zona de estudio se encuentra establecida en la principal red hidrográfica de la parroquia, por ubicarse en la microcuenca del río Malacatos, el cual se origina en la parte alta del nudo de Cajanuma perteneciente al Parque Nacional Podocarpus, la dirección de este curso de agua es de Norte – Sur. Por el Este recibe importantes caudales de los afluentes como: las quebradas Chorrera y Orta; mientras que por el Norte abastecen las quebradas: Nangora, Chorrillos, Pilaraca y San Francisco. Esta notable microcuenca es primordial ya que abastece aguas abajo a la subcuenca del río Boquerón, para luego unirse a la Cuenca del río Catamayo - Chira.

5.2.3. Geología regional

El área de estudio se encuentra ubicada en el Sur de los Andes del Ecuador, en ella se localizan pequeñas cuencas sedimentarias (cuencas intramontañosas) de la época del Mioceno superior (9-5 Ma), con altitudes que van desde los 1000 a 2500 m.s.n.m. Su ambiente de formación presenta potentes secuencias sedimentarias Miocénicas, se encuentra establecida por cuatro formaciones sedimentarias; Formación San José, Formación Santo Domingo, Formación San Francisco y Formación Cerro Mandango. El basamento de esta cuenca sedimentaria está conformado por dos unidades; Chiguinda (metamórficas) y Tres Lagunas (Volcánico intrusivo). La unidad Paleozoica Chiguinda (PzLc) está compuesta por pizarras negras a filitas alternadas con cuarzoarenitas grises. En cambio, la unidad Triásica Tres Lagunas (TrL) se conforma de un granitoide de dos micas de color gris azulado que invadió la unidad Chiguinda durante un evento tectonometamórfico del periodo Triásico. (Solís et al., 2018, p. 2-3)

La cuenca sedimentaria de Malacatos se extiende en dirección Noreste-Sureste, es considerada como una depresión alargada, rellena con sedimentos de origen lacustre y fluvial de la era cenozoica, las dimensiones aproximadas de esta cuenca son de 45 km de largo y 12 km de ancho. Este valle es limítrofe al Norte con el cantón Loja, al Sur con las parroquias de

San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba, al Oeste con los cantones de Catamayo y Gonzanamá, y al Este con la Provincia de Zamora Chinchipe. (Solís et al., 2018, p. 1)

Estructuralmente la cuenca está comprendida por dos bloques tectónicos bien diferenciados, el primero se denomina bloque La Merced, el cual está ubicado al Noroeste y en él se pueden apreciar todas las formaciones. El segundo se denomina bloque La Granja, ubicado al Sureste. Ambos bloques se encuentran separados por la falla de San Francisco la cual tiene un rumbo Nor-Noreste (NNE), en ella se pueden evidenciar cambios de espesor, facies laterales y dirección de buzamientos. (Freire, 2010, p. 22)

A continuación, se describe la geología regional que involucra a la zona de estudio.

- **Formación San Francisco (MSfr)**

Está conformada en su mayoría por lutitas, limolitas, areniscas de tonalidad gris azuladas y marrones, con presencia de conglomerados clasto-soportados con bases erosivas que aumentan en número hacia la parte superior. También existen abundantes vetas de yeso fibroso, que se encuentran dispuestas de forma paralela u oblicua con respecto a la estratificación. A esta secuencia sedimentaria también se la conoce como miembro arenisca de la Formación Cerro Mandango, Hungerbuhler (1997)

Se encuentra ubicada al límite del contacto concordante inferido de la unidad subyacente (Formación Santo Domingo), aflora a lo largo de la vía El Carmen-El Belén, presenta un contacto fallado en muchas localidades. La transición inferior entre ambas unidades se caracteriza por una serie de tobas volcánicas de hasta 10 m de espesor. Estos depósitos volcánicos reelaborados también están presentes en la parte inferior de la Formación San Francisco, donde los sedimentos de grano grueso entrecruzados contienen clastos volcánicos y metamórficos. La edad promedio de esta formación es de $12,6 \pm 1,2$ Ma.

La Formación San Francisco dentro del bloque La Merced presenta un espesor de 300 m, además se evidencia la deformación de estructuras en forma de pliegues debido a la existencia de fallas a lo largo del contacto con la Unidad Tres Lagunas. La presencia de materiales coluviales masivos y ligeramente estratificados de la edad del Plioceno (Unidad Suro) descansan con discordancia angular sobre las Formaciones San Francisco y Cerro Mandango.

Además, esta formación en la parte del Bloque La Graja, presenta en su base alternancias de areniscas y limolitas de color marrón gris azulado dispuestas en tendencias

ascendentes de engrosamiento. Estas alteraciones ascienden a areniscas canaliformes y conglomerados de base erosiva, conformados por clastos metamórficos. Estos maritales comprenden una potencia de 250 m, y se encuentra establecido en contacto tectónico con el basamento metamórfico (unidad Chiguinda), y el basamento ígneo (unidad Tres Lagunas).

- **Formación Santo Domingo (MSd)**

Hungerbühler (1997), Manifiesta que esta formación se encuentra separada por dos miembros; el primero se denomina Miembro Yeso, que está conformado por un nivel estratigráfico inferior (basal) y otro superior. Estos dos miembros afloran dentro del bloque la Merced, los límites de este bloque se encuentran establecidos por un contacto fallado. Esta formación en la parte Noroeste descansa discordantemente sobre la Formación Loma Blanca, y posee un espesor de alrededor de 600 m. En cambio, en la parte central de la cuenca se infiere la existencia de un contacto de transición subyacente con la Formación San José. También se presenta un contacto superior con la Formación San Francisco en posición predominantemente conformable. La edad promedio de la Formación Santo Domingo es de aproximadamente $14,8 \pm 1,2$ Ma. (Solís et al., 2018, p. 4)

En las fracturas y discontinuidades del Miembro Yeso basal, se hallan capas de azufre nativo; predominan las lutitas masivas de coloración marrón, que se encuentran intercaladas en posición cíclica con capas de limolitas de coloración clara, areniscas de grano medio a grueso y la presencia ocasional de conglomerados. Frecuentemente en este Miembro se encuentran capas de yeso con nódulos de carbonato en forma subhorizontal. (Solís et al., 2018, p. 4)

El Miembro Yeso superior presenta materiales intercalados de lutitas, limolitas y areniscas, acompañadas de capas de yeso primario y secundario; solo aflora dentro del Bloque La Granja, el cual presenta una potencia de 200 m. En él se infiere un contacto conformable compuestas por las formaciones San Jose (subyacente) y San Francisco (suprayacente). Está ubicado gradualmente en la parte superior del miembro carbón. (Solís et al., 2018, p. 5)

Dentro del Miembro Carbón, se encuentran secuencias de lutitas, limolitas de tonalidad marrón amarillento, areniscas y conglomerados bien clasificados provenientes de fuentes volcánicas y metamórficas, en todos estos materiales que son comunes de las cuencas neógenas se hallan restos de vegetales y elementos de bioturbación, (areniscas bituminosas). De la misma manera se encuentran capas de carbón bituminoso con alto contenido en volátiles que van desde los 2 cm hasta los 3 m. Dentro de toda esta formación es común encontrarse con intercalaciones de materiales volcano-sedimentarios, como piedra pómez y tobas. (Solís et al., 2018, p. 5)

- **Formación San José (MSjo)**

Esta formación pertenece a la época del Mioceno, presenta una edad aproximada de $13,5 \pm 1,2$ Ma. (Solís et al., 2018, p. 4). Los límites de esta Formación con la Formación Loma Blanca (Subyacente) son discordantes y presentan fallas; mientras que el límite con la Formación Santo Domingo (Suprayacente) son graduales y conformes. Geológicamente presenta dos localidades, la primera corresponde a la localidad estratotípica presenta una potencia de 150 m ubicada junto al poblado de San José perteneciente al Bloque la Merced.

El Bloque de esta Formación en su parte baja presenta depósitos de materiales escalonados compuestos por conglomerados volcánicos epiclásticos, areniscas, limolitas, lutitas bioturbadas con nódulos calcáreos y yeso intersticial. Mientras que en la parte media se hallan lutitas con abundante yeso fibroso secundario en forma de vetillas, así mismo hay calizas tabulares y areniscas con restos vegetales; También existen intercalaciones de lutitas bioturbadas, brechas bioclásticas de conglomerados con clastos volcánicos y metamórficos. Para la parte superior se encuentran conglomerados masivos con bloques andesíticos de tamaño métrico. (Solís et al., 2018, p. 4)

La segunda representa a la localidad hipoestratotípica correspondiente al Bloque la Granja, la cual aflora en el tramo de la vía Loja-Malacatos, presenta una potencia de 200 m. Según Hungerbuhler (1997). En la parte baja de este sector se evidencian intercalaciones de arcosas, limolitas, grauvacas feldespáticas y brechas volcánicas. Para la parte media en cambio existen intercalaciones ascendentes de areniscas y conglomerados de potencias métricas. Mientras que en la parte superior se hallan lutitas, areniscas y finas capas de conglomerados, con clastos y fragmentos de fuentes de origen volcánico y metamórfico. Este Bloque forma una concordancia hacia arriba con la Formación Santo Domingo. (Solís et al., 2018, p. 4)

- **Deposito Aluviales**

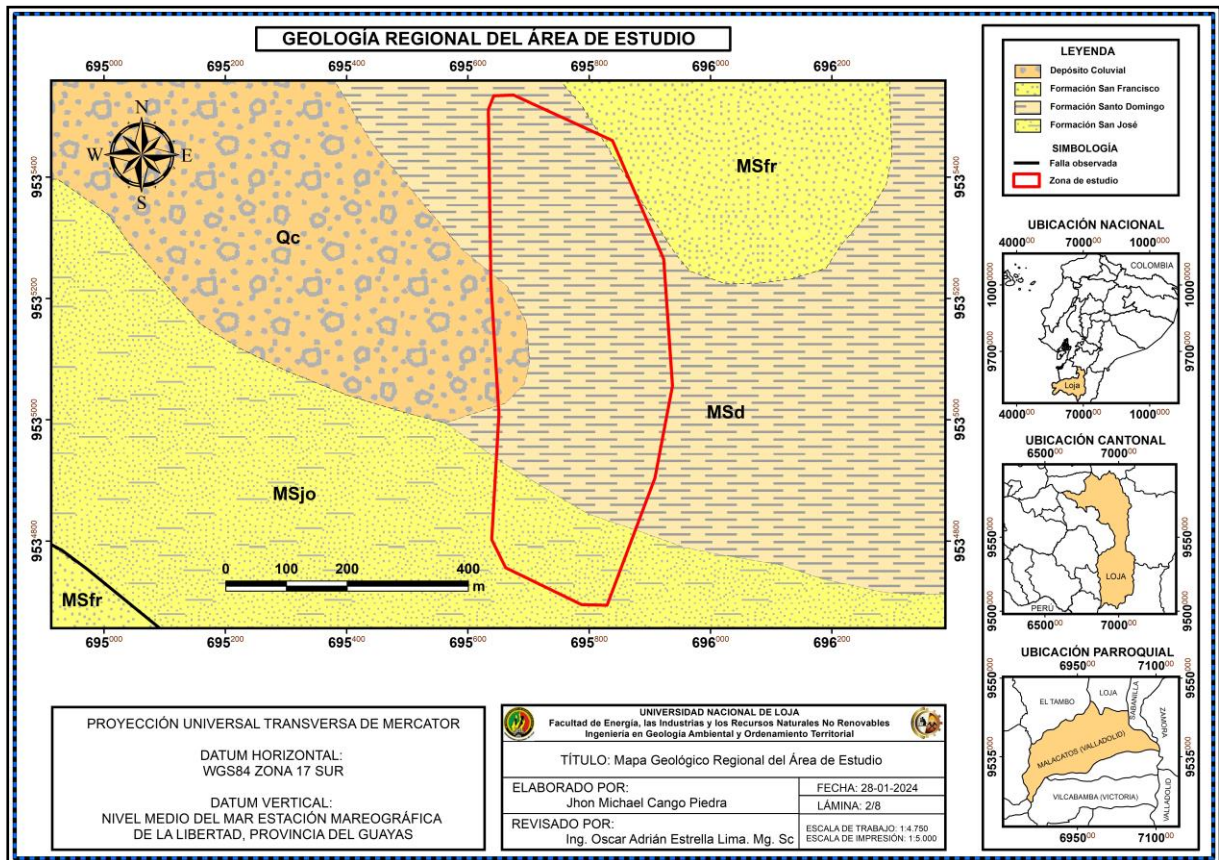
Considerando la escala de tiempo geológico, estos depósitos corresponden a la Era Cenozoica del periodo Cuaternario, además estos depósitos se caracterizan por estar compuestos específicamente de materiales poco consolidados, con cantos y bloques de rocas metamórficas (Formación Chiguinda) y volcánicas (Formación tres Lagunas) , que han estado en zonas altas y por acciones del arrastre del agua y la gravedad llegan a depositarse a lo largo de los márgenes del río Malacatos y quebradas (Pilarca, San Francisco y Nangora). Hoja geológica de Gonzanamá N VII-B, año 2017.

- **Depósitos Coluviales**

Estos depósitos al igual que los aluviales también provienen de las fuentes volcánicas y metamórficas que se encuentran en las partes altas, ya que estas rocas han sufrido la erosión e intemperismo, generando materiales poco consolidados que finalmente son arrastrados por acción del agua o por antiguos deslizamientos hacia las zonas más bajas. Estos depósitos pertenecen a la Era Cenozoica del periodo Cuaternario. Hoja geológica de Gonzanamá N VII-B (hoja 57), año 2017.

A continuación, se observa en la Figura 20, la ubicación de la zona de estudio dentro del marco regional, considerando la información cartográfica del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), hoja geológica de Gonzanamá N VII-B, año 2017. Dentro del Anexo 7.2, se encuentra el mapa a escala 1:4.750, en donde se puede apreciar completamente a la geología regional que abarca la zona de estudio.

Figura 20: Mapa geológico regional de la zona de estudio.



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024). Adaptado de la Carta geológica de Gonzanamá, Hoja 57, N VII-B (2017).

5.3. Materiales y equipos

Tabla 16: *Materiales de campo, laboratorio y gabinete*

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Materiales de gabinete
✓ Dron Pathon 3	✓ Balanza analítica	✓ Computador portátil
✓ GPS (Garmin GPSMAP 64s)	✓ Estufas para secado de muestra	✓ Software ArcGIS 10.5
✓ GPS Emild Reach RS2+ Multi-band RTK GNSS	✓ Equipo de casa grande ASTM D4318.	✓ Software Autocad 2019
✓ Brújula tipo Brunton	✓ Picnómetro de 50 ml	✓ Software DJI Pilot v2.5.1.10
✓ Carta geológica 57, N VII-B (Gonzanamá), escala 1:100 000, año 2017	✓ Mortero	✓ Google Earth
✓ Carta topográfica CT-NVII-B4 (Vilcabamba), escala 1:50 000, 1980	✓ Equipo automático para ensayos de corte directo	✓ Microsoft Office 2019
✓ Martillo Geológico Schmith	✓ Tamices ASTM E11	✓ Flash memory
✓ Flexómetro		✓ Impresora
✓ Cinta métrica (50m)		✓ Software IP2Win
✓ Cámara fotográfica		
✓ Lápiz		
✓ Graduador		
✓ Equipo de SPT		
✓ Equipo SEV		
✓ Ácido clorhídrico		
✓ Fichas de descripción de afloramientos		
✓ Ficha de muestreo de Suelos		
✓ Libreta de campo		

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

5.4. Métodos y técnicas

Para dar cumplimiento a la ejecución del vigente proyecto de investigación denominado, “Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y provincia de Loja”, se efectuó considerando el tipo de investigación no experimental y experimental.

5.4.1. Investigación no experimental

Se efectúa de una manera voluntaria y sin utilizar los parámetros que se encuentran inmersos en el desarrollo de su análisis. En otras palabras, la investigación no experimental es considerada una investigación ordenada y práctica, debido a que las interacciones que se producen entre la relación de sus variables se estudian en su entorno natural (Hernández et al., 1997).

5.4.2. Investigación experimental

Este tipo de investigación se caracteriza por emplear múltiples variables que aún no han sido confirmadas, su estudio involucra una estricta verificación de las características de sus propiedades que presentan durante su desarrollo.

Por lo general esta investigación se desarrolla bajo la propuesta de una hipótesis, donde involucra una serie de técnicas o métodos experimentales que buscan lograr determinar una comprobación acertada. (Cegarra, 2011)

5.5. Metodología para el primer objetivo

“Efectuar el levantamiento de las principales unidades geológicas del barrio el Sauce bajo, en un área de 20 hectáreas a escala de detalle 1:1000”

5.5.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico del área de estudio fue realizado en colaboración con la empresa SETIAGROUP S.A, mediante el uso de un dron o también conocidos como VANT (vehículo aéreo no tripulado), el modelo de este equipo de medición topográfica fue un Zenmuse P1. Las características de este instrumento topográfico son de muy buena calidad, en vista de que cuenta con una cámara incorporada de alta definición marca DJI con lente de 35 mm y una resolución de 45 MP (megapíxeles). Este equipo logra obtener mosaicos de fotografías de muy alta resolución. Además, se contó con un receptor GPS diferencial de marca Emild Reach RS2+ Multi-band RTK GNSS.

A continuación, se detalla las etapas de gabinete y de campo que fueron empleadas durante la ejecución del levantamiento topográfico.

- **Metodología de gabinete**

5.5.1.1. Etapa de planificación.

En esta esta fase se abordó y delimito el polígono de estudio con sus coordenadas de ubicación geográficas (UTM/WGS-84/S17) debidamente georreferenciadas.

Durante esta etapa se exporto el archivo del polígono del área de estudio en formato KML hacia el software (DJI Pilot v2.5.1.10) del control remoto del dron, en dicho software se procedió a configurar el control; primeramente, se eligió un modelo de vuelo, para este caso se optó por un modelo de fotogrametría 2D; Posteriormente el programa arrojó el tiempo estimado de vuelo, el número de fotos que se registrarán, la altura de vuelo, velocidad de vuelo y el

regreso al punto de origen. Toda esta configuración fue guardada dentro del programa y enviada hacia el dron con el propósito de que se realice la misión del vuelo automáticamente. Cabe señalar que adicionalmente en la configuración se aumentó unas líneas de vuelo para que el dron pueda sobrevolar unos 50 metros hacia las afueras del polígono de estudio, esto con la finalidad de poder obtener un mosaico óptimo que garantiza el traslape de las fotografías.

- **Metodología de campo**

5.5.1.2. Etapa de vuelo.

Figura 21: A) ubicación de puntos de control; B) Vehículo aéreo tripulado (UAV dron modelo ZENMUNSEPI)



Nota: Elaborado por El Autor, (2024)

Se empezó por trasladar todo el equipo topográfico hacia la zona de estudio, comenzando por armar y nivelar la base del receptor GPS diferencial. Luego se procedió a colocar marcas muy visibles de color rojo en la superficie del suelo de 1 m de largo y 0.20 m de ancho. Estas marcas fueron situadas con la finalidad de poder corregir y georreferenciar en gabinete las fotografías mediante las coordenadas que se levantaron con el equipo GPS diferencial. La primera marca fue colocada en la parte alta de la zona de estudio específicamente en la vía que esta junto al canal de riego campana Malacatos. Aquí se instaló la base del receptor Rover Emild Reach RS2 + Multi-band RTK.

Luego el equipo se encero con la coordenada de sistema de posicionamiento global GPS ya conocida, la cual fue adquirida a través del IGM (Instituto Geográfico Militar).

Figura 22: Ubicación del punto base e inicio del vuelo del dron.



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Una vez establecido el enlace entre el GPS diferencial y la estación GNSS más cercana al área de estudio, se procedió a levantar un total de tres puntos de control. La estación que proporcionó las coordenadas de enlace se encuentra ubicada en la ciudad de Loja, sus características se las pueden evidenciar en la figura 23.

Figura 23: Ubicación de la estación GNSS de monitoreo continuo LJEC.



Nota: Tomado de (Fárez 2010, p. 84-85); Adaptado por: El Autor (2024)

Posterior a ello se encendió el dron y se ejecutó el plan de vuelo con sus respectivas configuraciones; el dron se elevó a una altura aproximada de 200 metros, y empezó a realizar la fotogrametría a lo largo del polígono de estudio en un tiempo estimado de 15 minutos.

Mientras el dron se encontraba ejecutando el vuelo fotogramétrico, se continuó estableciendo las marcas de control respectivas.

La segunda marca fue ubicada en la parte central de la zona de estudio, específicamente en la cancha de uso múltiple del barrio, también se colocó un GPS-Rover Emild Reach RS2.

La tercera marca en cambio fue colocada en la zona baja del polígono de estudio, precisamente en la entrada al barrio, de la misma manera se ubicó allí también el GPS-Rover Emild Reach RS2.

Figura 24: Levantamiento de puntos de control GCP



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

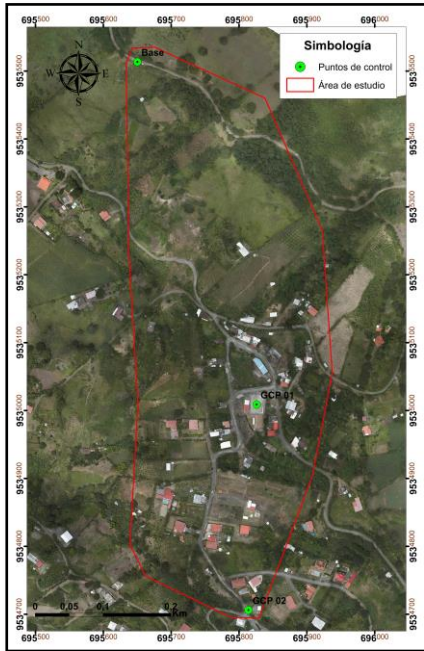
A continuación, en la tabla 17 se describen las coordenadas de los puntos de control que fueron levantados durante el levantamiento fotogramétrico mediante el uso del GPS Diferencial, así mismo se pueden evidenciar en la figura 25 la distribución de los puntos de control dentro de la zona de estudio.

Tabla 17: Punto de partida; Puntos de control

Ubicación del punto base y puntos de Control (GCP) en Coordenadas UTM/WGS-84/Zona 17S			
Puntos de control	X	Y	Z
Base	695650	9535513	1712
GCP 02	695825	9535008	1622
GCP 03	695813	9534706	1578

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Figura 25: Ubicación del punto base y puntos de control GCP



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

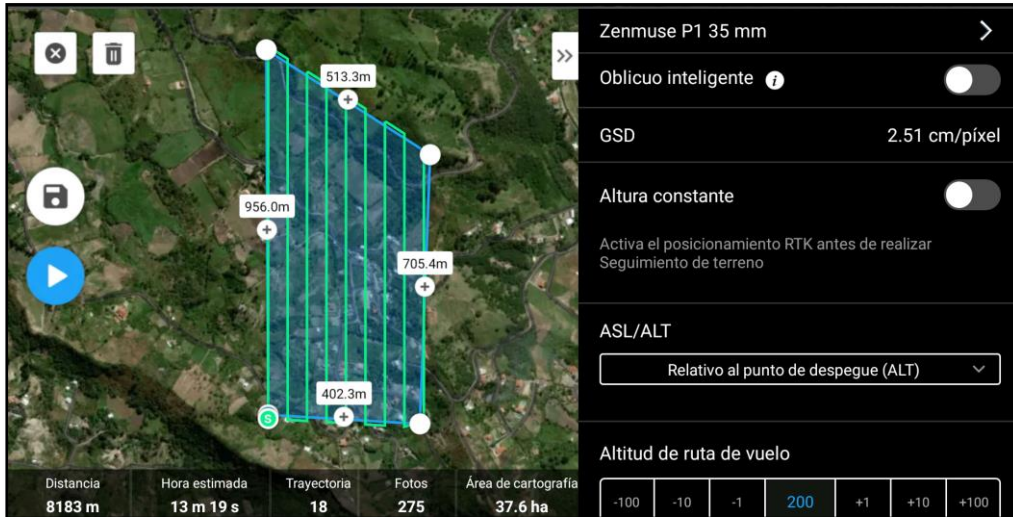
- ***Metodología de gabinete***

5.5.1.3. Etapa de procesamiento.

En esta etapa se realizó el procesamiento de las fotografías mediante el uso del software Agisoft Metashape pro v1.5.0, generándose una nube de puntos y un mosaico de las fotografías (en total 275 fotos), dichas fotografías se corrigieron a través de las coordenadas geográficas UTM/WGS-84/S17 que fueron levantadas a través de los puntos de control. Posteriormente a la georreferenciación de las fotografías, se generó el DSM (Modelo digital de superficie), aquí se filtró toda la vegetación (árboles) e infraestructura (viviendas) presentes en la zona de estudio.

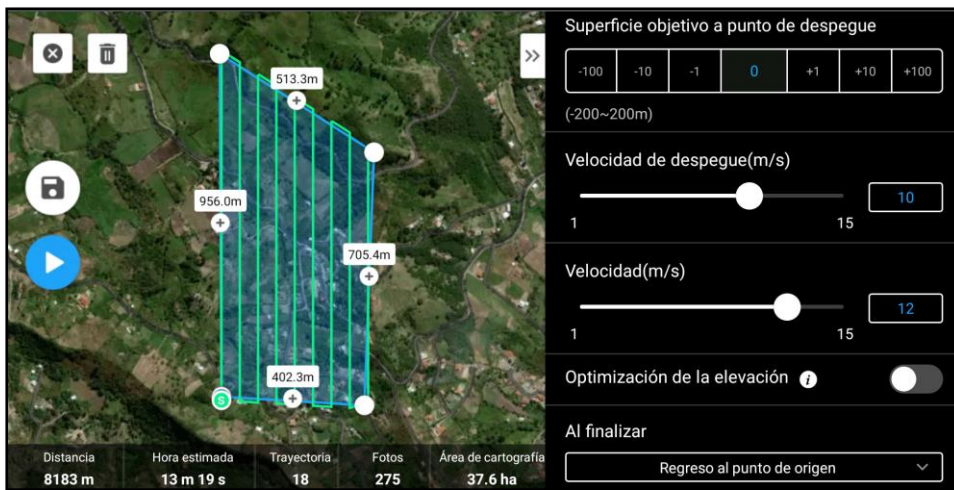
Luego se procedió a generar el DTM (Modelo digital del terreno) representando solo la superficie del terreno, sin arboles ni viviendas. Posteriormente se creó el ortomosaico (Ortofoto), con una resolución de tamaño de pixel de 2.5 cm/pixel. Mediante el software ArcGIS 10.5 se elaboró y clasificó las curvas de nivel primarias (a cada 5m) y secundarias (a 1m). Además, se digitalizó la infraestructura presente en el área de estudio, como viviendas, vías y quebradas. Finalmente se confeccionó el mapa topográfico a escala de detalle 1:1000, ver Anexo 7.3, donde se lo puede apreciar con sus respectivos cortes topográficos longitudinal y transversal.

Figura 26: Líneas de vuelo y altura de vuelo del equipo topográfico.



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Figura 27: Velocidad de despegue y de vuelo del equipo topográfico.



Nota: Elaborado por El Autor, (2024)

Figura 28: Superposición lateral y frontal del equipo topográfico.



Nota: Elaborado por El Autor, (2024)

5.5.3. Mapa de pendientes

La elaboración del mapa de pendientes a escala de detalle 1:1000, ver Anexo 7.4, fue mediante la aplicación del software ArcGIS 10.5. Su clasificación se realizó en base a las categorías propuestas por el autor (Demek, 1972), el cual clasifica las pendientes en 5 tipos, las cuales se las aprecia en la siguiente tabla 18.

Tabla 18: Clasificación de las pendientes

Tipo de pendiente	Ángulo de pendiente (°)
Ligeramente Inclinado	0° - 5°
Fuertemente Inclinado	5° - 15°
Muy inclinado	15° - 35°
Empinado	35° - 55°
Vertical	55° - 90°

Nota: Recuperado de (Demek, 1972)

A continuación, se detalla los procedimientos empleados en esta metodología:

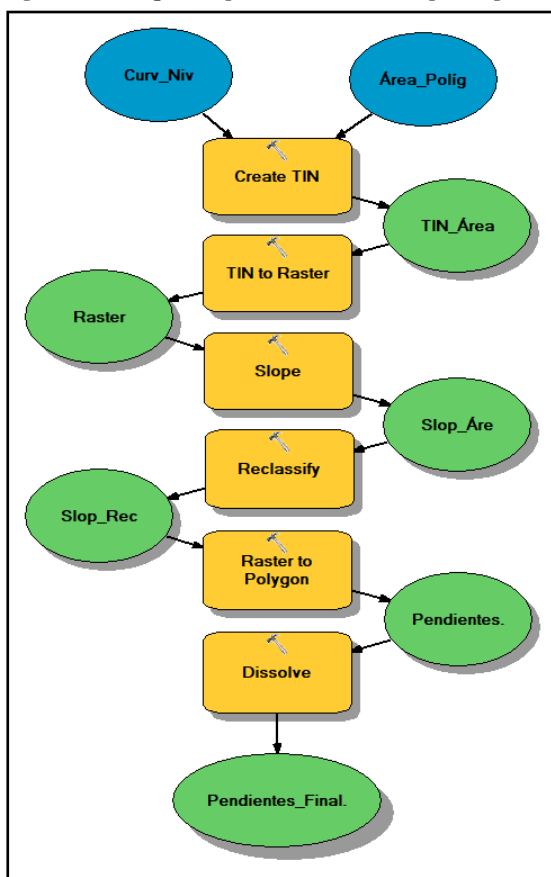
- Primeramente, se tuvo que contar con el polígono de estudio y las curvas de nivel generadas en el levantamiento topográfico.
- Se extrajo únicamente las curvas de nivel que abarcan la zona de estudio, mediante la herramienta; Geoprocessing, opción Clip, en Input Features seleccionamos (curvas de nivel), en Clip Features colocamos el shapefile (Área_Polig), en Output Feature Class lo guardamos como (Curv_Niv) y seleccionamos OK.
- Luego se procedió a crear el TIN, en ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Create TIN > Output TIN > lo guardamos como (TIN_Área), en Coordinate System colocamos el sistema coordenado de proyección (WGS_1984_UTM_ZONE_17S) > en Input Feature Class, agregamos (zona de estudio y Curv_Niv) > luego marcamos la pestaña que dice (Constrained Delaunary) y seleccionamos OK.
- Posteriormente se generó el DEM, en ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Conversión > From TIN > TIN to Raster > Output TIN > colocamos el (TIN_Área), en Output Raster (lo guardamos en la carpeta con el nombre de Raster) y seleccionamos OK.
- Seguidamente, en ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Slope > en Input raster (colocamos el Raster), > en Output raster (lo guardamos como Slope_Áre), > en Output measurement lo seleccionamos en (Grados), y seleccionamos OK.
- Por consiguiente, en ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify > en Input raster (Slope_Áre), luego en Classification seleccionamos > Method (lo ponemos

como Manual), y en classes le dejamos en (5 de acuerdo a Demek, 1972), > en Output raster (lo guardamos como Slope_Rec) y OK.

- Luego en ArcToolbox > Conversión Tools > From Raster > en Input raster seleccionamos (Slope_Rec), y en Output polygon features lo guardamos como (Pendientes) y OK.
- Finalmente, en Geoprocessing > seleccionamos Dissolve > en Input Features seleccionamos (Pendientes) > en Dissolve Field seleccionamos (Gridcode) > en Input Features Class lo guardamos como (Pendientes_Final) y OK.

En la figura 29, se describe el Model Builder, el cual presenta las secuencias que se siguieron para poder obtener el modelo de pendientes.

Figura 29: Esquema para obtener el mapa de pendientes mediante el Model Builder



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

5.5.4. Mapa geomorfológico

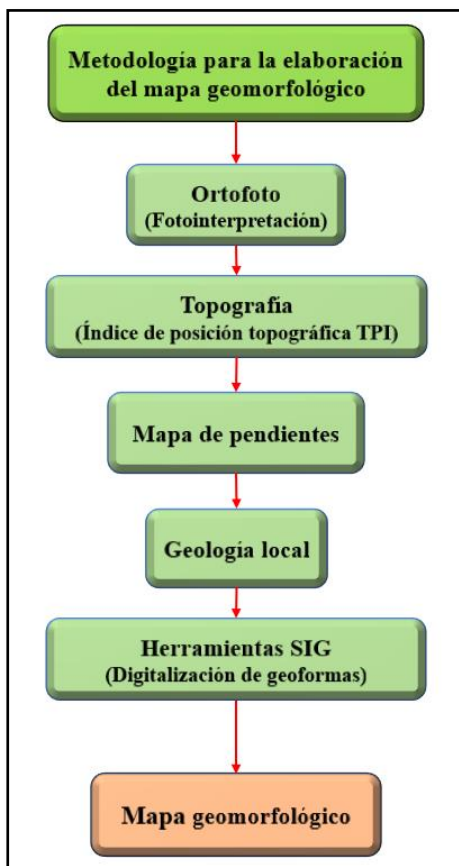
La identificación de las principales unidades geomorfológicas que comprenden la zona de estudio, fueron generadas a través de información previa como unidades litológicas, fotointerpretación, delimitación de índices de posición topográfica (TPI) y clasificación de

pendientes en porcentaje. Con toda esta información previa y considerando el modelo de unidades geomorfológicas para la representación cartográfica de ecosistemas del Ecuador continental, (2013). Se pudo levantar preliminarmente las geoformas con cada una de sus características.

Por consiguiente, una vez realizada la cartografía previa se procedió a unificar y digitalizar las geoformas según la metodología propuesta por el Centro de levantamientos integrados de recursos naturales por sensores remotos (CLIRSEN, 2012)

Por último, se procedió a verificar en campo cada geoforma con sus respectivas características morfométricas, y de esta manera obtener el mapa geomorfológico del área de estudio a escala de detalle 1:1000, ver Anexo 7.5.

Figura 30: Esquema para la ejecución del mapa geomorfológico.



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

5.5.5. Mapa de uso actual del suelo

Mediante la información expuesta a través de la ortofoto se pudo realizar la respectiva fotointerpretación de todas las áreas que conforman la zona de estudio. Posteriormente se identificaron las coberturas y se las digitalizó en el software ArcGIS 10.5, luego se las fue

uniendo a cada una de ellas y a su vez asignándoles un nombre y una categoría específica. Luego se obtuvo el mapa de uso actual del suelo a escala de detalle 1:1000, ver Anexo 7.6.

Adicionalmente se corroboró la información digitalizada con visitas de campo donde se reflejaban los tipos de coberturas preexistentes, tomando coordenadas de ubicación y registros fotográficos donde se evidenciaba cada cobertura de uso de suelo.

Dicha clasificación fue elaborada de acuerdo a la nomenclatura establecida por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) y en cooperación institucional con el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAE) del año 2015. A continuación, en la tabla 19 se describe la clasificación de usos del suelo que se utilizaron dentro del área de estudio.

Tabla 19: Tipos de uso y cobertura del suelo.

Código	Nivel I	NIVEL II
1	Bosque	Bosque nativo
		Plantación forestal
2	Vegetación arbustiva y herbácea	Vegetación arbustiva
		Vegetación herbácea
		Paramo
3	Tierra agropecuaria	Cultivo anual
		Cultivo semipermanente
		Cultivo permanente
4	Cuerpo de agua	Natural
		Antrópico
5	Erial	Afloramiento rocoso
		Área sin cobertura vegetal
6	Zonas antrópicas	Área poblada
		Vías, senderos
		Infraestructuras
7	Otras coberturas	Área quemada
		Cubierta de humo
8	Sin información	Nubes
		Sombra
		Sin información

Nota: Obtenido de MAGAP-MAE, 2015



5.5.2. Levantamiento geológico

- **Metodología de campo**

De acuerdo a la referencia establecida en el libro del Manual de levantamiento geológico de (Echeveste, 2018), se efectuó el levantamiento de la información de la geología local a escala de detalle 1:1000, por medio de la descripción de afloramientos, ver figura 31, y con el uso de un GPS, en cada afloramiento se tomaron coordenadas de ubicación en Datum UTM/WGS-

84/Zona 17S, de igual modo se describió sus dimensiones, características como; tipo de roca, tamaño de grano, coloración, aspecto y reacción hacia el ácido clorhídrico (en caso de rocas con presencia de carbonatos). De la misma forma se tomaron mediciones de potencias en los estratos, usando la brújula Brunton se determinaron los datos estructurales como rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento

Figura 31: Ficha de descripción de Afloramientos.

		Universidad Nacional de Loja Facultad de Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial				
INFORMACIÓN GENERAL						
Afloramiento N°		Fecha:				
Responsable:						
INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
Provincia:		Datum	WGS84	Vía de acceso		
Cantón:			PSAD56			
Parroquia:		Coordenadas	X	Y	Z	
Sector:		UTM				
DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO		
Potencia:		Rumbo:		Natural:		
Longitud:		Buzamiento:		Antrópico:		
SITUACIÓN GEOLÓGICA						
Formación:		Ambiente		Ígneo:		
Tipo de roca:				Metamórfico:		
Estado de alteración:				Sedimentario:		
Fotografía						
Descripción						

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

5.5.2.1. Calicatas geológicas.

También se efectuaron tres calicatas geológicas, ver tabla 20, en lugares donde había la ausencia de afloramientos ver figura 32, con el propósito de poder recabar mayor información litológica y disposición estratigráfica sobre los materiales que conforma el polígono de estudio. Dichas calicatas fueron elaboradas de forma mecánica, mediante el uso de una retroexcavadora. En las calicatas se pudo evidenciar la potencia y disposición de los materiales.



En la figura 33 se pueden evidenciar la ubicación de cada una de las calicatas geológicas dentro de la zona de estudio.

Tabla 20: Ubicación de calicatas geológicas.

