

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Caracterización Geológica del cerro Curiurcu para la construcción de un
túnel carretero en la vía Guaguarcucho-Paute-Gualaceo

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera Geóloga

Presentado por:

Emily Nicole Sánchez Zambrano

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a mis padres, ya que han sido parte de cada logro durante estos 5 años. Dándome la motivación y el apoyo económico e integral necesario en cada decisión.

A mi hermano Bryan, por estar pendiente en todo momento, aun estando por un año en otra provincia, nunca me dejó sola y siempre me brindo su ayuda tanto económica como emocionalmente.

A mi tía Jessica, aunque ya no se encuentra entre nosotros, puso toda su confianza en mí y me brindó su ayuda en esta ciudad, abriéndome las puertas de su casa durante los primeros 2 años de mi carrera. Siempre confió en que lograría ser ingeniera.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por dejarme cumplir con éxito mi carrera de ingeniera. Y por darme una familia íntegra que son mi pilar fundamental en cada etapa.

A mis padres y hermano, por su esfuerzo constante, para que pueda culminar mis estudios superiores. Por darme las comodidades para poder realizar mis estudios. Por cada palabra de ánimo en momentos difíciles.

A mis tres amigos Joselyne, Dayanna e Israel por hacer de esta experiencia divertida y menos estresante. Agradezco especialmente a mi amigo Israel, quien me colaboró en ciertas fases de este proyecto de materia integradora.

A los profesores, y tutor de tesis que en este último proceso me brindaron sus conocimientos y apoyo para culminar con éxito este proyecto

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Emily Nicole Sánchez Zambrano doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Emily Sánchez", enclosed within a circular scribble.

Emily Nicole Sánchez Zambrano

EVALUADORES

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Eva', written over a horizontal line.

MsC. Eva Rivas Pozo

A complex handwritten signature in black ink, appearing to be 'Eddy', written over a horizontal line.

PhD. Eddy Sanclemente Ordoñez

RESUMEN

La geología del país brinda información a gran escala de una zona determinada, por lo que puede diferir con la geología local debido al detalle que se alcanza en ellas. Lo que lleva a la problemática de este estudio, donde inicialmente se requiere realizar un túnel carretero en el cerro Curiurcu ubicado en la provincia del Azuay. En la etapa inicial del proyecto que corresponde a la revisión de la geología regional, se tiene dos cartas geológicas pertenecientes a Gualaceo realizadas en 1974 y 2018. La primera muestra al cerro Curiurcu constituido por: Formación Biblián, materiales de la Serie Paute, depósitos aluviales (Formación Tarqui) mientras que, la segunda carta representa al cerro con una composición de pórfido andesítico. Debido a la diferencia de información que se obtuvo en las dos cartas geológicas, se planteó el objetivo de establecer la geología del cerro Curiurcu, mediante la caracterización geológica y análisis petrográfico para la construcción de un túnel carretero en la vía Guarguacucho-Paute-Gualaceo. Este estudio se realizó mediante 5 fases: i) búsqueda bibliográfica; ii) recopilación de datos geofísicos, datos geotécnicos, y logueos de perforación; iii) descripción de logueos de perforación, análisis de secciones delgadas, análisis de muestras fósiles; iv) análisis de los resultados.

Obteniendo como resultados del estudio que: el cerro está compuesto en su flanco oeste por rocas sedimentarias: lutitas negras, limolitas con contenido de fósiles bentónicos (*Textularia* sp. y *Haplophragmoides* sp.) y planctónicos aglutinados (*Globigerinas* y *Bathysiphon* sp.) que datan del Cretácico Superior. El flanco oeste del cerro está constituido por materiales volcánicos, volcano-sedimentarios y materiales sedimentarios. Concluyendo finalmente que el cerro Curiurcu está compuesto al oeste por la Formación Yunguila correspondiente al Cretácico Superior de acuerdo a la edad relativa obtenida del análisis fósil, y la Formación Quingeo que se encontraría en el flanco este del cerro.

Palabras claves: perforaciones, secciones delgadas, fósiles, formación geológica.

ABSTRACT

The country's geology provides large-scale information for a given area, so it may differ from local geology due to the detail that extends into them. Which leads to the problem of this study, where initially it is required to make a highway tunnel in the Curiurcu hill located in the province of Azuay. In the initial stage of the project that corresponds to the review of regional geology, there are two geological charts belonging to Gualaceo made in 1974 and 2018. The first shows the Curiurcu hill consisting of: Biblián Formation, Paute Series materials, alluvial deposits (Tarqui Formation) while, the second letter represents the hill with an andesitic porphyry composition. Due to the difference in information obtained in the two geological charts, the objective of establishing the geology of the Curiurcu hill was proposed, through geological characterization and petrographic analysis for the construction of a highway tunnel on the Guarguacucho-Paute-Gualaceo road. This study was carried out through 5 phases: i) bibliographic search; ii) collection of geophysical data, geotechnical data, and drilling logs; iii) description of drilling logs, analysis of thin sections, analysis of fossil samples; iv) analysis of results.

Obtaining as results of the study that: the hill is composed of sedimentary rocks on its west flank: black shales, siltstones containing benthic fossils (*Textularia* sp. And *Haplophragmoides* sp.) And agglutinated planktonic (*Globigerinas* and *Bathysiphon* sp.) Dating from the Upper Cretaceous. The west flank of the hill is made up of volcanic, volcano-sedimentary and sedimentary materials. Finally concluding that the Curiurcu hill is composed to the west by the Yunguila Formation corresponding to the Upper Cretaceous according to the relative age obtained from the fossil analysis, and the Quingeo Formation that would be found on the eastern flank of the hill.

Keywords: perforations, thin sections, fossils, geological formation.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Ubicación de la zona de estudio.....	3
1.5 Restricciones.....	5
1.5.1 Restricciones temporal	5
1.5.2 Restricciones físicas	5
1.6 Diseño metodológico	5
1.6.1 Cronograma	5
1.6.2 Recursos.....	6
1.7 Estado de arte y análisis de alternativas	7
1.8 Estudios previos	9
CAPÍTULO 2.....	12
2. marco geológico	13
2.1 Geología Regional.....	13
2.1.1 División Guamote.....	15

2.1.2	División Alao	16
2.1.3	División Loja.....	17
2.1.4	División Salado	18
2.1.5	División Zamora	19
2.2	Geomorfología.....	20
2.3	Tectónica regional	20
2.4	Formaciones geológicas.....	23
2.4.1	Formación Yunguilla	24
2.4.2	Formación Chinchín	24
2.4.3	Formación Quingeo	24
2.4.4	Formación Saraguro	25
2.4.5	Formación Loyola	25
2.4.6	Formación Turi.....	25
2.4.7	Formación Tarqui.....	26
2.4.8	Intrusivo El Descanso	26
2.5	Estructuras	27
2.5.1	Falla Peltetec	27
2.5.2	Falla Santa Ana-Tahual	27
CAPÍTULO 3.....		28
3.	METODOLOGÍA	29
3.1	Técnicas de investigación para el planteamiento del problema	29
3.2	Metodología para la caracterización geológica	31
3.2.1	FASE I	32
3.2.2	Información de la Geología del sector	32
3.2.3	Información de métodos aplicados	32
3.2.4	Información de conceptos aplicados en el estudio.....	33
3.3	FASE II.....	33

3.3.1	Registro de sondeos de perforación	33
3.3.2	Datos geofísicos	33
3.3.3	Datos geotécnicos	34
3.4	FASE III.....	37
3.4.1	Descripción de testigos.....	38
3.4.2	Análisis de láminas delgadas.....	39
3.4.3	Análisis de Fósiles	43
CAPÍTULO 4.....		46
4.	REsULTados	47
4.1	Resultados de la Prospección Geofísica.....	47
4.2	Resultado de parámetros geotécnicos	51
4.3	Descripción a la meso escala.....	53
4.3.1	Muestras de mano	53
4.3.2	Descripción de láminas delgadas	60
4.3.3	Resultados de análisis bioestratigráfico (fósiles)	64
4.4	Columnas estratigráficas	66
4.5	Resultados de la FASE IV	70
4.5.1	Análisis de los Resultados	70
4.6	Mapa geológico del cerro	72
CÁPITULO 5.....		74
5.	conclusiones y recomendaciones	74
5.1	Conclusiones.....	74
5.2	Recomendaciones.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....		77
APÉNDICE A.....		84
APÉNDICE B.....		86
APÉNDICE C.....		87

APÉNDICE D.....	96
APÉNDICE E.....	110
APÉNDICE F.....	116
APÉNDICE G.....	133
APÉNDICE H.....	138
APÉNDICE I.....	157

ABREVIATURAS

MTOP: Ministerio de transporte y Obras Públicas

NEC: Norma Ecuatoriana de la Construcción

ESPOL: Escuela Superior Politécnica del litoral

MDUV: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

FICT: Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

WOS: Web Of Science

SCOPUS: revista científica

IGM: Instituto Geográfico Militar

PT: perforación

V_P : velocidad de ondas de compresional

V_S : velocidad de ondas de corte

IAEA: International Atomic Energy Agency

ASTM D2845-08: Método de prueba estándar para la determinación de laboratorio de velocidades de pulso.

SIMBOLOGÍA

PA: Pórfido andesítico

D^D: Diorita El Descanso

E_Q: Formación Quíngeo

M₁₋₂: lavas andesíticas Formación Biblián

K₇: Formación Yunguilla

P^{II}: Formación Tarqui

QA: Depósitos aluviales

 : Falla inversa/ cabalgamiento observada

-----: contacto inferido

-----: falla inferida

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación de la zona de estudio. En la parte superior izquierda se observa la ubicación general (Prov. Del Azuay), el recuadro rojo muestra la zona a ser estudiada (Cerro Curiurcu)	4
Figura 1.2 Hoja geológica Gualaceo a escala 1: 50 000.	11
Figura 1.3 Hoja geológica Gualaceo a escala 1: 50 000.	11
Figura 2.1 Principales fallas y características geomorfológicas del Ecuador. Tomado de (Aspden & Litherland, 1992)	13
Figura 2.2 Geología precretácea de la Cordillera Real y la zona Subandina. Modificado de (Aspden & Litherland, 1992)	14
Figura 2.3 Mapa geológicos simplificado de las rocas pre-cretáceas de la Cordillera Real y la zona Subandina. Tomado y modificado de (Aspden & Litherland, 1992)	15
Figura 2.4 Geological and metal occurrence maps of the Southern Cordillera Real and El Oro metamorphic belts, Ecuador. Obtenido de (Aspend, John; Clarke, Martin; Jemielita, Richard; Litherland, 1994)	16
Figura 2.5 Principales dominios tectónicos y estructuras propuestas para el Margen Continental del Ecuador. Fuente: (Tamay Granda, 2018)	22
Figura 2.6 Guía de la terminología estratigráfica de las formaciones sedimentarias y volcánicas. Obtenido de (Hungerbühler et al., 2002).....	23
Figura 3.1 Fases para la caracterización geológica del cerro Curiurcu	31
Figura 3.2 Esquema de procesos en la Fase I	32
Figura 3.3 Proceso de recolección de muestras y preparación de láminas delgadas: 41	
Figura 3.4 Clasificación granulométrica de los sedimentos de Wentworth (1922) y Krumbein (1934). Modificado de (Hernández, 2017)	42
Figura 3.5 Diagrama de clasificación QAPF (sobresaturado en Si) para rocas volcánicas de (Streckeisen, 1978) de las lavas y diques de la Formación Noreán. Q=Cuarzo, A= Feldespato potásico y P= Plagioclasas	42
Figura 3.6 Procedimiento que fue realizado para la preparación de muestras de fósiles	43
Figura 3.7 Materiales empleados en la preparación y análisis de muestras fósiles	45
Figura 4.1 Modelo simplificado correspondiente a la línea sísmica de refracción LSR_PT-03_PT-04. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019)	47

Figura 4.2 Modelo simplificado correspondiente a la línea sísmica de refracción LSRPS-230Vp. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019).....	48
Figura 4.3 Modelo simplificado correspondiente a la línea sísmica de refracción LSRPS-230Vs. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019).....	48
Figura 4.4 Muestra correspondiente a la perforación PT-03	53
Figura 4.5 Muestra perteneciente a la perforación PT-03	54
Figura 4.6 Muestra de mano en perforación PT-03.....	54
Figura 4.7 Mineral de carbonato en la perforación PT-03	55
Figura 4.8 Muestra de mano perforación PT-03.....	55
Figura 4.9 Lente en muestra de perforación PT-03.....	56
<i>Figura 4.10 Microfalla en perforación PT-03.....</i>	<i>56</i>
Figura 4.11 Cacita cristalizada en la perforación PT-03	57
Figura 4.12 Venillas milimétricas de carbonato. En la perforación PT-03	57
Figura 4.13 Microfalla en muestra de mano de PT-04.....	58
Figura 4.14 Muestra de mano correspondiente a PT-04	58
Figura 4.15 Muestra de mano de la perforación PT-04	59
Figura 4.16 Muestra de mano de la perforación PT-02	59
Figura 4.17 Muestra de mano de la perforación PT-02	60
Figura 4.18 Fósiles encontrados en las muestras 20 y 12 respectivamente	64
Figura 4.19 Foraminíferos planctónicos en lámina delgada	64
Figura 4.20 Foraminíferos bentónicos en lámina delgada.....	65
Figura 4.21 Columna estratigráfica correspondiente a la perforación PT-02. Como resultado de la descripción y análisis de los testigos.	67
Figura 4.22 Columna estratigráfica correspondiente a la perforación PT-03. Como resultado de la descripción a meso y micro escala de las litologías.....	68
Figura 4.23 Columna estratigráfica correspondiente a la perforación PT-04. Como resultado de la descripción a meso y micro escala.	69
Figura 4.24 Mapa geológico obtenido en la zona de estudio.	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coordenadas de ubicación de la zona de estudio	3
Tabla 1.2 Cronograma de actividades	5
Tabla 3.1 Desarrollo y resultados de las dos fases (empatizar y definir) de la técnica de Design Thinking.....	30
Tabla 3.2 Datos de las cuatro perforaciones revisadas en este estudio.....	33
Tabla 3.3 Métodos aplicados en el estudio geofísico, realizados por parte de la empresa GEOESTUDIOS S.A.	34
Tabla 3.4 Clasificación para la representación del parámetro de recuperación en el registro de logeos de perforación.	35
Tabla 3.5 Valores de clasificación para la calidad de la roca.	35
Tabla 3.6 Clasificación de acuerdo al grado de meteorización de la roca.....	36
Tabla 3.7 Clasificación en función del fracturamiento de la roca utilizada para la representación en los registros de perforación.....	36
Tabla 3.8 Clasificación en función del espaciamiento de las fracturas, utilizadas para la representación en los registros de perforación.....	36
Tabla 3.9 Parámetros de clasificación para registrar el flujo de retorno en la perforación	37
Tabla 3.10 Parámetros de clasificación para la resistencia de la roca	37
Tabla 3.11 Detalle de las muestras seleccionadas para la elaboración de láminas delgadas.....	40
Tabla 3.12 Detalle de las muestras tomadas para la realización de las muestras fósiles	43
Tabla 4.1 Valores de V_{s30} , V_{s1} V_{s2} y H_1 obtenidos de los ensayos MASW-MAM. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019).....	49
Tabla 4.2 Valores de frecuencia dominante y amplitud del análisis espectral. Obtenido de GEOESTUDIOS S.A	49
Tabla 4.3 Resumen de los valores de V_s calculados a partir de las V_p de los núcleos y los valores seleccionados de coeficiente de Poisson. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019)	51
Tabla 4.4 Datos geotécnicos relevantes de la perforación PT-02	52
Tabla 4.5 Datos geotécnicos relevantes de la perforación PT-03	52
Tabla 4.6 Datos geotécnicos relevantes de la perforación PT-04	52

Tabla 4.7 Descripción de la muestra 2019-150 correspondiente a la perforación PT-03	61
Tabla 4.8 Descripción de la muestra 2019-161 correspondiente a la perforación PT-04	62
Tabla 4.9 Resultados obtenidos de la descripción y clasificación microscópica de las 18 secciones delgadas	63

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014) del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, apartado de cimentaciones y geotecnia, en las construcciones civiles se deben realizar: 1) el reconocimiento de campo, 2) la investigación del subsuelo, y 3) el análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de obras geotécnicas.

En la actualidad, todo proyecto de construcción de túneles al tratarse de una vía de comunicación requiere un estudio geológico, del cual depende la seguridad, la estabilidad y rendimiento de la obra (Legget , 2015). Como resultado de estos estudios se tienen secciones geológicas que se basan en información de campo y en resultados de perforaciones, antes de la excavación del túnel. La confiabilidad de las secciones geológicas está directamente relacionada con la calidad de diseño, el costo y el tiempo de construcción. Por esta razón, es imprescindible que estas coincidan con los resultados de la excavación del túnel (Dalgıç, 2000). Además, es importante tener en cuenta los factores geológicos (fracturas, hidrogeología, litología, geomecánica) que intervienen en la estabilidad de obras subterráneas, construidas sobre materiales pétreos del subsuelo, aportando a la prevención de riesgos geológicos.

La finalidad del estudio es establecer la geología del cerro Curiurcu mediante un análisis petrográfico en secciones delgadas, que permita la determinación de la litología del lugar. Esto es necesario, debido a que existe una incertidumbre geológica en la zona. Lo que se puede observar en las dos hojas geológicas disponibles de Gualaceo de los años 1974 y 2018 a escala 1: 50 000. Esto puede deberse al tamaño de la escala en la que se presenta la información, por lo que se tendrá que corroborar con datos de campo y de laboratorio.

En los próximos capítulos se presenta de forma esquematizada los procedimientos que conlleva este estudio. En el primer capítulo en rasgos generales se describe el objetivo del problema, su justificación, el diseño metodológico y las restricciones del proyecto. El capítulo dos comprende el marco teórico, en donde se especifica conceptos que serán aplicados en la continuidad de este proyecto. En el tercer capítulo, se muestra la

metodología empleada y sus componentes. Finalmente, en los dos capítulos finales se presentan el análisis de los resultados en este estudio y sus resultados obtenidos.

1.1 Descripción del problema

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) tiene proyectada la ampliación de dos a cuatro carriles de la vía Guangarcucho-Paute-Gualaceo, en la Provincia del Azuay. Debido a que esta vía es la única conexión de 9 cantones del Azuay (Cuenca, Azogues, Gualaceo, Paute, Chordeleg, Sígsig, El Pan, Guachapala, Sevilla de Oro), con la provincia de Morona Santiago al sur del Ecuador. Por lo cual se tiene una gran afluencia vehicular, largos tiempos de viaje, dificultando el transporte de personas y productos de la zona. Además, al encontrarse la vía limitada por el Río Paute, es necesario la construcción de un túnel carretero a la altura de la parroquia San Cristóbal (Carlos Ordóñez Lazo), y la determinación de secciones geológicas en la zona.

1.2 Justificación del problema

Los estudios geológicos resultan una medida preventiva en los túneles carreteros, debido a que, basándose en los materiales presentes y sus características geomecánicas, se puede evaluar la pre-factibilidad de su construcción. De tal forma que se garantice un funcionamiento adecuado de las edificaciones, puentes y demás obras civiles, preservando la vida humana y evitando daños a construcciones cercanas.

Por otro lado, estos estudios representan un aporte a la cartografía local del sector, puesto que la única información geológica disponible es la proporcionada en dos hojas geológicas 1: 50 000 de Gualaceo de 1974 (IGM) y en el 2018 (Instituto Nacional de Investigación Minero Metalúrgico). Lo que conlleva a realizar este estudio para establecer la geología del cerro Curiurcu, mediante un análisis de láminas delgadas de las perforaciones en la zona.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Establecer la geología del cerro Curiurcu mediante la caracterización geológica y análisis petrográfico, para la construcción de un túnel en la vía Guarguachucho-Paute-Gualaceo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las formaciones geológicas en el cerro Curiurcu, mediante la descripción a meso-micro escala de muestras de roca en núcleos de perforación, para la actualización cartográfica del cerro.
- Realizar secciones delgadas de las muestras de núcleo de perforación mediante procedimientos de laboratorio, para la descripción y análisis de propiedades petrográficas de las rocas.
- Complementar los datos obtenidos de análisis de laboratorio y de campo para la representación de los materiales y formaciones geológicas mediante la construcción de un mapa geológico del cerro Curiurcu.