N.º de Calicata	Ubicación del punto base y puntos de Control (GCP) en Coordenadas UTM/WGS-84/Zona 17S			Dimensiones		
	X	Y	Z	Longitud (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
Calicata 1	695779	9534900	1619	2.9	1.20	3.5
Calicata 2	695689	9535163	1646	2.5	1.10	2.8
Calicata 3	695646	9535112	1643	2.8	1.10	2.6

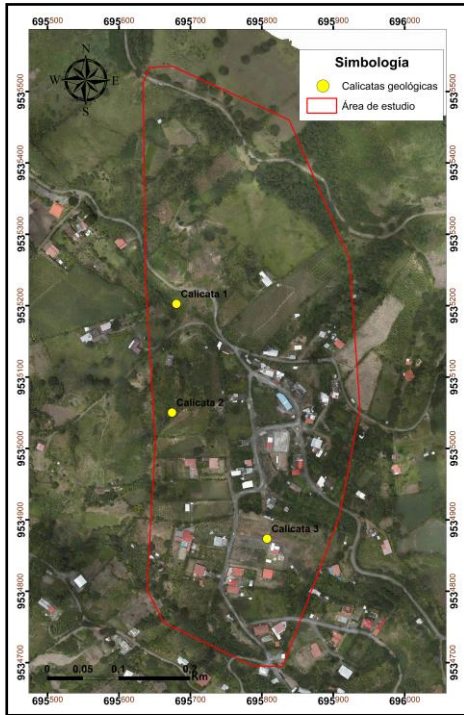
Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Figura 32: Ficha técnica para descripción de calicatas geológicas

		Universidad Nacional de Loja Facultad de Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
INFORMACIÓN GENERAL				DIMENSIONES			
Calicata N°							
Equipo							
Responsable							
Fecha							
UBICACIÓN							
DIVISIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA			LOCALIZACIÓN UTM				
Provincia	Loja	Datum	WGS84/17S				
Cantón	Loja	X					
Parroquia	Malacatos	Y					
Sector	El Sauce Bajo	Z					
Litoestratigrafía				Dimensiones		Cobertura vegetal	
Formación geológica		Leyenda		N° de estratos		Profundidad (m)	
Descripción de calicata 1							
Profundidad (m)	Espesor (m)	Perfil	Estructura	Descripción			
Fotografía							

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Figura 33: Ubicación geográfica de calicatas geológicas



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Figura 34: Realización de calicatas geológicas



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

- **Metodología de gabinete**

Durante esta etapa se realizó la fotointerpretación de la ortofoto del área de estudio, donde se pudo corroborar y definir estructuras geológicas como fallas y zonas de contacto definidas e inferidas.

Posteriormente a la fotointerpretación y considerando la información de campo obtenida a través del levantamiento de afloramientos y la realización de calicatas geológicas y adicionando la topografía a escala 1:1000, y tomando en cuenta los Estándares de Nomenclatura Estratigráfica, Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica del (IIGE, 2019), se realizó en el software ArcGIS 10.5, un mapa preliminar donde consta todo lo referente a las estructuras y formaciones geológicas que fueron levantadas dentro de la zona de estudio a escala 1:1000.

Finalmente se procedió a verificar la información detallada en el primer mapa, realizando una correlación de materiales y comparando los puntos de ubicación de cada uno de los afloramientos y las calicatas geológicas, digitalizando y ajustando los shapefiles se pudo evidenciar la disposición y delimitación de los materiales litológicos, representándolos en el mapa final de la geología local a escala de detalle 1:1000, ver Anexo 7.7, con sus respectivos colores y tramados según los estándares Nacionales. Adicionalmente se efectuaron dos cortes geológicos un longitudinal y un transversal, ambos se encuentran dentro del Anexo 7.7. Toda esta información fue realizada con la finalidad de poder evidenciar la disposición y potencias de los geomateriales preexistentes del área de estudio.

5.6. Metodología para el segundo objetivo

“Determinar las propiedades físico - mecánicas de los geomateriales que componen el área de estudio, mediante la realización de métodos directos e indirectos”.

5.6.1. Exploración geotécnica

5.6.1.1. Métodos indirectos.

5.6.1.1.1. Sondeo eléctrico vertical (SEV).

En la zona de estudio se optó por realizar el método de resistividad eléctrica, mediante la aplicación de sondeos eléctricos verticales (SEV), en vista de que su aplicación contribuye a la recopilación de la información de la resistividad aparente de los diferentes materiales que se encuentran en el subsuelo. Además, este método permite la descripción de cómo están distribuidas las capas de los geomateriales.

- **Metodología de campo**

Procedimiento:

Se realizaron un total de 5 líneas SEV, y fueron ubicadas en zonas estratégicas del área de estudio, ver tabla 21, todos fueron alineados para poder obtener un corte geoléctrico que evidencie la correlación de los materiales existentes del subsuelo; La abertura de los electrodos fue ubicada paralela al buzamiento de las capas, con la finalidad de poder cortar todos los estratos posibles al momento de transmitir la corriente hacia la superficie y así obtener mediciones precisas de los datos.

Tabla 21: Localización de las líneas de los sondeos eléctricos verticales

Localización de las líneas de los sondeos eléctricos verticales (SEV)					
Línea SEV Nro.	Coordenadas UTM/WGS84/17S			Abertura AB/2	Dirección (azimutal)
	Eje central				
	X	Y	Z		
1	695796	9535403	1729	100	170°
2	695740	9535163	1653	70	100°
3	695747	9535027	1630	70	190°
4	695851	9535121	1656	70	175°
5	695802	9534899	1620	100	190°

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

El equipo instrumental que se utilizó fue un resistímetro ABEM Terrameter (SAS 1000), ver figura 35. El arreglo que se dispuso para efectuar los sondeos eléctricos verticales fue el Schlumberger, el cual consiste en dos electrodos externos de corriente denominados A y B, y dos electrodos internos de potencial designados como M y N.

Figura 35: A) Resistímetro ABEM Terrameter (SAS 1000); B) Obtención de resistividades aparentes.



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Se procedió a ubicar el resistímetro en el punto asignado del terreno y se procedió a realizar la primera medición, empezando por colocar a cada lado del resistímetro (punto 0, o centro del eje de la abertura) los electrodos de potencial M y N a una distancia de 0.5 m y los electrodos de corriente se ubicaron a 1 m a cada lado, y se procedió a suministrar la corriente continua hacia el suelo, arrojándonos lecturas de la resistividad aparente en (Ohm por m).

En cada sondeo a medida que se iban obteniendo las resistividades aparentes se movían de forma alineada (siguiendo la tendencia de la abertura) los electrodos de potencial A y B a cada lado, mientras que los electrodos internos de potencia M y N permanecían estáticos.

Y así progresivamente se obtuvieron las mediciones considerando la distancia de los electrodos AB/2 y MN/2 según lo establecido en la ficha técnica de campo, donde fueron descritos y registrados todos los datos de las mediciones. En la tabla 22 se puede evidenciar la ficha de campo otorgada por la empresa “ESTSUELCOM CÍA. LTDA”.

Durante esta etapa previa se procedió a dibujar en la hoja logarítmica de campo los putos que corresponden a la resistividad aparente (eje de las ordenadas) y al AB/2 (eje de las abscisas), generando así la curva de resistividad aparente del sondeo.

Tabla 22: Ficha de campo para la obtención de datos SEV

N.º	AB/2 (m)	MN (m)	K	V/I	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
1	1		2.4		
2	1.5		6.28		
3	2		11.78		
4	2.5		18.85		
5	2.5		8.25		
6	3		27.5		
7	3		12.6		
8	5		37.7		
9	7		75.4		
10	10		155.5		
11	10		58.9		
12	15		351.9		
13	15		137.4		
14	20		247.4		
15	20		47.1		
16	30		561.6		
17	30		125.7		
18	40		235.6		
19	50		377		
20	70		754		
21	100		1555.1		
22	150		3518.6		
23	200		6267.5		

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Metodología de gabinete

Posteriormente que fueron efectuadas las cinco líneas SEV, se procedió a interpolar mediante la ayuda del software IP2Win los datos obtenidos en la fase de campo de cada sondeo, en el programa se ingresó los datos del arreglo Schumberger y las resistividades aparentes, y este ejecutó automáticamente y arrojó las curvas de resistividad aparente (curva patrón) y el número de capas que existen en ese punto. Con toda esta información procesada se verificó e interpretó el número de capas y el tipo de roca a la que pertenece, en la tabla 23 se describen los valores típicos de resistividades de las rocas según lo establecido por Arias et al., (2012).

Cabe señalar que el error de este software debe ser igual o menor al 3% con la finalidad de que los datos sean lo más exacto posible.

Tabla 23: Valores de resistividad de los geomateriales.

Tipo de material	Resistividad ($\Omega.m$)
Basamento Roca sana con diaclasas espaciadas	>10 000
Basamento Roca fracturada	1 500 – 5 000
Basamento Roca fracturada saturada con agua corriente	100 – 2 000
Basamento Roca fracturada saturada con agua salada	1 - 100
Gruss no saturada	500 – 1 000
Gruss saturada	40 – 100
Saprolito no saturado	200 - 500
Saprolito saturado	40 – 100
Gravas no saturadas	500 – 2 000
Gravas saturadas	300 – 500
Arenas no saturadas	40 0 – 700
Arenas saturadas	100 – 200
Limos no saturados	100 – 200
Limos saturados	20 – 100
Limos saturados con agua salada	5 - 15
Arcillas no saturadas	20 – 40
Arcillas saturadas	5 – 20
Arcillas saturadas con agua salada	1 – 10
Andosoles secos	1 000 – 2 500
Andosoles no saturados	300 – 1 000
Andosoles saturados	30 – 50

Nota: Recuperado de Arias et al., (2012)

5.6.1.2. Métodos directos.

5.6.1.2.1. Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T).

Mediante la ejecución de este método directo se pudo determinar el comportamiento del terreno, la capacidad portante de los suelos, obtener perfiles estratigráficos, y las propiedades físicas mecánicas de los suelos a través de la recuperación de testigos donde se pudo recolectar muestras alteradas para un posterior análisis en laboratorio.

Metodología de campo

En la zona de estudio se realizaron un total de 5 sondeos SPT, establecidos bajo la norma ASTM-D1586, los mismos se encuentran ubicados en las siguientes coordenadas. Ver tabla 24.

Tabla 24: Ubicación y Profundidad (S.P.T.)

Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T.)				
S.P.T. Nro.	Coordenadas UTM/WGS84/17S			Profundidad (m)
	X	Y	Z	
1	695840	9535013	1639	2
2	695813	9534881	1617	6
3	695690	9534712	1597	6
4	695648	9534680	1586	6
5	695659	9534677	1574	3

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Figura 36: Ubicación en campo de los ensayos SPT



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

A continuación, se describe la metodología que se utilizó en campo:

- Se empezó por armar todo el equipo de ensayo SPT, colocando el trípode y montando el malacate para que este puede suspender el martillo (con un peso de 63.5 kg), y este a su vez pueda introducir el tubo “saca muestras partido” de longitud 45 cm, hacia el terreno.

Figura 37: Datos técnicos considerados en el ensayo SPT.

Motor	Potencia: 6 – 8 HP	Cuerda	Grosor: 2"
Martillo	Peso: 63,5 Kg	Tubería	Altura: 1520 mm
	Altura de caída: 76,2 cm		(W: 9,1 Kg.)
			Tipo: (Φ i: 34,9 mm) (Φ e: 44,5 mm)
TOMA – MUESTRAS (ASTM D1586)			
Cabeza de Acoplamiento 175 mm	Tubo partido: 550 mm Φ interior: 35 mm Φ exterior: 51 mm		Zapata 75 mm

Nota: Norma ASTM - D1586.

- Se inicia este procedimiento contando el número de golpes que se han originado para que el tubo saca muestras partido se introduzca a unos 15 cm hacia el subsuelo.
- Este proceso se repite sucesivamente a cada metro, hasta alcanzar los 6 metros de profundidad.
- A su vez en cada metro que se realizó el sondaje, se recolecto aproximadamente 1 kg de una muestra inalterada, y se procedió a colocarlas en fundas herméticas con la finalidad de poder transportarlas hasta el laboratorio y así poder realizar los ensayos pertinentes, como los contenidos de humedad, granulometría y límites de Atterberg. Cada muestra fue etiquetada adecuadamente con un código respectivo, a fin de poder identificarla posteriormente.

- El objetivo primordial de este ensayo es determinar los parámetros geotécnicos como son los valores N_{spt} , la capacidad portante del suelo, es por ello que se efectuó al menos un ensayo SPT por cada litología presente en la zona de estudio. Con la finalidad de poder obtener datos representativos, y a su vez poder correlacionarlos entre cada uno de los sondeos.

Figura 38: Recolección de muestras inalteradas mediante ensayo SPT.



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Metodología de laboratorio

Durante esta etapa se procedió a realizar los ensayos pertinentes en colaboración con la empresa ESTSUELCON CIA. LTDA, ya que en sus instalaciones se realizaron todos los ensayos de laboratorio concernientes a los SPT's. dichos ensayos sirvieron para poder determinar varios parámetros geotécnicos, a continuación, en la tabla 25 se señalan las normas con las que fueron realizados cada uno de los ensayos.

Tabla 25: Ensayos realizados según las normas ASTM.

Ensayos de laboratorio	Normas ASTM
Humedad natural	ASTM D 2216 - 98
Granulometría	ASTM D 421 - 58
Límite líquido	ASTM D 423 - 66
Límite plástico	ASTM D 424 - 59

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

❖ Correlación de resultados de los ensayos SPT.

De acuerdo a los resultados de los parámetros que se obtuvieron en laboratorio, y mediante lo establecido en la tabla 26, se efectuó la correlación de consistencia de las arcillas con respecto al número de golpes (N).

Tabla 26: Consistencia de las arcillas versus número de golpes (N)

Consistencia	Nº de golpes (N)	Compresión inconfiada qu (Kg/cm ²)	Peso unitario húmedo (tn/m ³)
Muy blanda	< 2	< 0.25	1.50 – 1.60
Blanda	2 – 4	0.25 – 0.50	1.60 – 1.76
Media	4 - 8	0.50 – 1.00	1.76 – 2.00
Firme	8 – 15	1.00 – 2.00	2.00 – 2.08

Muy firme	15 - 30	2.00 – 4.00	2.00 – 2.08
Dura	> 30	> 4	2.08 – 2.24

Nota: Therzagui-Peck 1956

❖ Contenidos de humedad

Este ensayo fue realizado en base a la Norma ASTM D 2216-98, la cual describe el procedimiento para determinar el contenido de humedad de una muestra en porcentaje. A continuación, se señala el procedimiento que se siguió para la obtención del contenido de humedad.

- Primeramente, se recolectó una cantidad de 50 gramos de material de suelo correspondiente a cada metro de perforación que fue realizado en campo, a través de los ensayos SPT.
- Luego esta muestra fue colocada en un recipiente para así poder conocer su peso húmedo real, más el peso del recipiente.
- Seguidamente con el uso de una balanza analítica, se procedió a pesar la muestra en condiciones húmedas más el recipiente y se anotó su valor correspondiente.
- Posteriormente se colocó el recipiente con la muestra húmeda ya conociendo su peso inicial en un horno para su respectivo secado en un lapso de 24 horas.
- Luego de haber sido secada la muestra se procedió a pesar nuevamente la muestra seca más recipiente, y se anotó su valor correspondiente.
- Finalmente se obtuvo el valor del porcentaje del contenido de humedad correspondiente a todas las muestras, aplicando la siguiente expresión, propuesta por el autor (Bowles, 1981, p. 11)

$$W(\%) = \frac{W_w - W_s}{W_s - W_{mst}} * 100\%$$

Donde:

W_w : peso de la muestra húmeda en gramos

W_s : peso de la muestra seca en gramos

W_{mst} : peso del recipiente en gramos

$W(\%)$: contenido de humedad en porcentaje.

Figura 39: *Ensayo para determinar los contenidos de humedad.*



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

❖ **Ensayo granulométrico**

La ejecución de este ensayo granulométrico fue con la finalidad de poder conocer las distintas variedades de tamaños de granos que conforman el suelo del área de estudio. Cabe señalar que a cada metro de perforación del ensayo SPT se tomó aproximadamente una muestra de 200 gramos del tubo partido, para posteriormente realizar el ensayo granulométrico correspondiente. Este ensayo fue desarrollado en base a la norma ASTM D 421-58. A continuación se describe el procedimiento que se empleó en laboratorio para determinar la clasificación de suelos.

- Se inicio tomando la muestra representativa de suelo que fue recolectada al primer metro de perforación del ensayo SPT, posteriormente esta muestra fue lavada en el tamiz número 200.
- Una vez lavada la muestra se colocó en el horno para su respectivo secado durante 24 horas.
- Luego de haber sido secada la muestra se procedió a pesar y anotar su valor; y se empieza a realizar la granulometría, pasando la muestra seca por los diferentes tamices: 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", #4, #10, #40 y #200.
- Luego de que la muestra paso por los diferentes tamices y anotados cada uno de sus pesos, se procedió a encontrar el porcentaje de gravas, arenas y finos. Para Finalmente mediante tablas, tanto en el Sistema Unificado de Clasificación (SUCS), así como la AASHTO, y de esta manera se logró clasificar el suelo a cada metro de profundidad con sus respectivas clases y porcentajes.

Figura 40: *Ensayo de clasificación de suelos*



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

❖ Límites de Atterberg

Límite líquido:

Este ensayo fue elaborado a través de la Norma ASTM D 423-66, el cual permite conocer la cantidad de agua que está presente en el suelo. El equipo que se utilizó para ejecutar este ensayo fue la cuchara de Casagrande o (copa de Casagrande). A continuación, se detalla el procedimiento que se realizó para conocer el límite líquido de cada muestra de suelo.

- Se contó con una cantidad aproximada de 100 gramos de muestra de suelo muy fino que pasa el tamiz número 40. Estas muestras fueron recolectadas del análisis granulométrico que se efectuó a cada metro de perforación del ensayo SPT.
- Posteriormente a este material se lo colocó en un recipiente para poderlo mezclar con agua destilada, y con la ayuda de una espátula mezclarlo homogéneamente y lograr obtener un material pastoso.
- Luego esta pasta de suelo se lo colocó en el equipo (copa de Casagrande) con la ayuda de la espátula hasta lograr una altura de 10 milímetros de espesor.
- Seguidamente se realizó un surco lineal de 12.7 mm con un ranurador.
- Por consiguiente, se procedió a dar el movimiento a la manivela y a contar el número de golpes que da la copa de Casagrande, hasta lograr cerrar una longitud de abertura de 12.7 mm, y que la muestra haya alcanzado los 25 golpes, este proceso fue realizado 4 veces con el afán de sacar un promedio general del límite líquido.

- A continuación, se describe la fórmula que se utilizó para determinar el límite líquido de cada una de las muestras (Forsythe 1975, p. 75) se pudo determinar el límite plástico de cada muestra de suelo.

$$LL(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} * 100\%$$

Donde:

LL: límite líquido en porcentaje

m_1 : peso del recipiente más el peso de la muestra húmeda en gramos

m_2 : peso del recipiente más peso de la muestra seca en gramos

m_3 : peso del recipiente en gramos

Figura 41: Determinación del límite líquido a través del equipo de Casagrande.



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Límite plástico:

El proceso de este ensayo fue realizado a través de la Norma ASTM D 424 – 59, la cual utilizó material que pasa por el tamiz número 40. Este ensayo al igual que los anteriores, se efectuó con material de suelo recolectado por cada metro de perforación realizado en los ensayos SPT. A continuación, se detalla el procedimiento que se elaboró para ejecutar este ensayo.

- Se empezó por recolectar aproximadamente una cantidad de 50 gramos de muestra de suelo seca proveniente del límite líquido.

- Luego esta muestra se le agrego un poco de agua destilada y se la revolvió con las manos sobre una superficie de vidrio esmerilado, hasta lograr que la muestra se convierta en pequeños cilindros con un diámetro de 3 milímetros. Este procedimiento se realizó dos veces para cada muestra con el afán de obtener un promedio.
- Cabe señalar que los cilindros que no alcanzaron a obtener un diámetro de 3 mm o se disgreguen al tratar de ser moldeados, se los considero como materiales con límites no plásticos.
- Luego de haber realizado los dos cilindros de 3 mm, estos fueron colocados en un recipiente y posteriormente pesados en la balanza analítica, y seguidamente se los colocó en el horno durante 24 horas para su respectivo secado.
- Una vez secadas las muestras estas nuevamente fueron pesadas en la balanza analítica con el propósito de conocer su peso seco. Mediante la aplicación de la siguiente fórmula propuesta por (Forsythe 1975, p. 75) se pudo calcular el límite plástico de cada muestra de suelo.

$$LP(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} * 100\%$$

Donde:

LP: límite plástico en porcentaje

m_1 : peso del recipiente más el peso de la muestra húmeda en gramos

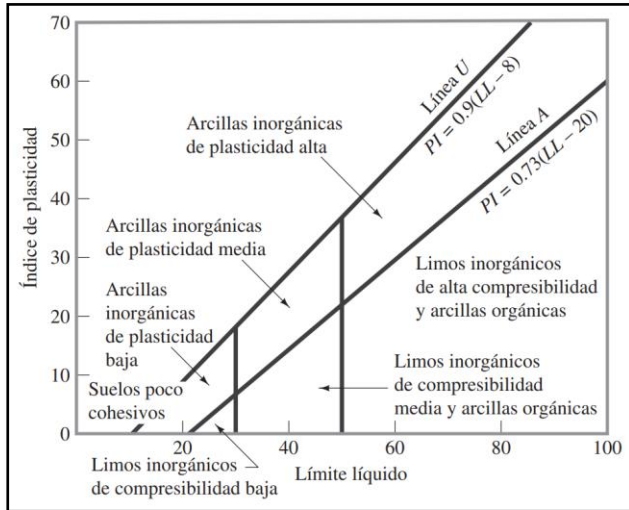
m_2 : peso del recipiente más peso de la muestra seca en gramos

m_3 : peso del recipiente en gramos

Carta de plasticidad

En base a los parámetros del índice de plasticidad y el límite líquido, se clasificó los diferentes tipos de suelo de cada metro de perforación realizada en los ensayos SPT, conforme a lo establecido en la carta de plasticidad, ver figura 42, que toma como referencia el sistema de clasificación de suelos SUCS.

Figura 42: Carta de plasticidad para suelos cohesivos.



Nota: Obtenido de (Braja 2012, p. 74)

Consistencia relativa (CR)

Representa las características de densidad y firmeza que un suelo puede llegar a tener, con respecto a la resistencia, deformación y la rotura. En ella se considera a los parámetros de humedad, límite líquido e índice de plasticidad. A continuación, en la tabla 27 se indican los valores correspondientes de consistencia relativa según el tipo de suelo. También se describe la siguiente expresión que se usó para conocer la consistencia relativa de los suelos, propuesta por el autor (Crespo 2004, p. 79).

$$CR = \frac{LL - W}{IP}$$

Donde:

CR: consistencia relativa del suelo

LL: límite líquido del suelo

W: contenido de humedad del suelo

IP: índice de plasticidad del suelo

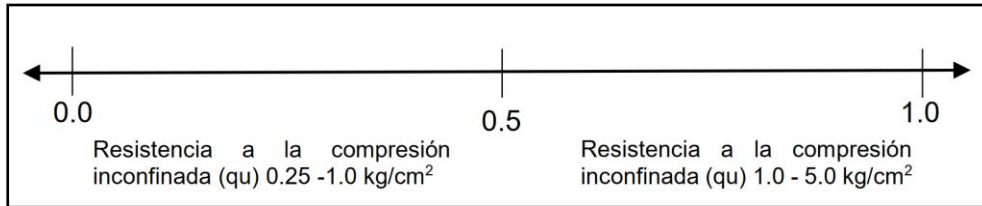
Tabla 27: Consistencia relativa del suelo (CR)

Rangos de consistencia relativa (CR)	Descripción del suelo
0.00 – 0.25	Suelo muy blando
0.25 – 0.50	Suelo blando
0.50 – 0.75	Suelo de consistencia blanda
0.75 – 1.00	Suelo de consistencia rígida

Nota: Obtenido de (Crespo 2004, p. 79)

Cabe señalar que también se realizó la comparación y el análisis de la resistencia a la compresión inconfiada, tal como se indica en la figura 43, con la finalidad de poder determinar con más certeza los diferentes valores de consistencia relativa de los suelos.

Figura 43: Valores de resistencia a la compresión inconfiada del suelo.



Nota: Obtenido de (Sarango 2016, p. 109)

Índice de liquidez (IL)

Mediante este parámetro se logró determinar los diferentes tipos de esfuerzos en los que ha estado sometido el suelo a lo largo del tiempo, además se pudo conocer las características que presenta el suelo cuando este se encuentra en estado plástico. Por consiguiente, en la tabla 28 se describe el valor correspondiente al índice de liquidez con respecto al comportamiento del suelo. Además, se señala la fórmula con sus respectivas variables para conocer el índice de liquidez de los suelos, propuesta por el autor (Crespo 2004, p. 79).

$$IL = \frac{W - LP}{IP}$$

Donde:

IL: índice de liquidez del suelo

W: contenido de humedad del suelo

LP: límite plástico del suelo

IP: índice de plasticidad del suelo

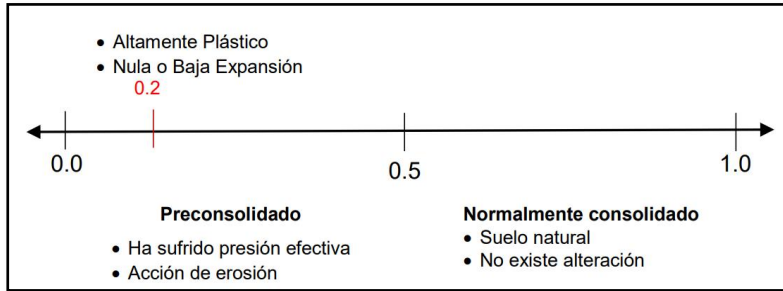
Tabla 28: Comportamiento del suelo con respecto al índice de liquidez (IL)

Índice de liquidez del suelo (IL)	Comportamiento del suelo
< 0.0	Suelo en estado sólido a semi sólido
0.0 – 1.0	Plástico (arcillas expansivas)
> 1.0	Sensibles (en estado natural son estables, pero con cargas colapsan)

Nota: Obtenido de (Holtz & Kovacs 1981, p. 35)

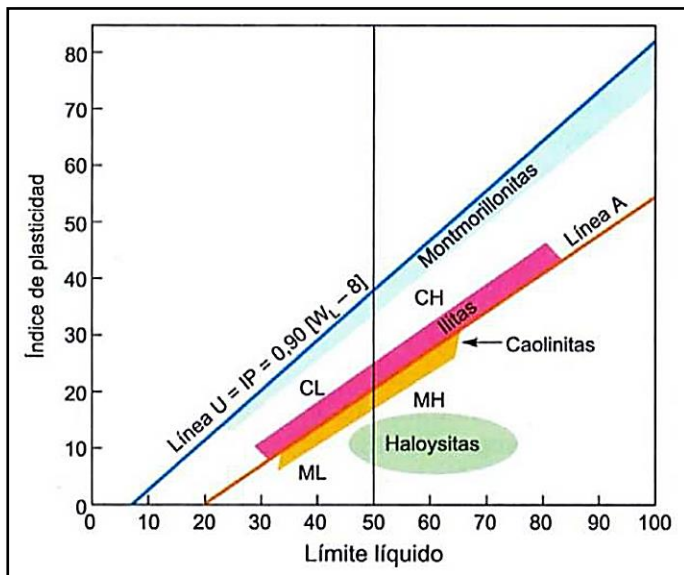
También es importante indicar que se efectuó una comparación con respecto a consolidación y sobreconsolidación de los suelos, tal como se indica en la figura 44, con la finalidad de poder determinar con mayor exactitud los diferentes valores de índice de liquidez de los suelos.

Figura 44: Valores de consolidación del suelo



Nota: Obtenido de (Sarango 2016, p. 110)

Figura 45: Relación de arcillas según el índice de plasticidad e índice líquido.



Nota: Obtenido de Holtz y Kovac (1981)

Es importante indicar que dentro de este análisis para determinar la composición mineralógica de las arcillas se comparó los valores del índice de plasticidad con los valores del límite líquido para establecer el tipo de arcilla a la que pertenece.

Además, se corroboró los resultados obtenidos mediante la realización de una comparación sobre los cambios de volumen y el potencial expansivo de las arcillas del área de estudio, esto mediante la verificación de los valores del límite líquido e índice de plasticidad de las tablas 29 y 30, y finalmente se comprobó gráficamente los grados de expansividad de las arcillas, ver figura 46.

Tabla 29: Criterios para determinar el cambio de volumen

Cambios de volumen de las arcillas (ΔV)	Límites de contracción (LC)	Índice de plasticidad (IP) %
Bajo	> 12	0 - 15
Moderado	10 - 12	15 - 30
Alto	0 - 10	> 30

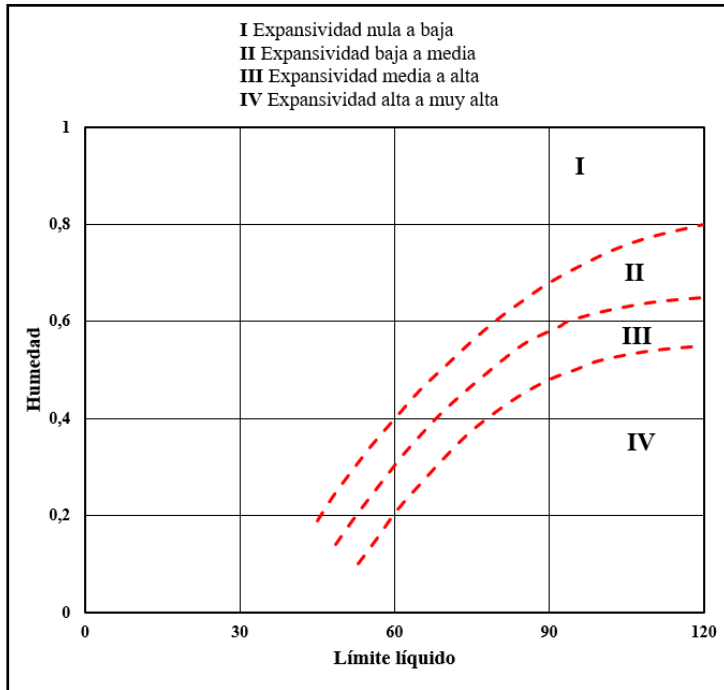
Nota: Obtenido de Holtz y Gibbs, (1956)

Tabla 30: Criterios para determinar el potencial expansivo

Potencial expansivo	Potencial (%)	Límite líquido (LL) %	Índice de plasticidad (IP) %
Bajo	< 0.5	< 50	< 25
Moderado	0.5 – 1.5	50 - 60	25 - 35
Alto	≥ 1.5	> 60	> 35

Nota: Obtenido de Holtz y Gibbs, (1956)

Figura 46: Criterio de expansividad de las arcillas



Nota: (Obtenido de Ayala et al., 1986 p.43); Modificado por: El Autor, (2024)

5.6.1.2.2. Calicatas geotécnicas

Se realizarán un total de cinco calicatas geotécnicas con la finalidad de obtener muestras inalteradas, mismas que fueron ubicadas en los sitios donde se efectuaron los ensayos SPT y SEV's, con la finalidad de poder correlacionar los datos que se obtendrán en laboratorio. Además, mediante estas muestras inalteradas se podrá determinar el ángulo de fricción y cohesión de los suelos.

Metodología de campo

Para la obtención de las muestras inalteradas en superficie se aplicó la metodología propuesta por la norma INV E – 104 – 13. El ensayo principalmente consistió en la abertura de una calicata de 1,50 x 1x50 metros en donde luego se pudo tallar una muestra de 30x30 cm a una profundidad de 1,50 metros. La muestra recolectada en campo fue tallada por medio de herramientas manuales, y se le colocó parafina para evitar que pierda su humedad y pueda

conservarse lo más estable posible, hasta que sea transportada hacia el laboratorio y se le puedan realizar el ensayo de corte directo.

Tabla 31: *Ubicación de muestras inalteradas de suelo.*

Muestreo Nro.	Coordenadas UTM/WGS84/17S		
	X	Y	Z
1	695686	9535273	1556
2	695866	9534856	1622
3	695527	9534881	1609
4	695535	9534470	1615
5	695577	9534413	1605

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Figura 47: *Ubicación y recolección de muestras inalteradas de suelo.*



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Metodología de laboratorio

Esta metodología se desarrolló en el laboratorio de mecánica de suelos de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja. A continuación, se describe la metodología del ensayo de corte directo realizado en las muestras inalteradas en laboratorio.

- Este ensayo se ejecutó en base a la norma ASTM 3080-11. Se utilizó una máquina de corte directo modelo Digishear, se empieza por tallar la muestra en un anillo de corte de 36 cm², luego este anillo se la coloca en la caja de corte, y se colocan tres tipos de cargas (0.5, 1 y 2 Kg/cm²).
- La primera medición se la realiza con un peso de 0.5 kg/cm², y se le aplica la fuerza para determinar la cohesión y el ángulo de fricción.
- Esta máquina de corte directo efectúa un desplazamiento mínimo de 0,6 mm, y una velocidad de 0,05 mm/min y un tiempo mínimo de ensayo de 15 minutos para suelos cohesivos.

- Para las muestras ensayadas se rigió conforme a los ensayos no consolidados no drenados (UU).

Figura 48: Tallado y colocación de la muestra en la caja de corte



Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

5.7. Metodología para el tercer objetivo

“Elaborar el mapa de zonificación geotécnica en base a los parámetros de capacidad portante de los suelos a escala 1:1000.”

Preliminarmente se obtuvieron todos los resultados de los ensayos SPT que fueron ejecutados en el objetivo anterior, ya que a través de este ensayo se pudo determinar los parámetros de capacidad portante de los suelos del área de estudio, y fue realizada según la aplicación de la fórmula de Menyerhof (1963), en ella considera algunas variables importantes como la resistencia cortante de los suelos, además es muy utilizada en cimentaciones profundas y semiprofundas. A continuación, se describe la ecuación de Menyerhof (1963) para cargas verticales la cual contempla factores adimensionales de apoyo, factores de forma y factores de profundidad.

$$q_u = C * N_c * S_c * d_c + N_q * S_q * d_q + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma * d_\gamma$$

- **Factores de capacidad de apoyo:**

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1.4 * \phi)$$

- **Factores de forma:**

$$S_c = 1 + 0.2 * K_p * \frac{B}{L}$$

$$\text{Para cualquier } \phi ; \left[K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right]$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1 * K_p * \frac{B}{L} \quad \text{Para } \phi > 10^\circ$$

$$S_q = S_\gamma = 1 \quad \text{Para } \phi = 0^\circ$$

• **Factores de profundidad:**

$$d_c = 1 + 0.2 * \sqrt{K_p} * \frac{D_f}{B} \quad \text{Para cualquier } \phi$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 * \sqrt{K_p} * \frac{D_f}{B} \quad \text{Para } \phi > 10^\circ$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{Para } \phi = 0^\circ$$

Es importante indicar que los valores de capacidad portante obtenidos, fueron analizados y comparados con los valores nominales establecidos en la tabla 32, ya que esta relaciona la resistencia y la capacidad de carga admisible de los diferentes tipos de rocas. En este caso solo se consideró los rangos de los suelos cohesivos, ya que los materiales se encuentran en mayor parte compuestos por arcillas.

Tabla 32: Valores nominales de capacidad de carga para diseños preliminares

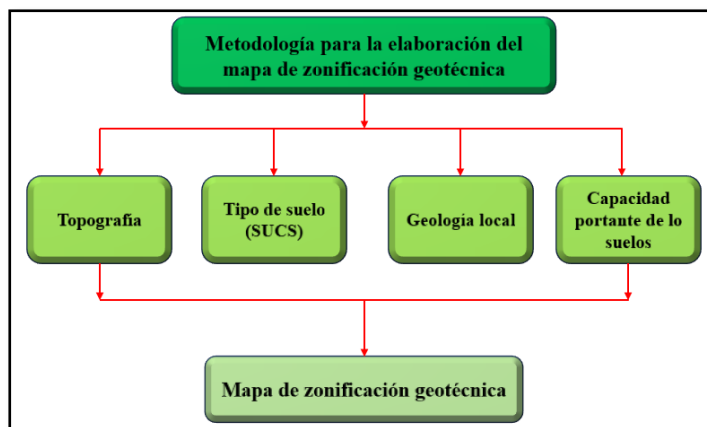
Grupo	Material	Resistencia de la roca (qu) o penetración (N)	Capacidad de carga admisible (qadm) en:	
			KN/m ²	Kg/cm ²
Rocas	Masivas ígneas y metamórficas (granito, basalto, gneis) con grietas pequeñas separadas más de 3m	4400 (Kg/cm2, RQD = 90%)	>10000	100
	Foliadas metamórficas (esquistos, pizarras), con fisuraciones significantes y grietas pequeñas separadas más de 1.5 m	560 – 1400 (RQD = 50%)	1500–5000	15 – 50
	Sedimentaria (lutita, cementada, limolita, arenisca, caliza sin cavidades), con fisuras y grietas insignificantes	175 – 560	1000–4000	10 – 40
	Lutitas blandas y lodositas blandas	70 – 175	600 – 1000	6 – 10
Suelos no cohesivos	Fracturada o parcialmente alterada	< 70 (baja a media)	500 – 1200	5 – 12
	Grava o grava y arena compactadas (1)	N > 50	> 600	> 6
	Grava o grava y arena de densidad media (1)	–	200 – 600	2 – 6
	Grava o grava y arena suelta (1)	–	200	2
	Arena densa: Arriba del nivel freático	30 – 50	400 – 600	4 – 6
	Arena densa: Abajo del nivel freático		240	2.5
	Arena media: Arriba del nivel freático	10 – 30	100 – 300	1 – 3
	Arena media: Abajo del nivel freático		80 – 170	0.8 – 1.8
	Arena suelta: Arriba del nivel freático	5 – 10	75 – 150	0.75–1.5
	Arena suelta: Abajo del nivel freático		40 – 80	0.4 – 0.8
Suelos cohesivos	Arcilla durísima	30	600	6
	Arcilla muy dura	15 – 30	300 – 600	3 – 6
	Arcilla dura	8 – 15	150 – 300	1.5 – 3
	Arcilla media	4 – 8	75 – 150	0.75–1.5
	Arcilla blanda	2 – 4	30 – 75	0.3–0.75
	Arcilla muy blanda	< 2	No se aplica	

Otros	Turba o suelos orgánicos	–	No se aplica
	Relleno	–	No se aplica

Nota: Obtenido de (Juárez y Rico, 2005, p. 624-626), modificado por: El Autor (2024)

Luego de haber efectuado los cálculos correspondientes de las capacidades portantes de los suelos de la zona de estudio y considerando la metodología de González, (2002), se procedió a elaborar el mapa de zonificación geotécnica a escala de trabajo 1:1000, ver Anexo 7.8. Se optó por esta metodología ya que es muy completa y permite conocer a detalle las características y propiedades físicas del suelo y el subsuelo, ya que integra mapas preliminares y técnicas de investigación geológica in situ como calicatas geotécnicas, ensayos SPT y ensayos SEV's; Logrando así obtener un resultado geológico geotécnico a detalle. Por consiguiente, se conocerá las zonas geotécnicas estables y también las áreas donde se requiera mejorar y recomendar los parámetros de construcción más adecuados y pertinentes. A continuación, en la figura 49 se describe la secuencia de la metodología empleada para dar cumplimiento al presente objetivo.

Figura 49: Esquema para la elaboración del mapa de zonificación geotécnica.



Nota: González, (2002), adaptado por: El Autor, (2024)

Dentro de esta metodología se integraron los datos obtenidos de los parámetros de capacidad portante de los ensayos SPT, la geología local a detalle y la topografía. Para posteriormente mediante el uso del Software ArcGIS 10.5 se realizó el método de interpolación (Kriging), para finalmente generar los shapefiles y delimitar las zonas geotécnicas con sus respectivas capacidades portantes.

6. Resultados

6.2. Resultados del primero objetivo

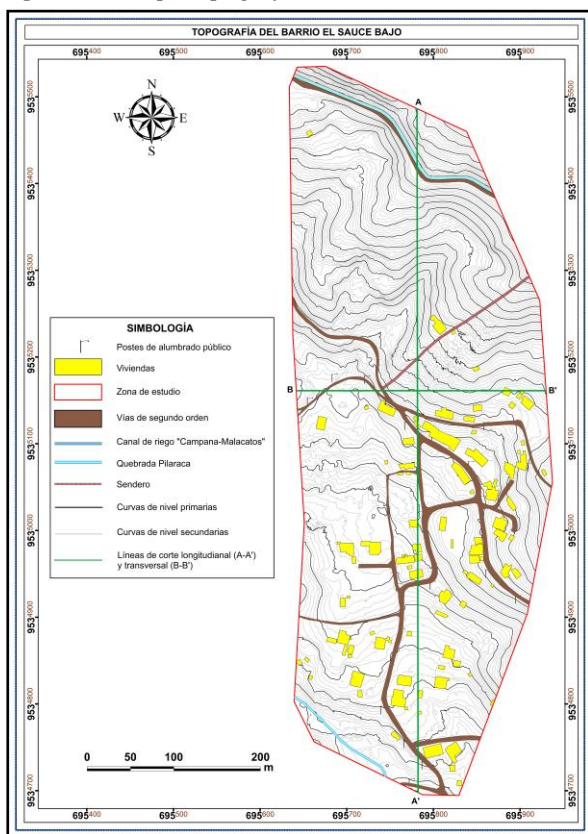
6.2.1. Topografía

El área de estudio contiene características topográficas variables, que constan de altitudes que oscilan desde los 1593 hasta los 1757 m.s.n.m, y presenta un desnivel de 164 m. Para una mejor comprensión y representación cartográfica, se digitalizó todas las infraestructuras como viviendas, vías de acceso, senderos, postes de alumbrado público, canal de riego y quebradas. Toda esta información fue plasmada en el mapa topográfico final elaborado a escala de detalle 1:1000. En la figura 50 y Anexo 7.3 se evidencia el mapa topográfico de la zona de estudio con su respectiva simbología y características.

Esta información es de gran utilidad ya que a través de ella se pudo conocer cómo se encuentran distribuidos espacialmente las infraestructuras con sus respectivas características a lo largo de la zona de estudio.

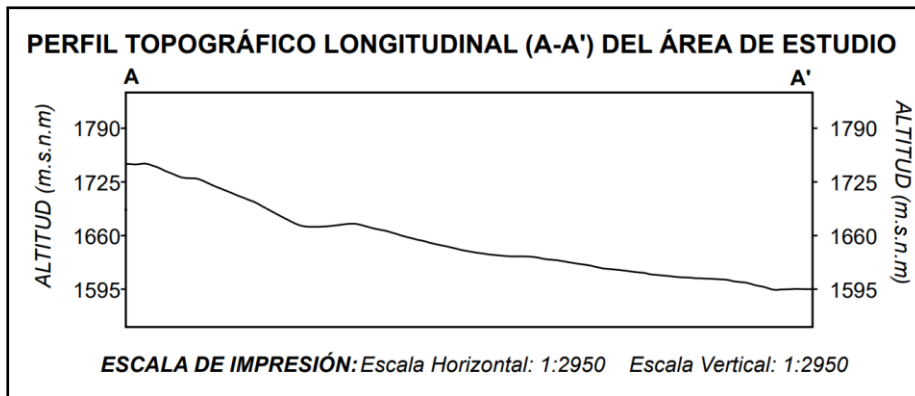
Las curvas de nivel primarias fueron clasificadas a una distancia de 5 m, mientras que las curvas de nivel secundarias se las clasificó a 1m de distancia.

Figura 50: Mapa topográfico del área de estudio.



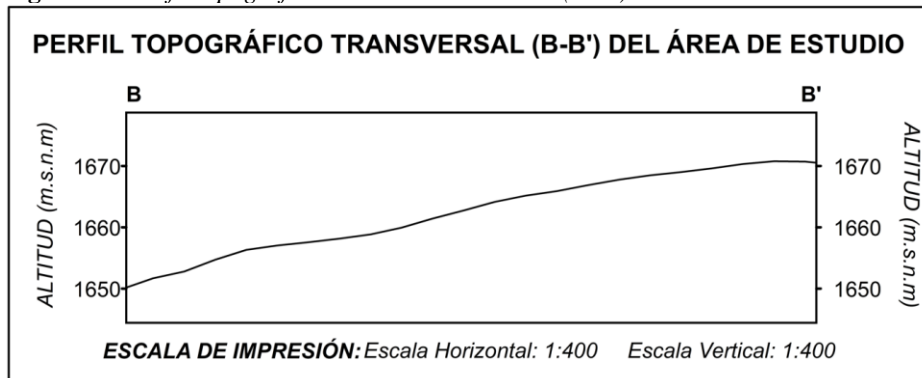
A continuación, en las figuras 51 y 52, así como en el Anexo 7.3, se evidencian los cortes topográficos longitudinal y transversal correspondientes al área de estudio.

Figura 51: Perfil topográfico longitudinal dirección (N-S)



El perfil topográfico longitudinal fue realizado a escala de trabajo 1:1200, presenta un desnivel de 150 metros, este corte topográfico presenta una dirección de Norte a Sur, en el cual se puede evidenciar la forma del relieve de la zona de estudio.

Figura 52: Perfil topográfico transversal dirección (W-E)



El perfil topográfico transversal presenta una escala a detalle de 1.400, en el existe un desnivel de 20 metros, este corte topográfico presenta una dirección preferencial de Oeste a Este, en el cual se puede evidenciar el relieve predominante de esta zona.

6.2.2. Pendientes

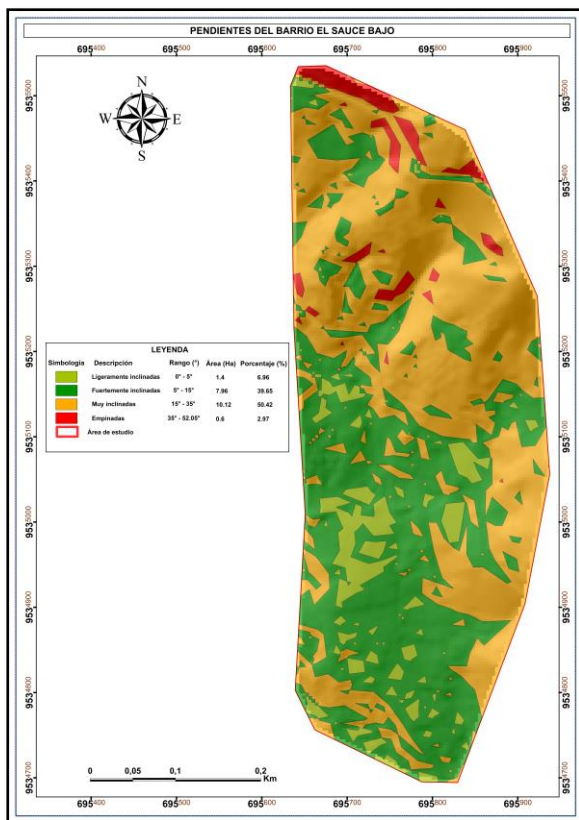
En base a la aplicación del software ArcGIS 10.5 y su conjunto de herramientas se elaboró el mapa de pendientes del área de estudio a escala de detalle 1:1000, ver Anexo 7.4, en él se pudo evidenciar la variedad de las diferentes gradientes que abarcan la zona de estudio. A continuación, en la tabla 33 se describen las cuatro clases de pendientes que fueron evidenciadas y reclasificadas de acuerdo a la metodología propuesta por Demek, 1972.

Tabla 33: Clases y rangos de las pendientes de la zona de estudio.

Clases	Rango (°)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Ligeramente inclinadas	0°-5°	1.4	6.96
Fuertemente inclinadas	5°-15°	7.96	39.65
Muy inclinadas	15°-35°	10.12	50.42
Empinadas	35°-52.05°	0.6	2.97

De acuerdo a la evidencia descrita en la tabla 34, existe mayor cantidad de superficies con pendientes muy inclinadas, las mismas que se encuentran constituidas por un 50.42 % del área total. Por consiguiente, las pendientes fuertemente inclinadas abarcan un 39.65 %, mientras que las zonas con pendientes ligeramente inclinadas conforman 6.96 %, de la superficie de estudio. En cambio, en mínima porción se encuentran las áreas con pendientes empinadas, ya que estas solamente representan el 2.97 %, con respecto al polígono de estudio. A continuación, en la figura 53, se presenta el modelo de pendientes final, mientras que en el Anexo 7.4, se ilustra el mapa de pendientes del área de estudio.

Figura 53: Mapa de pendientes de la zona de estudio



6.2.3. Geomorfología

El levantamiento de las principales unidades geomorfológicas del área de estudio, fueron realizadas a través de información previa como la topografía, pendientes, geología local y desnivel relativo. Adicionalmente se realizó la fotointerpretación para lograr identificar cada

una de las geoformas, para posteriormente constatar y corroborar la información en campo, y así lograr efectuar el mapa geomorfológico a escala de detalle 1:1000. (Ver Anexo 7.5). A continuación, en la tabla 34, se pueden evidenciar las principales unidades geomorfológicas del área de estudio.

Tabla 34: *Unidades geomorfológicas del área de estudio.*

Macrorrelieve (Genesis)	Mesorelieve (Unidad geomorfológica)	Desnivel relativo (m)	Pendiente (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Piedemonte	Laderas heterogéneas	100-200	15-35	8.95	44.58
	Relieve colinado medio	25-100	10-15	1.94	9.67
	Relieve colinado bajo	15-25	5-10	1	4.99
	Superficie disectada	2-5	2-5	6.69	33.35
	Coluvio aluvial	5-15	2-5	1.49	7.41

6.2.3.1. Laderas heterogéneas.

Estas geoformas se hallan localizadas en la zona Norte del área de estudio, presenta vertientes de tipo heterogéneas de forma cóncava, convexa y rectilínea. Se encuentran conformadas por materiales de origen sedimentario como areniscas, lutitas, limos y microconglomerados. Esta geoforma comprende una extensión de 8.95 ha, correspondiente al 44.58 % de la zona de estudio. En la siguiente figura 54, se evidencian sus características geomorfológicas.

Figura 54: *Laderas heterogéneas.*



6.2.3.2. Relieve colinado medio.

Se encuentra establecida en la parte Este del área de estudio, dentro de esta geoforma se evidencian materiales de origen sedimentario como areniscas calcáreas, lutitas y microconglomerados. Tienen un desnivel de 25-100 m. Esta geoforma comprende una superficie de 1.94 ha, correspondiente al 9.67 % del área de estudio. En la siguiente figura 55, se observan sus características geomorfológicas.

Figura 55: *Relieve colinado medio.*



6.2.3.3. Relieve colinado bajo.

Litológicamente se encuentra compuesto por estratos de areniscas calcáreas, e intercalaciones de limos y lutitas fisibles con presencia de vetillas de yeso. También es evidente encontrar capas de carbón bituminoso de hasta 15 cm de espesor. Tienen un desnivel de 15-25 m. Esta geoforma comprende una superficie de 1 ha, correspondiente al 4.99 % del área de estudio. En la siguiente figura 56, se observan sus características geomorfológicas.

Figura 56: *Relieve colinado bajo.*



6.2.3.4. Superficie disectada

Esta geoforma aparece como una depresión alargada con una pendiente de 2-5%, se encuentra constituida litológicamente de materiales sedimentarios como microconglomerados, areniscas, limos y lutitas, se ubican en la parte central y baja de la zona de estudio. Presenta un desnivel de hasta 5 m. Esta geoforma comprende una superficie de 6.69 ha, correspondiente al

33.35 % del área de estudio. En la siguiente figura 57, se observan sus características geomorfológicas.

Figura 57: *Superficie disectada.*



6.2.3.5. Coluvio aluvial.

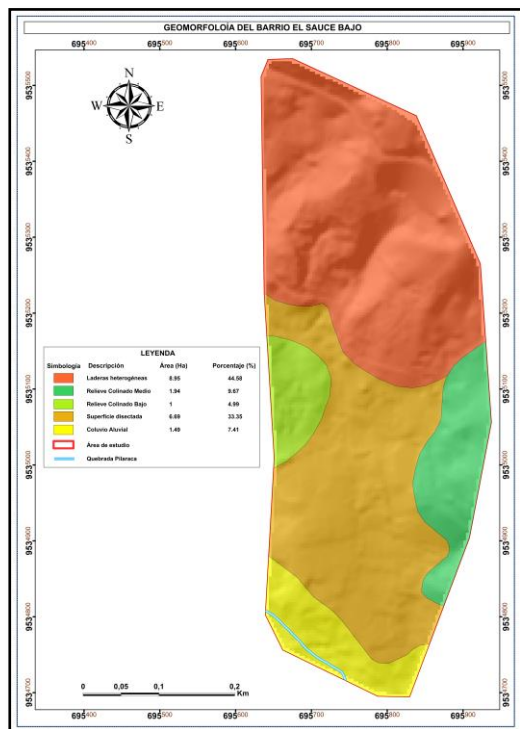
Se encuentra establecida en la parte Sur del área de estudio, dentro de esta geoforma se evidencian materiales de origen sedimentario como conglomerados y clastos de origen volcánicos y metamórficos que provienen de las partes altas y que han sido arrastrados por gravedad o por acción del agua, se puede evidenciar estos materiales claramente dentro de los márgenes de la quebrada Pilaraca que está ubicada en la parte baja de la zona de estudio. Tienen un desnivel de 5-15 m. Esta geoforma comprende una superficie de 1.49 ha, correspondiente al 7.41 % del área de estudio. A continuación, en la siguiente figura 58, se evidencian las características geomorfológicas que esta geoforma presenta.

Figura 58: *Coluvio aluvial*



Por consiguiente, en la figura 59 se describe el mapa geomorfológico local del área de estudio.

Figura 59: Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

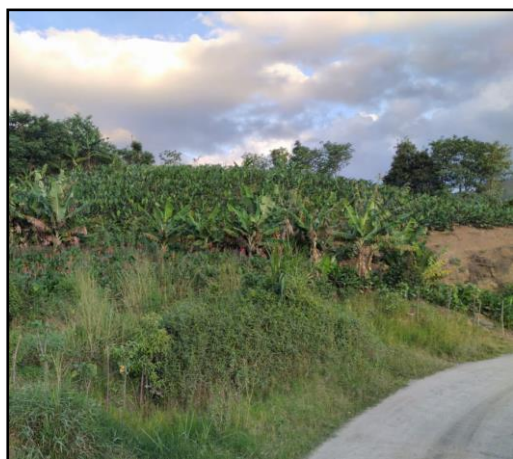


6.2.4. Uso del suelo

De acuerdo al uso actual del suelo, el área de estudio se encuentra establecido por diez diferentes categorías. Cada una de sus clasificaciones se describen detalladamente en el Anexo 7.6, en el cual se indica el mapa a escala de detalle 1.1000, del uso actual del suelo de la zona de estudio.

Cultivo anual: Se caracterizan por sembríos de frejol, tomate riñón, alfalfa y achira, representan a 9.82% de la superficie de estudio.

Figura 60: Cultivos anuales



Cultivo semipermanente: Estos cultivos son los más abundantes ya que se encuentran conformados por sembríos de caña de azúcar, maíz, yuca y guineo, cubren el 26.34% del área de estudio.

Figura 61: *Cultivos semipermanentes*



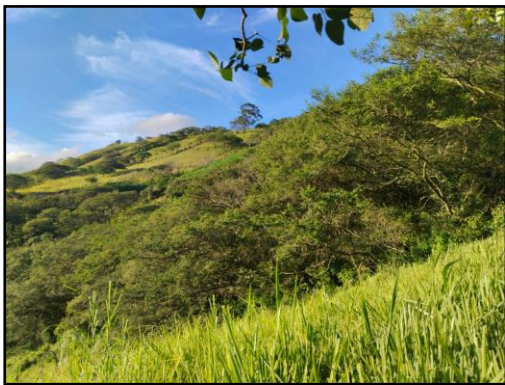
Cultivo permanente: Conformados por plantaciones que permanecen largos periodos de tiempo, entre ellos están los árboles frutales como (naranjas, mandarinas, limones y guabas) representan el 5.11% del total del área de estudio.

Figura 62: *Cultivos permanentes*



Vegetación arbustiva: Se encuentran conformados por matorrales que alcanzan los 3 a 5 metros de altura, también se encuentran árboles dispersos de alisos, faiques y plantas de guadua, con alturas que varían desde los 3 a 10 metros de altura, abarcan el 11.24% de la zona de estudio.

Figura 63: *Vegetación arbustiva*



Vegetación herbácea: Se encuentra dispersa en todo el sector de estudio, gran parte de esta vegetación se utiliza para alimento de ganado bobino y equino, y conforman el 31.74% del área total.

Figura 64: *Vegetación herbácea*



Vías: Brindan acceso a todo el barrio y se encuentran conformadas por vías de segundo orden y un sendero, juntos corresponde al 4.35% del área de estudio.

Figura 65: *Vías d acceso*



Área poblada: Corresponde a la infraestructura de viviendas de una a dos plantas, la mayoría se encuentran concentradas en la parte baja del área de estudio, abarcan el 4.84%.

Figura 66: *Zona poblada*



Área sin cobertura vegetal: Aquí se evidencian terrenos donde la cobertura vegetal ha sido removida, ya sea para implementar alguna infraestructura o servicio, conforman el 6.33% de la zona de estudio.

Figura 67: *Zona sin cobertura vegetal*



Cuerpos de agua natural: Se encuentra conformada por una vertiente natural (quebrada Pilaraca) que fluye en la parte baja del sector, su agua es utilizada para el riego de sembríos que se dan dentro del área de estudio, su superficie equivale al 0.05%.

Figura 68: *Cuerpo de agua natural*



Cuerpos de agua artificial: El canal de riego Campana- Malacatos, se encuentra ubicado en la parte norte del área de estudio, y comprende un área de 0.18%, el agua que fluye

por esta infraestructura es utilizada por los moradores de este sector, ya que sirve para regar por gravedad sus diferentes sembríos y cultivos.

Figura 69: *Cuerpo de agua artificial.*



Tabla 35: Clasificación sobre el uso actual del suelo del barrio el Sauce bajo.

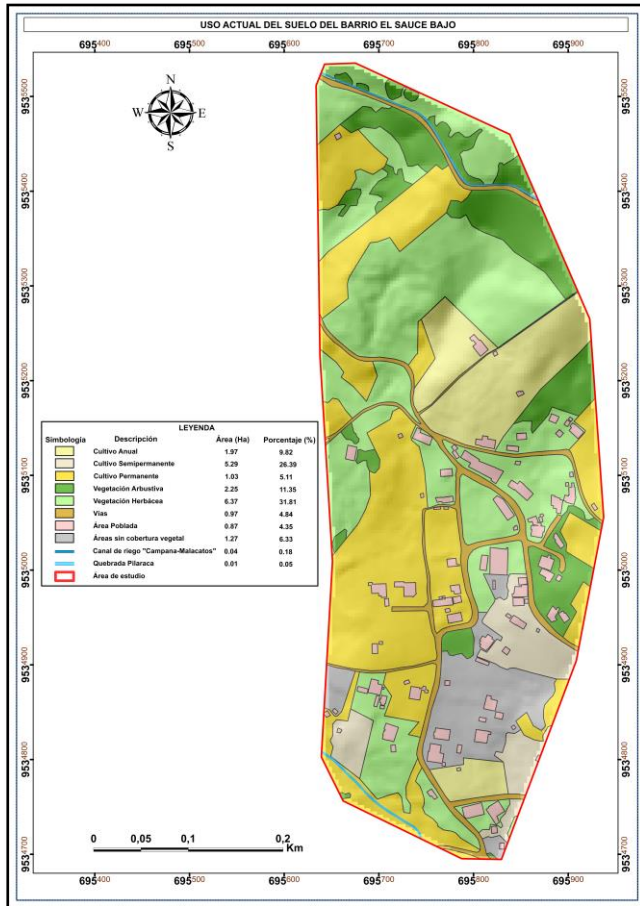
Descripción		Área (ha)	Porcentaje (%)
Nivel 1	Nivel 2		
	Cultivo anual	1.97	9.82
Tierra agropecuaria	Cultivo semipermanente	5.29	26.39
	Cultivo permanente	1.03	5.11
Vegetación arbustiva y herbácea	Arbustiva	2.25	11.35
	Herbácea	6.37	31.81
Cuerpos de agua	Natural	0.01	0.05
	Artificial	0.04	0.18
Zonas antrópicas	Áreas pobladas	0.87	4.35
	Infraestructura vial	0.97	4.84
	Áreas sin cobertura vegetal	1.27	6.33

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Según lo establecido en la tabla 35 y de acuerdo a la descripción del nivel dos, las áreas con mayor ocupación de uso de suelo son la vegetación herbácea con un 31.81%, seguidamente se presentan los cultivos semipermanentes con un porcentaje del 26.39%, posterior a ello se encuentra la vegetación arbustiva con el 11.35%, en cuarto lugar, se encuentran los cultivos anuales con el 9.82%, mientras que en el quinto lugar comprende a las áreas que no presentan cobertura vegetal con un 6.33%, en el sexto puesto abarcan los cultivos permanentes con el 5.11%, dentro del séptimo lugar se encuentra la infraestructura vial de segundo orden con un 4.84%, y en el octavo lugar corresponde al área poblada (viviendas) con el 4.35%. finalmente, las dos últimas categorías corresponden al cuerpo de agua natural con el 0.05% y el cuerpo de agua artificial con un 0.18% del total del área de estudio.

A continuación, en la figura 70, se evidencian cada una de sus categorías correspondientes. Mientras que en el Anexo 7.6 se puede apreciar el mapa de uso actual del suelo de la zona de estudio.

Figura 70: Mapa de uso actual del suelo de la zona de estudio.



6.2.5. Geología local

De acuerdo a la información levantada en campo, a través de la descripción de afloramientos, realización de calicatas geológicas, así como de fotointerpretación, se pudo determinar que el área de estudio se encuentra establecida por cinco formaciones geológicas, las mismas que a continuación son descritas con cada una de sus respectivas características.

Por consiguiente, en la tabla 36 se indican los afloramientos que fueron identificados y levantados, para posteriormente realizar el mapa geológico local del área de estudio a escala de detalle 1:1000, ver Anexo 7.7.

Tabla 36: *Ubicación geográfica de los afloramientos.*

N.º de Afloramiento	Coordenadas UTM/WGS-84/S17			Tipo de afloramiento	Tipo de material
	X	Y	Z		
1	695531	9534978	1640	Antrópico	Lutitas y areniscas
2	695841	9535025	1635	Antrópico	Lutitas y areniscas
3	695889	9534944	1640	Antrópico	Lutitas y areniscas
4	696054	9534649	1641	Antrópico	Arenisca calcárea y conglomerados subredondeados
5	695827	9534709	1594	Natural	Lutitas y areniscas
6	695555	9534699	1622	Antrópico	Areniscas calcáreas y conglomerados
7	695508	9534669	1621	Antrópico	Areniscas calcáreas y conglomerados
8	695537	9534688	1617	Natural	Areniscas calcáreas y conglomerados
9	695540	9534785	1610	Antrópico	Areniscas calcáreas y conglomerados
10	695691	9535179	1647	Natural	Lutitas y capas de yesos
11	695681	9535230	1629	Natural	Lutitas y capas de yesos
12	695699	9535309	1646	Natural	Lutitas y capas de yesos
13	695788	9535423	1706	Antrópico	Areniscas con microconglomerados
14	695729	9535485	1709	Antrópico	Areniscas con microconglomerados
15	695956	9535316	1726	Antrópico	Lutitas y capas de yesos
16	695986	9535294	1717	Antrópico	Lutitas y capas de yesos
17	696107	9535360	1723	Antrópico	Areniscas y limonitas
18	695463	9535691	1726	Natural	Lutitas y capas de yesos
19	695752	9535170	1658	Natural	Lutitas y capas de yesos
20	695850	9535145	1654	Antrópico	Lutitas y capas de yesos
21	696046	9535133	1666	Antrópico	Lutitas y areniscas
22	696153	9535096	1647	Natural	Lutitas y areniscas
23	695869	9535047	1642	Antrópico	Lutitas y capas de yesos
24	695654	9534816	1599	Antrópico	Lutitas y areniscas
25	695739	9534565	1601	Antrópico	Areniscas calcáreas y conglomerados
26	695504	9534814	1613	Antrópico	Areniscas calcáreas y conglomerados
27	695567	9534829	1604	Antrópico	Lutitas y areniscas
28	695479	9534917	1616	Natural	Coluvio con cantos y bloques de roca granítica
29	695618	9534910	1611	Natural	Areniscas calcáreas
30	695605	9534885	1609	Natural	Coluvio con cantos subredondeados de rocas metamórficas y graníticas
31	695893	9534991	1655	Antrópico	Lutitas y capas de yesos
32	695507	9535023	1646	Antrópico	Areniscas calcáreas
33	695767	9535441	1729	Antrópico	Areniscas
34	695996	9535317	1730	Antrópico	Lutitas y areniscas
35	695621	9535503	1729	Natural	Coluvio con cantos subredondeados de rocas metamórficas y graníticas
36	695697	9535505	1731	Antrópico	Areniscas con microconglomerados
37	695746	9534721	1595	Natural	Aluviales con cantos redondeados y subredondeados de rocas ígneas y metamórficas.

6.2.5.1. Formación San Francisco (MSfr).

La formación San Francisco (Mioceno) aflora al NE del área de trabajo, en altitudes superiores a los 1700 m.s.n.m. (UTM:696107E, 9535360N; 695729E, 9535485N; 695967E, 9537693N), se extiende de SE-NW suprayaciendo a la formación Santo Domingo, comprende

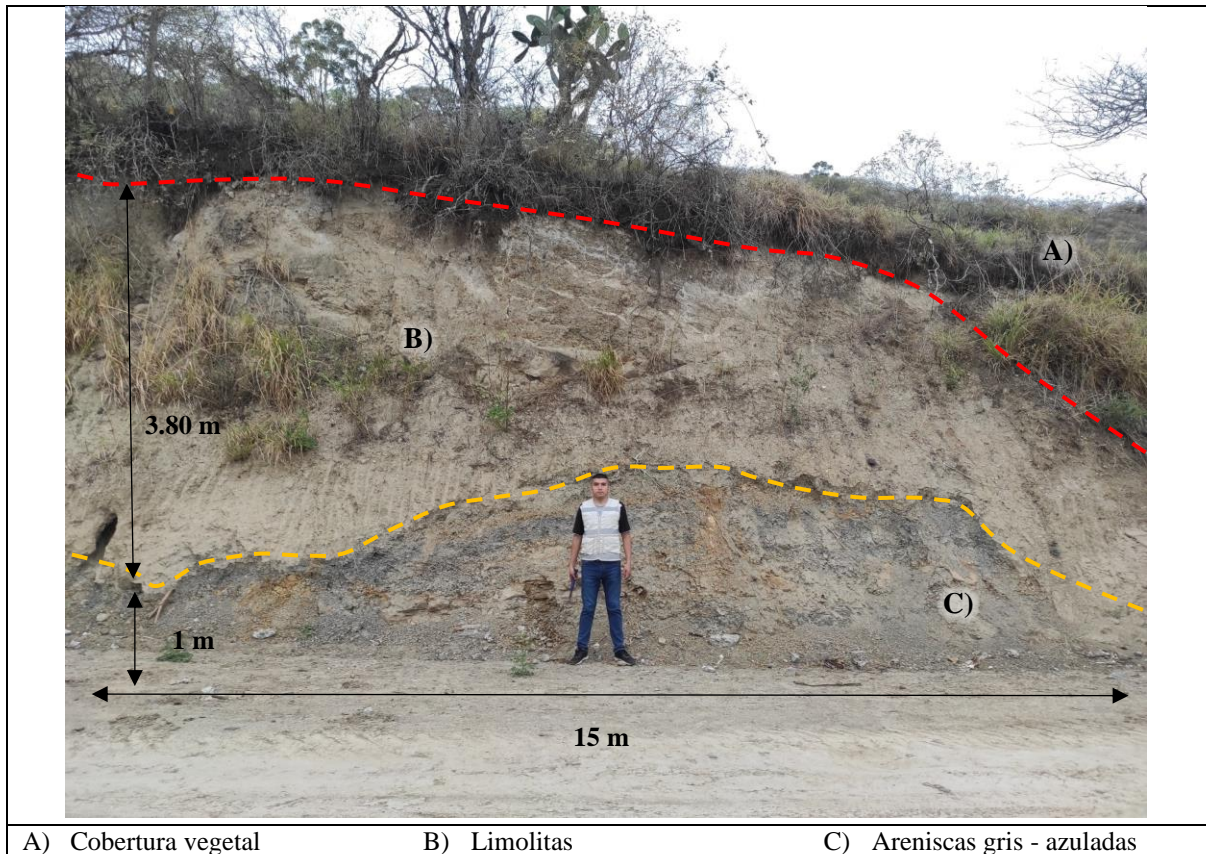
una superficie de 1.27 ha; equivalente al 6.32% del área de trabajo y se compone por secuencias sedimentarias de: limolitas, areniscas y microconglomerados con clastos metamórficos.

6.2.5.1.1. Limolitas, areniscas y microconglomerados con clastos metamórficos.

En el extremo NE de la superficie de trabajo se visualiza secuencias clásticas, propias de la acción fluvial del ambiente estuarino que dio origen al relleno sedimentario del Mioceno de la cuenca Malacatos – Vilcabamba; es decir, intercalaciones de limolitas, areniscas y microconglomerados, con las siguientes características: A) Las limolitas afloran en los estratos superiores de los afloramientos de mayor altitud, por cual nos permiten deducir que su emplazamiento fue posterior a la de los otros materiales, se presentan con coloraciones amarillentas por un elevado porcentaje de minerales de composición ferrihidrita, exhiben una granulometría entre media a fina (1/256 a 1/16 mm), exteriorizan un estructura masiva sin estratificación, se desintegran con gran facilidad y mineralógicamente se compone por: cuarzo, feldespatos, óxidos de hierro y minerales limosos. B) Subyaciendo a las limolitas, se localizan areniscas de coloración gris – azuladas, las mismas que nos permiten deducir que se formó en un ambiente con déficit de oxígeno, presentan una composición de al menos un 2% de materia orgánica, evidencian una geometría canaliforme (en surcos), una granulometría áspera de 2mm de diámetro y mineralógicamente compuesta por: cuarzo, feldespatos potásicos y micas. C) En afloramientos de menor altitud se aprecia microconglomerados que subyacen a las areniscas descritas previamente, este material evidencia detritos metamórficos subredondeados debido a que su recorrido para su depósito fue fugaz y lento, sus tamaños varían en el rango de 1 a 10cm de diámetro, presentan una matriz limo-arenosa y se componen principalmente por: esquistos, filitas y cuarcitas.

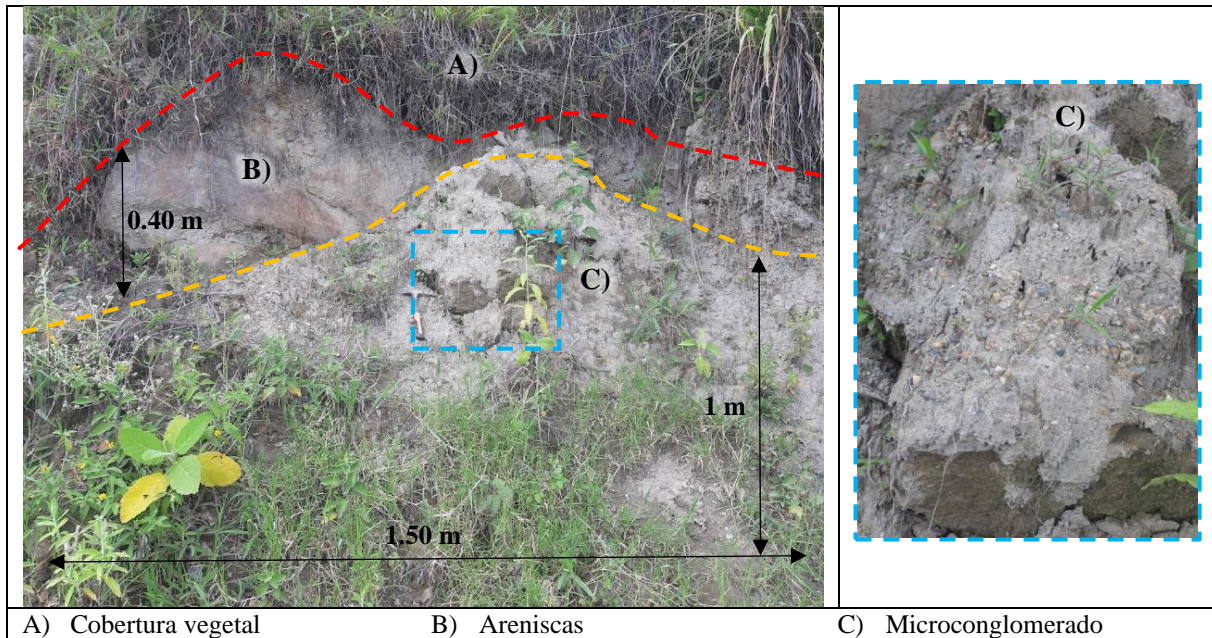
Una ejemplificación de lo descrito se representa en la figura 71, el cual es un afloramiento antrópico localizado a la altura del canal de riego Campana – Malacatos (UTM: 695793E, 9535409N), con las siguientes características: secuencia sedimentaria de textura detrítica de areniscas grises – azuladas que subyacen a estratos de limolitas de tonalidad amarillenta, presenta una longitud de 15m, un alto de 3.80m y una mediana meteorización.

Figura 71: Afloramiento de limolitas y areniscas gris – azuladas en altitudes de 2600 m.s.n.m.



No obstante, al descender a una altitud de 2500 m.s.n.m, cerca al canal de riego Campana – Malacatos se aprecia otro afloramiento antrópico con estratos de microconglomerados con líticos metamórficos que subyacen a las areniscas previamente mencionadas. Además, se caracteriza por exteriorizar una longitud de 5m, una altura de 2.5m, una alta meteorización, areniscas compactas con sorteo regular y micronglomerados con pequeños clastos subredondeados de 1 a 3 cm de diámetro (ver figura 72).

Figura 72: Afloramiento de areniscas y microconglomerados en altitudes de 2500 m.s.n.m.



6.2.5.2. Formación Santo Domingo (MSd).

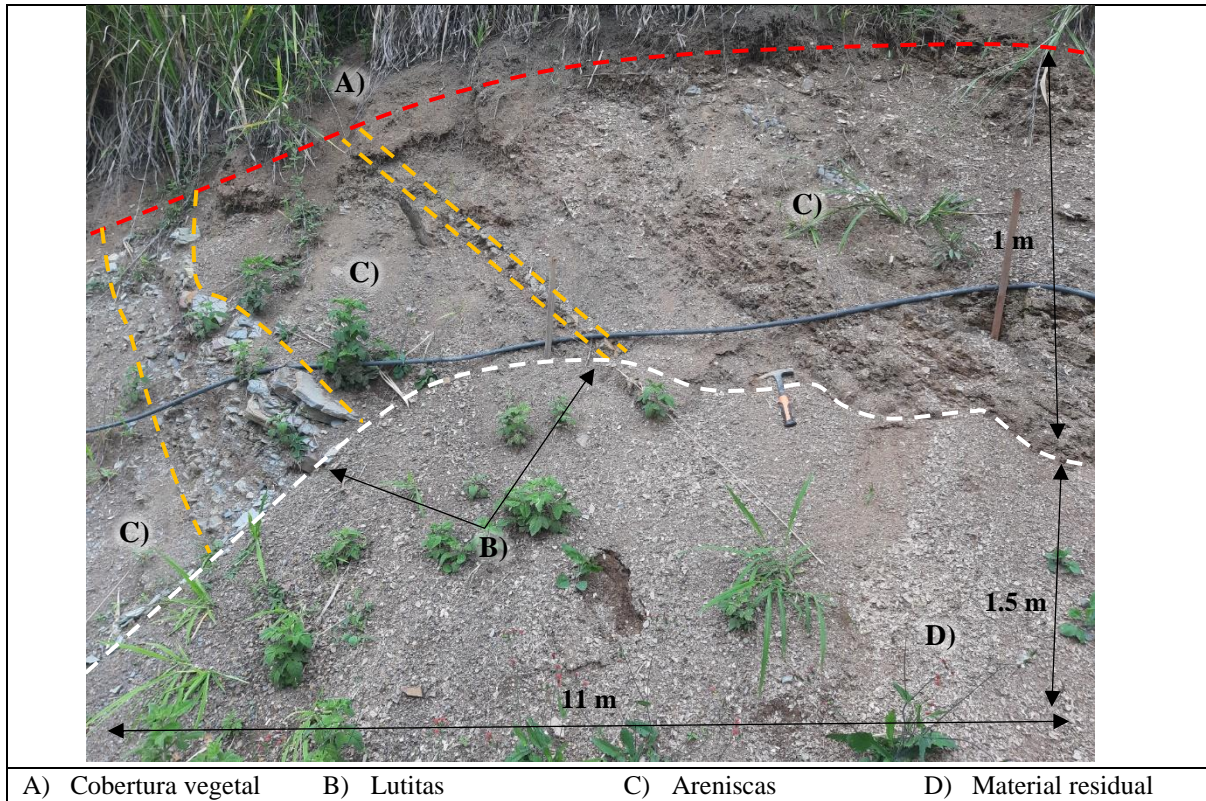
La formación Santo Domingo (Mioceno) aflora en el centro del área de estudio, se extiende en dirección NW-SE y se sitúa en el margen superior de la quebrada Pilaraca, desde la cota 1600 m.s.n.m (UTM: 695655E, 9534822N; 695803E, 695793E, 9534732N; 695860E, 9534801N; 695517E, 9535026N) y entre la formación San José y San Francisco (UTM: 695684E, 9535336N; 695884E, 9534984N). Comprende una extensa superficie de 12.93 ha; equivalente al 64.42% del área de trabajo y se conforma por intercalaciones de lutitas y areniscas y secuencias de lutitas, yeso y carbón.