1.4 Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio comprende el cerro Curiurcu, ubicado en la vía Guaguarcucho-Paute-Gualaceo. Perteneciente a la provincia del Azuay ubicada al sur del Ecuador en la región Sierra. Limitado geográficamente al norte con la provincia de Cañar, al Sur con la provincia de El Oro, al este con Zamora Chinchipe y al Oeste con Guayas. El cerro en estudio cubre un área aproximada de 1.5Km². Para mejor ubicación revisar **Figura 1.1**

Coordenadas de ubicación:

Tabla 1.1 Coordenadas de ubicación de la zona de estudio

Coordenada X	Coordenadas Y
736115,072	9685129,275
737960,960	9685.114,508
736122,45	9684782,248
737949,885	9684767,481

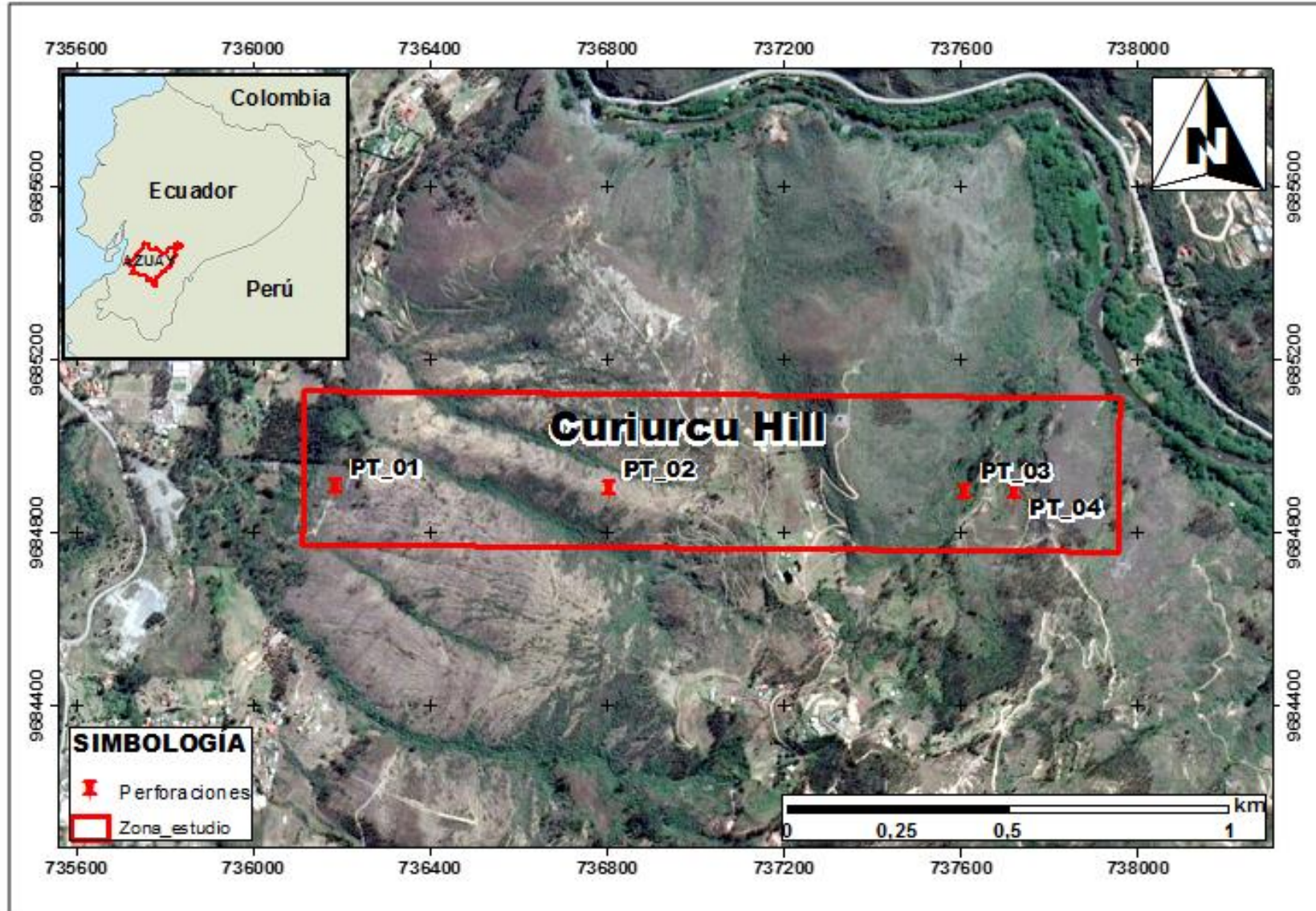


Figura 1.1 Mapa de ubicación de la zona de estudio. En la parte superior izquierda se observa la ubicación general (Prov. Del Azuay), el recuadro rojo muestra la zona a ser estudiada (Cerro Curiurcu)

1.5 Restricciones

De acuerdo con los resultados que se espera el proyecto y con las peticiones por parte de cliente, en la siguiente sección se presenta las restricciones que tendrá el proyecto debido a factores de tiempo.

1.5.1 Restricciones temporal

- El proyecto tiene una duración aproximada de 3 meses, por lo que fue necesario determinar el número de muestras dependiendo del tiempo de preparación y análisis. Determinando que se realizarán 18 muestras petrográficas, y 24 muestras de fósiles.

1.5.2 Restricciones físicas

- El uso de softwares para el procesamiento de los datos debe contar con licencia se está de tipo estudiantil o de la institución
- El estudio será realizado solo con los datos proporcionados por la empresa (perforaciones, datos geofísicos, datos geotécnicos)
- No se incluye un estudio hidrogeológico, ya que el alcance del proyecto no incluye este factor.

1.6 Diseño metodológico

1.6.1 Cronograma

Mediante la Tabla 1.2 se muestra las fechas tentativas que se plantearon para el cumplimiento del proyecto. El mismo fue revisado por parte de la representante de la empresa GEOESTUDIOS S.A.

Tabla 1.2 Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	Octubre				Noviembre				Diciembre			
	01-04	16-18	21-25	28-01	04-08	11-15	18-22	25-29	02-06	09-13	16-20	23-27
Revisión bibliográfica												
Propuesta de materia integradora												
Design Thinking												
Recopilación de datos/descripción de testigos												
Elaboración de columnas estratigráficas												

Redacción del estado de arte												
Redacción del capítulo 1												
Elaboración de láminas delgadas												
Elaboración de póster												
Análisis petrográfico												
Elaboración de muestras de fósiles												
Análisis fósil												
Redacción de la metodología												
Redacción de resultados y conclusiones												
Documento final												

1.6.2 Recursos

Recursos digitales

Comprende el uso de páginas web para búsqueda de información, así como software para procesamiento de datos.

- Búsqueda de información en revistas científicas (Tectonophysics, Geophysical, Journal Geophysical Research Letters, International Earth and Planetary Science Letters, Journal of South American Earth Sciences, Earth Science Review)
- Software ArcMap versión 10.5 (Licencia de ESPOL); digitalización de mapas.
- Software Strater 5 (ST-017777-1649); elaboración de columnas estratigráficas.
- Software Autocad 2019 (901-05176666); edición de datos proporcionados por la empresa.
- Image View (Licencia laboratorio de Petrología); para registro fotográfico de muestras petrográficas y medición de muestras para su clasificación.

Recursos físicos

Comprende los materiales para describir las muestras de mano (núcleos de perforación), y la maquinaria que será necesaria para la preparación de muestras y su análisis.

- Lupa de mano, aumento 6x
- Ácido clorhídrico a 10%

- Rayador de minerales con punta de tungsteno (dureza en la escala de Mohs 8)
- Libreta de campo (para la anotación de datos)
- Cortadora de muestras de roca
- Cubre objetos
- Pulidora (para devastar las muestras)
- Abrasivos (para devastar las muestras)
- Microscopio
- Cámara fotográfica
- Computadora

1.7 Estado de arte y análisis de alternativas

La geología en la actualidad tiene mayor relevancia en las obras civiles, ya que constituyen estudios preliminares y decisivos en una construcción. Es por ello que varios autores proponen metodologías que han resultado en casos de estudio exitosos; por lo que se hace una revisión a continuación:

Una metodología general que ha sido aceptada y publicada en el Libro de Ingeniería Geológica, descrita por (González de Vallejo *et al*, 2002) Propone un esquema de estudio geológico-geotécnico para túneles. El mismo que comprende: datos geológicos regionales y locales (litología, estructura, discontinuidades y tensiones), condiciones hidrogeológicas (niveles piezométricos, parámetros hidráulicos, red de flujo), investigación geomecánica (sondeos, testificación geotécnica, geofísica, ensayos in situ, ensayos de laboratorio) y recomendaciones de proyecto (método de excavación, sistema de sostenimiento, tratamiento del terreno). Todos estos parámetros son explicados a detalle en cada una de las secciones del capítulo 10 del libro citado.

Por otra parte (García Ruiz, 2018) enfoca su estudio en la particularidad del macizo rocoso, exponiendo el siguiente concepto. “En la actualidad el diseño de túneles se fundamenta en la valoración del macizo rocoso”. Por lo que analiza a las diaclasas como estructuras que controlan la resistencia del macizo rocoso. Proponiendo

criterios de estudios como: discontinuidades, espesores de capa, resistencia del macizo rocoso, relación entre RQD y sistemas de diaclasas, y finalmente el relleno de diaclasas. Este estudio puede ser aplicado a zonas pequeñas de estudio, por el detalle que se debe de alcanzar en el análisis de estas estructuras.

El siguiente método analizado por (Waller y Ersoy , 1995) podría ser aprovechado en este proyecto, por el hecho de tener los recursos necesarios (láminas delgadas de las rocas y software de análisis de imagen). Se trata de una alternativa que se basa en el análisis de la textura de la roca, utilizándolo como factor predictivo para evaluar la capacidad de perforación y corte, el rendimiento mecánico y desgaste de las rocas. Concentrando su investigación en factores como: el tamaño de grano, la forma de grano, la orientación de grano, la proporción relativa de granos y el material de matriz.