6.2.5.2.1. Intercalaciones de lutitas y areniscas.

Es tipo de secuencia litológica se evidencia principalmente al SW del área de trabajo, en altitudes superiores a las del margen de la quebrada Pilaraca (UTM: 695517E, 9535026N; 695803E, 9534759N) y se compone principalmente por una intercalación sedimentaria de lutitas y areniscas. Es decir, las lutitas se presentan de forma laminada, medianamente meteorizadas y de coloración grisácea – amarillenta por influencia de minerales de tipo ferrihidrita o goetita. En cambio, las areniscas se presentan sin estructura definida, se desintegran al tacto, un aspecto áspero y con coloraciones rojizas – amarillenta por influencia de óxidos de hierro, como la hematita, goetita y ferrihidrita.

Una representación de tales características se puede observar en la figura 73, el cual es un afloramiento antrópico de 2.5 m de alto, 11m de ancho y compuesto por una secuencia de lutitas y areniscas. Las lutitas patentizan una textura clástica, una granulometría suave, fina y redondeada, presentan un sorteo regular y una meteorización media. Por otra parte, las areniscas exteriorizan una textura detrítica, granulometría gruesa y redondeada, sorteo regular y medianamente meteorizadas.

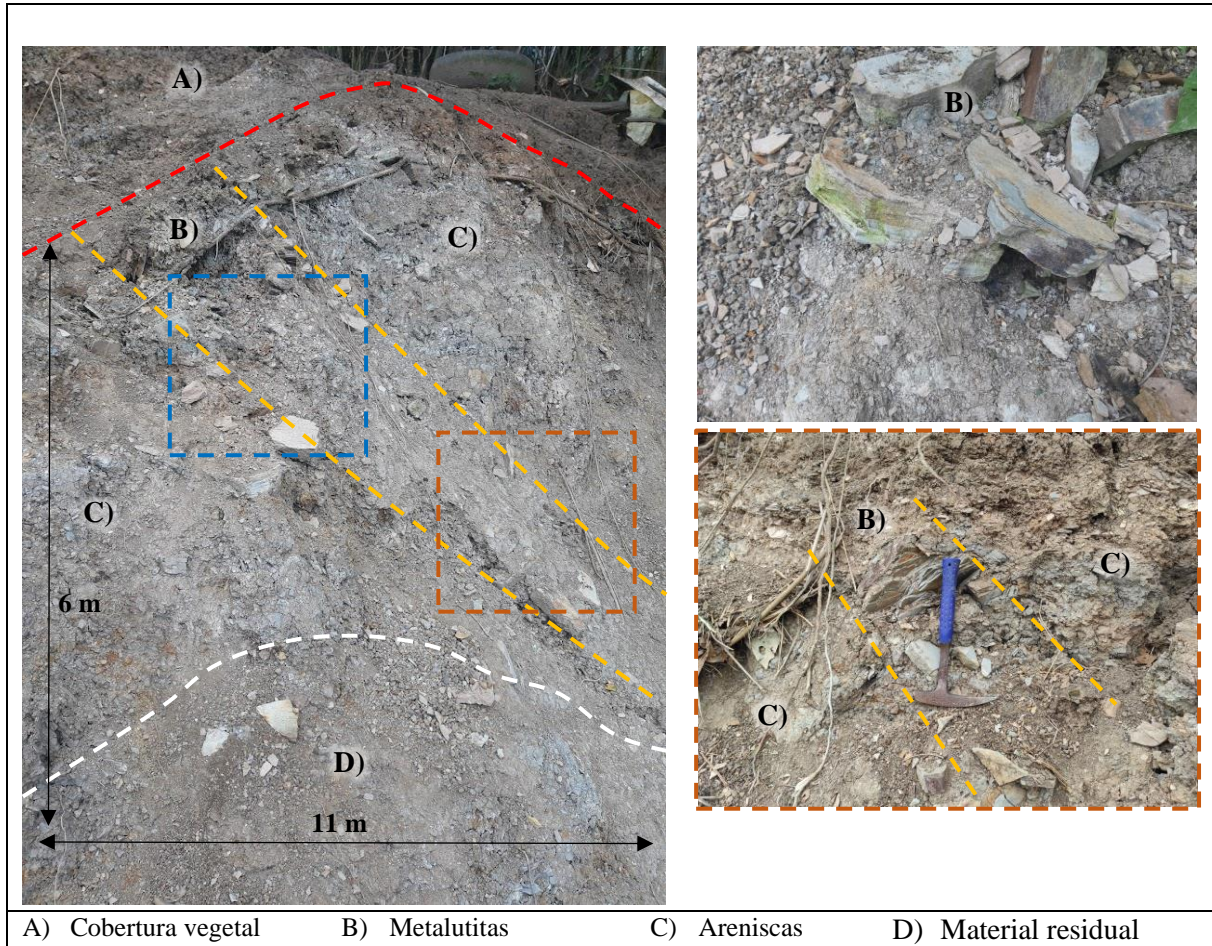
Figura 73: Afloramiento de lutitas y areniscas.



Sin embargo, en la zona de estudio se evidencian afloramientos con estratos de lutitas muy compactas que dan la apariencia de una afectación de metamorfismo de lutitas a metalutitas; es decir, en proceso de convertirse a filitas o pizarras, pero conservando altas características sedimentarias, estos materiales se visualizan con coloraciones grisáceas, sin brillo y con clivaje por causa del alineamiento y conversión de arcillas a minerales micáceos.

Un ejemplo de dichas particularidades, se plasma en la figura 74; es decir, un afloramiento antrópico de 6m de ancho, 11m de largo y compuesto por una secuencia de metalutitas y areniscas. Las metalutitas presentan una textura lepidoblástica, estructura bandeada, competente al impacto del martillo geológico, altamente meteorizadas y mineralógicamente compuesto por minerales micáceos paralelos.

Figura 74: Afloramiento de metalutitas y areniscas



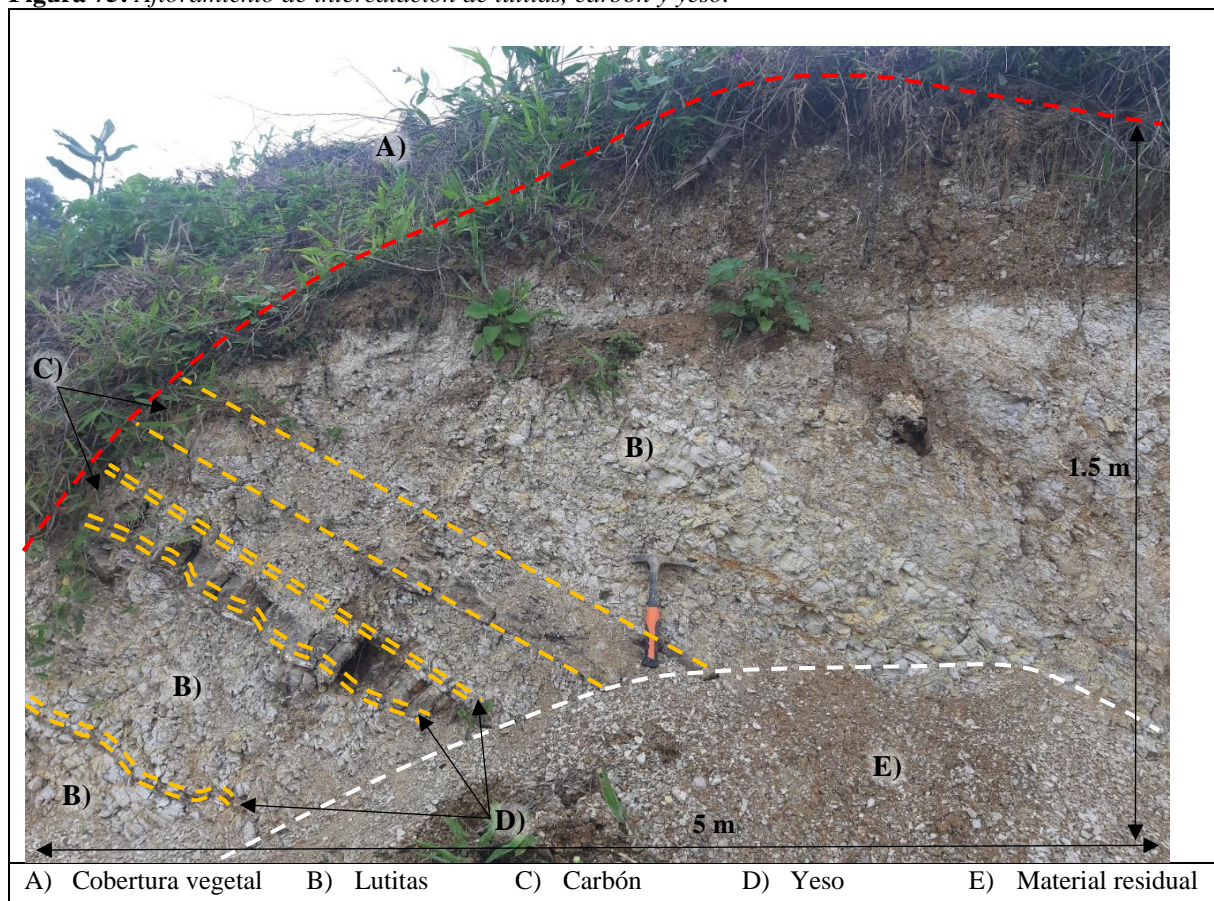
6.2.5.2.2. *Intercalaciones de lutitas, yeso y carbón.*

Principalmente al NE del área de trabajo, sobre las cotas 1700 m.s.n.m. se evidencia afloramientos con secuencias litológicas de lutitas, yeso y carbón; es decir, suprayacen a las intercalaciones de estratos de lutitas y areniscas por supuesta influencia de la formación San José. Estas representaciones litológicas se patentizan, debido a que se visualiza una superposición de capas sedimentarias (estratificación inclinada) de los siguientes materiales:

A) Lutitas con una granulometría fina y sedosa (<1/256mm), textura detrítica, granulometría redondeada, sorteo bueno, medianamente meteorizadas y con coloraciones marrones – grisáceas debido a que se formaron en un ambiente gradual, tranquilo, con déficit de oxígeno, con altos contenidos de materia orgánica y óxidos de hierro. B) Estratos de carbón, de coloración oscura, brillo mate, uniformemente estratificada, con fracturas rectangulares y originada por la descomposición preliminar de materia vegetal donde se dio una pérdida de átomos de oxígeno e hidrógeno, un porcentaje elevado de carbono y una posterior compactación y endurecimiento de tal litología, la misma que al presentarse de forma compacta y dura da la

apariencia de ser un carbón bituminoso (hulla). C) Estratos de yeso (sulfato cálcico hidratado), presenta un hábito tabular, dando la apariencia de una masa no uniforme debido a la dilatación que tiene durante la hidratación, presenta brillo vítreo, fractura astillosa, raya blanca, coloración blanquecina, textura cristalina y originada por la precipitación de sales proveniente de cuerpos de disolución concentradas. Bajo este fundamento, una representación de lo descrito se evidencia en la figura 75, el cual es un afloramiento antrópico (UTM: 695681E, 9535228N) de 1.5m de alto, 5m de ancho y con la presencia de materiales sedimentarios en estratificación inclinada ($85^{\circ}/28^{\circ}\text{SE}$) de lutitas, carbón y yeso, con potencias de 15cm, 4cm y 10cm respectivamente. Las lutitas presentan una granulometría del tamaño de la arcilla, se visualizan bastante meteorizadas y están compuestas mineralógicamente por: illinita, caolinita, clorita, montmorillonita, hematita, plagioclasas y cuarzo; el carbón presenta una tonalidad oscura y el yeso se evidencia en finas capas con coloración blanquecina.

Figura 75: Afloramiento de intercalación de lutitas, carbón y yeso.



6.2.5.3. Formación San José (MSJo).

La formación San José (Mioceno) aflora al Sur de la zona de estudio y extiende al NW entre la formación Santo Domingo, comprende una superficie de 4.89 ha; equivalente al 24.38% del área de tra

y se constituye por areniscas calcoarenosas y microconglomerados con clastos volcánicos y metamórficos.

6.2.5.3.1. Areniscas calcáreas y microconglomerados con clastos volcánicos y metamórficos

Rodeando una gran superficie de la Quebrada Pilaraca, en dirección SW (UTM: 695489E; 9534810N; 695738E, 9534578N) y en dirección NE (695816E, 9534700N) al afluente, extendiéndose de SE-NW contorneando a la Formación Santo Domingo (UTM: 695816E, 9534700N; 696057E, 9534674N; 695577E, 9535073N) se emplaza un material sedimentario clástico que constituye parte del relleno sedimentario de la cuenca Malacatos – Vilcabamba; es decir, afloramientos de areniscas calcáreas, microconglomerados con clastos volcánicos y metamórficos y secuencias entre las dos litologías; es decir, en la zona de estudio se visualiza un tipo de roca sedimentario detrítica, de aspecto áspero con partículas entre 2mm a 1/16 mm de diámetro y de composición intermedia entre las detrítica y las químicas, debido a que contiene una matriz de <15% y cemento de composición carbonático. Por otra parte, se evidencia que en el área se aprecia afloramientos de microconglomerados polimícticos, debido a que presenta variedad de clastos subredondeados de tipo volcánicos (principalmente andesitas) y metamórficos (predominando esquistos, filitas y cuarcitas) en un porcentaje de >75% y con una matriz de <15% de composición calcoarenosa debido a que reacciona en contacto con HCl.

Un ejemplar de las litologías antes mencionadas se puede evidenciar en la figura 76, el mismo que representa un afloramiento antrópico de 2.50m de alto, 25 m de ancho y localizado al SW de la quebrada Pilaraca (UTM: 695738E, 9534578N). Se caracteriza por estar compuesto por microconglomerados con clastos volcánicos y metamórficos aproximadamente de 5 cm a 15 cm diámetro, presenta detritos subredondeados con caras planas paralelas a los planos de estratificación cruzada (133°/35°NE), un ambiente de formación fluvial, clastos de coloración grisácea, textura detrítica, sorteo regular, cemento carbonático y una meteorización media.

Por otra parte, se evidencia en la zona afloramientos con secuencias de areniscas calcáreas con microconglomerados con clastos volcánicos y metamórficos de iguales características de los descritos previamente; es decir, las areniscas calcáreas que se visualizan son rocas detríticas de grano medio (1/16 a 2 mm de diámetro), con coloración grisácea – amarillenta, compuesta por fragmentos de cuarzo, micas y feldspatos y cemento carbonático debido a que reacciona en contacto con HCl al 10%. Una representación de dichas características se puede visualizar en la figura 77, el cual es un afloramiento antrópico (UTM: 695520E, 9534663N) sedimentario, de 2.10m de alto, 15m de ancho, compuesto por estratos inclinados de areniscas calcáreas y microconglomerados con clastos volcánico y metamórficos. Las areniscas calcáreas presentan una textura detrítica, tamaño de grano medio, redondeado, sorteo bueno y medianamente meteorizado. Por otra parte, los microconglomerados presentan las mismas características del afloramiento descrito con anterioridad.

Figura 76: Afloramiento de microconglomerados con clastos volcánicos y metamórficos.

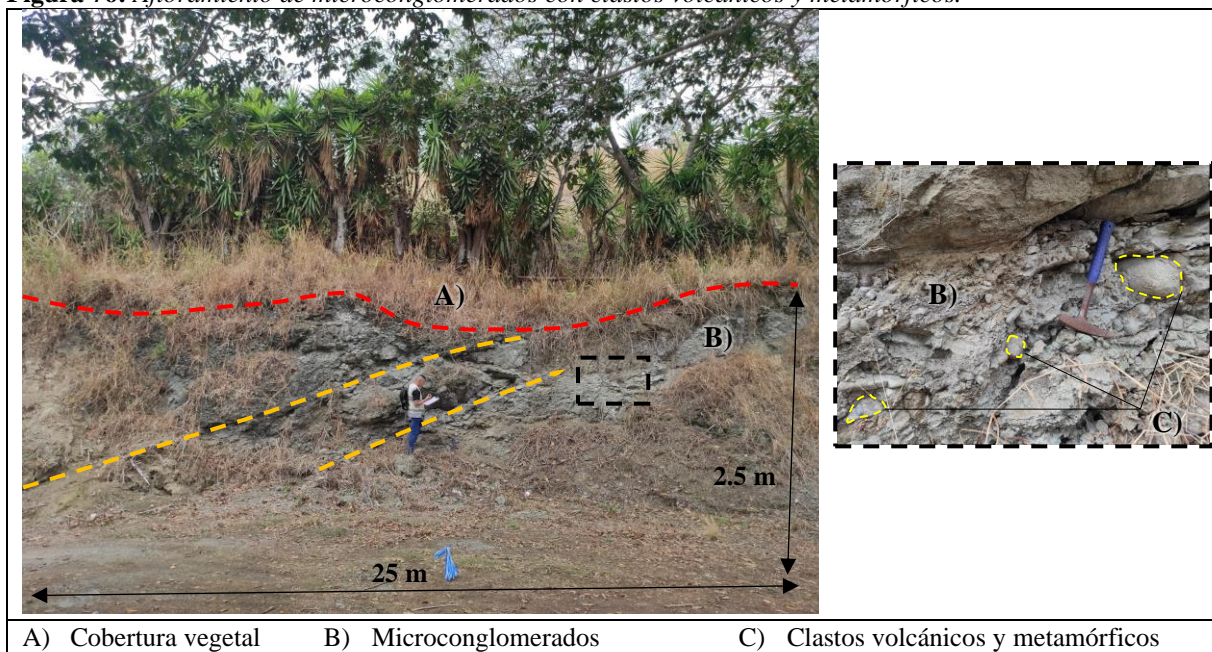
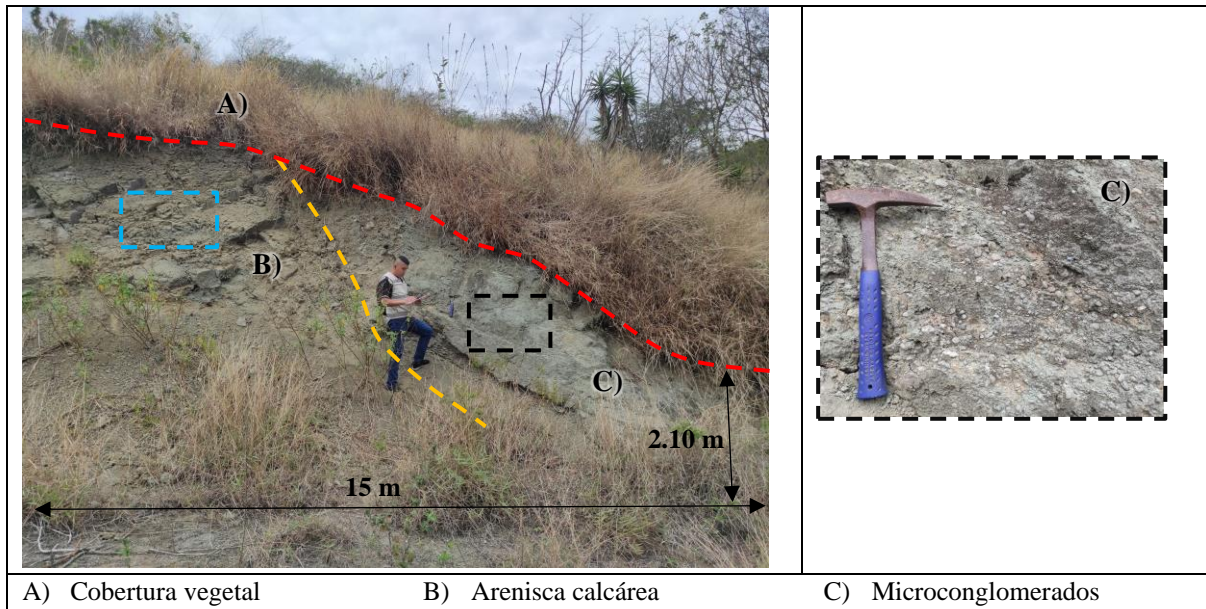


Figura 77: Afloramiento de areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y metamórficos.



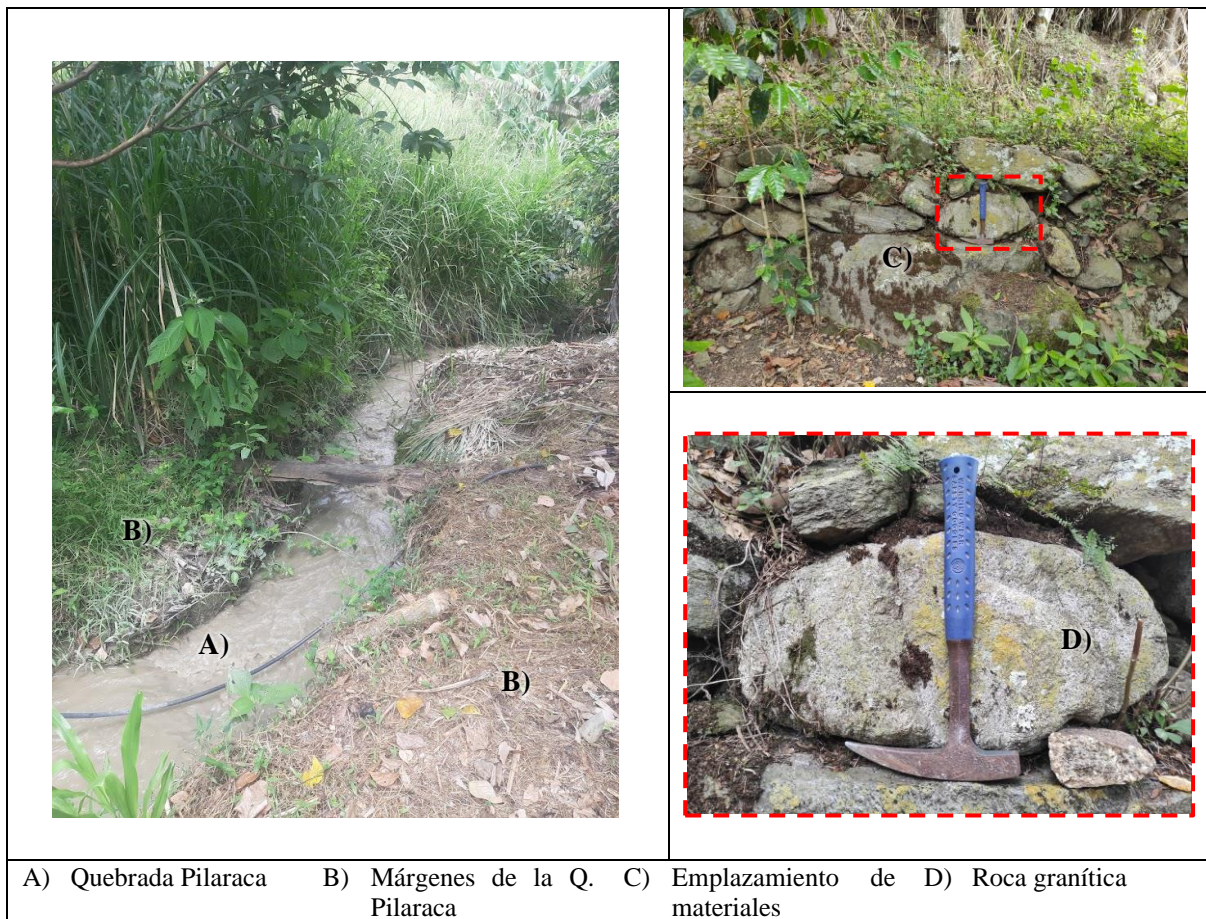


6.2.5.4. Depósito Aluvial (QA).

En la zona de estudio se aprecia un depósito aluvial (Cuaternario) de sedimentos detríticos originado por el transporte y sedimentación de la quebrada de Pilaraca que cruza del área de estudio en una dirección NW-SE (UTM: 695581E, 9534865N; 695764E, 9534695N) y comprendiendo una superficie de 0.45 ha; equivalente 2.24%. Este depósito de detritos apostados por medio de la acción del agua se ubica al SW del sector, se emplaza en ambos lados del cauce y se caracteriza por presentar una mezcla heterogénea de arcillas, arenas, grabas, cantos y bloques.

Una representación de lo mencionado se aprecia en la figura 78, el mismo que patentiza un depósito aluvial (UTM: 695463E, 9534700N) con múltiples materiales alterados finos (arenas y arcillas) y materiales gruesos de tipo bloques (>256mm); es decir, rocas graníticas (granito tipo S) posiblemente provenientes de la Unidad Tres Lagunas situada en el alto estructural que divide las cuencas entre Loja y Malacatos y que por causa del arrastre de materiales por acción del agua, se emplazó tales detritos en el sector.

Figura 78: Depósito aluvial.

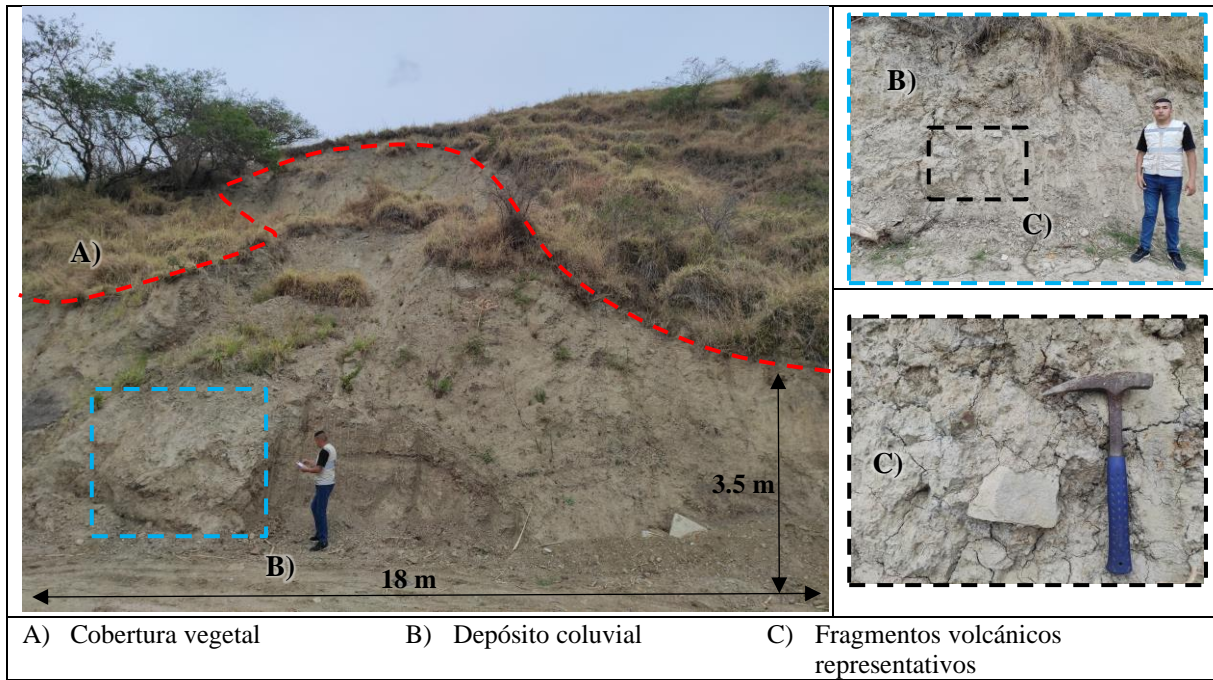


6.2.5.5. Depósito Coluvial (Qc).

En el área de trabajo se visualiza depósitos coluviales (Cuaternarios) originados por la alteración, desprendimiento in situ de materiales rocosos y por el transporte y acumulación por acción de la gravedad de detritos heterogéneos; es decir, se emplazan al NW (UTM: 695506E, 9535710N), al W (695618E, 9535116N) y al SW (695524E, 9534960N; 695601E, 9534958N) del sector en estudio, abarcando una superficie de 0.53 ha, equivalente al 2.64%.

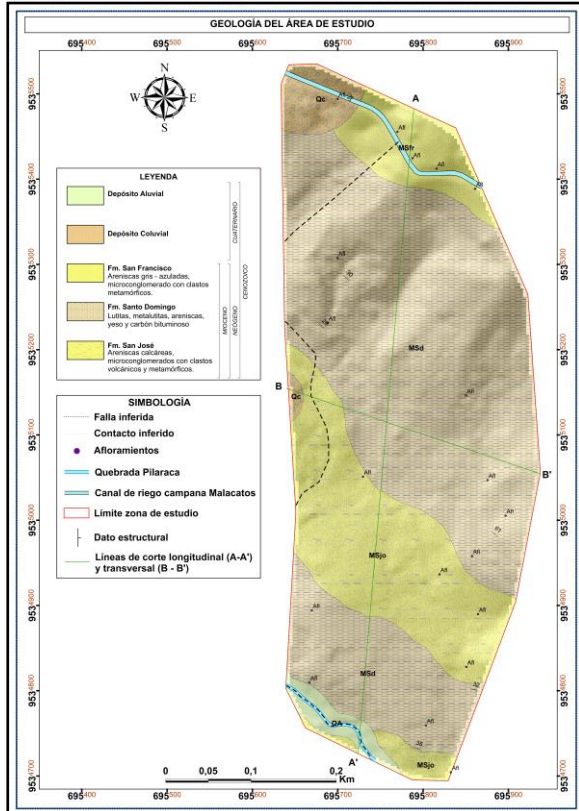
Una representación de lo descrito se aprecia en la figura 79, el cual es un afloramiento antrópico de depósito coluvial (UTM: 695649E, 9535522N) caracterizado por estar conformado por materiales detríticos (lutitas) y gravas subredondeadas de guijarros, cantos y bloques metamórficos (filitas y esquistos) e ígneos (granito) de diverso tamaño, una distribución caótica, matriz limo-arenosa, tonalidad amarillenta y originado por la descomposición y fragmentación de materiales provenientes del NW del depósito; es decir, desde las Unidades Tres Lagunas y Capilla.

Figura 79: Depósito coluvial.



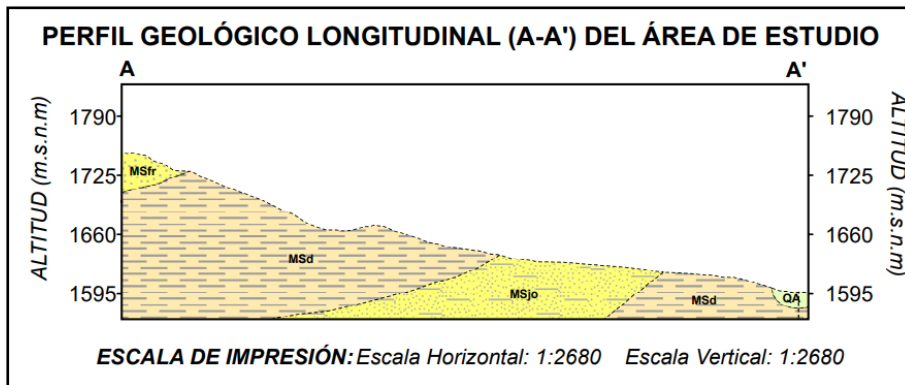
A continuación, en la figura 80 y Anexo 7.7 se evidencia el mapa geológico local del área de estudio a escala 1.1000, con sus respectivos cortes geológicos longitudinal y transversal.

Figura 80: Geología del barrio el Sauce bajo.



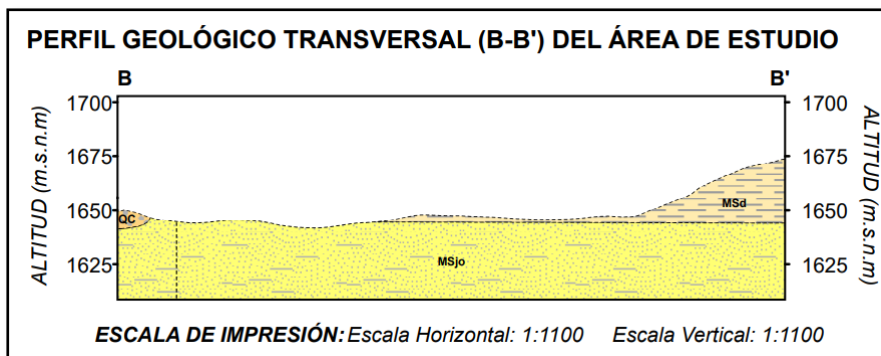
De igual manera en las figuras 81 y 82, y dentro del Anexo 7.7, se pueden observar los cortes geológicos longitudinal y transversal correspondientes al área de estudio.

Figura 81: Corte geológico longitudinal del área de estudio.



En el corte geológico longitudinal se evidencia un desnivel de 152 metros, en él se puede apreciar el buzamiento preferencial que tiene los materiales conformados por las Formaciones; San Francisco, Santo Domingo y San José, y que están entre los 25° a 35°. Los depósitos aluviales se encuentran descansando sobre las lutitas de la Formación Santo Domingo. La dirección de este corte geológico es de Noreste (NE) a Suroeste (SW).

Figura 82: Corte geológico transversal del área de estudio



Aquí se puede evidenciar como el corte geológico transversal refleja la depositación de las Formaciones Santo Domingo sobre la Formación San José, también de los depósitos coluviales que se encuentran depositadas sobre la Formación San José. Este corte geológico tiene una dirección de Oeste a Este, además presenta un desnivel de 24 metros.

6.3. Resultados del segundo objetivo

6.3.1. Exploración geotécnica

6.3.1.1. Métodos directos.

6.3.1.1.1. Calicatas geotécnicas.

Se llevó a cabo un total de cinco calicatas geotécnicas, en cada una de ellas se recolectó una muestra inalterada cúbica de 30x30 cm, además en todas las muestras fueron realizados los ensayos de corte directo según la Norma ASTM D-3080-11. A través de este método se pudo conocer el ángulo de fricción y la cohesión que presentan cada uno de los materiales del área de estudio. A continuación, en la figura 83 y tabla 37 se evidencian la localización exacta de cada una de las calicatas geotécnicas.

Figura 83: Ubicación de las calicatas geotécnicas en el área de estudio.

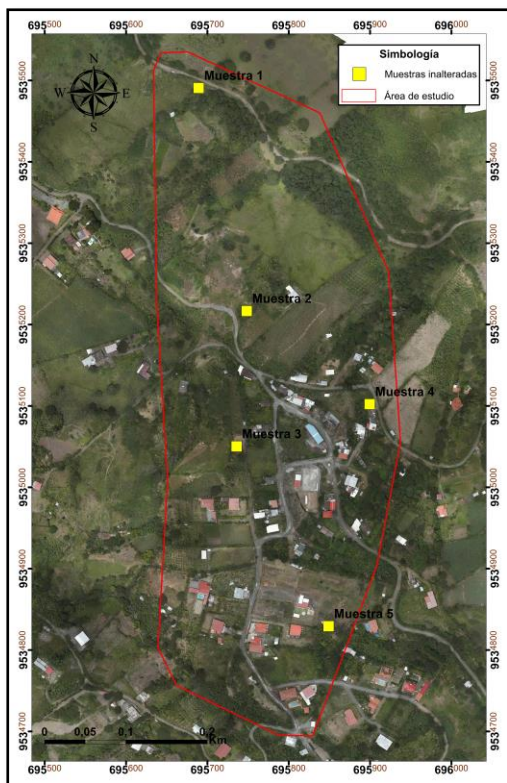


Tabla 37: Resumen de resultados sobre ensayos de corte directo.

N-º de muestra	Litología	Ensayo N-º	Esfuerzo Normal (σ) kg/cm^2	Esfuerzo Cortante (τ) kg/cm^2	Ángulo de fricción (ϕ)	Cohesión (C) kg/cm^2
Muestra 1	Arcilla limosa	1	0,49	0,43	25,20	0,224
		2	0,97	0,72		
		3	1,94	1,12		
Muestra	Arcillolitas	1	0,49	0,35	31,90	0,085

			2	0,97	0,75		
			3	1,98	1,30		
Muestra 3	Arcillolita		1	0,49	0,47		
			2	0,97	0,55	13,37	0,337
			3	1,94	0,80		
Muestra 4	Arcilla limosa		1	0,49	0,39		
			2	0,97	0,46	5,82	0,346
			3	1,94	0,54		
Muestra 5	Arcillolita		1	0,49	0,46		
			2	0,97	0,86	32,52	0,035
			3	1,98	1,23		

6.3.1.1.2. Ensayo de penetración estándar (S.P.T).

Con la finalidad de poder determinar el parámetro de la capacidad portante del suelo del área de estudio, se realizaron cinco ensayos de penetración estándar (S.P.T), establecidos bajo la norma ASTM D-1586. En la figura 84 se puede evidenciar la ubicación de cada uno de los ensayos, ya que fueron alineados con la finalidad de poder correlacionar cada uno de los resultados, así mismo en la tabla 38 se señalan las coordenadas donde fueron efectuados dichos ensayos.

Figura 84: Ubicación de los SPT's en el área de estudio.

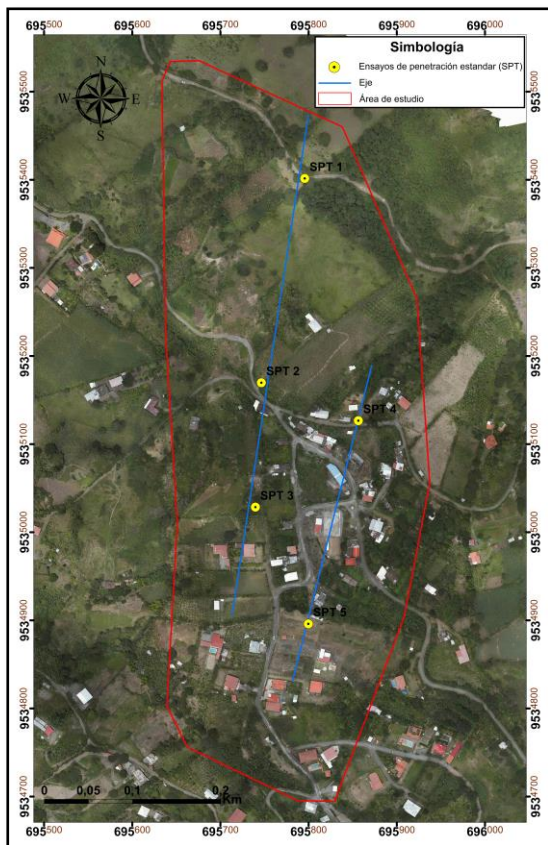
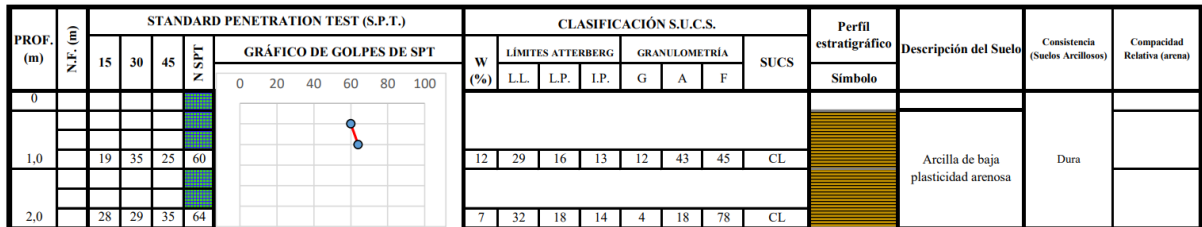


Tabla 38: Ubicación geográfica de los sondeos SPT's

N° de Sondeo	Coordenadas			Observaciones	
	X	Y	Z	Profundidad	Nivel freático
Sondeo 1	695796	9535402	1729	2m	---
Sondeo 2	695746	9535170	1656	6m	---
Sondeo 3	695740	9535028	1629	6m	---
Sondeo 4	695856	9535127	1658	6m	---
Sondeo 5	695800	9534896	1619	6m	---

SPT N° 1

Figura 85: Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 1.



Nota: Estsuelcon Cia. Ltda, Adaptado por el Autor (2024)

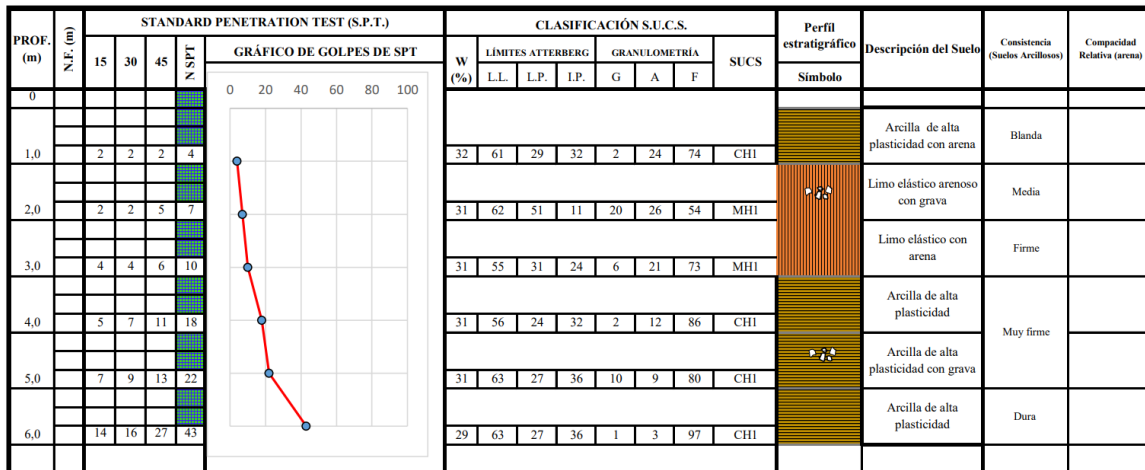
El SPT fue realizado en la Formación Santo Domingo en la parte Norte de la zona de estudio, se encuentra caracterizado por las siguientes coordenadas 695794mE/9535402mN (Datum WGS-84/Zona 17 Sur), se lo ha realizado en este lugar ya que ahí se presenta mayor incidencia de asentamientos de las viviendas.

La descripción del primer metro corresponde a unas arcillas arenosas de baja plasticidad, este material presenta una cohesión de 2,02 Kg/cm², con un contenido de humedad de 11,81 %, y un peso específico de 1,8 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 60, y una carga admisible de 3,46 Kg/cm² de consistencia dura.

El segundo metro corresponde a unas arcillas arenosas de baja plasticidad, este material presenta una cohesión de 2,15 Kg/cm², con un contenido de humedad de 7,42 %, y un peso específico de 1,8 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 64, y una carga admisible de 3,69 Kg/cm² de consistencia dura.

SPT N° 2

Figura 86: Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 2



Nota: Estsuelcon Cia. Ltda, Adaptado por el Autor (2024)

El SPT fue realizado en la Formación Santo Domingo en la parte central de la zona de estudio, se encuentra caracterizado por las siguientes coordenadas 695745mE/9535170mN (Datum WGS-84/Zona 17 Sur), se lo ha realizado en este lugar ya que ahí presenta mayor incidencia de los asentamientos de las viviendas.

La descripción del primer metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad con arena, este material presenta una cohesión de 0,13 Kg/cm², con un contenido de humedad de 32,28 %, y un peso específico de 1,7 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 4, y una carga admisible de 0,23 Kg/cm² de consistencia blanda.

El segundo metro corresponde a unos limos elásticos arenosos con grava, este material presenta una cohesión de 0,24 Kg/cm², con un contenido de humedad de 31,26 %, y un peso específico de 1,7 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 7, y una carga admisible de 0,40 Kg/cm² de consistencia media.

El tercer metro corresponde a unos limos elásticos con arena, este material presenta una cohesión de 0,34 Kg/cm², con un contenido de humedad de 31,19 %, y un peso específico de 1,8 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 10, y una carga admisible de 0,58 Kg/cm² de consistencia firme.

El cuarto metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad, este material presenta una cohesión de 0,69 Kg/cm², con un contenido de humedad de 30,97 %, y un peso específico de 1,8 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 18, y una carga admisible de 1,18 Kg/cm² de consistencia muy firme.

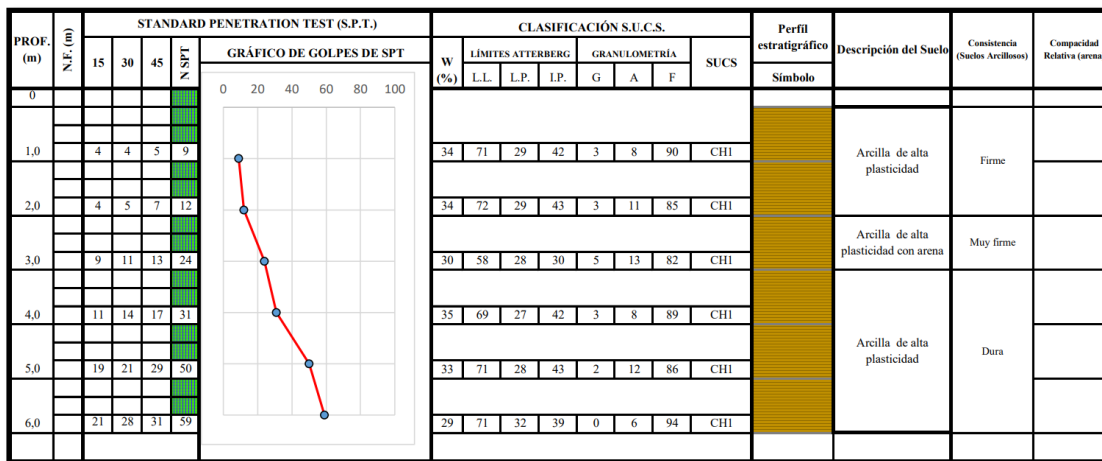
El quinto metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad con grava, este material presenta una cohesión de 0,84 Kg/cm², con un contenido de humedad de 31,46 %, y un peso

específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 22, y una carga admisible de $1,44 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia muy firme.

El sexto metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad, este material presenta una cohesión de $1,83 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de 29,07 %, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 43, y una carga admisible de $3,14 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia dura.

SPT N° 3

Figura 87: Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 3.



Nota: Estsuelcon Cia. Ltda, Adaptado por el Autor (2024)

El SPT fue realizado en la Formación Santo Domingo, en la parte Sur de la zona de estudio, se encuentra caracterizado por las siguientes coordenadas 695739mE/9535029mN (Datum WGS-84/Zona 17 Sur), se lo ha realizado en este lugar ya que ahí presenta mayor incidencia de los asentamientos de las viviendas.

La descripción del primer metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad, este material presenta una cohesión de $0,30 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de 34,03 %, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 9, y una carga admisible de $0,52 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia firme.

El segundo metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad, este material presenta una cohesión de $0,40 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de 33,85 %, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 12, y una carga admisible de $0,69 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia firme.

El tercer metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad con arena, este material presenta una cohesión de $0,81 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de 30,24 %, y un peso

específico de 1,8 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 24, y una carga admisible de 1,38 Kg/cm² de consistencia muy firme.

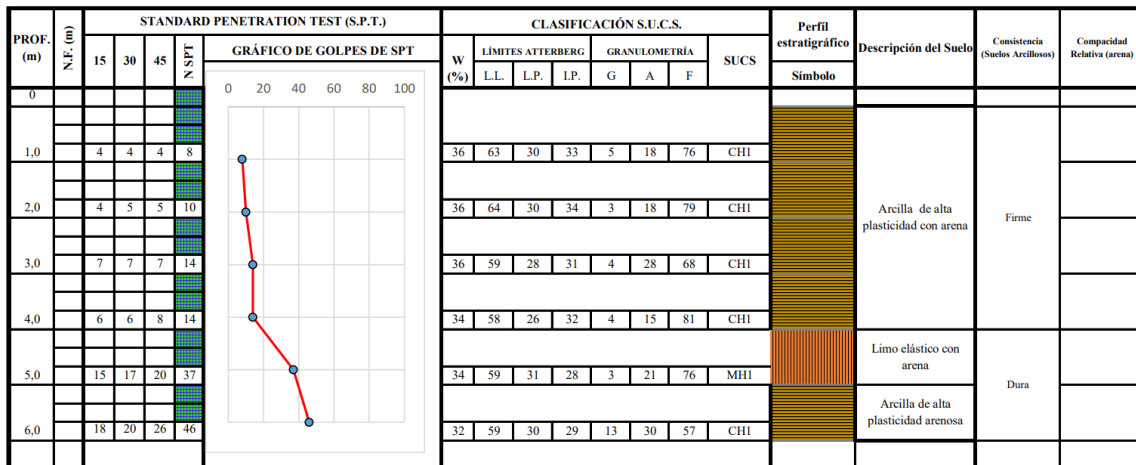
El cuarto metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad, este material presenta una cohesión de 1,18 Kg/cm², con un contenido de humedad de 34,53 %, y un peso específico de 1,8 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 31, y una carga admisible de 2,02 Kg/cm² de consistencia dura.

El quinto metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad, este material presenta una cohesión de 1,91 Kg/cm², con un contenido de humedad de 33,08 %, y un peso específico de 1,8 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 50, y una carga admisible de 3,27 Kg/cm² de consistencia dura.

El sexto metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad, este material presenta una cohesión de 2,51 Kg/cm², con un contenido de humedad de 28,95 %, y un peso específico de 1,8 Tn/m³, con un valor de N_{SPT} de 59, y una carga admisible de 4,31 Kg/cm² de consistencia dura.

SPT N° 4

Figura 88: Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 4



Nota: Estsuelcon Cia. Ltda, Adaptado por el Autor (2024)

El SPT fue realizado en la Formación Santo Domingo en la parte Nor-Este de la zona de estudio, se encuentra caracterizado por las siguientes coordenadas 695855mE/9535128mN (Datum WGS-84/Zona 17 Sur), se lo ha realizado en este lugar ya que ahí presenta mayor incidencia de los asentamientos de las viviendas.

La descripción del primer metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad con arena, este material presenta una cohesión de $0,27 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de $35,76 \%$, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 8, y una carga admisible de $0,46 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia firme.

El segundo metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad con arena, este material presenta una cohesión de $0,34 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de $35,70 \%$, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 10, y una carga admisible de $0,58 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia firme.

El tercer metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad con arena, este material presenta una cohesión de $0,47 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de $36,35 \%$, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 14, y una carga admisible de $0,81 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia firme.

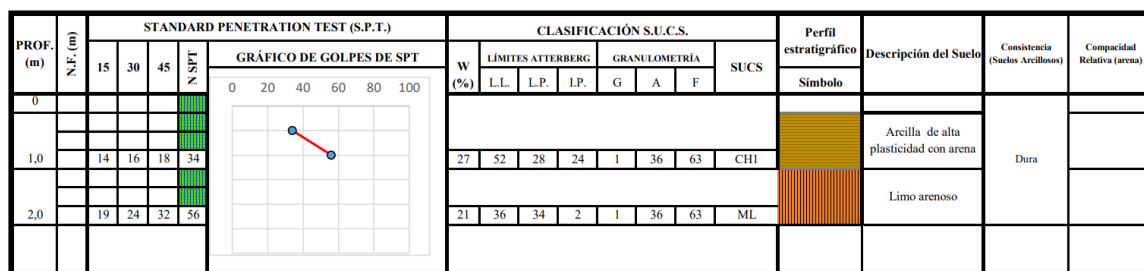
El cuarto metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad con arena, este material presenta una cohesión de $0,53 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de $33,65 \%$, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 14, y una carga admisible de $0,91 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia firme.

El quinto metro corresponde a limos elásticos con arena, este material presenta una cohesión de $1,41 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de $34,08 \%$, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 37, y una carga admisible de $2,42 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia dura.

El sexto metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad con arena, este material presenta una cohesión de $1,96 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de $31,76 \%$, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 46, y una carga admisible de $3,36 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia dura.

SPT N° 5

Figura 89: Clasificación y perfil estratigráfico del SPT 5



Nota: Estsuelcon Cia. Ltda, Adaptado por el Autor (2024)

El SPT fue realizado en la Formación San José en la parte Sur-Este, de la zona de estudio, se encuentra caracterizado por las siguientes coordenadas 695798mE/9534897mN (Datum WGS-84/Zona 17 Sur), se lo ha realizado en este lugar ya que ahí presenta mayor incidencia de los asentamientos de las viviendas.

La descripción del primer metro corresponde a unas arcillas de alta plasticidad con arena, este material presenta una cohesión de $1,14 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de 27,38 %, y un peso específico de $1,8 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 34, y una carga admisible de $1,96 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia dura.

El segundo metro corresponde a unos limos con arena, este material presenta una cohesión de $1,88 \text{ Kg/cm}^2$, con un contenido de humedad de 20,59 %, y un peso específico de $1,7 \text{ Tn/m}^3$, con un valor de N_{SPT} de 56, y una carga admisible de $3,23 \text{ Kg/cm}^2$ de consistencia dura.

Comportamiento de los suelos

Consistencia relativa (CR)

A continuación, en la tabla 39 se describen los cálculos de los respectivos valores de la consistencia relativa del suelo del área de estudio.

Tabla 39: Consistencia relativa (CR)

N-º de SPT	Consistencia relativa (CR)	Interpretación
SPT 1	1.56	Se establece que son suelos de consistencia rígida y presentan una resistencia a la compresión inconfiada (q_u) de 1.0 a 5.0 Kg/cm^2
SPT 2	1.02	Se establece que son suelos de consistencia rígida y presentan una resistencia a la compresión inconfiada (q_u) de 1.0 a 5.0 Kg/cm^2
SPT 3	0.91	Se establece que son suelos de consistencia rígida y presentan una resistencia a la compresión inconfiada (q_u) de 0.25 a 1.0 Kg/cm^2
SPT 4	0.82	Se establece que son suelos de consistencia rígida y presentan una resistencia a la compresión inconfiada (q_u) de 0.25 a 1.0 Kg/cm^2
SPT 5	1.54	Se establece que son suelos de consistencia rígida y presentan una resistencia a la compresión inconfiada (q_u) de 1.0 a 5.0 Kg/cm^2

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Índice de liquidez

A través de este parámetro se pudo conocer las características del suelo en estado plástico, y a su vez determinar el tipo de esfuerzos en que ha estado sometido el suelo a lo largo del tiempo. Es por ello que en la tabla 40 se describe cada valor de los SPT's, con su correspondiente valor de índice de liquidez.

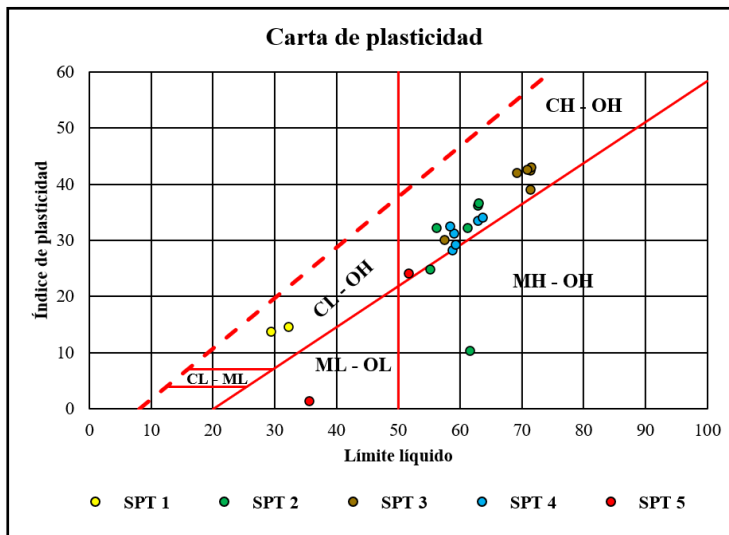
Tabla 40: Resultados del índice de liquidez (IL)

N-º de SPT	Índice de liquidez (IL)	Interpretación
SPT 1	0.56	Se establece que son suelos normalmente consolidados, se caracterizan por tener suelos naturales y no presentan alteración. Tienen un comportamiento plástico (son arcillas expansivas)
SPT 2	0.02	Se establece que son suelos preconsolidados, han sufrido presión efectiva y han sido alteradas por la erosión. Poseen un comportamiento plástico (son arcillas expansivas)
SPT 3	0.09	Se establece que son suelos preconsolidados, han sufrido presión efectiva y han sido alteradas por la erosión. Poseen un comportamiento plástico (son arcillas expansivas)
SPT 4	0.18	Se establece que son suelos preconsolidados, han sufrido presión efectiva y han sido alteradas por la erosión. Poseen un comportamiento plástico (son arcillas expansivas)
SPT 5	0.54	Se establece que son suelos normalmente consolidados, se caracterizan por tener suelos naturales y no presentan alteración. Tienen un comportamiento plástico (son arcillas expansivas)

Nota: Elaborado por: El Autor, (2024)

Carta de plasticidad

Figura 90: Carta de plasticidad considerando los ensayos SPT



Nota: (Obtenido de Braja 2012, p.74). Modificado por el Autor, (2024)

Tabla 41: *Tipología del suelo en base al índice de plasticidad con límite líquido*

Tipo de suelo (SUCS)	Cantidad de metros perforados (m)	Porcentaje (%)
CL - OH	2	9.1
CH - OH	16	72.72
ML - OL	1	4.55
MH - OH	3	13.63

En esta parte se realizó la evaluación de las características que presentan los suelos cohesivos del área de estudio, según la gráfica de la figura 90, y tabla 41. Aquí se evaluó a cada metro de los cinco sondeos SPT's realizados, dando un total de (22 m) perforados, considerando los parámetros del índice de plasticidad y el límite líquido, se logró clasificar las clases de suelo en base a la carta de plasticidad, según la clasificación SUCS. El 9.1 % corresponden a un tipo de categoría de suelos de clase CL u OH, que pertenecen a arcillas de plasticidad media, constituidas por minerales de (Montmorillonitas e Ilitas). Mientras que la mayor cantidad se encuentra representada con el 72.72 %, y se encuentran establecidas en un tipo de categoría de suelo de clase CH u OH, constituidas por arcillas de alta plasticidad tipo (Ilitas). En poca proporción se halla el 4.55 % pertenecientes a un tipo de suelo de clase ML u OL, compuestos por limos de compresibilidad baja y media con arcillas orgánicas tipo caolinitas. Por consiguiente, están con un 13.63 % los suelos con categoría de clase MH u OH, los cuales están conformados por limos de compresibilidad alta con arcillas orgánicas de tipo (Caolinitas y Halloysitas).

Índice de expansión

En esta parte se detalla la realización de los criterios para establecer el cambio de volumen y el potencial expansivo de las arcillas, mediante la comparación de los valores establecidos en las tablas 29 y 30 descritas en la metodología del comportamiento de las arcillas. A continuación, se describe la relación para cada uno de los SPT.

Se establece que las arcillas correspondientes al SPT 1, presentan un cambio de volumen y un potencial expansivo bajo.

Mientras que en las arcillas del SPT 2, se evidencian que poseen un cambio de volumen y un potencial expansivo moderado.

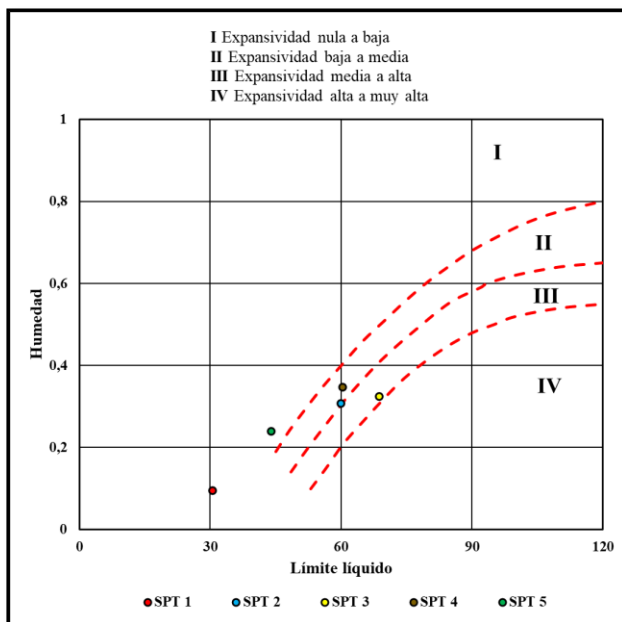
En cambio, en las arcillas del SPT 3, se describe que tienen un cambio de volumen y un potencial expansivo alto.

Así mismo se señala que las arcillas del SPT 4, presentan un cambio de volumen y un potencial expansivo moderado.

Por último, se indica que las arcillas del SPT 5, tienen un cambio de volumen y un potencial expansivo bajo.

También es importante señalar que se realizó la comprobación, mediante la representación gráfica del grado de expansividad de las arcillas, ver figura 91. A continuación se indica la comprobación para cada SPT.

Figura 91: *Criterio de expansividad de las arcillas*



Nota: (Obtenido de Ayala et al., 1986 p.43) Modificado por: El Autor, (2024)

6.3.1.2. Métodos indirectos.

6.3.1.2.1. Sondeo eléctrico vertical (S.E.V).

Con la finalidad de poder corroborar y correlacionar la información litológica concerniente a la zona de estudio, se efectuaron un total de cinco líneas SEV's, ya que a través de este método geoelectrico se pudo obtener las diferentes resistividades eléctricas preexistentes conformadas por los geomateriales. A continuación, en la figura 92 se evidencia la ubicación de cada uno de los ensayos SEV's dentro del área de estudio, así como también en la tabla 42 se señalan las aperturas de todas las líneas geoelectricas de exploración con sus respectivas coordenadas de localización geográfica UTM/WGS-84/Zona 17 Sur. Por consiguiente, en el Anexo 3 se indican los datos de los respectivos sondeos eléctricos verticales que se realizaron en campo.

Figura 92: Ubicación de los SEV's en el área de estudio.

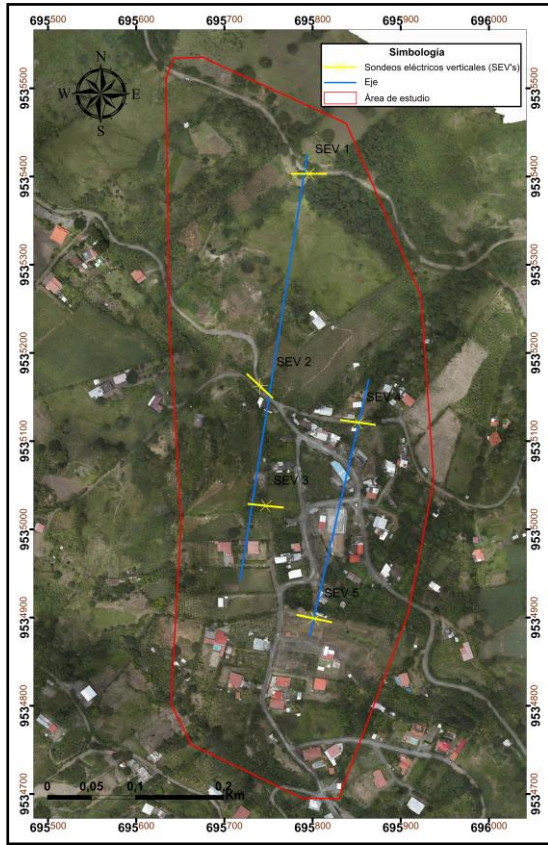


Tabla 42: Ubicación geográfica de los sondeos eléctricos verticales SEV's

Líneas SEV	Coordenadas UTM/WGS-84/Zona 17S			Apertura AB/2
	Norte (Y)	Este (X)	Cota (Z)	
Línea 1	695796	9535403	1729	100
Línea 2	695740	9535163	1653	70
Línea 3	695747	9535027	1630	70
Línea 4	695851	9535121	1656	70
Línea 5	695802	9534899	1620	100

SEV 1

- **Descripción general y resistividades obtenidas**

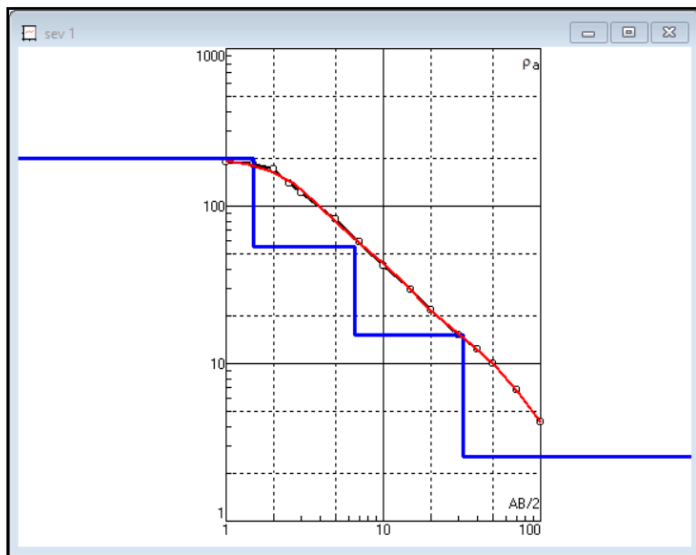
Este sondeo eléctrico vertical (SEV) se lo llevó a cabo en la parte alta de la zona de estudio, presenta una dirección de rumbo de S55°E. Sus coordenadas de ubicación se describen en la Tabla 42. Se obtuvo una apertura de estudio de AB/2 de 100 m, y una profundidad analizada de 27.45 m. A continuación, en la Tabla 43 se muestran los datos que fueron obtenidos en campo para su posterior interpretación en el software IPI2win.

Tabla 43: Datos obtenidos en campo del SEV 1

AB/2	MN	K	$\Delta V/I$	Resistividad ($\Omega * m$)
1	0.5	2.4	65,499	154,10
1.5	0.5	6.28	29,732	186,81
2	0.5	11.78	13,905	163,81
2.5	0.5	18.85	7,227	136,23

2.5	1	8.25	16,726	137,93
3	0.5	27.5	4,2338	116,38
3	1	12.6	9,511	119,52
5	1	37.7	2,3193	87,44
7	1	75.4	770,93	58,13
10	1	155.5	257,97	39,97
10	2.5	58.9	660,80	38,92
15	1	351.9		32,48
15	2.5	137.4	224,04	30,79
20	2.5	247.4	86,298	21,35
20	10	47.1	477,14	22,48
30	2.5	561.6	25,47	14,30
30	10	125.7	108,07	13,58
40	10	235.6	52,844	12,45
50	10	377	26,407	9,96
70	10	754	9,1039	6,86
100	10	1555.1	4,2219	4,22

Figura 93: Curvas de resistividad del SEV 1

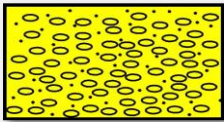
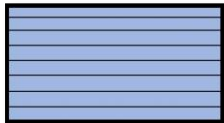
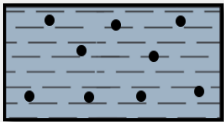
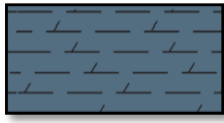


Análisis del perfil geoelectrico.

En base a la Tabla 44, se señala que existen cuatro capas. La primera capa concierne a materiales compuestos por areniscas poco competentes, y conglomerados bien compactados sin presencia de agua, presentan una resistividad de $1078.7 \Omega \cdot m$ con una potencia de 0.15 m. Los materiales de la segunda capa se encuentran constituidos por limos saturados con presencia de arcillas de baja plasticidad, en este estrato se evidencian resistencias $31.5 \Omega \cdot m$ con una potencia de 17.1 m. Los materiales de la tercera capa se encuentran conformados por limos con arcillas saturadas de alta plasticidad, este estrato presenta una resistividad de $9.9 \Omega \cdot m$ con una potencia de 10.2 m. Finalmente, los materiales litológicos de la cuarta capa se encuentran formados por

arcillas muy saturadas; además esta capa cuenta con resistividades de 1.00 $\Omega \cdot m$ y una potencia indefinida.

Tabla 44: Perfil geoléctrico del SEV 1

Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m)	Descripción litológica	Perfil estratigráfico
1078.7	0.15	Areniscas poco competentes, y conglomerados bien compactados sin presencia de agua	
31.5	17.1	Limos saturados con presencia de arcillas de baja plasticidad	
9.9	10.2	Limos con arcillas saturadas de alta plasticidad	
1.00	∞	Arcillas muy saturadas	

SEV 2

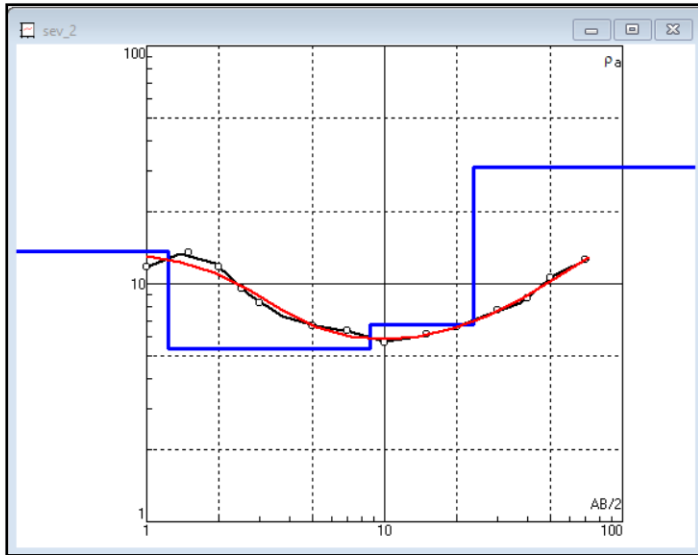
Este sondeo eléctrico vertical (SEV) se lo llevó a cabo en la parte central de la zona de estudio, presenta una dirección de rumbo de S37°E. Sus coordenadas de ubicación se describen en la Tabla 42. Se obtuvo una abertura de estudio de AB/2 de 70 m, y una profundidad analizada de 16,29 m. A continuación, en la Tabla 45 se muestran los datos que fueron obtenidos en campo para su posterior interpretación en el software IPI2win.

Tabla 45: Datos obtenidos en campo del SEV 2

AB/2	MN	K	$\Delta V/I$	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
1	0.5	2.4	5,0158	11,82
1.5	0.5	6.28	2,0001	12.57
2	0.5	11.78	936,48	11.03
2.5	0.5	18.85	472,04	8.90
2.5	1	8.25	1,2464	10.28
3	0.5	27.5	28257	7.77
3	1	12.6	704,70	8.86
5	1	37.7	189,02	7.13
7	1	75.4	89,754	6.77
10	1	155.5	40,653	6.32
10	2.5	58.9	32,800	5.47
15	1	351.9	16,29	5.73
15	2.5	137.4	50,705	6.97
20	2.5	247.4	29,772	7.35
20	10	47.1	133,57	6.29

30	2.5	561.6	15,47	8.69
30	10	125.7	58,518	7.35
40	10	235.6	36,736	8.66
50	10	377	28,043	10.57
70	10	754	16,811	12.68

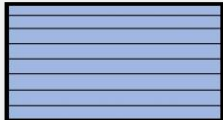
Figura 94: Curvas de resistividad del SEV 2

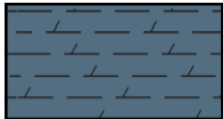
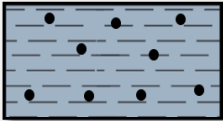
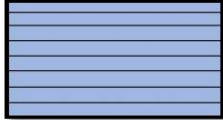


- **Análisis del perfil geoelectrico.**

En base a la Tabla 46, se señala que existen cuatro capas. La primera capa concierne a materiales compuestos por limos saturados con presencia de arcillas de alta plasticidad, presentan una resistividad de $23.64 \Omega \cdot m$ con una potencia de 0.4 m. Los materiales de la segunda capa se encuentran constituidos por arcillas muy saturadas de alta plasticidad, en este estrato se evidencian resistencias $5 \Omega \cdot m$ con una potencia de 9.8 m. Los materiales de la tercera capa se encuentran conformados por limos con arcillas saturadas de alta plasticidad, este estrato presenta una resistividad de $11.2 \Omega \cdot m$ con una potencia de 6.42 m. Finalmente, los materiales litológicos de la cuarta capa se encuentran formados por arcillas saturadas de baja plasticidad; además esta capa cuenta con resistividades de $21.7 \Omega \cdot m$ y una potencia indefinida.

Tabla 46: Perfil geoelectrico del SEV 2

Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m)	Descripción litológica	Perfil estratigráfico
23.64	0.4	Limos saturados con presencia de arcillas de alta plasticidad	

5	9.8	Arcillas muy saturadas de alta plasticidad	
11.2	6.42	Limos con arcillas saturadas de alta plasticidad	
21.7	∞	Arcillas saturadas de baja plasticidad	

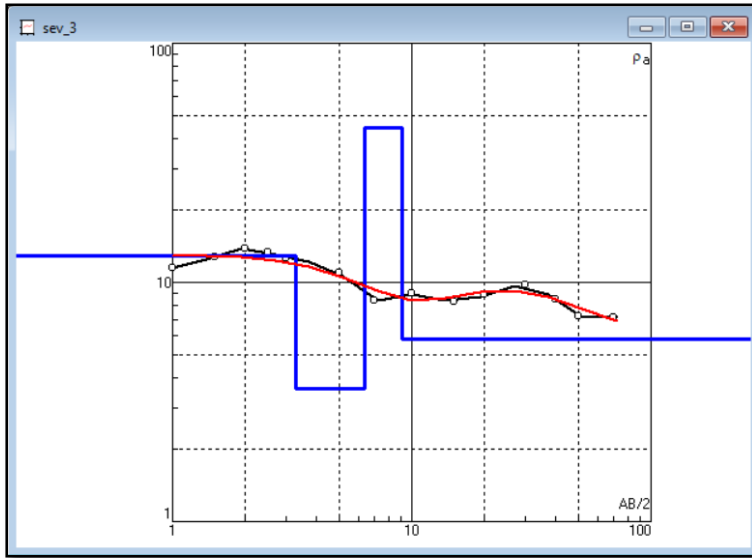
SEV 3

Este sondeo eléctrico vertical (SEV) se lo llevó a cabo en la parte baja de la zona de estudio, presenta una dirección de rumbo de S84°E. Sus coordenadas de ubicación se describen en la Tabla 42. Se obtuvo una abertura de estudio de AB/2 de 70 m, y una profundidad analizada de 29,5 m. A continuación, en la Tabla 47 se muestran los datos que fueron obtenidos en campo para su posterior interpretación en el software IPI2win.

Tabla 47: Datos obtenidos en campo del SEV 3

AB/2	MN	K	$\Delta V/I$	Resistividad ($\Omega * m$)
1	0.5	2.4	4,8841	11.51
1.5	0.5	6.28	2,0289	12.75
2	0.5	11.78	1,1778	13.88
2.5	0.5	18.85	707,38	13.33
2.5	1	8.25	1,7134	14.13
3	0.5	27.5	157,30	12.57
3	1	12.6	1,0583	13.30
5	1	37.7	306,18	11.54
7	1	75.4	118,40	8.93
10	1	155.5	58,026	9.02
10	2.5	58.9	159,97	9.42
15	1	351.9	22,80	8.02
15	2.5	137.4	66,682	9.17
20	2.5	247.4	61,709	10.32
20	10	47.1	170,38	8.03
30	2.5	561.6	19,24	10.80
30	10	125.7	74,167	9.31
40	10	235.6	36,247	8.54
50	10	377	19,100	7.2
70	10	754	54,877	7.15

Figura 95: Curvas de resistividad del SEV 3

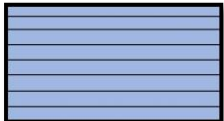


- **Análisis del perfil geoelectrico.**

En base a la Tabla 48, se señala que existen cuatro capas. La primera capa concierne a materiales compuestos por arcillas saturadas de alta plasticidad, presentan una resistividad de $17.27 \Omega.m$ con una potencia de 0.4 m. Los materiales de la segunda capa se encuentran constituidos por limos con arcillas saturadas de alta plasticidad, en este estrato se evidencian resistencias $6.25 \Omega.m$ con una potencia de 5.25 m. Los materiales de la tercera capa se encuentran conformados por arcillas muy saturadas de alta plasticidad, este estrato presenta una resistividad de $2.7 \Omega.m$ con una potencia de 10.5 m. Finalmente, los materiales litológicos de la cuarta capa se encuentran formados por limos saturados con presencia de arcillas de alta plasticidad; además esta capa cuenta con resistividades de $20.8 \Omega.m$ y una potencia indefinida.

Tabla 48: Perfil geoelectrico del SEV 3

Resistividad	Espesor	Descripción litológica	Perfil estratigráfico
17.27	0.4	Arcillas saturadas de alta plasticidad	
6.25	5.25	Limos con arcillas saturadas de alta plasticidad	
2.7	10.5	Arcillas muy saturadas de alta plasticidad	

20.8	∞	Limos saturados con presencia de arcillas de alta plasticidad	
------	----------	---	--

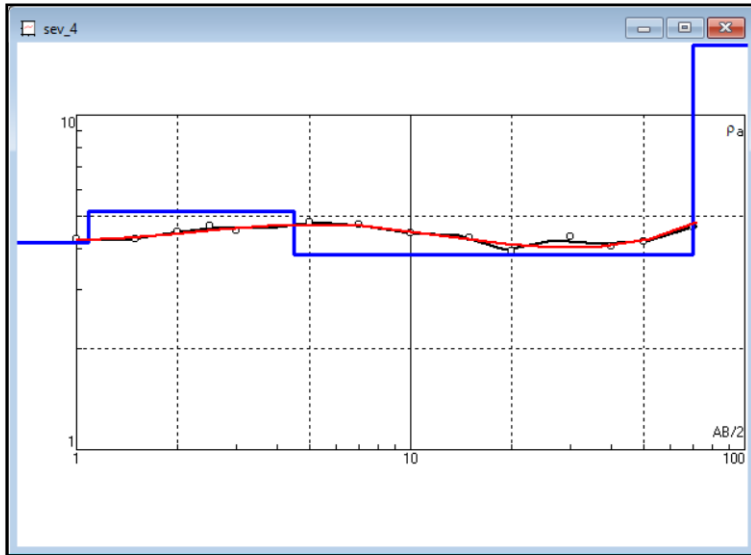
SEV 4

Este sondeo eléctrico vertical (SEV) se lo llevó a cabo en la parte Noroeste de la zona de estudio, presenta una dirección de rumbo de S82°E. Sus coordenadas de ubicación se describen en la Tabla 42. Se obtuvo una abertura de estudio de AB/2 de 70 m, y una profundidad analizada de 30,9 m. A continuación, en la Tabla 49 se muestran los datos que fueron obtenidos en campo para su posterior interpretación en el software IPI2win.