(Soldo *et al*, 2018) menciona en su investigación que el resultado de los estudios geológicos consiste en la evaluación de la geometría de los cuerpos y características geológicas en profundidad. Por lo que enfoca el estudio en la determinación de la litología, el agua subterránea, la geomorfología o la estructura y propiedades de las rocas. Siendo un método muy generalizado, y que además se restringe en este proyecto por la falta de datos hidrogeológicos.

(Mohd Ashraf *et al*, 2019) en su investigación realizada para la excavación de un túnel, propone un método de tomografía en el área; así como también parámetros geotécnicos, y grado de meterización de la roca, RQD y la interpolación espacial de un modeo en 3D. Concluyendo su estudio con consideraciones necesarias, que deberán ser tomadas para la construcción del túnel. Los resultados son presentados en un modelo 3D que brinda un resultado dinámico. No puede ser implementado en este proyecto debido a la falta de tiempo para a recolección de datos por tomografía y a la complejidad del modelado.

En el Ecuador, la entidad encargada de este tipo de obras es el (Ministerio de Obras Públicas, 2013) quien cuenta con una normativa vial, en donde mencionan ciertas consideraciones para la construcción de obras civiles viales. Mencionando así,

cómo se debe realizar las instalaciones eléctricas, nombra también el diseño e instalación de alcantarillas, implementación de sistemas de emergencia y señalización. Por lo antes expuesto se puede decir que la normativa que presentan, no considera ni menciona ninguna consideración geológica.

Considerando lo anterior, se puede concluir que las metodologías y trabajos consultados se complementan. Ya que van de lo general hasta el detalle como la propuesta por Waller y Ersoy. Puesto que en este proyecto de titulación se tiene datos de geofísica, datos geotécnicos y logueos de perforación se puede hacer uso de la metodología expuesta por González de Vallejo *et al* en el 2002 dándole un mayor detalle con el análisis de láminas delgadas y fósiles.

1.8 Estudios previos

Como estudio previo en el cerro Curiurcu se tiene dos hojas geológicas de Gualaceo a una escala 1: 50 000; la primera realizada en 1974 por el IGM. En donde no se representa al cerro Curiurcu por su nombre, pero de acuerdo a las coordenadas se lo puede ubicar en la parte superior de la hoja, a los alrededores de la Josefina. De acuerdo con esta hoja el cerro consta de materiales como conglomerados y lavas andesíticas, correspondientes a la Formación Turi y la Formación Loyola respectivamente.

La segunda hoja geológica de Gualaceo (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, 2018), realizada por el Instituto de Investigación Geológico Minero metalúrgico en el año 2018, registra al cerro Curirucu por su nombre. En esta hoja se observa una diferencia en la litología, el material presente es identificado como pórfido andesítico. Detallando que corresponde a cuerpos intrusivos de alto nivel; y pórfidos de composición andesítica con fenocristales de hornblenda.

Además, en la misma hoja geológica se muestra estructuralmente la Falla Santa Ana-Tahual, responsable del cabalgamiento de la Formación Yunguilla del Cretácico sobre los sedimentos de la Formación Quingeo del Eoceno. La falla fue

medida al SO del sector de Lulcay, donde se la encuentra con mayor inclinación, con rumbo N13°E y buzando 86° al NO.

Otro trabajo en la zona de estudio realizado por (Verdezoto Villacis , 2006) en su trabajo de titulación: “ Levantamiento geológico del sector comprendido entre las latitudes 2° 37' S y 2° 50' S, provincias de Cañar y Azuay. Donde se realiza un análisis y evolución de la tectónica del sector, siendo de interés para este estudio, debido a la presencia de estructuras locales como fallas. Por ejemplo, en este estudio, el autor registra en las coordenadas 738587mE – 9687836Ms; la presencia de fallas de tipo inversa con rumbo de N42°E y buzamiento de 87° al SE, la que estaría afectando a un paquete de lavas produciendo un desplazamiento de 5-6 m, y fallas normales con rumbos (N29° y N50°), con buzamientos mayores a 70° al SE. Estas fallas se encuentran en la prolongación de la Falla San Miguel hacia el sur. Y en base a lo antes mencionado propone que, la Falla San Miguel posiblemente puede ser parte de la Falla Santa Ana-Tahual propuesta por Steinmann (1997).

(Mera Andrade & Mera Bustos, 2016) como aporte de información geológica en la zona de estudio. Con su proyecto de titulación: “Estudio litoestratigráfico y evolución estructural de la zona de Quingeo–Ludo–Sigsig, provincia de Azuay”. Concluyen que la Fm. Yunguilla aflora a lo largo de la falla Sta. Ana–Tahual, caracterizada por estar formada de series turbidíticas. Al Oeste sobreyaciendo a esta formación volcánica se encuentran las secuencias sedimentarias de la Fm. Quingeo, que están conformadas de: lutitas, limolitas, areniscas, tobas y conglomerados. Finalmente los depósitos de caída de la Fm. Tarqui se encuentran discordantes sobre toda la zona.

Además, proponen que la zona de Quingeo podría existir un cabalgamiento de la Fm. Yunguilla sobre la Fm. Quingeo, que produce un pliegue sinclinal, hacia el Este en la zona de Ludo y Sigsig. Por ello plantean la existencia de un posible fallamiento inverso local en la zonas cercanas a los poblados de Sigsig y Ludo, que se encuentran afectando al plegamiento de la zona.

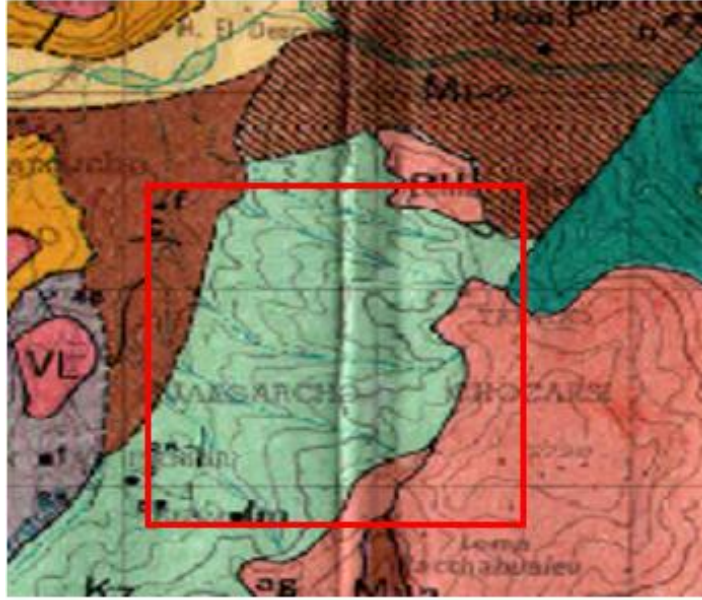


Figura 1.2 Hoja geológica Gualaceo a escala 1: 50 000.
Fuente: Instituto Geográfico Militar, 1974¹



Figura 1.3 Hoja geológica Gualaceo a escala 1: 50 000.
Fuente: Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, 2018².

¹ Para revisar la hoja geológica completa de Gualaceo realizada en el 1974. Revisar APÉNDICE A

² Para revisar la hoja geológica completa de Gualaceo realizada en el 2018. Revisar APÉNDICE A

CAPÍTULO 2

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 Geología Regional

De acuerdo con (Gansser, 1973) los Andes ecuatorianos constituyen la porción sur de los Andes del Norte y comprenden dos cordilleras distintas: Cordillera Occidental y Cordillera Real. (Lebrat, *et al* 1985; Lebrat, 1986; Aspden, *et al* 1988; Aspden, *et al* 1987a) definen que el basamento de la Cordillera Occidental está constituido de corteza oceánica cretácica, que se acrecentó a lo largo de la línea de la falla Calacali-Pallatanga-Palenque (Figura 2.1).

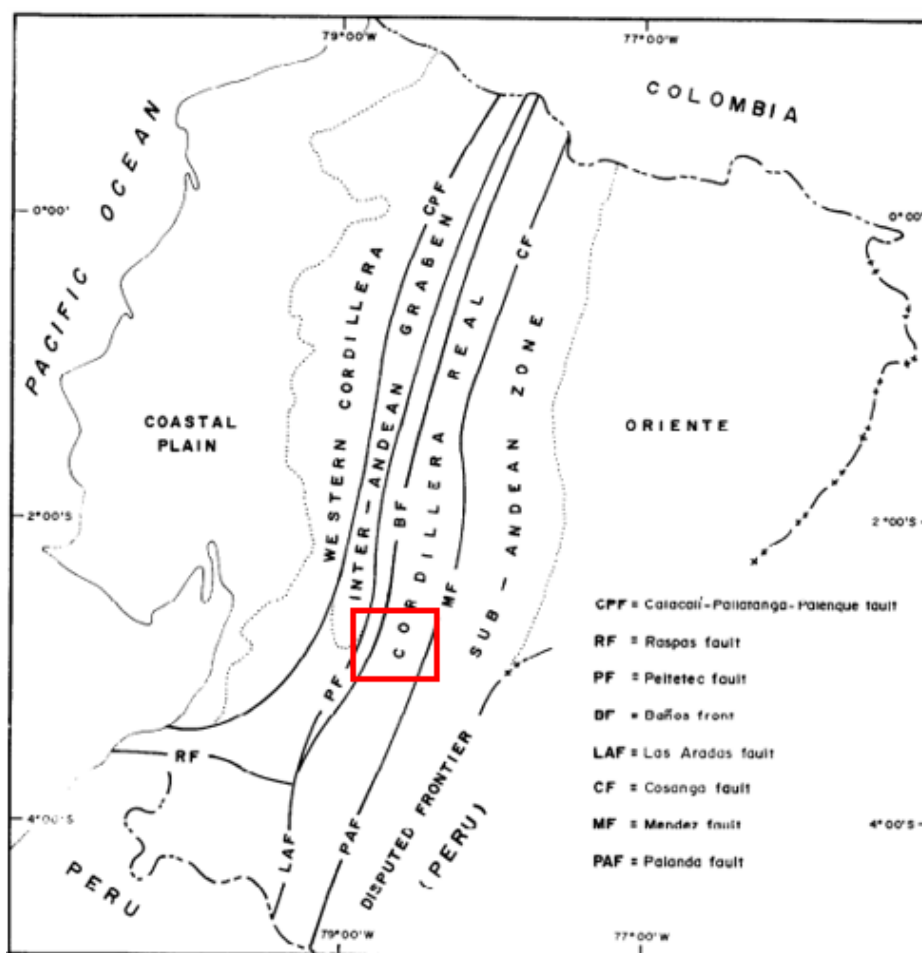


Figura 2.1 Principales fallas y características geomorfológicas del Ecuador. Tomado de (Aspden & Litherland, 1992)

(Aspden & Litherland, 1992) menciona que: En el norte, la Cordillera Occidental está separada de la Cordillera Real por un prominente valle estructural conocido como la Depresión Interandina. En el sur, los Andes están representados por una sola cordillera (Cordillera Real). Al Este de los Andes ecuatorianos se encuentra la zona subandina y el Oriente, que forman parte de los tramos superiores de la cuenca del Amazonas. Al oeste se encuentra la región costera plana y baja de la Costa.