Tabla 49: Datos obtenidos en campo del SEV 4

AB/2	MN	K	$\Delta V/I$	Resistividad ($\Omega * m$)
1	0.5	2.4	1,70	4,01
1.5	0.5	6.28	638,05	4,01
2	0.5	11.78	357,07	4,21
2.5	0.5	18.85	233,27	4,40
2.5	1	8.25	517,65	4,27
3	0.5	27.5	163,64	4,50
3	1	12.6	352,36	4,43
5	1	37.7	111,39	4,20
7	1	75.4	53,572	4,04
10	1	155.5	23,814	3,70
10	2.5	58.9	66,273	3,90
15	1	351.9	11,063	3,89
15	2.5	137.4	33,038	4,54
20	2.5	247.4	16,00	3,96
20	10	47.1	83,359	3,93
30	2.5	561.6	7,24	4,07
30	10	125.7	32,445	4,08
40	10	235.6	18,173	4,28
50	10	377	12,445	4,69
70	10	754	8,64	6,51


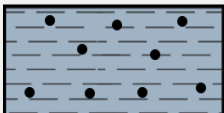
Figura 96: Curvas de resistividad del SEV 4



- **Análisis del perfil geoelectrico.**

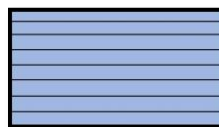
En base a la Tabla 50, se señala que existen cuatro capas. La primera capa concierne a materiales compuestos por limos con arcillas saturadas de alta plasticidad, presentan una resistividad de $5.01 \Omega \cdot m$ con una potencia de 1.2 m. Los materiales de la segunda capa se encuentran constituidos por arcillas muy saturadas de alta plasticidad, en este estrato se evidencian resistencias $3.28 \Omega \cdot m$ con una potencia de 7.2 m. Los materiales de la tercera capa se encuentran conformados por limos con arcillas saturadas de alta plasticidad, este estrato presenta una resistividad de $6 \Omega \cdot m$ con una potencia de 22.5 m. Finalmente, los materiales litológicos de la cuarta capa se encuentran formados por limos saturados con presencia de arcillas de alta plasticidad; además esta capa cuenta con resistividades de $21 \Omega \cdot m$ y una potencia indefinida.

Tabla 50: Perfil geoelectrico del SEV 4

Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m)	Descripción litológica	Perfil estratigráfico
5.01	1.2	Limos con arcillas saturadas de alta plasticidad	
3.28	7.2	Arcillas muy saturadas de alta plasticidad	
6	22.5	Limos con arcillas saturadas de alta plasticidad	

21

∞

Limos saturados con
presencia de arcillas de
alta plasticidad

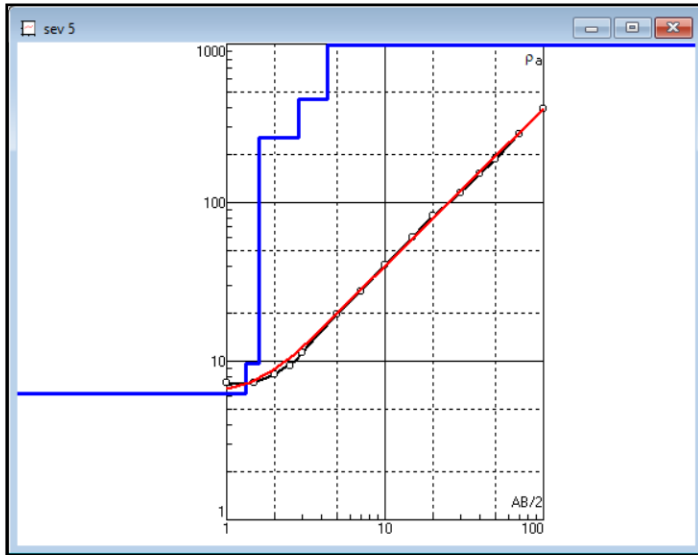
SEV 5

Este sondeo eléctrico vertical (SEV) se lo llevó a cabo en la parte baja de la zona de estudio, presenta una dirección de rumbo de S37°E. Sus coordenadas de ubicación se describen en la Tabla 42. Se obtuvo una abertura de estudio de AB/2 de 100 m, y una profundidad analizada de 43.55 m. A continuación, en la Tabla 51 se muestran los datos que fueron obtenidos en campo para su posterior interpretación en el software IPI2win.

Tabla 51: Datos obtenidos en campo del SEV 5

AB/2	MN	K	$\Delta V/I$	Resistividad ($\Omega * m$)
1	0.5	2.4	3,1210	7,35
1.5	0.5	6.28	1,1603	7,29
2	0.5	11.78	689,25	8,12
2.5	0.5	18.85	523,62	9,87
2.5	1	8.25	1,0647	8,78
3	0.5	27.5	429,26	11,8
3	1	12.6	827,61	10,4
5	1	37.7	496,03	18,7
7	1	75.4	342,18	25,8
10	1	155.5	233,43	36,3
10	2.5	58.9	696,55	41,3
15	1	351.9	166,83	58,7
15	2.5	137.4	486,59	66,88
20	2.5	247.4	307,59	76,1
20	10	47.1	1,8144	85,5
30	2.5	561.6	178,07	100
30	10	125.7	907,18	114
40	10	235.6	628,13	118
50	10	377	496,03	187
70	10	754	385,95	291
100	10	1555.1	248,86	387

Figura 97: Curvas de resistividad del SEV 5

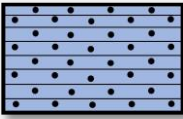
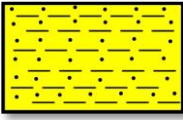
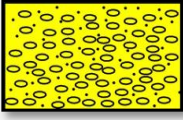


- **Análisis del perfil geoelectrico.**

En base a la Tabla 52, se señala que existen cinco capas. La primera capa concierne a materiales compuestos por limos con arcillas saturadas de alta plasticidad, presentan una resistividad de 5,88 $\Omega \cdot m$ con una potencia de 5 m. Los materiales de la segunda capa se encuentran constituidos por limos saturados, en este estrato se evidencian resistencias 47 $\Omega \cdot m$ con una potencia de 1.35 m. Los materiales de la tercera capa se encuentran conformados por areniscas y limos saturados, este estrato presenta una resistividad de 90 $\Omega \cdot m$ con una potencia de 19,2 m. Los materiales de la cuarta capa se encuentran establecidos por areniscas con presencia de lutitas compactas, este estrato presenta una resistividad de 180 $\Omega \cdot m$ con una potencia de 18 m. Finalmente, los materiales litológicos de la quinta capa se encuentran formados por areniscas poco competentes, con conglomerados bien compactados; en este estrato no existe la presencia de agua, además esta capa cuenta con resistividades de 1500 $\Omega \cdot m$ y una potencia indefinida.

Tabla 52: Perfil geoelectrico SEV 5

Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m)	Descripción litológica	Perfil estratigráfico
5.88	5	Limos con arcillas saturadas de alta plasticidad	
47	1.35	Limos saturados	

90	19.2	Areniscas y limos saturados	
180	18	Areniscas con presencia de lutitas compactas	
1500	∞	Areniscas poco competentes, y conglomerados bien compactados sin presencia de agua	

6.4. Resultados del tercer objetivo

6.4.1. Capacidad portante de la zona de estudio

Considerando los parámetros de capacidad portante de la litología preexistente en el área de estudio, se pudo efectuar la evaluación para una óptima profundidad de cimentación, además se determinó el tipo de zapata más conveniente para así evitar futuros colapsos que perjudiquen a la infraestructura que se desee emplazar dentro del área de estudio.

6.4.1.1. Capacidad de carga de los ensayos SPT.

La evaluación de la capacidad de carga de los ensayos SPT, sirvieron como base fundamental para determinar la valoración de los parámetros de capacidad portante de los suelos que abarcan la zona de estudio.

Tabla 53: Parámetros para el cálculo de la capacidad portante del suelo

Ensayos	N corregido	Factor de seguridad	(C) Cohesión	(γ) Densidad	(h) Altura de Cemento	(B) Ancho de cimiento
	(Ncorr)	(FS)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ³)	(m)	(m)
SPT 1	64	3	2.15	0.0018	2	2
SPT 2	7	3	0.24	0.0017	2	2
SPT 3	12	3	0.4	0.0018	2	2
SPT 4	10	3	0.34	0.0018	2	2
SPT 5	57	3	1.88	0.0017	2	2

6.4.2. Zonificación geotécnica

Tabla 54: Parámetros para la zonificación geotécnica del área de estudio.

Zonas	Tipo de suelo	Carga última (qu)	Capacidad portante (qadm)	Área	Porcentaje		
	(SUCS)	(Tn/m ²)	(Kg/cm ²)	(Tn/m ²)	(Kg/cm ²)	(Ha)	(%)
Zona 1	CH1-MH1	0-21.2	0-2.12	0-7.1	0-0.71	4.51	22.5
Zona 2	CH1	28.8-33.2	2.88-3.32	9.6-11.1	0.96-1.11	11.52	57.39
Zona 3	CL-CH1- ML	142.6-162.7	14.26-16.27	47.5-54.2	4.75-5.42	4.04	20.12

Zona 1

Esta zona se encuentra constituida geológicamente por lutitas de alta plasticidad, según la clasificación SUCS, pertenece a un suelo CH1-MH1. Presenta capacidades portantes muy bajas con un valor de 0.71 kg/cm², presenta una cohesión de 0.24 kg/cm² y una densidad de 1.8 Tn/m³.

Zona 2

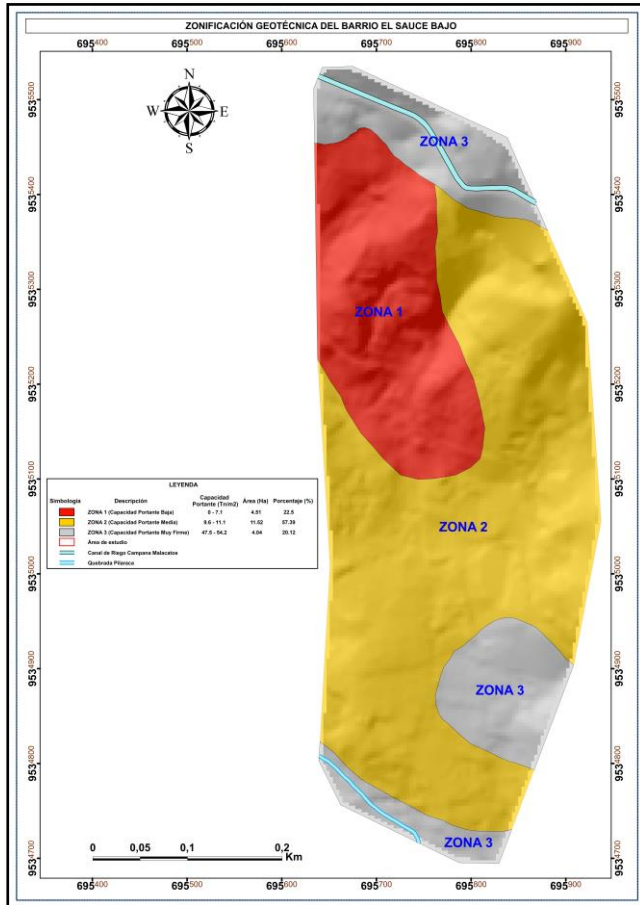
Esta zona se encuentra constituida geológicamente por microconglomerados, areniscas calcáreas y lutitas compactas de alta plasticidad, según la clasificación SUCS, se encuentran compuestas por un suelo de tipo CH1. Presenta capacidades portantes medias que van desde 0.96 hasta 1.11 kg/cm², presenta una cohesión promedio de 0.4 a 0.34 kg/cm² y una densidad promedio de 1.8 Tn/m³.

Zona 3

Estas zonas son las más estables dentro del área de estudio, ya que presentan capacidades portantes altas que van desde 4.75 hasta los 5.42 kg/cm². Presentan mayor cohesión que el resto de las anteriores zonas con rangos promedios de 1.88 a 2.15 kg/cm². Y densidades de 1.7 a 1.8 Tn/m³. Litológicamente se componen de conglomerados, areniscas y lutitas de baja plasticidad, además existe la presencia de material coluvial proveniente de fuentes ígneas y metamórficas.

A continuación, en la figura 98 y Anexo 7.8, se presenta el mapa temático elaborado a escala de detalle 1:1000, concerniente a la zonificación geotécnica en base a los parámetros de capacidad portante de los suelos del área de estudio.

Figura 98: Mapa de zonificación geotécnica del barrio El Sauce bajo.



7. Discusión

La zonificación geológica geotécnica realizada en el área de estudio, ayudara a determinar posibles amenazas de riesgo, fisuramiento del suelo, o un futuro colapso de infraestructuras, en vista de que los resultados geotécnicos ayudaran a mitigar su impacto y a su vez ayudaran a implementar medidas de mitigación, como la realización del mejoramiento del suelo en la zona que presenta una capacidad portante baja.

El estudio de las principales unidades litológicas desde un punto de vista geotécnico brinda la necesidad de conocer a detalle las características físico-mecánicas y el comportamiento de ese terreno, ya que existen problemas de hundimientos que afectan directamente a las viviendas de este sector, debido a la presencia de arcillas con laminaciones de yeso que al entrar en contacto con el agua se expanden, mientras que cuando se secan se contraen, generando asentamientos; además de areniscas con presencia masiva de carbonatos, que al entrar en contacto con el agua se disuelven y generan un reacomodo de las partículas del suelo.

Es importante destacar que la determinación de la capacidad portante del suelo del área de estudio mediante la ecuación de Meyerhof, en la cual se pudo evaluar y considerar que una zapata cuadrada de dimensiones de 2 m de profundidad por 2 metros de ancho, brinda mayor estabilidad a las edificaciones, debido a que a mayor profundidad existe mayor cohesión de los materiales y los vuelve más firmes, seguros y estables. Esto en comparación con zapatas de 1.5 m de profundidad y 1.5 de ancho, las cuales no son las más recomendables debido a que a menor profundidad la cohesión del suelo disminuye considerablemente, pudiendo generarse algun tipo de asentamiento o colapso de las infraestructuras.

La capacidad portante obtenida y comparada con los valores establecidos en la Norma Ecuatoria de Construcción (NEC 2015), sugieren que en las zonas de baja capacidad portante se debe realizar un mejoramiento del terreno a fin de obtener una consistencia y firmeza de los materiales del suelo. Mientras que en las partes que posee capacidades portantes altas son las más idóneas para emplazar obras de construcción civil.

La Norma Ecuatoria de Construcción (NEC, 2015), establece que, para el diseño y construcción de una infraestructura de carácter civil, deberá contar con tres fases; la primera comprende una fase de estudio geotécnico preliminar, la segunda representa a una fase de estudio geotécnico definitivo y por último la implementación de estructuras de contención.

8. Conclusiones

- Topográficamente la zona de estudio se encuentra establecida por altitudes de van desde los 1593 m.s.n.m hasta los 1757 m.s.n.m, además presenta un desnivel de 164 m.
- El área de estudio se encuentra conformada por pendientes ligeramente inclinadas que representan el 6.96% y un área de 1.4 ha; mientras que las pendientes fuertemente inclinadas abarcan un 39.65% y una extensión de 7.96 ha; en gran cantidad están las pendientes muy inclinadas con un 50.42% que equivale al 10.12 ha. Finalmente, en menor proporción están las pendientes empinadas con un 2.97% y un área de 0.6 ha.
- La zona de estudio presenta geoformas en mayor cantidad de tipo laderas heterogéneas equivalentes a un 44.58% y un área de 8.95 ha, también existen superficies disectadas que equivalen al 33.35% y un área de 6.69 ha, se hallan geoformas tipo relieve colinado medio con un 9.67% y un área de 1.94 ha, existe también la presencia de geoformas compuestas de coluvios aluviales con un 7.41% y un área de 1.49 ha, y finalmente están las geoformas representadas por relieves colinados bajos que abarcan una superficie de 4.99% y una extensión de 1 ha.
- El uso de suelo el área de estudio se encuentra conformada por los siguientes tipos: Cultivos anuales, representan a 9.82% y un área de 1.97 ha. Cultivos semipermanentes cubren el 26.39% y un área de 5.29 ha. Cultivo permanente, representan el 5.11% y un área de 1.03 ha. Vegetación arbustiva, abarcan el 11.35 y un área de 2.25 Ha. Vegetación herbácea, conforman el 31.74% y un área de 6.37 ha. Vías, corresponde al 4.35% y un área de 0.97 ha. Área poblada, abarca el 4.84% y un área de 0.87 ha. Área sin cobertura vegetal, conforman el 6.33% y un área de 1.27 ha. Cuerpos de agua natural, se encuentra conformada por una vertiente natural (quebrada Pilaraca) su superficie equivale al 0.05% y un área de 0.01 ha. Cuerpos de agua artificial, compuesta por el canal de riego Campana- Malacatos, y comprende un porcentaje de 0.18% y un área de 0.04 ha.
- La zona se encuentra conformada por cinco formaciones geológicas: la primera corresponde a la Formación San Francisco abarca un 6.32% y un área de 1.27 ha, que se caracteriza por poseer limolitas, areniscas y microconglomerados con clastos metamórficos. La segunda es la Formación Santo Domingo abarca una extensión de

64.42% y un área de 12.93 ha, está compuesta por intercalaciones de lutitas, metalutitas, areniscas, capas de yeso y carbón. Mientras que la tercera es la Formación San José, presenta un 24.38% y un área de 4.89 ha, se compone de materiales como areniscas calcáreas y microconglomerados con clastos volcánicos y metafóricos. En cuarto lugar, están los depósitos coluviales abracan un 2.64% y un área de 0.53 ha, están conformados por materiales alterados como granitos tipo (S) de origen volcánico. Y finalmente están los depósitos aluviales representan un 2.24% y un área de 0.45 ha, se conforman de gravas, cantos y bloques provenientes de las fuentes metamórficas ubicadas en las partes altas.

- De acuerdo al ensayo SEV 1, se obtuvo valores de resistividades bajas de 4.22 ($\Omega * m$) y altas de 186.81($\Omega * m$). En el ensayo SEV 2, se obtuvo valores de resistividades bajas con un promedio de entre los 5.47 y 12.68 ($\Omega * m$). En el ensayo SEV 3, se obtuvo valores de resistividades bajas con un promedio de entre los 7.2 y 14.13 ($\Omega * m$). De acuerdo al ensayo SEV 4, se obtuvo valores de resistividades bajas con un promedio de entre los 3.7 y 6.51($\Omega * m$). De acuerdo al ensayo SEV 5, se obtuvo valores de resistividades bajas de 7.29 ($\Omega * m$) y altas de 387($\Omega * m$).
- En los valores del ensayo del SPT 1 se obtuvo un valor promedio del número de golpes (Nspt) de 62 golpes, y un tipo de suelo compuesto por arcilla de baja plasticidad con presencia de arena y de consistencia dura. En el SPT 2 se obtuvo un valor promedio del número de golpes (Nspt) 17 golpes, se determinó un tipo de suelo compuesto por arcillas de alta plasticidad con presencia de arenas y gravas con consistencia blanda y dura. En el SPT 3 se obtuvo un valor promedio del número de golpes (Nspt) 31 golpes, se determinó un tipo de suelo compuesto por arcillas de alta plasticidad con presencia de arenas con una consistencia dura y muy rígida. En el SPT 4 se obtuvo un valor promedio del número de golpes (Nspt) 22 golpes, se determinó un tipo de suelo compuesto por arcillas de alta plasticidad con presencia de limos y arenas con consistencia dura y firme. En el SPT 5 se obtuvo un valor promedio del número de golpes (Nspt) 45 golpes, se determinó un tipo de suelo compuesto por arcillas de alta plasticidad con presencia de limos y arenas con consistencia dura.

- Los cinco ensayos de corte directo dieron como resultado valores promedio de ángulo de fricción de 21.76° , mientras que para la cohesión fueron de 0.20 Kg/cm^2 .
- El área de estudio se encuentra conformado por tres zonas geotécnicas, la primera zona comprende a capacidades portantes bajas de (0 a 0.71 Tn/m^2), mientras que la zona dos contiene capacidades portantes medias con valores que van de (9.6 a 11.1 Tn/m^2), la tercera zona presenta capacidades portantes altas, debido a que los materiales que conforman esta área son competentes y muy resistentes, presentan rangos que van de (47.5 a 54.2 Tn/m^2)

9. Recomendaciones

- Incluir dentro de futuros estudios el modelamiento hidrogeológico con la finalidad de poder conocer el comportamiento dinámico de las propiedades hidráulicas de los flujos de agua tanto superficiales como subterráneos, y así poder determinar la cantidad y calidad de agua que se presenta dentro del área de estudio, y de esta manera evitar posibles afectaciones al terreno.
- Al momento de implementar alguna obra de construcción civil se debe considerar los parámetros de capacidad portante y las características físico mecánicas del suelo descritos en esta presente investigación, además se debe considerar las dimensiones de una zapata cuadrada de 2 m de profundidad o mayores, por 2 m de ancho, debido a que a esa profundidad los suelos son más firmes y estables, por sus características de cohesión.
- En cuanto a los resultados y para mejorar la estabilidad del terreno se recomienda efectuar medidas de prevención, referente a posibles amenazas de origen geológico como son los hundimientos y deslizamientos, mediante la ayuda de planes de Ordenamiento Territorial y Uso y Gestión del Suelo.
- Elaborar un colector comunitario para recolectar las aguas servidas y de los pozos sépticos que son vertidas hacia el suelo del área de estudio, ya que en su mayoría han cumplido su vida útil.
- Realizar medidas de estabilización adecuadas como la implementación de una red de drenaje superficial (cunetas de desagüe) que ayude a evacuar el agua que transita por las principales vías del barrio el Sauce bajo. Además, elaborar un sistema de alcantarillado fitosanitario para que ayude a minimizar las fugas de aguas servidas que son producidas en el sector.
- Debido a que gran parte del sector de estudio se encuentra caracterizado por poseer un uso de suelo para actividades agrícolas, se debe implementar un sistema de riego por goteo o por aspersores, con la finalidad de no sobrecargar al suelo con agua producto del uso indiscriminado de este recurso, a fin de evitar daños a las infraestructuras y futuros colapsos (hundimientos, reptación) del terreno.

10. Bibliografía

- Achurra Reveco, L. (2003). Modernización e Integración Transversal de la Enseñanza de Pregrado en Ciencias de la Tierra, Introducción a la descripción de Rocas Sedimentarias. [Universidad de Chile]. Obtenido de http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/mine_mod23.pdf
- Arciniega, F. (2019). Introducción a la prospección geofísica. Obtenido de https://www.academia.edu/19225480/Introduccion_a_la_Geofisica
- Arias, D. E., Echeverri Ramírez, O., & Hoyos Patiño, F. (2012). Relaciones Geoeléctricas en la Exploración Geotécnica. [Universidad Nacional de Colombia]. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/31252>
- Arízaga Mora, J. D. (2014). Análisis Geotécnico de las causas por las cuales ocurrió el colapso de la losa del piso de la cancha del pabellón de comunidad terapéutica del Centro de Rehabilitación Social (CRS) Cuenca y solución Técnica de la problemática. Obtenido de [Tesis de Grado, Universidad del Azuay]: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3632>
- Ayala Carcedo, F. J. (2006). Manual de Ingeniería de taludes (2ª Ed). Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- Ayala Carcedo, F. J., Ferrer Gijon, M., Oteo Mazo, C., & Salinas Rodríguez, J. L. (1986). Mapa predictor de riesgos por expansividad de arcillas en España a escala 1:1000.000. Obtenido de https://info.igme.es/SidPDF/065000/080/65080_0001.pdf
- Basila, P. (2013). Métodos de exploración de suelos. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Berry, P. L., & Reid, D. (1993). Mecánica de suelos. Obtenido de <https://www.udocz.com/apuntes/24352/mecanica-de-suelos-peter-l-berry-david-reid>
- Blyth, F., & Freitas, M. (1984). A Geology for Engineers (7ma Ed). Butterworth-Heinemann.
- Bowles, J. E. (1981). Manual de laboratorio de suelo en ingeniería civil. Obtenido de https://www.academia.edu/38337330/Josephe_e_bowles_manual_de_laboratorio_de_suelos
- Braja, D. M. (2015). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Cengage Learning Editores, S.A.
- Braja, M. D. (2012.). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. Cengage Learning.
- Cantos Figuerola, J. (1987). Tratado de Geofísica Aplicada (3ª. ed). Litoprint.
- Cardozo Siachoque, L. M., & Vargas Pérez, P. A. (2015). Estudio geoelectrico a partir de método sev pra la modelación de acuíferos en los sectores de Iza, Cuítiva y Firavitoba- Departamento de Boyacá. [Tesis de Grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de

- Colombia]. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1584/1/TGT-319.pdf>
- Carmona Álvarez, J. S. (2014). Estudio de resultados ensayo de penetración estandar (SPT), para el factor de corrección (Cn) y el ángulo de fricción (ϕ) del suelo usando diferentes tipos de correlaciones [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2572/1/SPT_factor_CN_%C3%A1ngulo_%C3%98_diferentes_correlaciones.pdf
- Cassan, M. (1982). Ensayos In Situ En Mecanica Del Suelo. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=-FHAaR4yRYQC&printsec=frontcover&dq=mecanica+del+suelo&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=mecanica%20del%20suelo&f=false
- Cegarra Sánchez, J. (2011). Metodología de la investigación científica y tecnológica. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Cepeda Naula, R. A. (2017). Investigación y desarrollo metodológico del uso de vehículo aéreo no tripulado (UAV) en las geociencias. [Trabajo de Grado, Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8231>
- Clark, J. A., & Page, R. (2011). Inexpensive Geophysical Instruments Supporting Groundwater Exploration in Developing Nations. Obtenido de https://www.scirp.org/pdf/JWARP20111000002_23639434.pdf
- Crespo Villalaz, C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones. Obtenido de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>
- Custodio, E., & Ramón Llamas, M. (1983). Hidrología subterránea. (S. Ediciones Omega, Ed.) Obtenido de https://www.academia.edu/41067940/Custodio_Llamas_Tomo
- De la Vega Ortega, M. (2002). Problemas de ingeniería puesta a tierra. Limusa. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=hHDSpCIE7-IC&pg=PA58&dq=mapa+geotecnicos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj4Zv2xfX6AhUFbDABHTBOCSUQ6wF6BAgCEAE#v=onepage&q=mapa%20geotecnicos&f=false>
- Díaz Rodríguez, J. A. (2014). Mecánica de suelos. naturaleza y propiedades. Obtenido de https://kupdf.net/download/jorge-abraham-d-iacute-az-rodr-iacute-guez-mecanica-de-suelos-naturaleza-y-propiedades_58acce506454a74a26b1e90b_pdf
- Duque Escobar, G. (2020). Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145>
- Echeveste, H. (2018). Manual de levantamiento geológico: Una introducción a la geología de campo. Obtenido de Universidad Nacional de la Plata: <https://core.ac.uk/download/pdf/162126246.pdf>

- Fárez Buenaño, C. A. (2010). Implantación de una estación permanente GNSS en el Campus de la Universidad Técnica Particular de Loja. Obtenido de [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]:
<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2467/1/Tesis.pdf>
- Figueroa, P. (2016). Geotecnia y métodos de prospección. Obtenido de Universidad Nororiental Privada Gran Mariscal de Ayacucho:
https://www.academia.edu/29130306/Geotecnia_y_m%C3%A9todos_de_prospecci%C3%B3n
- Forsythe, W. (1975). Manual de laboratorio, física de suelos. San José, Costa Rica: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura.
- Freire Serrano, V. A. (2010). Estudio Geológico-Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área Tres de la Cuenca de Malacatos. Obtenido de [Trabajo de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]:
<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/13008/1/Freire%20Serrano%20Ver%203%b3nica%20Aydehe.pdf>
- García, J. (2015). Uso de drones para la actualización cartográfica, Aragón, España. Obtenido de Nosolosig: <http://fotogrametriapractica.blogspot.com/2015/03/uso-de-drones-para-la-actualizacion.html>
- González Caballero, M. (2001). El terreno (1ª Ed). Universidad Politécnica de Cataluña. Obtenido de <https://books.google.com/cu/books?id=0srD--d-TQMC&printsec=frontcover&hl=es&rview=1#v=onepage&q&f=false>
- González de Vallejo, L. I. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación.
- Graux, D. (1975). Fundamentos de mecánica del suelo, proyecto de muros y cimentaciones. Obtenido de
https://books.google.com.ec/books?id=96EEoaVynI4C&printsec=frontcover&dq=fundamentos+de+mecanica+de+suelos&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=fundamentos%20de%20mecanica%20de%20suelos&f=false
- Hernández Gutiérrez, L. E., & Santamarta Cerezal, J. C. (2015). Ingeniería Geológica en terrenos volcánicos métodos, técnicas y experiencias en las islas Canarias. Madrid: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. Obtenido de Colegio Oficial de Geólogos:
https://www.academia.edu/38800861/INGENIER%C3%8DA_GEOL%C3%93GICA
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). Metodología de la investigación. Mexico DF: McGraw-Hill.
- Herráez Garrido, F., & Moreno Vega, A. (2019). Ingeniería de vías agroforestales. (E. Mundi-Prensa, Ed.) España. Obtenido de
https://books.google.com.ec/books?id=iMCXDwAAQBAJ&pg=PA254&dq=calicata+geotecnica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiVxK_cxfX5AhURTjABHU6HAaYQ6AF6BAgJEAI#v=onepage&q&f=false
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering. Obtenido de




- https://www.academia.edu/34741616/AA_Holtz_and_Kovacs_An_Introduction_to_Geotechnical_Engineering
- Hoyos Patiño, F. (2001). Geotecnia diccionario básico. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia:
https://www.academia.edu/1329261/GEOTECNIA_DICCIONARIO_B%3%81SICO
- Iakubovskii , I. V., & Liajov , L. L. (1980). Exploración eléctrica . Obtenido de
https://www.academia.edu/38255008/Exploracion_electrica_iakubovskii
- IGM. (2008). Instituto Geográfico Militar del Ecuador. Quito, Ecuador. Obtenido de
https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=43
- Iriondo, M. (2009). Introducción a la geología (3ª Ed). Editorial Brujas. Obtenido de
https://books.google.com.pe/books?id=4i1_97TllyoC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). Mecánica de suelos Tomo 1 (Fundamento de la mecánica de suelos). México: Ed:Limusa.
- Klein, C., & Hurlbut. , C. (1997). Manual de Mineralogía (4ta Ed). REVERTETE, S. A.
- Lambe, W. T., & Whitman, R. V. (1991). Mecánica de suelos. Obtenido de
https://www.academia.edu/44624675/Mec%3%A1nica_de_Suelos_T_William_Lambe_Robert_V_Whitman
- López Menardi, R. E. (2003). Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración. Obtenido de [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica Nacional]:
<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-el-salvador/mecanica-de-suelos/spt-astm-d-1586-ensayo-de-penetracion-estandar/16920069>
- Manchego Barrera, A. M., & Peña Espitia, G. A. (2015). Estudio geológico y caracterización geotécnica en el sector rural de la vereda Helechal y Guasimal del municipio de Tena departamento de Cundinamarca [Trabajo de grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Obtenido de
<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1578/1/TGT-314.pdf>
- Mastropiero, M. (2019). El hormigón para arquitectos. (2. ed, Ed.) Obtenido de
<https://books.google.com.ec/books?id=PhstEAAAQBAJ&pg=PA91&dq=SUELOS+SUCS&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwibitD8ofD6AhWRQzABHftCNkQ6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=SUELOS%20SUCS&f=false>
- Monroe, J., Wicander, R., & Pozo Rodríguez, M. (2008). Geología Dinámica y evolución de la Tierra (4ta Ed). PARANINFO, S.A.
- Navarrete Cuesta, E. (20 de Octubre de 2017). Apuntes de estratigrafía y sedimentación. Obtenido de Researchgate: <https://www.researchgate.net/project/APUNTES-DE-MATERIAS>

- NEC. (2015). Norma Ecuatoria de Construcción . Obtenido de Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/GUIA-6-GEOT%C3%89CNICA.pdf>
- Orellana Silva, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Paraninfo.
- PDOT . (2015). Obtenido de (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Malacatos), Periodo 2015-2019: <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>
- Peña Carbajal, E. B., & Peña Carbajal, L. C. (2020). Propuesta de levantamiento de tipos de fallas asistido por el sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS) para intervenir en carreteras de bajo volumen en Lima Provincias. [Trabajo de Grado, Universidad Ricardo Palma]. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3899>
- Peña Llopis, J. (2010). Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio. Editorial Club Universitario. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=BFDuDQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sistemas+de+informaci%C3%B3n+geogr%C3%A1fica&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=sistemas%20de%20informaci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica&f=false
- Rigol Sanchez, J. P., Rodríguez Galenao, V. F., Pardo Iguzquiza, E., & Chica Rivas, M. (Abril de 2011). Análisis e integración de datos espaciales en investigación de recursos geológicos mediante Sistemas de Información Geográfica. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/262668902_Analisis_e_integracion_de_datos_espaciales_en_investigacion_de_recursos_geologicos_mediante_Sistemas_de_Informacion_Geografica
- Rivera Mantilla, H. (2005). Geología General (2ª. Ed). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Sáez, E. (2010). Fundamentos de Geotecnia. Pontificia Universidad Católica de Chile. Obtenido de https://www.academia.edu/31477045/Fundamentos_de_Geotecnia_Esteban_S%C3%A1ez
- Sánchez García, M. (2017). Uso y aplicaciones de drones en minería. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cataluña]. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112714/PFC%20Manuel%20Sánchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santos Preciado, J. M. (2004). Sistemas de información geográfica. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), . Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=xjbeDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=sistemas+de+informacion+geografica&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- Sarango Chalán, J. L. (2016). Evaluación de riesgo por deslizamiento en los sectores de Gunudel-Gulagpamba pertenecientes a la parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja. Obtenido de [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/17318>
- SGM. (2020). Servicio Geológico Méxicano, Geotecnia. Obtenido de Gobierno de México: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Geotecnia.htm
1
- Solís Alulima, B., Corrochano, D., & Reyes, P. (2018). Revisión morfoestructural y tectónica del norte de la cuenca Malacatos- Vilcabamba (Mioceno, provincia de Loja, sur de Ecuador). *Latitud, GEO*, 1(1), págs. 7-8. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Byron-Solis-Alulima/publication/336239633_Revision_morfoestructural_y_tectonica_del_norte_de_la_cuenca_Malacatos-Vilcabamba_Mioceno_provincia_de_Loja_sur_de_Ecuador/links/5d95feaaa6fdccfd0e742f2e/Revision-morfoestructu
- Suárez Díaz, J. (2009). Deslizamientos. Análisis geotécnico, volumen I . Obtenido de <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra, Una introducción a la geología física* (8va. Ed). Pearson Educación S. A.
- Thornbury, W. (1960). *Principios de geomorfología* (1ª Ed). Kapelus.
- Torres Nieto, Á., & Villate Bonilla, E. (2001). *Topografía* (4 ta ed.). Escuela Colombiana De Ingeniería. Obtenido de https://www.academia.edu/39249795/Topografia_Alvaro_Torres_Nieto_4ta_Edicion
- Villareal Moncayo, J. V. (2015). Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de control. [Trabajo de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Obtenido de <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/13079/1/Villareal%20Moncayo%20Joffre%20Vicente.pdf>
- Villón Béjar, M. (2004). *Hidrogeología* (1ª. Ed). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Obtenido de https://www.academia.edu/31455572/Ediciones_Vill%C3%B3n

11. Anexos

Anexo 1: Ficha de descripción de afloramientos.

	Universidad Nacional de Loja Facultad de Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial				
INFORMACIÓN GENERAL					
Afloramiento N°:	1	Fecha:	2023-10-15		
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra				
INFORMACIÓN DE UBICACIÓN					
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56	x	
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		UTM	695831	9534978
Dimensiones		DATOS ESTRUCTURALES		Tipo de afloramiento	
Potencia:	1.50 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	4 m	Buzamiento:		Antrópico:	x
SITUACIÓN GEOLÓGICA					
Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo		
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico		
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario		
Fotografía:					
					
<p>Descripción: El afloramiento se conforma por rocas sedimentarias estratificadas en forma horizontal, predominando las lutitas que se encuentran bastante meteorizadas y húmedas presentan un color café claro a marrón, son poco sedosas al tacto, con intercalaciones de areniscas de colores blanquecinos y ásperos al tacto, también se hallan lodolitas y limonitas de color gris a café claro.</p>					



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	2	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695841	9535025	1635

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	5 m	Natural:
Longitud:	10 m	Antrópico:
		x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En el afloramiento se evidencia 1 m de potencia de material de relleno con variaciones poco consolidadas (material de lastre), debajo de esta capa también se observa material sedimentario perteneciente a la Fm. Santo Domingo, se encuentre en estado húmedo, depositado en forma horizontal, conformada por arcillolitas, lodolitas color café claro, que al tocarlas son sedosas.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	3	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

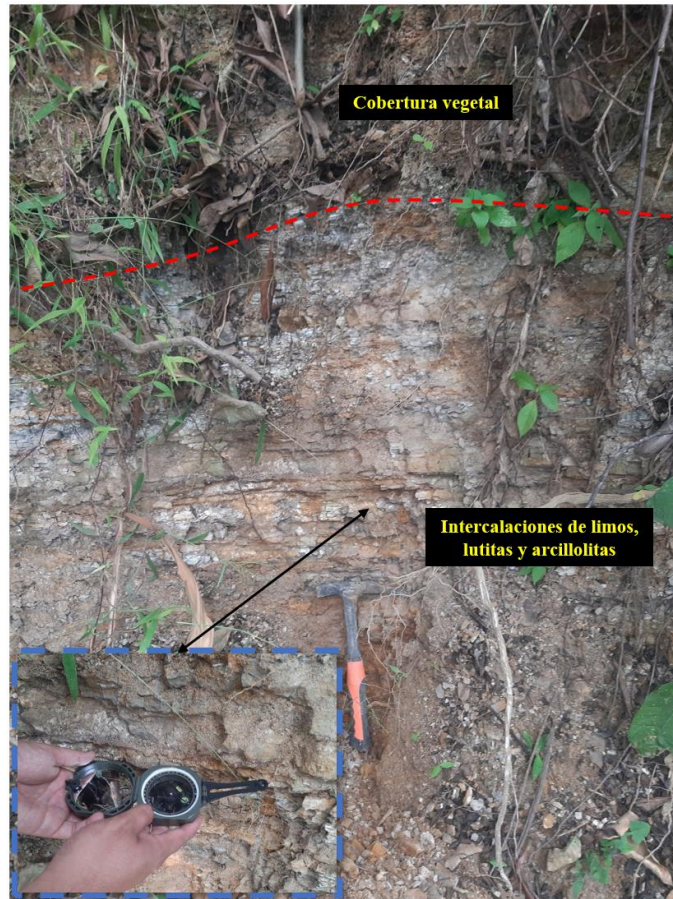
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695889	9534944	1640

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	1.50 m	Rumbo: 155 NE
Longitud:	4 m	Buzamiento: 5°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En el afloramiento se evidencia 0.5 m de potencia cobertura vegetal color café oscura debido a la gran cantidad de materia orgánica que se encuentra dentro de ella. También se observa una potencia de 1.50 m de intercalaciones de arcillolitas grises con lutitas que son sedosas al tacto de color blanquecino a café claro con areniscas que son ásperas al tacto de color café marrón, estas capas se encuentran depositadas horizontalmente.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	4	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

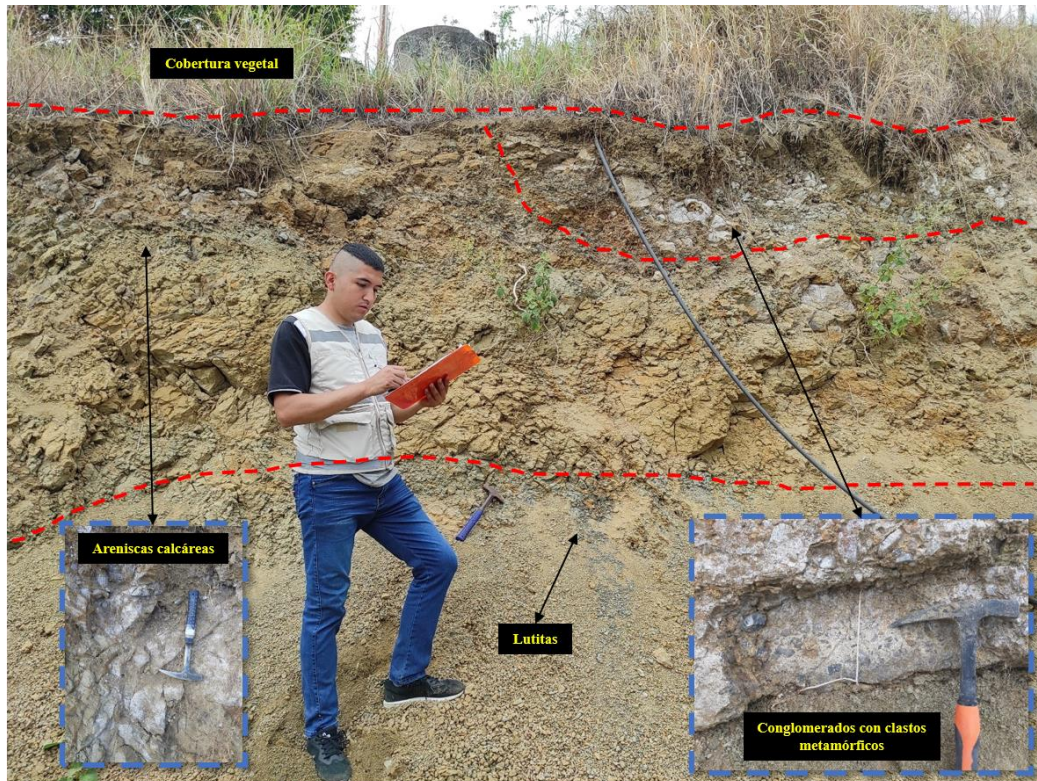
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		696054	9534649	1641

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	6 m	Rumbo: 165 NE
Longitud:	20 m	Buzamiento: 15°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San José y Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En el afloramiento se observa la presencia de dos formaciones la primera corresponde a la Fm. San José, la cual presenta una capa de conglomerados con clastos metamórficos de 2 a 5 cm de color café claro a marrón, también se evidencia areniscas meteorizadas de color café claro, que son ásperas al tacto. Mientras que en la Fm. Santo Domingo se evidencia una capa de lutitas de 20 cm de potencia de color gris y sedoso al tacto, debajo de esta, se observa una capa de areniscas poco meteorizadas de color café claro. Dentro de esta capa de areniscas se evidencia la presencia de meta areniscas de color café verdoso.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	5	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695827	9534709	1594

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	3 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	15 m	Buzamiento:		Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San José	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En el afloramiento se observa la presencia de una capa de cobertura vegetal de 0.50 cm de potencia, mientras que también se observa la presencia de una capa de 2.5 m de potencia de areniscas calcáreas bastante meteorizadas de color café claro, estos materiales presentan efervescencia al aplicar ácido clorhídrico, son ásperas al tacto, estos materiales se encuentran depositados en forma subhorizontales.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	6	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

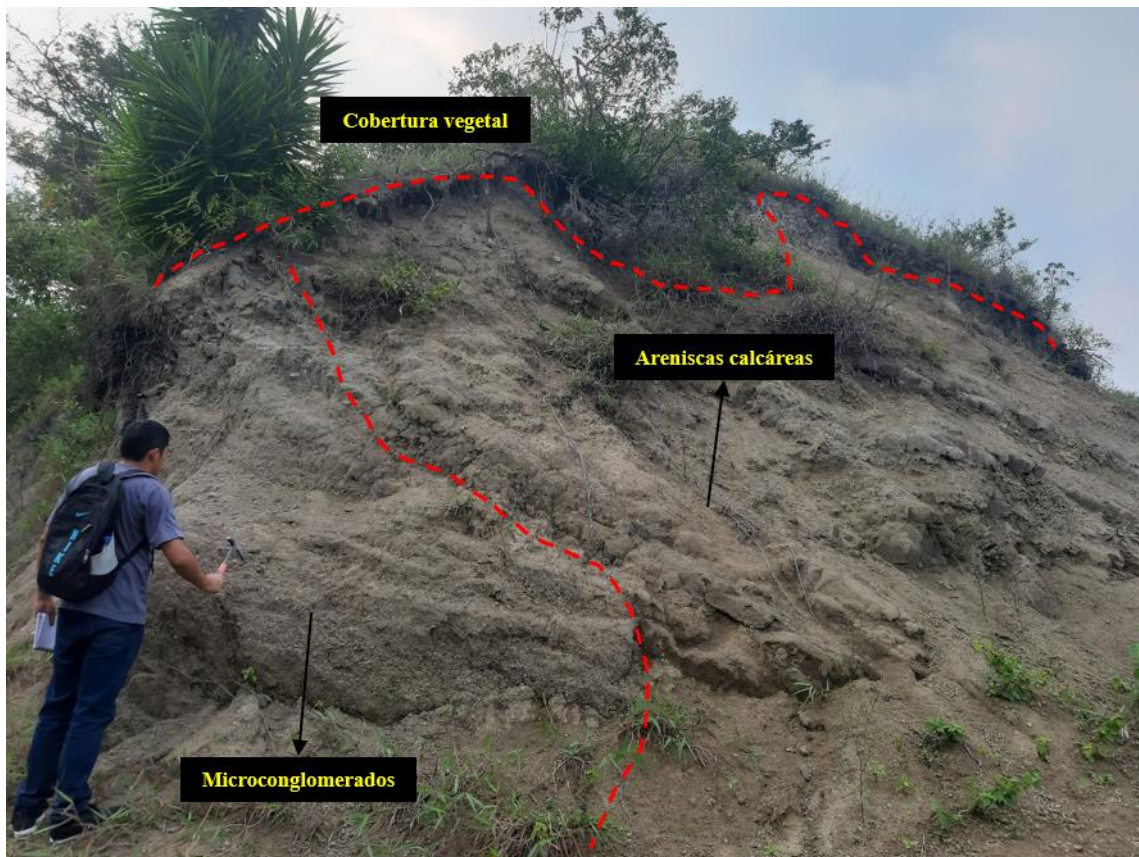
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695555	9534699	1622

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	8 m	Rumbo:	172NE	Natural:	
Longitud:	18 m	Buzamiento:	35°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San José	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En el afloramiento se puede evidenciar la presencia de material correspondiente a la Fm. San José, conformada por una capa de areniscas calcáreas compactas que están bastante meteorizadas, de color café grisáceo y ásperas al tacto, en su interior de su lado izquierdo también se puede observar un lente de microconglomerados angulosos con tamaños de clastos que van desde 1 a 5 cm.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	7	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

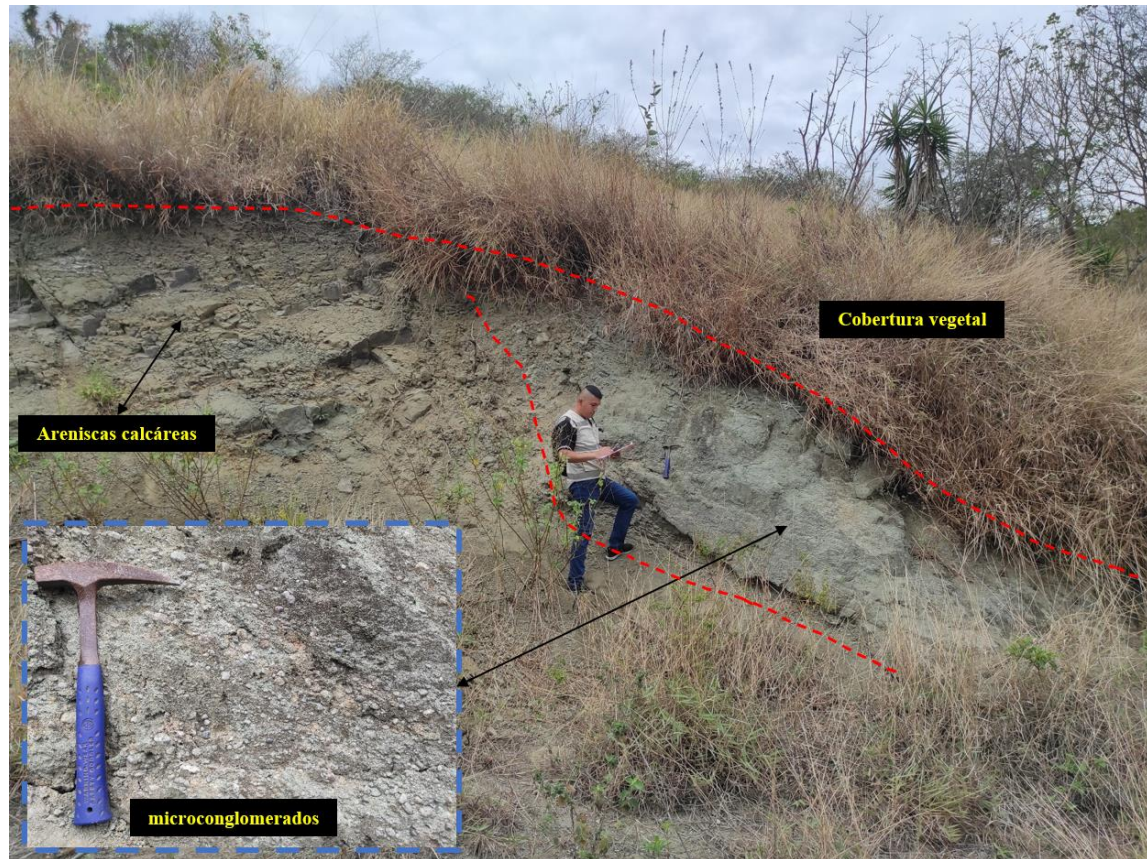
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695508	9534669	1621

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	7 m	Natural:
Longitud:	22 m	Antrópico:
		x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San José	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En el afloramiento se observa la presencia de materiales conformados por la Fm. San José, en el lado izquierdo de la fotografía se aprecia que está compuesta de capas de metareniscas bien compactadas de grano fino, de color café claro grisáceo y ásperas al tacto, en la parte derecha de la fotografía se observa un material compuesto por conglomerados de matriz arenosa compactada, con clastos angulosos de tamaños que oscilan desde los 2 hasta los 10 cm



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	8	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695537	9534688	1617

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	5 m	Rumbo: 15° NE
Longitud:	11 m	Buzamiento: 35°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San José	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En el afloramiento se puede observar la estratificación preferencial que presentan las areniscas calcáreas que se encuentran bastante meteorizadas, presentan un color gris claro, ásperas al tacto, en su lado derecho de la fotografía se observa también materiales conformados por limos y microconglomerados angulosos con tamaños de clastos de 1 a 3 cm.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	9	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695540	9534785	1610

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	3.5 m	Rumbo:
Longitud:	10 m	Buzamiento:
		Natural:
		Antrópico:

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San José	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En el lado izquierdo de la fotografía del afloramiento se observa la presencia de material bastante meteorizado, compuesto por conglomerados con variedad de tamaños de clastos angulosos y redondeados, con tamaños desde los 3 a 10cm, poco compactos, con una matriz de arenosa de fina a gruesa, de color gris a café claro y son ásperas al tacto. Mientras que en flanco derecho del afloramiento se puede evidenciar la presencia de limos bastante meteorizados de tonalidad gris blanquecino.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	10	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695691	9535179	1647

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	1.5 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	5 m	Buzamiento:		Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa la presencia de material bastante meteorizado, compuesto por lodolitas y lutitas sedosas de tonalidad café claro a marrón, esta coloración se debe especialmente por que presenta una oxidación de minerales ferrosos debido a que el material se encuentra húmedo, ya que se puede evidenciar que muy cerca a eta afloramiento discurre agua superficial proveniente de la parte alta del barrio.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	11	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

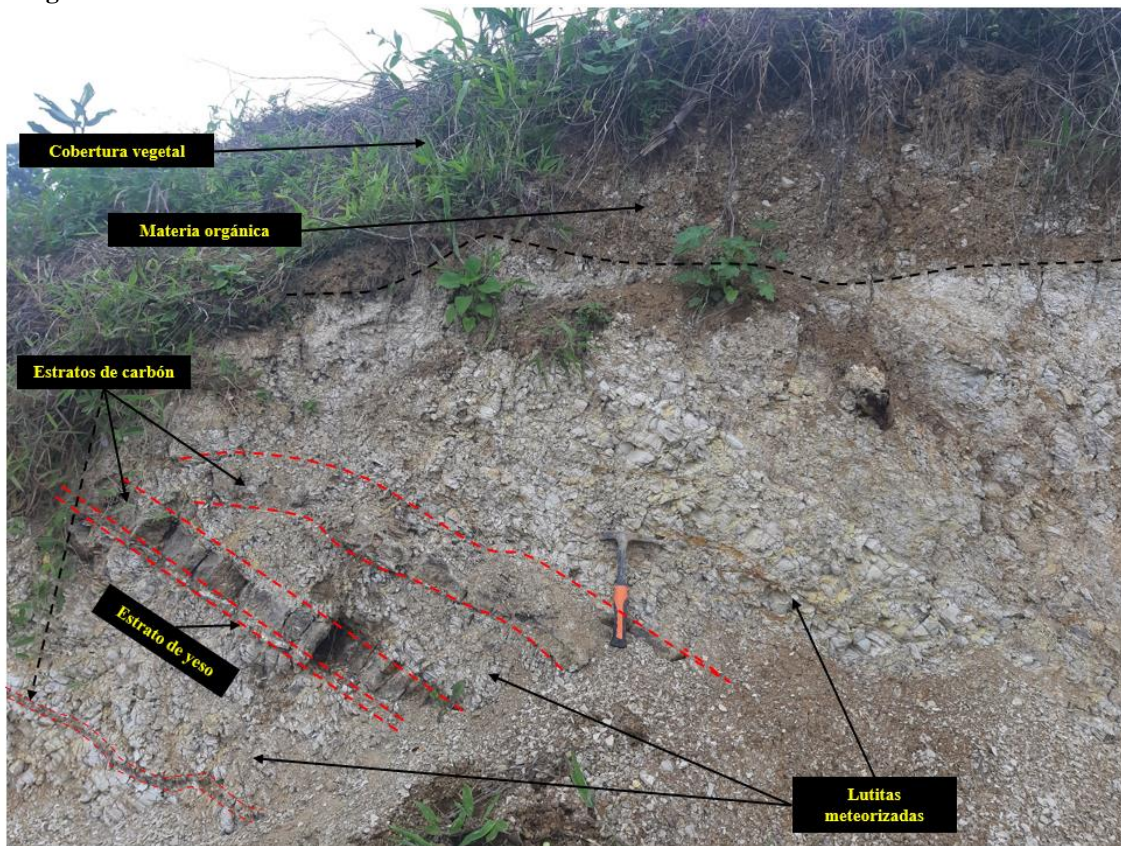
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695681	9535230	1629

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	1.5 m	Rumbo:	85° SE	Natural:	
Longitud:	5 m	Buzamiento:	28°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa intercalaciones de lutitas con capas de yeso y carbón, los estratos de carbón se encuentran compactos y presentan potencias de 15 cm, 10 cm y 4 cm respectivamente con tonalidades de marrón claro a oscuro, las capas de lutitas son sedosas al tacto, en cambio se encuentran bastante meteorizadas, tienen una coloración blanquecina a gris claro.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	12	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695699	9535309	1646

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	5 m	Rumbo: 112° SE
Longitud:	12 m	Buzamiento: 30°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Sedimentaria		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa intercalaciones de lutitas con capas de yeso, los estratos de yeso se encuentran compactos y presentan potencias de 12 a 10 cm respectivamente con tonalidades marrón, las capas de lutitas en cambio se encuentran bastante meteorizadas, tienen una coloración blanquecina a gris claro.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	13	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

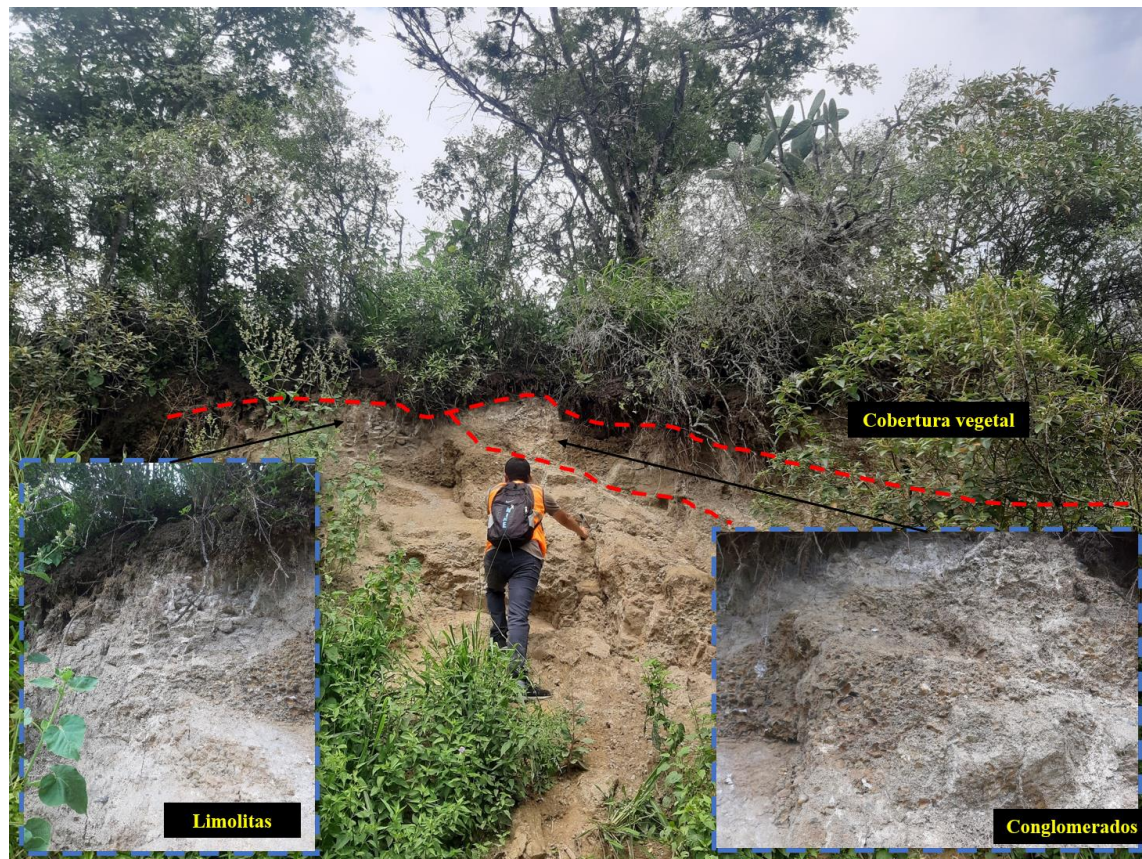
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695788	9535423	1706

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	7 m	Rumbo:
Longitud:	12 m	Buzamiento:
		Natural:
		Antrópico:

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San Francisco	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Areniscas, conglomerados		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa material compuesto por limolitas, ásperas al tacto, de color gris blanquecinas, también se evidencia la presencia carbonatos, ya que al hacer reaccionar con HCl (ácido clorhídrico), estas presentan efervescencia. De igual manera se evidencia material conformado por conglomerados angulosos, de tamaños variables de 3 a 5 cm.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	14	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

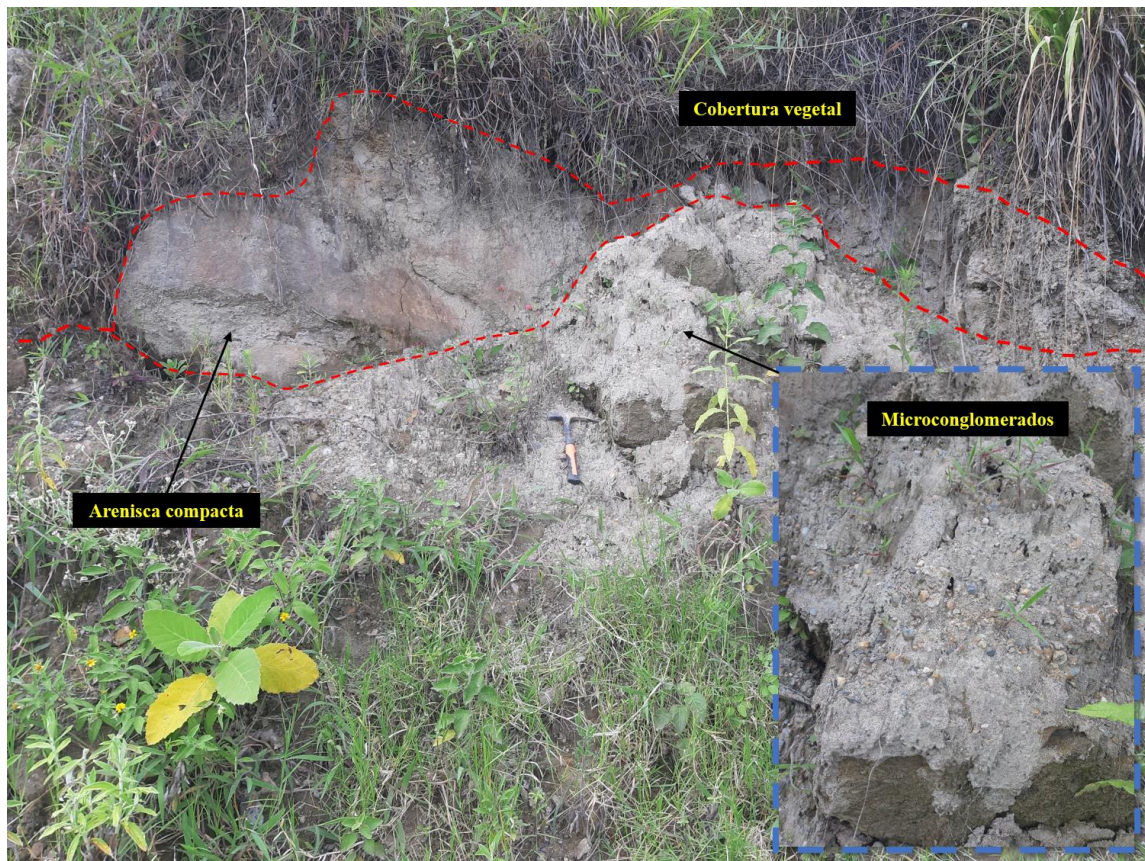
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695729	9535485	1709

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	2.5 m	Rumbo: 85° NE
Longitud:	5 m	Buzamiento: 25°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San Francisco	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Areniscas, conglomerados		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa material compuesto por arenisca muy compacta de tonalidad marrón clara. También se aprecia microconglomerados angulosos con matriz arenosa de color gris clara, los clastos de los conglomerados tienen tamaños que van desde 1 a 3 cm, todo el material que se observa en el afloramiento se encuentra bastante meteorizado.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	15	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695956	9535316	1726

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	1.5 m	Rumbo:	85° NE	Natural:	
Longitud:	5 m	Buzamiento:	42°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas, arcillolitas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa intercalaciones de lutitas con capas de yeso, los estratos de yeso se encuentran compactos y presentan potencias de 5 cm respectivamente con tonalidades de blanquecina a marrón claro oscuro, las capas de lutitas en cambio se encuentran bastante meteorizadas, tienen una coloración blanquecina a gris claro. De igual manera se puede evidenciar estratos de arcillolitas con una tonalidad gris.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	16	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695986	9535294	1717

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	4 m	Rumbo:	205 NE	Natural:	
Longitud:	8 m	Buzamiento:	52°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa capas de lutitas bien compactas con tonalidades de marrón claro a oscuro, estas capas se encuentran bastante meteorizadas, tienen una coloración marrón amarillenta debido a la presencia de minerales ferrosos.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	17	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

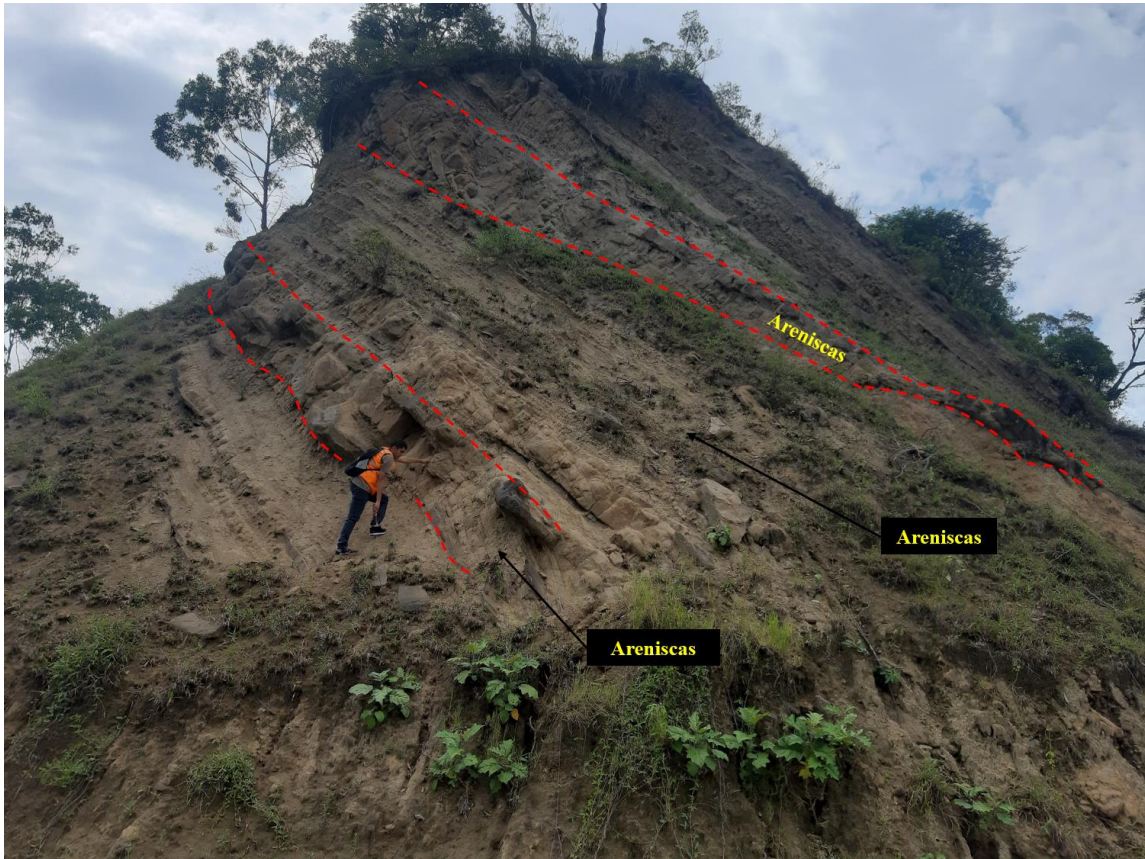
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		696107	9535360	1723

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	40 m	Rumbo: 114° NE
Longitud:	70 m	Buzamiento: 44°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San Francisco	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Areniscas, metareniscas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa intercalaciones de areniscas con capas de areniscas, estos estratos se encuentran compactos y presentan potencias de 0.5 a 1.5 m respectivamente con tonalidades de marrón claro, algunas de estas capas de areniscas se encuentran bastante meteorizadas, tienen una coloración gris claro amarillenta, son ásperas al tacto.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	18	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

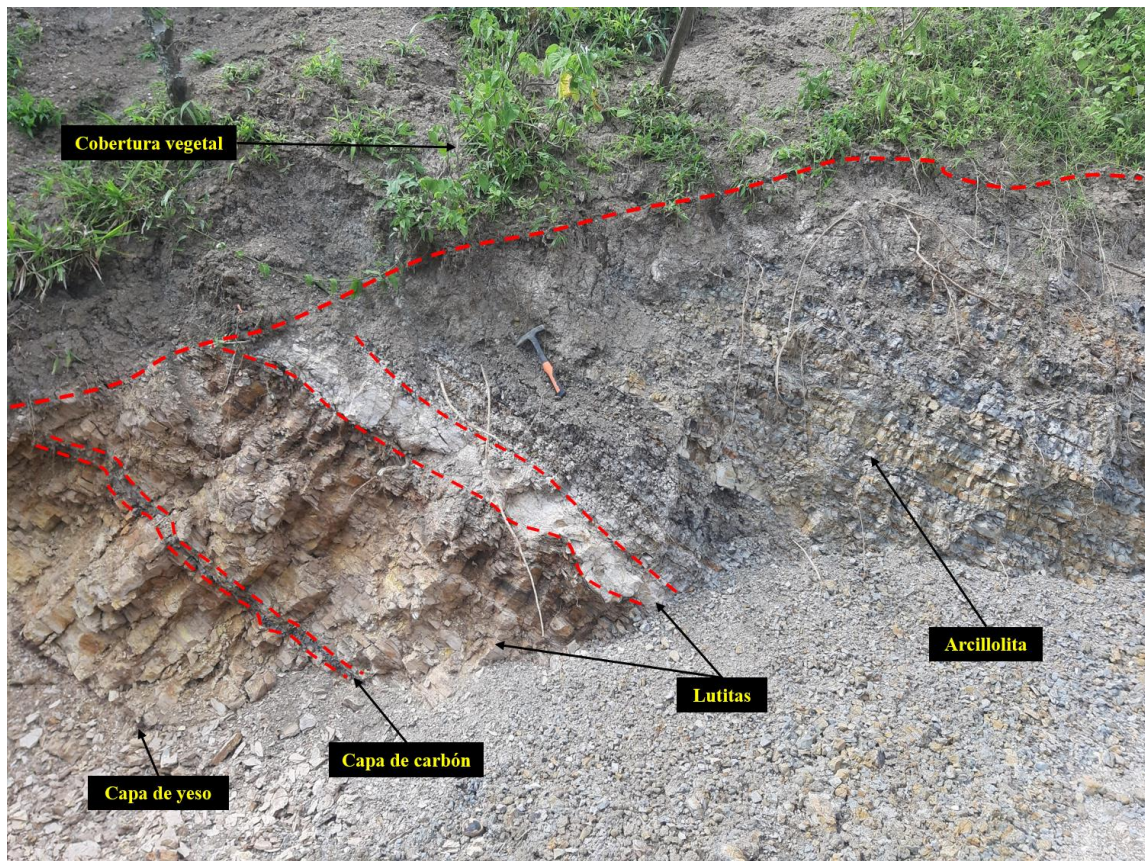
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56	x	
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695463	9535691	1726

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	1.5 m	Rumbo:	74° NE	Natural:	
Longitud:	6 m	Buzamiento:	41°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas, arcillolitas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se puede observar intercalaciones de lutitas con capas de yeso y carbón, los estratos de carbón se encuentran compactos, presentan tonalidades marrones claro a oscuro, las capas de lutitas en cambio se encuentran bastante meteorizadas, tienen una coloración blanquecina amarillenta, son sedosas al tacto. También se puede evidenciar capas de arcillolita meteorizada de tonalidad gris.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	19	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695752	9535170	1658

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	1 m	Rumbo:	130° SE	Natural:	
Longitud:	2 m	Buzamiento:	40°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutita		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía izquierda del afloramiento se observa una capa de lutitas color amarillentas, sedosas al tacto y se encuentran bastante húmeda. Mientras que en la fotografía del lado derecho se evidencia una capa de lutita bastante meteorizada y compacta y presenta una potencia de 15 cm, respectivamente con una tonalidad de marrón claro a oscuro. Sobre esta capa se encuentra una vetilla de yeso blanco.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	20	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695850	9535145	1654

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	4 m	Rumbo: 73° NE
Longitud:	10 m	Buzamiento: 42°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas, limonitas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa intercalaciones de lutitas con limonitas, las lutitas se encuentran poco meteorizadas tienen un color café claro y sedosas al tacto. Las limonitas presentan una tonalidad amarillenta a blanquecina, ásperas al tacto. Estos estratos presentan un ángulo de buzamiento preferencial de 42°.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	21	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		696046	9535133	1666

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	2.5 m	Rumbo:	52° NE	Natural:	
Longitud:	11 m	Buzamiento:	32°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	metalutitas, limonitas y areniscas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa intercalaciones de lutitas con capas de yeso, los estratos de yeso se encuentran compactos y presentan potencias de 15 cm, 10 cm y 4 cm respectivamente con tonalidades de marrón claro a oscuro. En este afloramiento se evidencian metalutitas en proceso de metamorfismo, esto se da debido a que este afloramiento está muy próximo a la zona de contacto entre las formaciones sedimentarias (Fm. San Francisco, Fm. Santo Domingo y San José) y con la formación metamórfica (Fm. Chiguinda), las capas de metalutitas se encuentran bastante meteorizadas, tienen una coloración blanquecina a gris claro.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	22	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		696153	9535096	1647

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO			
Potencia:	1.5 m	Rumbo:	110° NE	Natural:	
Longitud:	5 m	Buzamiento:	46°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas, areniscas y arcillolitas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa intercalaciones de lutitas limosas con capas meteorizadas de tonalidad marrón, las areniscas se encuentran meteorizadas presentan un color amarillento y son ásperas al tacto, las capas de arcillolitas tienen potencias que van desde los 10 a los 15 cm, se encuentran compactas, son de tonalidad gris clara y son sedosas al tacto.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	23	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695869	9535047	1642

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	10 m	Rumbo: 82° NE
Longitud:	15 m	Buzamiento: 32°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas, limonitas, areniscas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa intercalaciones de materiales conformados por lutitas, limonitas, arcillolitas y areniscas, las lutitas están poco compactas presentan coloraciones café blanquecinas. Las arcillolitas son de tonalidad grisáceas. También se evidencia un estrato de carbón muy compacto de tonalidad marrón oscuro con una potencia de 15 cm, y presenta un buzamiento de 32 grados.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	24	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695654	9534816	1599

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	6 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	11 m	Buzamiento:		Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas, metalutitas y areniscas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa materiales conformados por lutitas y metalutitas, las metalutitas se encuentran muy meteorizadas y algunas están bastante compactas presentan coloraciones grisáceas y también presenta una atonalidad marrón debido a la presencia de minerales ferrosos que dan una tonalidad oxidada. Así mismo se evidencian areniscas muy meteorizadas de tonalidad café claro, este afloramiento posee una potencia de 6 m.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	25	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

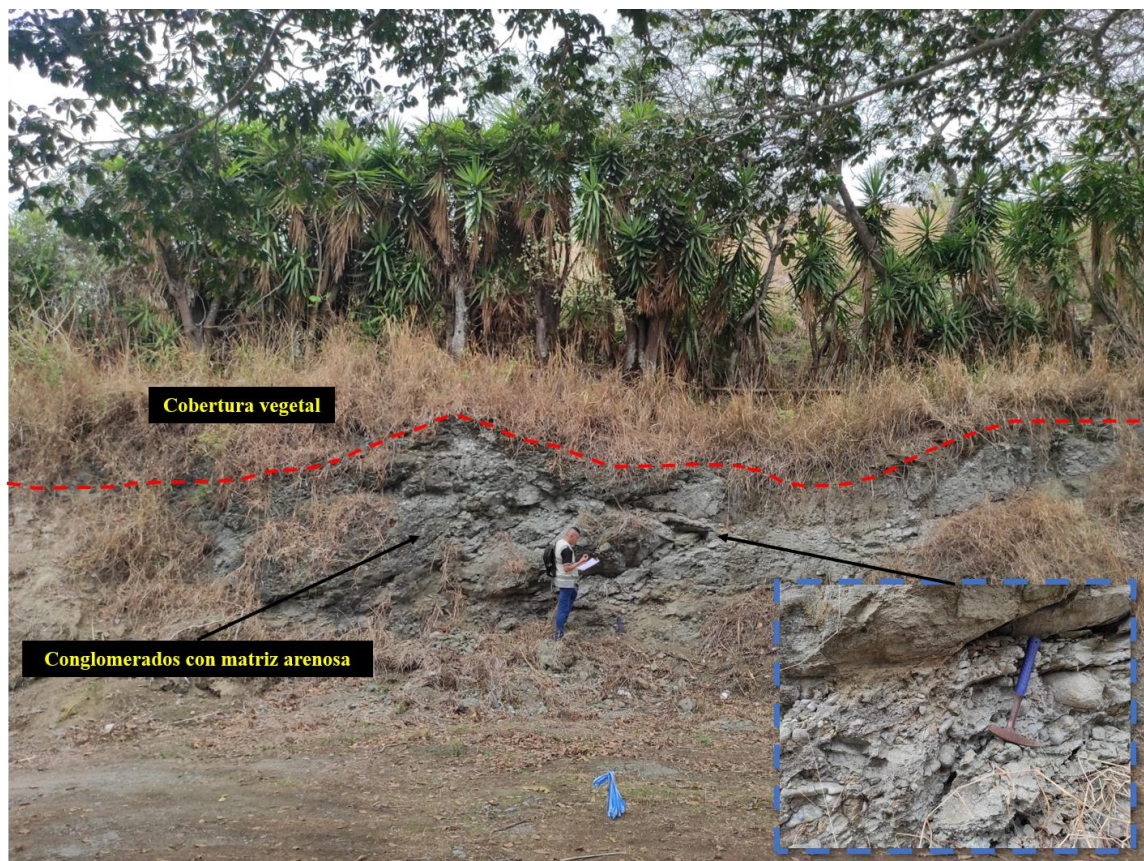
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695739	9534565	1601