En la (Figura 2.1) se observa un recuadro rojo que muestra la ubicación general de la zona de estudio (Provincia del Azuay). La misma que está ubicada sobre la Cordillera Real, al sur del Ecuador.

Según Baldock (1982), la Cordillera Real fue dividida utilizando una nomenclatura estratigráfica. Sin embargo, (Aspden & Litherland, 1992) reemplazó esta nomenclatura y reconoció cinco subdivisiones litotectónicas principales: las divisiones de Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora como se observa en la Figura 2.2.

DIVISION (west to east)	GUAMOTE		ALAO		LOJA		SALADO		ZAMORA
SUBDIVISION/ LITHOLOGIES	Dark and pale orthoquartzites with slate/shale bands	PELTETEC FAULT	Peltetec: dismembered ophiolites Maguazo: turbidites Alao Paute: andesitic greenstones, tuffs and sediments	BAÑOS FRONT	Tres Lagunas: biotite granite and orthogneiss Sabanilla: ortho-and paragneiss, Associated with semipelitic phyllites, schists and paragneisses	LLANGANATES FAULT	Azafrán: calc-alkaline batholith (diorite/granodiorite) Upano: andesitic greenstones, tuffs, black phyllites, greywackes and minor marbles	COSANGA - MENDEZ FAULT	Abitagua: calc-alkaline batholith Misahualli: andesites, dacites, basalts and agglomerates Isimanchi: marbles and volcano-sedimentary rocks
TECTONO-METAMORPHIC STATE	Very low grade rocks overthrust W		Low-grade rocks, steep fabrics, upright folds		Low-to medium grade rocks thrust E with imbrications		Low-grades rocks thrust E with imbrications, high		Essentially undeformed and unmetamorphosed
AGE	? Upper Jurassic		Upper Jurassic (Oxfordian-Callovian)		? Triassic plutons in ? Palaeozoic sediments		Jurassic, with possible pre-Jurassic elements		Isimanchi: Triassic Igneous rocks Jurassic
INTERPRETATION	Continental sediments/clastic wedge		Ocean floor, forearc and volcanic arc or marginal basin		S-type granites in continentally-derived sediments		I-type plutons in volcano-sedimentary sequence		Continental I-type plutonic-volcanic arc

Figura 2.2 Geología precretácea de la Cordillera Real y la zona Subandina. Modificado de (Aspden & Litherland, 1992)

2.1.1 División Guamote

Según (Aspden & Litherland, 1992) esta división surge como una serie de incrustaciones al occidente de la Cordillera Real (Figura 2.3). Además, describió a esta división como una secuencia de ortocuazitas, intercalada con filitas o pizarras de bajo grado. Por otra parte, identifica que hacia el Sur los límites de esta división coinciden con la falla Ingapirca en el oeste y la falla Peltetec en el este.

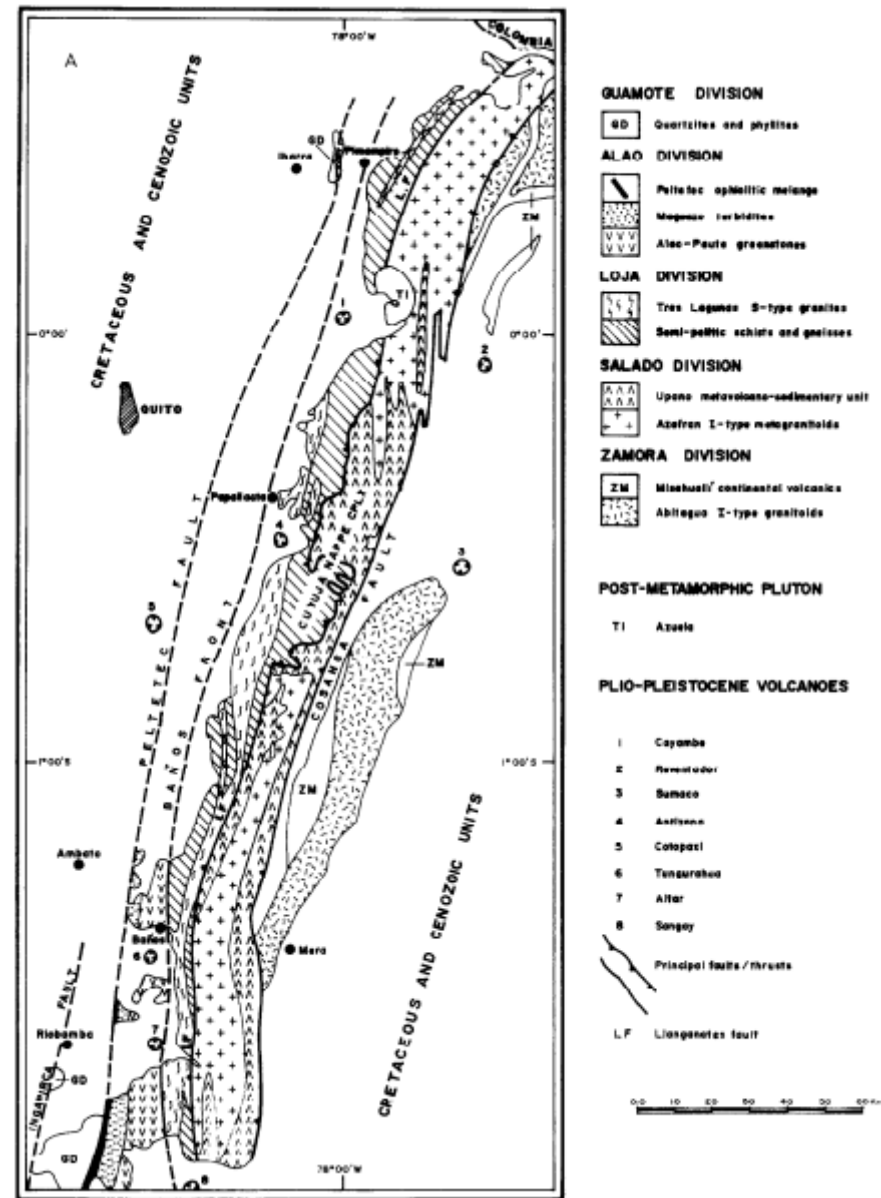


Figura 2.3 Mapa geológicos simplificado de las rocas pre-cretáceas de la Cordillera Real y la zona Subandina. Tomado y modificado de (Aspden & Litherland, 1992)

(Bristow, 1975) menciona en su estudio que la división Guamote está superpuesta inconformablemente por la formación Yunguilla de edad Maastrichtiense y además expone que esta se ve afectada por el evento de plegado vertical.