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	8 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	25 m	Buzamiento:		Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San José	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Areniscas y conglomerados		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se aprecia que el estado actual del afloramiento se encuentra bastante meteorizado, en él se observa la presencia de conglomerados de origen volcánico y metamórfico, sus clastos son angulosos y subredondeados, presentan tamaños de 3 a 20 cm, están conformados por una matriz arenosa de tonalidad grisácea.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	26	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695504	9534814	1613

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	5 m	Rumbo:	22° NE	Natural:	
Longitud:	12 m	Buzamiento:	39°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San José	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Areniscas y conglomerados		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa materiales conformados por areniscas y conglomerados, las areniscas presentan coloraciones café claro a marrón, tienen presencia de carbonatos ya que al hacer reaccionar con ácido clorhídrico estas tienden a efervescer. Los conglomerados poseen una matriz arenosa compacta, se conforman por clastos angulosos y subredondeados, son de origen volcánico y metamórfico sus tamaños varían de 3 a 15 cm.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	27	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695567	9534829	1604

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	15 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	30 m	Buzamiento:		Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo con depósitos coluviales	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Limos, areniscas, cantos de granito con esquistos		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa la presencia de dos estratos. El primero se ubica en la parte inferior y se aprecian lutitas que tienen una coloración café claro a grisáceo, y son sedosas al tacto. El segundo estrato el cual está en la parte superior del afloramiento se conforma por areniscas compactas, presentan una coloración marrón, debido a la presencia de minerales férricos. Estos dos estratos forman una potencia de 1.5 m



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	28	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

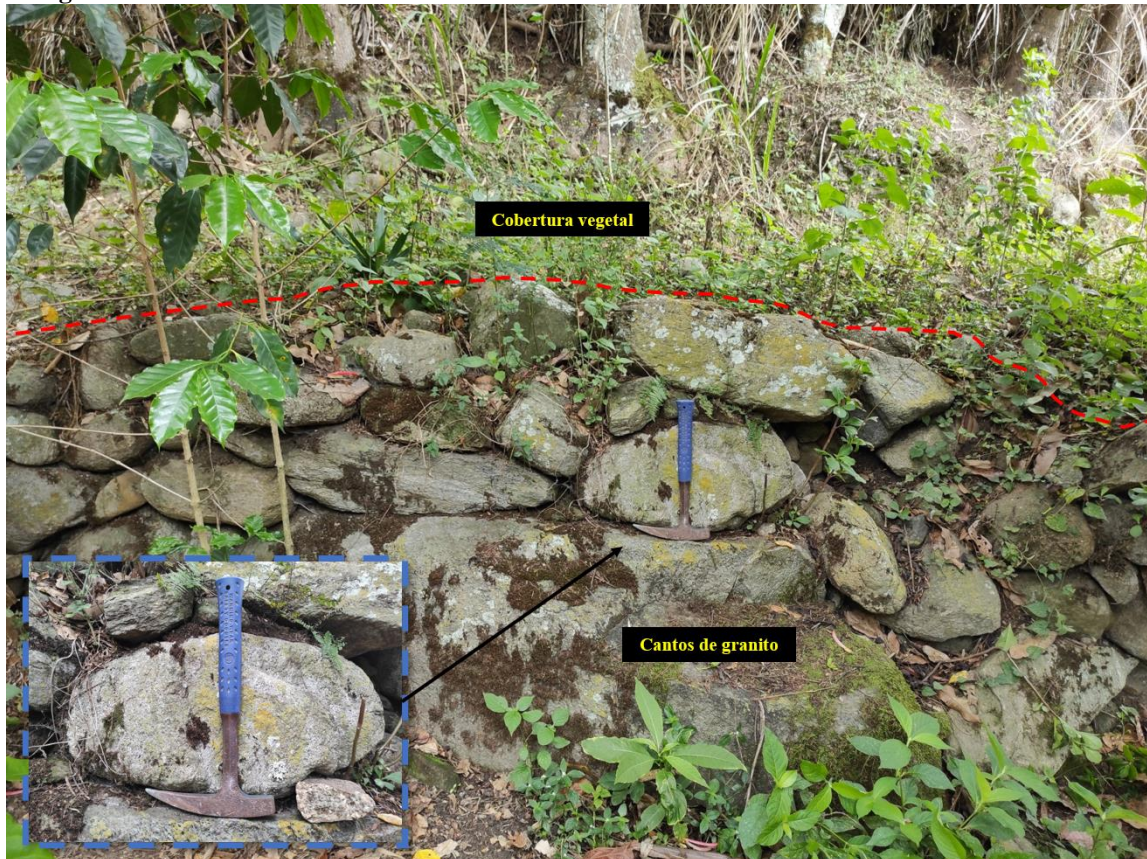
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695479	9534917	1616

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	1.5 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	8 m	Buzamiento:		Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Depósitos coluviales	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Cantos de granitos		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se pueden observar los depósitos coluviales conformados por los cantos de rocas graníticas provenientes de las fuentes ígneas, que se encuentran ubicadas en la parte alta y que por arrastre del agua han sido ubicadas en esta zona. Estas rocas se encuentran bastante meteorizadas.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	29	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

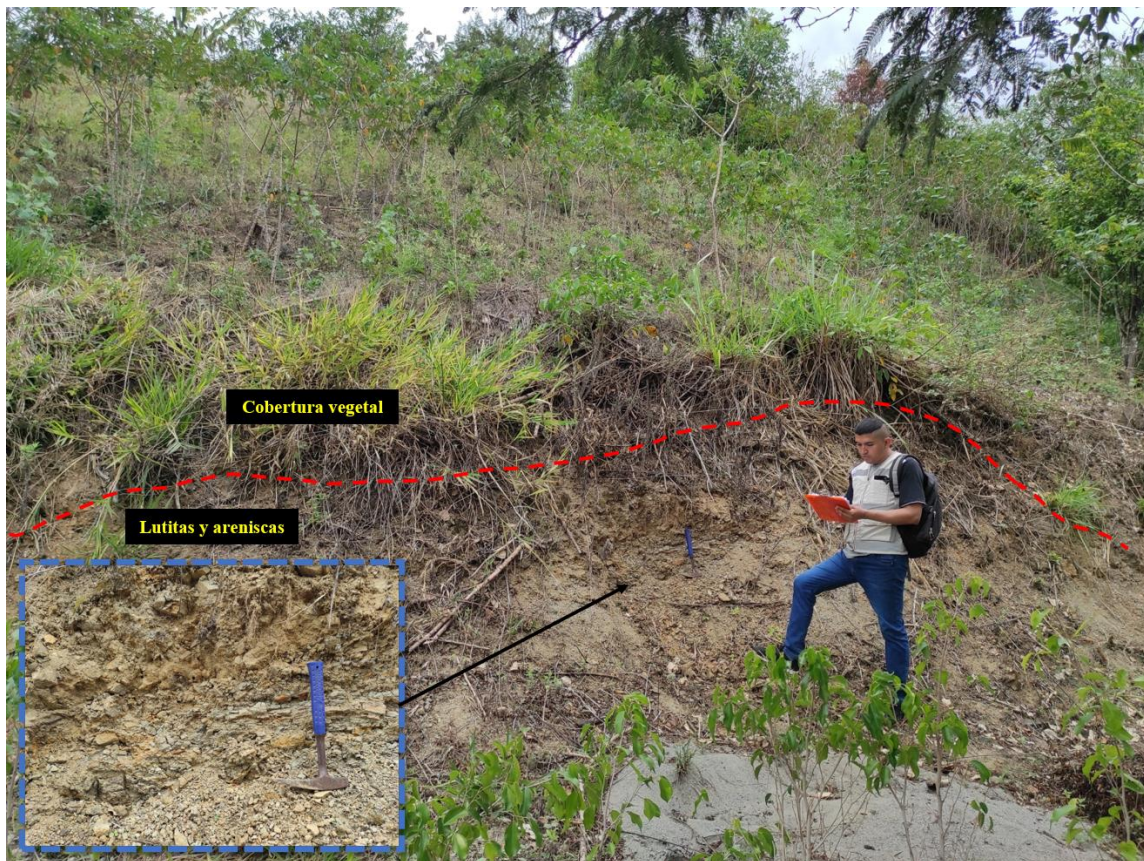
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695618	9534910	1611

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	3 m	Rumbo:
Longitud:	10 m	Buzamiento:
		Natural:
		Antrópico:

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas y areniscas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se pueden evidenciar los materiales compuestas por lutitas y areniscas, presentan una coloración café claro y gris claro. Las areniscas son ásperas al tacto. Estas rocas se encuentran bastante meteorizadas.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	30	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695605	9534886	1609

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	38 m	Natural:
Longitud:	60 m	Antrópico:
		x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas y areniscas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se pueden observar los depósitos coluviales conformados por cantos de rocas graníticas con tamaños de hasta 60 cm de largo, también se hallan cantos de rocas metamórficas tipo filitas y esquistos de hasta 40 cm de largo. Estos materiales provienen de las partes altas donde allí se encuentran rocas volcánicas y metamórficas, y que han sido arrastrados y depositados en esta zona baja, por acción del agua y la gravedad.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	31	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695893	9534991	1655

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	3.5 m	Rumbo:	85° NE	Natural:	
Longitud:	32 m	Buzamiento:	35°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas, limos, areniscas con capas de yeso y carbón		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se pueden evidenciar las diferentes intercalaciones de materiales compuestos por, limos, lutitas, areniscas y capas de yeso y carbón, los limos y las areniscas presentan una tonalidad marrón amarillenta debido a presencia de óxidos de hierro. Mientras que las lutitas presentan un color gris claro. El estrato de carbón bituminoso tiene una potencia de 15 cm, con una coloración café oscuro. Todo este afloramiento se encuentra meteorizado.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	32	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

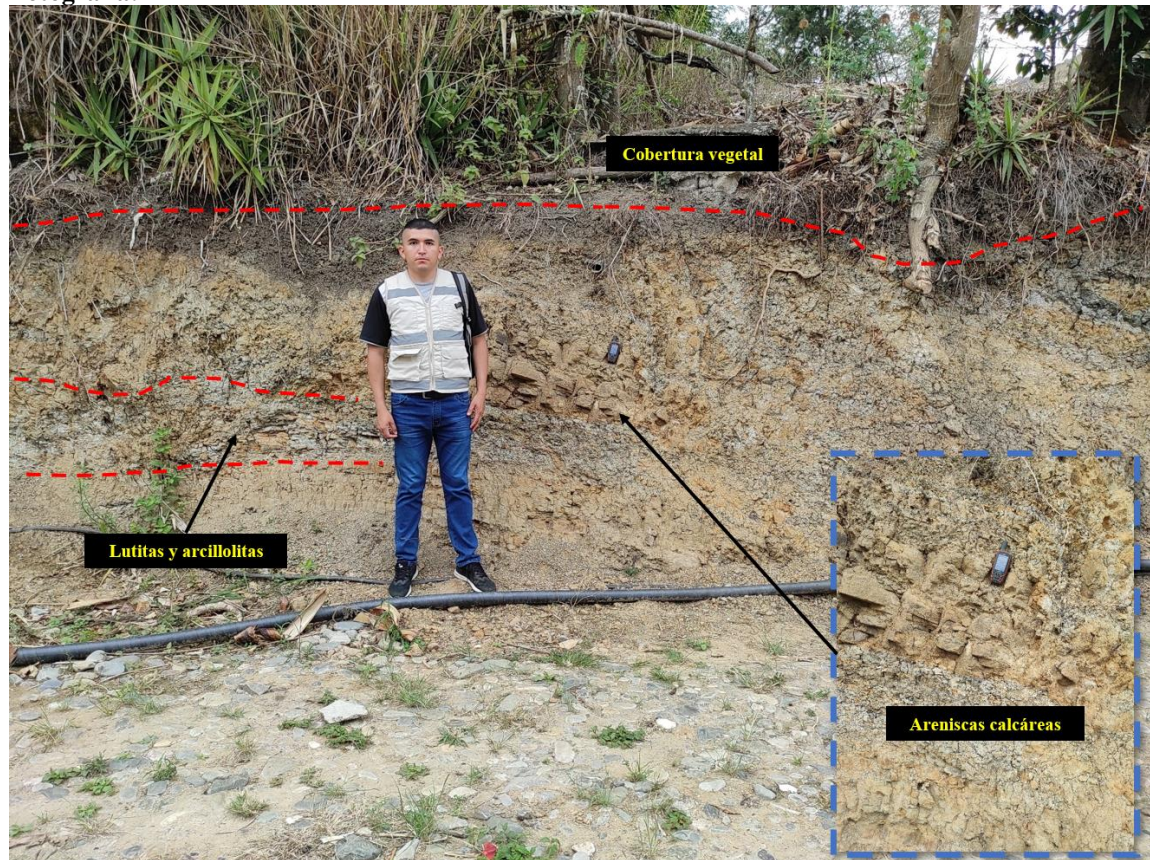
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695507	9535023	1646

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	2.5 m	Rumbo: 81° NE
Longitud:	18 m	Buzamiento: 22°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San José y Fm Santo Domingo	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas y arcillolitas con areniscas calcáreas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se pueden observar los estratos de areniscas calcáreas, dichas areniscas presentan efervescencia al entrar en contacto con ácido clorhídrico, tienen una tonalidad amarillenta debido a la presencia de óxidos de hierro. En su interior se evidencia un lente de lutitas y arcillolitas de coloración gris claro. El afloramiento se encuentra meteorizado.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	33	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695767	9535441	1609

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	3 m	Rumbo:	88° NE	Natural:	
Longitud:	6 m	Buzamiento:	35°	Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San Francisco	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Areniscas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Presenta baja meteorización		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se pueden observar los estratos de areniscas pertenecientes a la Formación San Francisco, ubicadas en el canal de riego Campana – Malacatos. Estas areniscas tienen una coloración café claro y en algunos lados una tonalidad amarillenta oscura debido a la presencia de óxidos de hierro. Este afloramiento presenta baja meteorización.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	34	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695996	9535317	1730

DIMENSIONES	DATOS ESTRUCTURALES	TIPO DE AFLORAMIENTO
Potencia:	16 m	Rumbo: 79° NE
Longitud:	38 m	Buzamiento: 37°
		Natural:
		Antrópico: x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. Santo Domingo y Fm San Francisco	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Lutitas y areniscas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se pueden observar el contacto entre las Formación Santo Domingo y la Formación San Francisco, en el lado izquierdo se evidencian los materiales compuestos por intercalación de lutitas, limos y areniscas, estas rocas presentan una coloración marron oscura y clara debido a la presencia de óxidos de hierro. En la parte derecha se evidencian los estratos de areniscas con una tonalidad amarillo claro. Este afloramiento presenta bastante meteorización.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	35	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695621	9535503	1729

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	25 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	70 m	Buzamiento:		Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Depósitos coluviales	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Esquistos, filitas y cantos de granito		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se pueden evidenciar una gran área compuesta por materiales de depósitos coluviales, provenientes de las partes altas, en gran parte estas rocas son de origen volcánico y metamórfico que han sido arrastradas y depositadas en este sector debido a agentes de erosión y acción de la gravedad, o por antiguos deslizamientos.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	36	Fecha:	2023-10-16
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

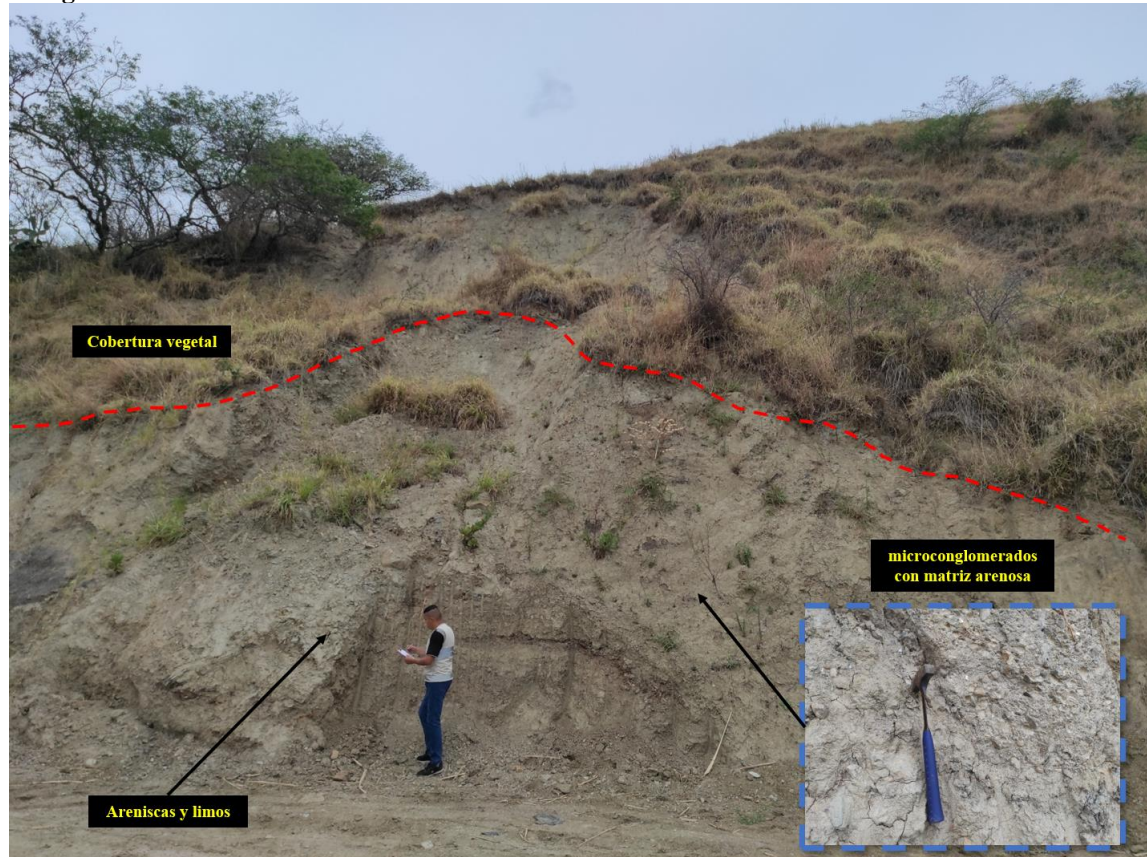
Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695605	9534886	1609

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	6 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	11 m	Buzamiento:		Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA

Formación:	Fm. San Francisco	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Microconglomerados con matriz arenosa		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



Descripción: En la fotografía se pueden observar microconglomerados con matriz arenosa, tienen una tonalidad gris clara, estos microconglomerados tienen clastos subangulosos procedentes de fuentes ígneas y metamórficas. También se observa la presencia de areniscas y limos de tonalidad amarillo claro debido a la presencia de óxidos de hierro. El afloramiento se encuentra bastante meteorizado.



INFORMACIÓN GENERAL

Afloramiento N°:	37	Fecha:	2023-10-15
Responsable:	Jhon Michael Cango Piedra		

INFORMACIÓN DE UBICACIÓN

Provincia:	Loja	Datum	WGS84/17S	x	Vía de acceso
Cantón:	Loja		PSAD56		
Parroquia:	Malacatos	Coordenadas UTM	X	Y	Z
Sector:	Sauce bajo		695746	9534721	1595

DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO	
Potencia:	5 m	Rumbo:		Natural:	
Longitud:	12 m	Buzamiento:		Antrópico:	x

SITUACIÓN GEOLÓGICA



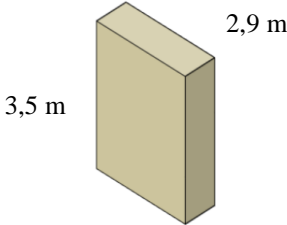





Formación:	Depósitos aluviales	Ambiente	Ígneo	
Tipo de roca:	Aluviales con cantos redondeados y subredondeados de rocas ígneas y metamórficas		Metamórfico	
Estado de alteración:	Bastante meteorizado		Sedimentario	x

Fotografía:



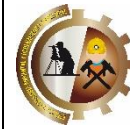
Descripción: En la fotografía del afloramiento se observa a cada margen de la quebrada Pilaraca los materiales constituidos por cantos redondeados y subredondeados, estos son arrastrados por acción del agua. Los componentes de estas rocas provienen de las partes altas específicamente de rocas ígneas y metamórficas. Presenta una matriz arenosa y arcillosa.

Anexo 2: Fichas de calicatas geológicas

		Universidad Nacional de Loja Facultad de Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
INFORMACIÓN GENERAL				DIMENSIONES			
Calicata N°	1						
Equipo	Retroexcavadora Caterpillar 420 D						
Responsable	Jhon Michael Cango Piedra						
Fecha	2023-10-25						
UBICACIÓN							
DIVISIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA			LOCALIZACIÓN UTM				
Provincia	Loja		Datum	WGS84/17S			
Cantón	Loja		X	695772			
Parroquia	Malacatos		Y	9534898			
Sector	El Sauce Bajo		Z	1623			
				Dimensiones	Longitud (m)	2,9	
					Profundidad (m)	3,5	
Litoestratigrafía				Cobertura vegetal	Sin cobertura		
Formación geológica	Leyenda			N° de estratos	Nivel freático		
Fm. Santo Domingo	Lutitas y areniscas			3	No existe		
Descripción de calicata 1							
Profundidad (m)	Espesor (m)	Perfil	Estructura	Descripción			
0.00 – 0.70	0.70		Terreno natural color café	Lutitas y arcillolitas con presencia de areniscas bastante meteorizadas			
0.70 – 2.5	1.80		Terreno natural gris oscuro	Arcillolita orgánica de tonalidad oscura			
2.5 – 1.5	1		Terreno natural color café	Arcillolita de baja meteorización			
Fotografías							
							



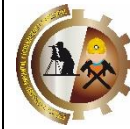
Universidad Nacional de Loja
Facultad de Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



INFORMACIÓN GENERAL				DIMENSIONES		
Calicata N°	2					
Equipo	Retroexcavadora Caterpillar 420 D					
Responsable	Jhon Michael Cango Piedra					
Fecha	2023-10-25					
UBICACIÓN						
DIVISIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA			LOCALIZACIÓN UTM			
Provincia	Loja	Datum	WGS84/17S			
Cantón	Loja	X	695685			
Parroquia	Malacatos	Y	9535150			
Sector	El Sauce Bajo	Z	1646			
Litoestratigrafía				Cobertura vegetal	Pasto	
Formación geológica	Leyenda			N° de estratos	Nivel freático	
Fm. Santo Domingo	Lutitas, arcillolitas y areniscas			2	No existe	
Descripción de calicata 1						
Profundidad (m)	Espesor (m)	Perfil	Estructura	Descripción		
0.00 – 0.5	0.50		Terreno natural color café claro	Arcillolitas, con areniscas de matriz limosa bastante meteorizadas		
0.5 – 2.8	2.30		Terreno natural color marrón	Arcillolita con presencia de humedad, de tonalidad marrón debido a la presencia de minerales férricos.		
Fotografías						



Universidad Nacional de Loja
Facultad de Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



INFORMACIÓN GENERAL				DIMENSIONES			
Calicata N°	3						
Equipo	Retroexcavadora Caterpillar 420 D						
Responsable	Jhon Michael Cango Piedra						
Fecha	2023-10-25						
UBICACIÓN							
DIVISIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA			LOCALIZACIÓN UTM				
Provincia	Loja		Datum	WGS84/17S			
Cantón	Loja		X	695625			
Parroquia	Malacatos		Y	9535095			
Sector	El Sauce Bajo		Z	1637			
Litoestratigrafía				Cobertura vegetal	Matorral, pasto		
Formación geológica	Leyenda			N° de estratos	Nivel freático		
Fm. Santo Domingo	Areniscas y arcilla			3	No existe		
Descripción de calicata 1							
Profundidad (m)	Espesor (m)	Perfil	Estructura	Descripción			
0.00 – 1.30	1.30		Terreno natural color café claro	Areniscas con presencia de limos bastante meteorizadas			
1.30 – 2.60	0.40		Terreno natural color gris claro	Arcilla de tonalidad gris clara sedosa al tacto.			
2.60 – 1.70	0.90		Terreno natural color marrón	Limos con matriz arenosa de coloración marrón debido a la presencia de minerales férricos que presentan oxidación.			
Fotografías							

Anexo 3: Fichas de campo de los ensayos SEV

Fecha: 6 de noviembre del 2023

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL ARREGLO SCHLUMBERGER



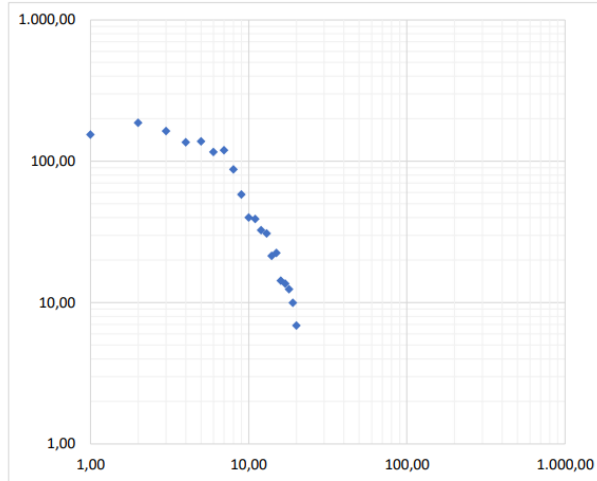
Proyecto: Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y provincia de Loja.

Solicita: Jhon Michael Cango Piedra
Coordenadas: 695796 9535403 1729
Realizado por: Ing. Claudel Guerrero Culquicondor

SEV: 1
Azimet: 170

Ensayo realizado en la zona Norte del área de estudio.

AB/2	MN	K	V/I	Pa (Ohm.m)
1	0.5	2.4	65,499	154,1
1.5	0.5	6.28	29,732	186,81
2	0.5	11.78	13,905	163,81
2.5	0.5	18.85	7,227	136,23
2.5	1	8.25	16,726	137,93
3	0.5	27.5	4,2338	116,38
3	1	12.6	9,511	119,52
5	1	37.7	2,3193	87,44
7	1	75.4	770,93	58,13
10	1	155.5	257,97	39,97
10	2.5	58.9	660,8	38,92
15	1	351.9	0	32,48
15	2.5	137.4	224,04	30,79
20	2.5	247.4	86,298	21,35
20	10	47.1	477,14	22,48
30	2.5	561.6	25,47	14,3
30	10	125.7	108,07	13,58
40	10	235.6	52,844	12,45
50	10	377	26,407	9,96
70	10	754	9,1039	6,86
100	10	1555.1	4,2219	4,22



Ing. Ovidio Castillo Jaramillo
LABORATORIO

Fecha: 6 de noviembre del 2023

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL ARREGLO SCHLUMBERGER



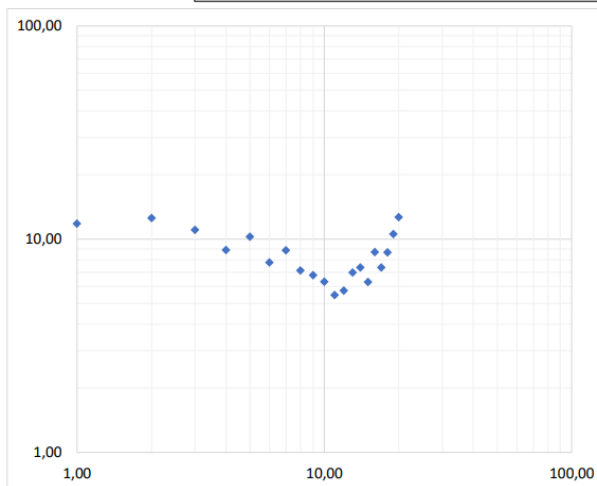
Proyecto: Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y provincia de Loja.

Solicita: Jhon Michael Cango Piedra
Coordenadas: 695740 9535163 1653
Realizado por: Ing. Claudel Guerrero Culquicondor

SEV: 2
Azimet: 100

Ensayo realizado en la zona central del área de estudio.

AB/2	MN	K	V/I	Pa (Ohm.m)
1	0.5	2.4	5,0158	11,82
1.5	0.5	6.28	2,0001	12,57
2	0.5	11.78	936,48	11,03
2.5	0.5	18.85	472,04	8,9
2.5	1	8.25	1,2464	10,28
3	0.5	27.5	28257	7,77
3	1	12.6	704,70	8,86
5	1	37.7	189,02	7,13
7	1	75.4	89,754	6,77
10	1	155.5	40,653	6,32
10	2.5	58.9	32,800	5,47
15	1	351.9	16,29	5,73
15	2.5	137.4	50,705	6,97
20	2.5	247.4	29,772	7,35
20	10	47.1	133,57	6,29
30	2.5	561.6	15,47	8,69
30	10	125.7	58,518	7,35
40	10	235.6	36,736	8,66
50	10	377	28,043	10,57
70	10	754	16,811	12,68



Ing. Ovidio Castillo Jaramillo
LABORATORIO

Fecha: 6 de noviembre del 2023

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL ARREGLO SCHLUMBERGER



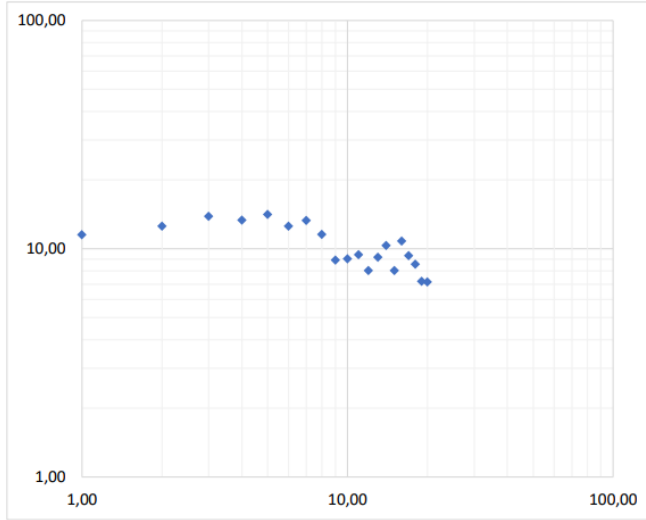
Proyecto: Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y provincia de Loja.

Solicita: Jhon Michael Cango Piedra
Coordenadas: 695747 9535027 1630
Realizado por: Ing. Claudel Guerrero Culquicondor

SEV: 3
Azimut: 190

Ensayo realizado en la zona central del área de estudio.

AB/2	MN	K	V/l	Pa (Ohm.m)
1	0.5	2.4	4,8841	11,51
1.5	0.5	6.28	2,02891	12,57
2	0.5	11.78	1,1778	13,88
2.5	0.5	18.85	707,38	13,33
2.5	1	8.25	1,7134	14,13
3	0.5	27.5	154,3	12,57
3	1	12.6	1,06	13,3
5	1	37.7	306,18	11,54
7	1	75.4	118,4	8,93
10	1	155.5	58,026	9,02
10	2.5	58.9	159,970	9,42
15	1	351.9	22,8	8,02
15	2.5	137.4	66,682	9,17
20	2.5	247.4	61,709	10,32
20	10	47.1	170,38	8,03
30	2.5	561.6	19,24	10,8
30	10	125.7	74,167	9,32
40	10	235.6	36,247	8,54
50	10	377	19,1	7,2
70	10	754	54,877	7,15



Ing. Ovidio Castillo Jaramillo
LABORATORIO

Fecha: 6 de noviembre del 2023

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL ARREGLO SCHLUMBERGER



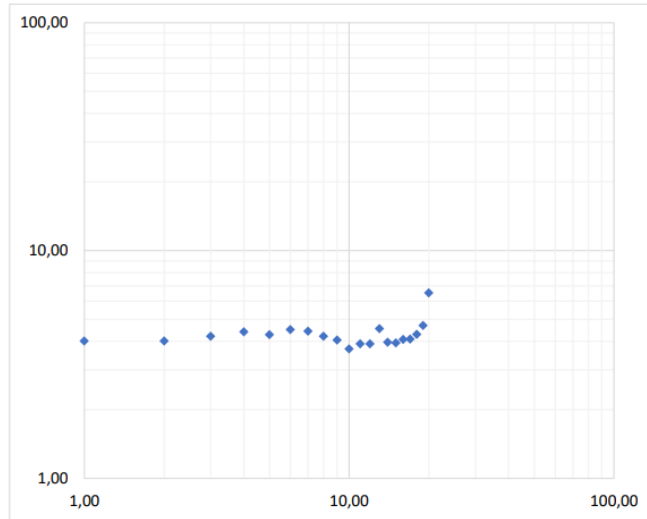
Proyecto: Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y provincia de Loja.

Solicita: Jhon Michael Cango Piedra
Coordenadas: 695841 9535121 1656
Realizado por: Ing. Claudel Guerrero Culquicondor

SEV: 4
Azimut: 175

Ensayo realizado en la zona Este del área de estudio.

AB/2	MN	K	V/l	Pa (Ohm.m)
1	0.5	2.4	1,70	4,01
1.5	0.5	6.28	638,05	4,01
2	0.5	11.78	357,07	4,21
2.5	0.5	18.85	233,27	4,40
2.5	1	8.25	517,65	4,27
3	0.5	27.5	163,64	4,50
3	1	12.6	352,36	4,43
5	1	37.7	111,39	4,20
7	1	75.4	53,572	4,04
10	1	155.5	23,814	3,70
10	2.5	58.9	66,273	3,90
15	1	351.9	11,063	3,89
15	2.5	137.4	33,038	4,54
20	2.5	247.4	16,00	3,96
20	10	47.1	83,359	3,93
30	2.5	561.6	7,24	4,07
30	10	125.7	32,445	4,08
40	10	235.6	18,173	4,28
50	10	377	12,445	4,69
70	10	754	8,64	6,51



Ing. Ovidio Castillo Jaramillo
LABORATORIO

Fecha: 6 de noviembre del 2023

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL ARREGLO SCHLUMBERGER



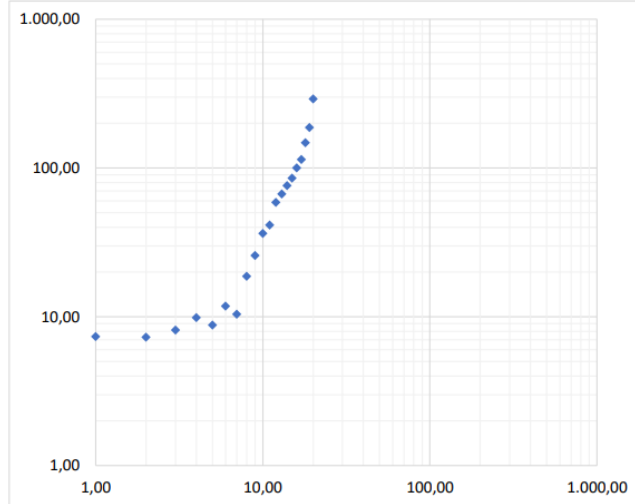
Proyecto: Zonificación geotécnica del barrio el Sauce bajo, parroquia Malacatos cantón y provincia de Loja.

Solicita: Jhon Michael Cango Piedra
Coordenadas: 695802 9534899 1620
Realizado por: Ing. Claudel Guerrero Culquicondor

SEV: 5
Azimet: 190

Ensayo realizado en la zona Sur del área de estudio.

AB/2	MN	K	V/I	Pa (Ohm.m)
1	0.5	2.4	3,1210	7,35
1.5	0.5	6.28	1,1603	7,29
2	0.5	11.78	689,25	8,12
2.5	0.5	18.85	523,62	9,87
2.5	1	8.25	1,0647	8,78
3	0.5	27.5	429,26	11,8
3	1	12.6	827,61	10,4
5	1	37.7	496,03	18,7
7	1	75.4	342,18	25,8
10	1	155.5	233,43	36,3
10	2.5	58.9	696,55	41,3
15	1	351.9	166,83	58,7
15	2.5	137.4	486,59	66,88
20	2.5	247.4	307,59	76,1
20	10	47.1	1,8144	85,5
30	2.5	561.6	178,07	100
30	10	125.7	907,18	114
40	10	235.6	628,13	148
50	10	377	496,03	187
70	10	754	385,95	291
100	10	1555.1	248,86	387



Ing. Ovidio Castillo Jaramillo
LABORATORIO

Anexo 4: Resultados de laboratorio de los ensayos SPT

(Ubicado en carpeta)

Anexo 5: Resultados y cálculos en gabinete de los datos de ensayos SPT

(Ubicado en carpeta)

Anexo 6: Reporte de resultados de los ensayos de corte directo

(Ubicado en carpeta)

Anexo 7: Cartografía temática del área de estudio

Anexo 7.1: Mapa de ubicación

Anexo 7.2: Mapa geológico regional

Anexo 7.3: Mapa topográfico

Anexo 7.4: Mapa de pendientes

Anexo 7.5: Mapa geomorfológico

Anexo 7.6: Mapa de uso actual del suelo

Anexo 7.7: Mapa geológico local del área de estudio

Anexo 7.8: Mapa de zonificación geotécnica del área de estudio

(Ubicado en carpeta)

Anexo 8: Certificado de traducción del resumen

Geovani Elizalde Soto Rojas

**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN EN LA ESPECIALIDAD DE
IDIOMA INGLÉS.**

Certifico. –

Que la traducción del documento adjunto por el señor **Jhon Michael Cango Piedra**, con número de cédula **1104955008**, cuyo tema de investigación se titula **“Zonificación geotécnica del barrio el Sauce Bajo, parroquia Malacatos cantón y Provincia de Loja”**, ha sido realizado por mi persona en calidad de licenciado en pedagogía del idioma inglés.

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.



Geovani Elizalde Soto Rojas

Licenciado de Inglés

C.I: 1102470315

Número de registro de la Senecyt: 1008-09-960327