2.1.2 División Alao

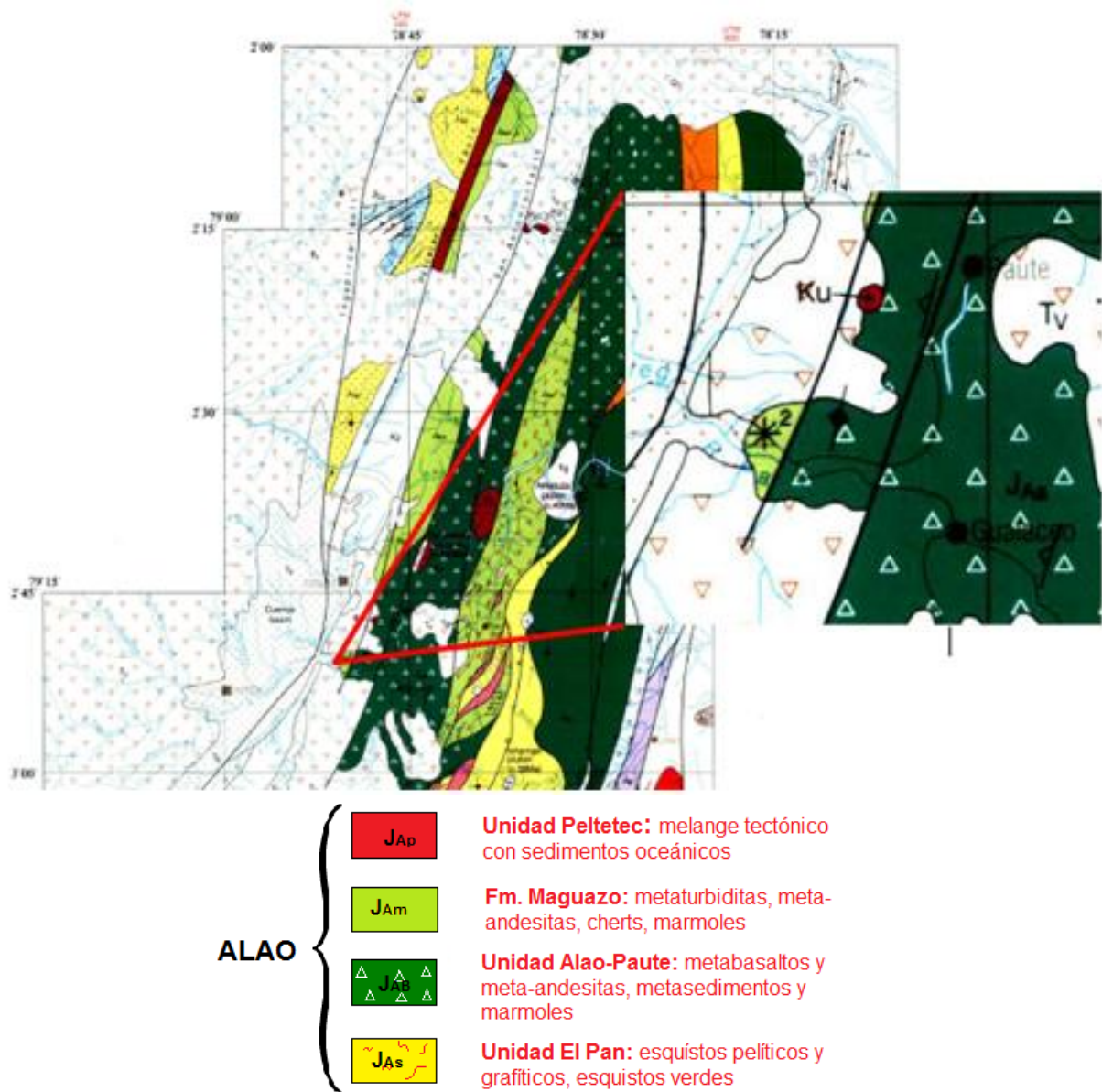


Figura 2.4 Geological and metal occurrence maps of the Southern Cordillera Real and El Oro metamorphic belts, Ecuador. Obtenido de (Aspend, John; Clarke, Martin; Jemielita, Richard; Litherland, 1994)

Como se observa en la (Figura 2.4) la zona estudio corresponde al terreno Alao constituido por la unidad Alao-Paute y la Formación Maguazo correspondientes a las edades Jurásico-Cretácico Inferior de acuerdo con el mapa completo que se muestra en el **APÉNDICE B**. (Aspden & Litherland, 1992) menciona que la división Alao surge a lo largo del margen occidental de la Cordillera Real; además identifica los límites estructurales de esta división: al este (Frente Baños) y el oeste (falla Peltetec). Por otra parte, también reconoce varias subdivisiones informales:

- a) En el extremo oeste, se reconoce la subdivisión de Peltetec como una secuencia ofiolítica que ha sido deformada por una serie de zonas de corte andino, subvertical a vertical. La falla Peltetec separa las rocas "oceánicas" de la división de Guamote (Figura 2.3).
- b) La subdivisión de Maguazo está dominada por turbiditas, en lugares ricos en clastos volcánicos y piedras verdes andesíticas. También están presentes tobas verdes metamorfoseadas, pizarras carbonosas, pequeñas cantidades de ortocuarcitas.
- c) Al este, se encuentra expuesta la subdivisión Alao-Paute, constituida de esquistos verdes andesíticos. En algunas áreas al noreste de Cuenca, están presentes rocas metasedimentarias, que incluyen filitas gráficas, cuarzo-silicato y clinozoisita-tremolita.

2.1.3 División Loja

(Aspden & Litherland, 1992) menciona que las rocas que pertenecen a la división Loja se pueden observar a lo largo de toda la Cordillera Real. Define además que:

- a) Al oeste la división está limitada por el frente Baños.
- b) Al este, está en contacto tectónico y estructuralmente superpuesto a la división Salado (Figura 2.3).
- c) Al sur, a lo largo de la falla de Pallatanga que se sumerge hacia el oeste sobre la división de Zamora.
- d) Al norte de Baños, la falla principal que separa la división Loja y la división Salado es la falla de Llanganates (Figura 2.3).

Litológicamente (Aspden & Litherland, 1992) define dos subdivisiones:

- a) La Formación Tres Lagunas: correspondientes a rocas fuertemente foliadas y se ajustan a las milonitas. Sus composiciones van desde biotita, granodioritas de moscovita a monzogranitas. En las partes más masivas de las intrusiones, la subdivisión es típicamente de grano medio a grueso y transporta megasquistos de feldespato alcalino.
- b) La subdivisión Sabanilla está constituida por orto-paragneis, en el sur predominan filitas, cuarcitas y esquistos semipelíticos de bajo grado, pero hacia el este, estos son reemplazados por un estrecho cinturón alargado de esquistos y gneis de grado medio.
- c) Al norte de Baños y al oeste de la falla de Llanganates, las rocas de la división de Loja se caracterizan por una segunda esquistosidad subvertical o empinada, inclinada hacia el oeste. Se producen cinturones estrechos de foliación tectónica plana, pero estos son esencialmente de forma monoclinial.
- d) Al sur de Baños, la división Loja está dominada por una progresión hacia el este (tectónica) desde la subdivisión de Tres Lagunas, a través de una extensa secuencia semi-pelítica hacia la subdivisión de Sabanilla. Todas estas unidades están cortadas por zonas de cizalladura con tendencia andina y una foliación tectónica D2 que generalmente se está inclinando hacia el oeste.

2.1.4 División Salado

La división Salado según (Aspden & Litherland, 1992) coincide regionalmente con las fallas de Cosanga y Méndez; se considera que estas fallas representan el límite occidental. Además, el autor identificó dos subdivisiones principales, el plutónico Azafrán y el volcán sedimentario Upano.

- a) El plutónico Azafrán representa una pequeña parte de una cadena batolítica, en el norte, la subdivisión de Azafrán está representada por los plutones de Chingual y Sacha, que comprenden granodioritas y tonalitas de biotita y horblenda de grano grueso a medio deformadas y gneisicas. La subdivisión de Azafrán, aunque no está deformada de manera uniforme, exhibe casi verticalmente en todas partes generalmente foliaciones empinadas y de

bajada al oeste, que a menudo se pueden relacionar con la presencia de zonas de cizalladura

- b) La subdivisión de Upano es una secuencia volcanosedimentaria mixta que incluye andesitas, tobas y aglomerados metamorfoseados, grises, canicas, cuarcitas impuras y filitas negras. En los horizontes más pelíticos de la subdivisión de Upano, la moscovita, la biotita, el granate y el cloritoide son comunes (Litherland M. , 1990)

El modelo propuesto por Litherland (1990) prevé que la fase plutónica de Azafran y la falla de Llanganates serían contemporáneas con la subdivisión de Upano.

2.1.5 División Zamora

(Aspden & Litherland, 1992) limitan a esta división al este de la Cordillera Real, y comprende tres subdivisiones: dos de ellas son las principales (la plutónica Abitagua y la volcánica Misahualli), consideradas como contemporáneas y equivalentes a la edad de la división Salado. Y la tercera subdivisión poco conocida de Isimanchi en la parte sureste de la Cordillera Real.

- a) La subdivisión plutónica Abitagua consta de tres batolitos no deformados de acuerdo con (Baldock, 1982): de norte a sur, estos son el batolito Rosa Florida, Abitagua y Zamora el último de los cuales ahora incluye el batolito de Río Mayo, cerca de la frontera con Perú, que originalmente se pensaba que representaba una intrusión separada y más joven.
- b) La subdivisión volcánica Misahualli de acuerdo con (Aspden & Litherland, 1992) está constituida por aglomerados y tobas verdes intruídas por rocas subvolcánicas y plutónicas del plutón Rosa Florida. Así también como: tobas, lavas y aglomerados verdes al oeste de la falla Cosanga, donde contienen unidades sedimentarias similares a las de la subdivisión marina de Upano, brechas de flujo asociadas y rocas piroclásticas. Más al sur el autor identifica, andesitas microporfiríticas de feldespato, andesitas de horblenda y dacitas asociadas con el batolito de Zamora, y una serie de pequeñas intrusiones subvolcánicas de alto nivel.

- c) La subdivisión Isimanchi descrita por (Aspden & Litherland, 1992) como rocas metamórficas de bajo grado, al oeste estas rocas entran en contacto tectónico con la subdivisión de Sabanilla a lo largo de la falla de Palanda. Además, menciona que litológicamente la unidad consiste en una secuencia metamorfoseada volcano-sedimentaria que va desde: filitas, limolitas mal clasificadas, ricas en restos volcánicos hasta mármoles.

2.2 Geomorfología

(Winckfll, 1982) en el libro de Geomorfología describe a la región de Alausí hasta la latitud de Zaruma-Saraguro, como planicies de alrededor de 40 a 50 Km de ancho; con superficies onduladas y altitudes que varían entre 3.600 y 4.700 m. También define que su morfogénesis se debe a extensos derrames lávicos, de tipo fisural y efusivo, compuestos de una superposición de coladas riolíticas y dacíticas intercaladas con aglomerados y tobas ácidas. Menciona además que, las depresiones intra-andinas se ordenan según dos filas paralelas orientadas NE-SW. Que comprenden: Cuenca, Girón, Santa Isabel al oeste; Gualaceo, Nabón, Saraguro al este. Con altitudes entre 1.600m a Santa Isabel y 2.500 metros a Cuenca y Saraguro.

En general, el sistema fluvial drena el área desde el norte hacia el sur descargando sus aguas al río Paute; en la parte noroeste, la erosión glacial ha dejado pequeños valles colgados que terminan en escarpes donde afloran las formaciones más jóvenes de la cuenca (Verdezoto Villacís, 2006)

2.3 Tectónica regional

(Tamay, 2018) menciona en su estudio que Ecuador se encuentra ubicado al noreste de América del Sur formando parte de cinturón de fuego del Pacífico, atravesado por la Cordillera de los Andes en dirección NNE-SSO. En donde el autor identifica tres estructuras que intervienen en la tectónica del Ecuador: la placa Nazca, la placa Sudamericana y el Bloque Norandino Figura 2.5(a)

La geodinámica de este último según (Hughes & Pilatasig, 2002) está controlada por la falla Pallatanga, que forma parte de la continuidad de la falla Pujilí hacia el Sur. Este sistema de fallas se extiende desde el Golfo de Guayaquil y hacia el noreste cruza la Depresión Interandina (Winter, Avouac, & Lavenue, 1993).

Varios modelos tectónicos Figura 2.5 han sido propuestos para interpretar dicho sistema de fallas:

- a) (Ego *et al*, 1995) propone que la falla Cauca Patía y Romeral alcanzan el margen de la Cordillera Occidental y la falla Pallatanga se ubica a lo largo de la Depresión Interandina Figura 2.5(b).
- b) (White *et al*, 2003) propone una modificación en la traza de la falla Chingual-La Sofia, extendiéndola hacia el límite occidental de la cordillera Real, la cual marcaría el límite de la Depresión Interandina Figura 2.5(c).
- c) (Alvarado *et al*, 2016) propone la continuidad de la zona de falla Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puna, con más de 800 km de extensión Figura 2.5(d). Por otra parte menciona que la Depresión Interandina, se encuentra deformada por las zonas de falla N-S (sistema de fallas Quito y Latacunga), que cambian de dirección hasta NNE-SSO y estarían relacionadas con la zona de sutura de Pujilí Figura 2.5(d)

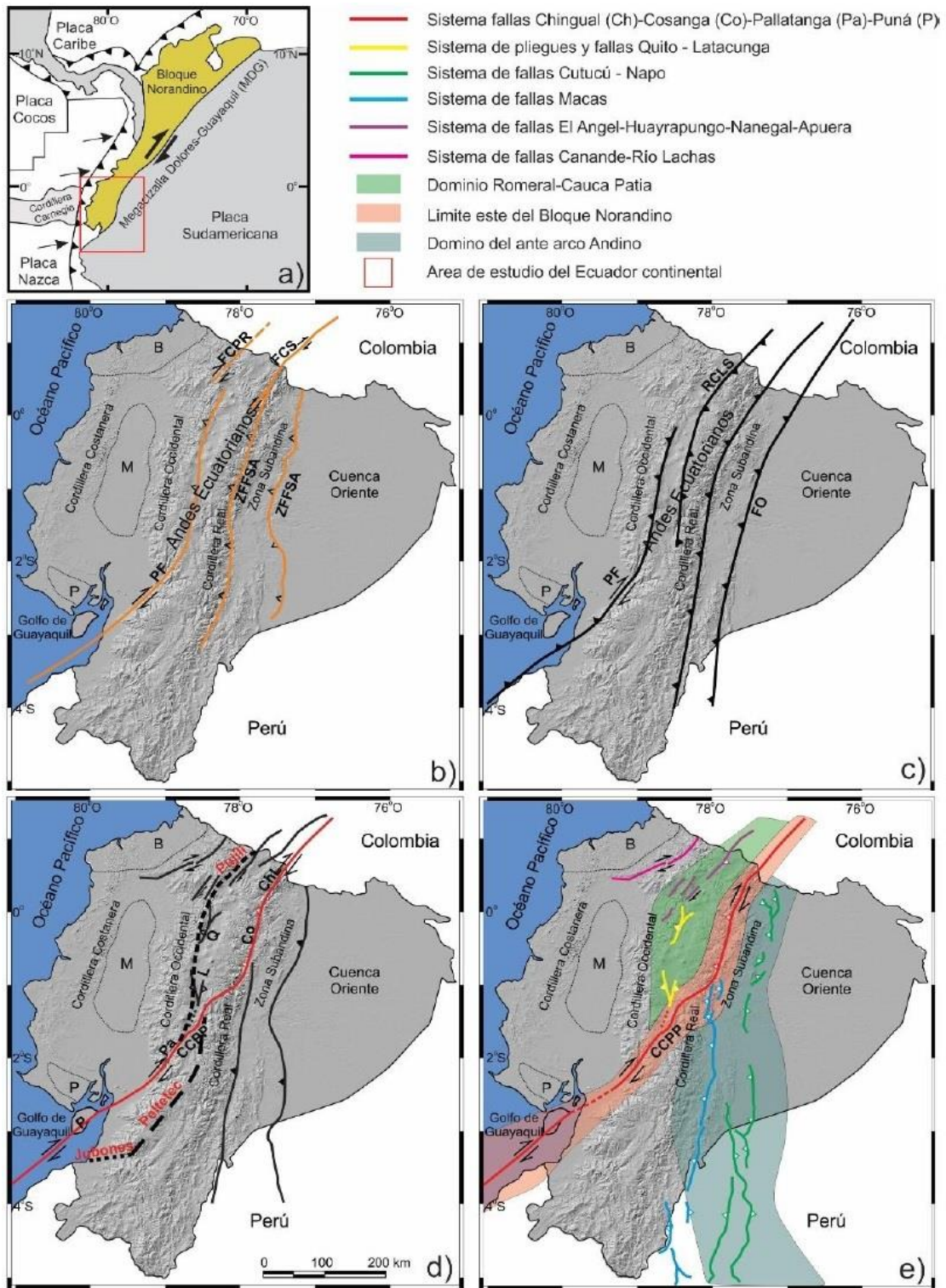


Figura 2.5 Principales dominios tectónicos y estructuras propuestas para el Margen Continental del Ecuador. Fuente: (Tamay Granda, 2018)

2.4 Formaciones geológicas

En esta sección se muestran las características de las formaciones volcánicas y sedimentarias (Hungerbühler et al., 2002). De acuerdo a la (Figura 2.6) se representa un esquema de las formaciones sedimentarias y volcánicas, para este estudio se revisan las formaciones que constituyen la Cuenca descritas desde las más antiguas a la más joven.

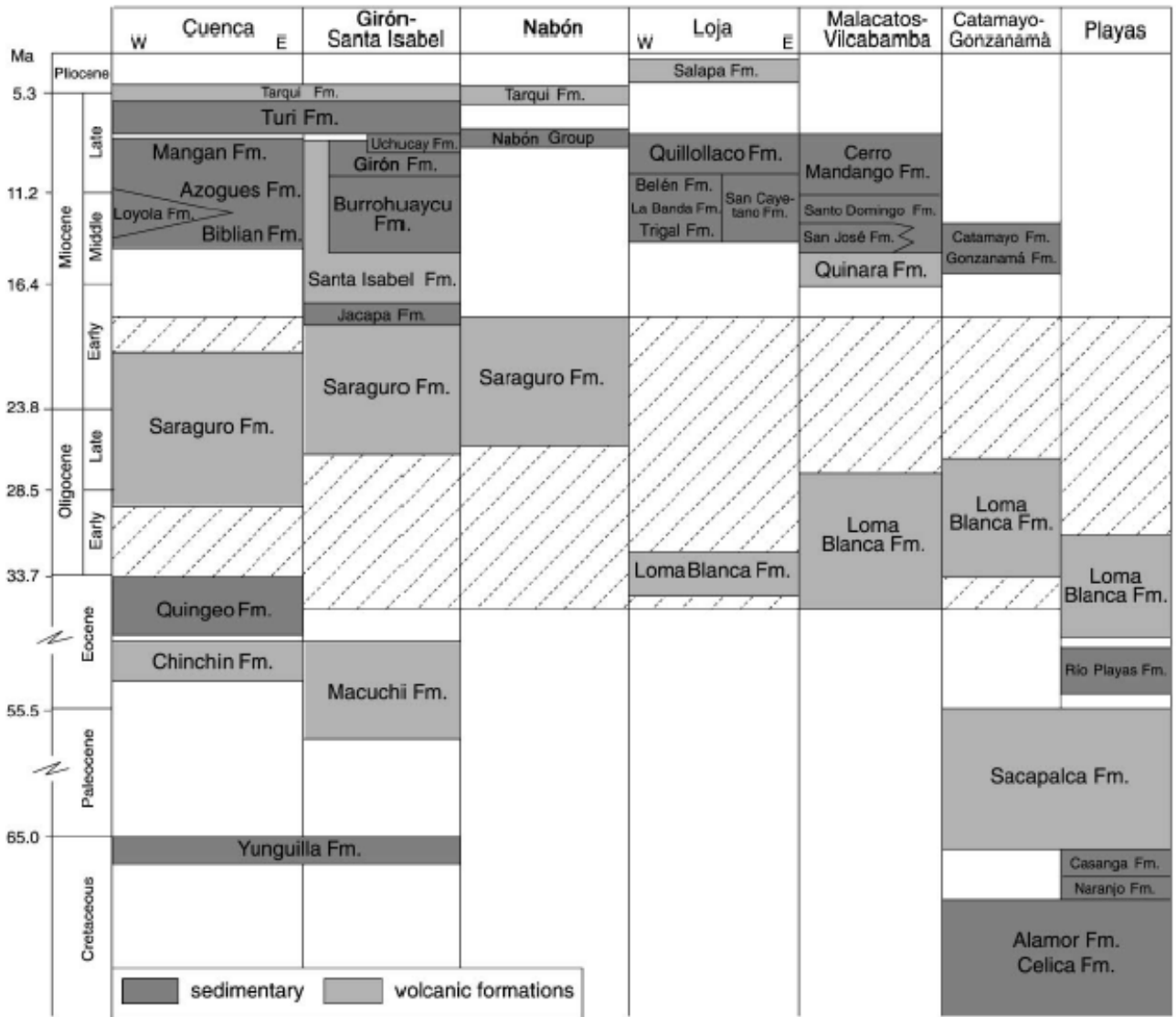


Figura 2.6 Guía de la terminología estratigráfica de las formaciones sedimentarias y volcánicas. Obtenido de (Hungerbühler et al., 2002)

2.4.1 Formación Yunguilla

(Thalman, 1946) introdujo el nombre "Formación de Yunguilla" a una sucesión de lutitas y areniscas negras, con foraminíferos del Maastrichtiense. (Steinmann, 1997) consideró que la "Formación Yunguilla" descansa sobre rocas volcánicas cretáceas, que fueron datadas por análisis de pistas de fisión como Oligoceno.

Bristow, (1973) identifican tres unidades litológicas distintas:

- a) Los cherts y los greywackes, comúnmente silicificados, producen fósiles escasos y mal conservados referidos al Maastrichtiense.
- b) Pizarras mal consolidadas con lentes de piedra caliza y lechos de areniscas arcosas, fechadas con microfósiles como Maastrichtiense.
- c) Lutitas marinas y las lentes de piedra caliza del área de Cumbe, referidas a la "Formación Yunguilla", se inclinan hacia arriba en camas rojas volcánicas continentales.

La edad para la Formación Yunguilla en base a evidencia fósil es del Maastrichtiano (Bristow, 1973). Steinmann (1997), mediante la determinación de edad con trazas de fisión, reveló edades heredadas (151 a 80 Ma) con un promedio de 97,8 ~6,7 Ma correspondiente al Cretácico Tardío.

2.4.2 Formación Chinchín

(Steinmann, 1997) nombro a esta formación, la que se encuentra expuesta entre Quingeo y Gualaceo; compuesto por una sucesión de flujos de lava parcialmente acolchados y tobas menores de caída de aire.

2.4.3 Formación Quingeo

Inicialmente considerada como parte de la Formación Biblián fue redefinida por (Steinmann, 1997) quién, en base a determinaciones de edad en trazas de fisión, reportó un rango de edades desde 42 a 35 Ma para esta formación. Además, el autor determinó las siguientes litologías:

- Conglomerados gruesos (color gris o café), con clastos de cuarzo de veta y clastos de la Formación Yunguilla areniscas de grano fino.
- Areniscas y limos sobreyacentes de color rojo y púrpura.

- Capas de ceniza volcánica y flujos andesíticos al norte de Jadán.

La depositación de la Formación Quingeo ocurrió en un sistema fluvial (mixed load fluvial system), con una fuente de sedimentos al este y transporte hacia el oeste y noroeste (Steinmann, 1997).

2.4.4 Formación Saraguro

Según lo definido por (Kennerley, 1980) y mapeado por Baldock (1982), es la formación volcánica de mayor extensión regional en el sur de Ecuador; su exposición abarca una distancia de 220 km desde la ciudad de Riobamba en el norte hasta Saraguro en el sur, y cruza desde la Cordillera Occidental en el oeste hasta la Cordillera Real en el este. El Saraguro Fm de 500–2000 m de espesor se superpone inconformemente a una serie de formaciones más antiguas: Fms. Yunguilla, Chinchín y Quingeo en el área de Cuenca.

2.4.5 Formación Loyola

La formación consiste principalmente de lutitas color gris oscuro a negro, cubiertas con limonita y veteadas con yeso (Bristow, 1975); (Bristow & Parodiz, 1982), (Steinmann, 1997). Los depósitos de Loyola descansan discordantemente sobre la Formación Biblián (Noblet, Lavenu, & Schneider, 1988). Los sedimentos de la Formación Loyola son predominantemente pelíticos. Sobre el horts de Santa Ana-San Miguel, presenta conglomerados gruesos y depósitos en masas discordantemente sobre el substrato (Noblet, Lavenu, & Schneider, 1988).

Los sedimentos predominantemente finos indican deposición en ambientes de baja energía. Los ostrácodos, bivalvos, restos de peces y camarones sugieren deposición en aguas cuya salinidad varía desde dulce a salobre (Steinmann, 1997).

2.4.6 Formación Turi

Representa la secuencia más joven del relleno de la cuenca y comprende los miembros Turi y Santa Rosa (Steinmann, 1997).

- El Miembro Turi definido por (Steinmann, 1997) consiste en conglomerados pobremente sorteados con clastos (en su mayoría fragmentos de rocas volcánicas), bien redondeados de hasta 40 cm de diámetro. También

comprende Intercalaciones de areniscas gruesas con estratificación cruzada. El estilo de estratificación y tamaño de grano indican la deposición en un sistema de ríos trenzados con un transporte dirigido de oeste a este

- El Miembro Santa Rosa según los autores: (Noblet *et al*, 1988) consiste en conglomerados gruesos, pobremente sorteados con clastos volcánicos de hasta 50 cm diámetro lo que indicaría una deposición sobre un abanico aluvial, el cual fue suministrado desde el oeste. Brechas compuestas de fragmentos de rocas volcánicas (Steinmann, 1997).

2.4.7 Formación Tarqui

Puede dividirse en los miembros Tarqui y Llaqueo, los cuales descansan discordantemente la secuencia sedimentaria de la cuenca (Steinmann, 1997) el que además define:

- El Miembro Tarqui consiste en depósitos de caída volcanoclásticos primarios, pobremente consolidados y alterados. La deposición ocurrió en un ambiente volcánico durante una fuerte fase eruptiva.
- El Miembro Llaqueo de depósitos piroclásticos y volcanoclásticos. La deposición ocurrió sobre un abanico aluvial volcanoclástico durante un periodo de pronunciada actividad volcánica.

2.4.8 Intrusivo El Descanso

La intrusión del Descanso está expuesta a lo largo del Descanso a Gualaceo siguiendo el río Paute, y corta los depósitos de la Formación Yunguilla. Consiste de rocas intermedias de grano fino, de color gris oscuro (Verdezoto Villacís, 2006). Las edades publicadas por (Steinmann, 1997). mediante determinaciones de edad en trazas de fisión muestran un gran esparcimiento que va de 35 a 20 Ma. Además, menciona que este intrusivo sería parte del Grupo Saraguro.

2.5 Estructuras

2.5.1 Falla Peltetec

(Litherland , *et al* 1994) describen a la Falla con dirección NNE-SSW, es considerada una de las estructuras fundamentales del basamento metamórfico; se conecta hacia el norte con un lineamiento que sigue el curso del río Chambo. Además, mencionan en el estudio que esta falla separa los terrenos Guamote y Alao y es marcada por el melange ofiolítico de Peltetec.

2.5.2 Falla Santa Ana-Tahual

Con dirección NE-SO, definida por (Steinmann, 1997), provocó el cabalgamiento de la Formación Yunguilla del Cretácico Tardío sobre los sedimentos de la Formación Quingeo del Eoceno, rasgo observado en afloramientos ubicados al oeste de Quingeo. Añade que los depósitos de la Formación Tarqui sobreyacen inconformemente la Falla Santa Ana-Tahual, sellando la actividad de dicha falla.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

Los estudios geotécnicos y geológicos comprenden la fase preliminar que permitirá evaluar la pre-factibilidad del túnel carretero en la vía Guanguarcucho-Paute-Gualaceo. Lo que permitirá la comunicación de ciertos cantones de la provincia del Azuay con la provincia de Zamora.

Debido a la diferencia de información entre los mapas correspondientes a las: Figura 1.2 y Figura 1.3 es necesario realizar una identificación correcta de los materiales presentes en la zona. Para delimitar la problemática y definir una solución fue necesario realizar un primer estudio mediante las técnicas de investigación Design Thinking. Con los resultados de esta fase se determinó realizar dos procedimientos para el cumplimiento de los objetivos planteados: el primero es el análisis de secciones delgadas y el segundo el estudio de fósiles. Para finalmente realizar una correcta caracterización.

3.1 Técnicas de investigación para el planteamiento del problema

Por medio de la técnica de Design Thinking, y sus dos primeras etapas (empatiza y define) se delimitó el problema, el enfoque del proyecto y los datos que serían proporcionados por parte de la empresa Geoestudios S.A. En la primera fase de “empatizar” se usaron tres herramientas (entrevistas, mapa de actores y métodos de pesos ponderados), y se realizó el primer acercamiento con el personal a cargo de la geología y la dirección de proyectos de la empresa, con el objetivo de conocer la problemática que se requería resolver.

En la segunda fase “define”, se logró determinar el alcance del proyecto y los factores inmiscuidos en el mismo. Se hizo uso de dos herramientas (los cinco ¿Por qué?, y mapas de contexto). En la Tabla 3.1 se presentan los resultados de cada una de las fases de las herramientas mencionadas.

Tabla 3.1 Desarrollo y resultados de las dos fases (empatizar y definir) de la técnica de Design Thinking

FASE	HERRAMIENTA	DESARROLLO	RESULTADOS
EMPATIZA	Entrevista	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Qué problemática se quiere resolver? 2. ¿Qué alcance tendrá el estudio? 3. ¿Qué recursos se tiene para resolver el problema? 4. ¿Con qué objetivo se realizará el proyecto? 5. ¿A quiénes beneficiará? 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio geológico del cerro • Establecer la litología a detalle mediante láminas delgadas. • Cuatro perforaciones, información geofísica, información geotécnica. • Esclarecer la incertidumbre geológica • Os 9 cantones que esperan a ampliación vial
	Mapa de actores	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Quién estará a cargo por parte de la empresa? 	<ul style="list-style-type: none"> • La tutora por parte de la empresa fue la Ing. Alejandra Vera
	Métodos de pesos ponderados	Se medirá con una puntuación desde 0-10, siendo 0 ningún interés y 10 de gran interés.	<ul style="list-style-type: none"> • Petrografía 10/10 • Paleontología 7/10 • Ambientes de formación 7/10 • Hidrogeología 0/10 • Geofísica 5/10
DEFINE	Los 5 ¿Por qué?	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Por qué se construirá el túnel? 2. ¿Por qué se requiere hacer láminas delgadas? 3. ¿Por qué hacer estudios de fósiles? 4. ¿Por qué analizar a detalle la geología? 5. ¿Por qué realizar columnas estratigráficas? 	<ul style="list-style-type: none"> • Es la única manera de ampliar la vía a cuatro carriles. • Las litologías de la perforación se muestran caóticas y es necesario determinar con certeza los materiales. • Permitirá determinar la edad relativa y el ambiente de formación, que ayudará a definir la formación geológica. • Existe una incertidumbre geológica en las hojas geológicas de año 1976 y 2018. • Permitirá representar los materiales que se encuentran en cada perforación.
	Mapas del contexto	<p>¿Qué enfoque tendrá el proyecto?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enfoque investigativo • Enfoque tecnológico • Enfoque comercial 	El proyecto tendría parte investigativa, parte comercial, ya que los resultados podrían ser comercializados a la obra de ampliación de la vía, e inclusive a otros que podrían darse a sus alrededores.

3.2 Metodología para la caracterización geológica

Los métodos aplicados fueron divididos en cuatro fases como se observa en la Figura 3.1. En la Fase I se realizó la búsqueda bibliográfica de: información geológica, estudios anteriores y métodos de caracterización geológica en túneles. La Fase II constituyó en recolección de los datos del proyecto y estudios realizados por la empresa. La Fase III consistió en un análisis meso y microscópico realizado en laboratorio. La Fase IV comprendió el análisis de los resultados obtenidos en las fases anteriores para la determinación de consideraciones geológicas. A continuación, se detalla las fases que conforman cada una de las fases del proyecto:

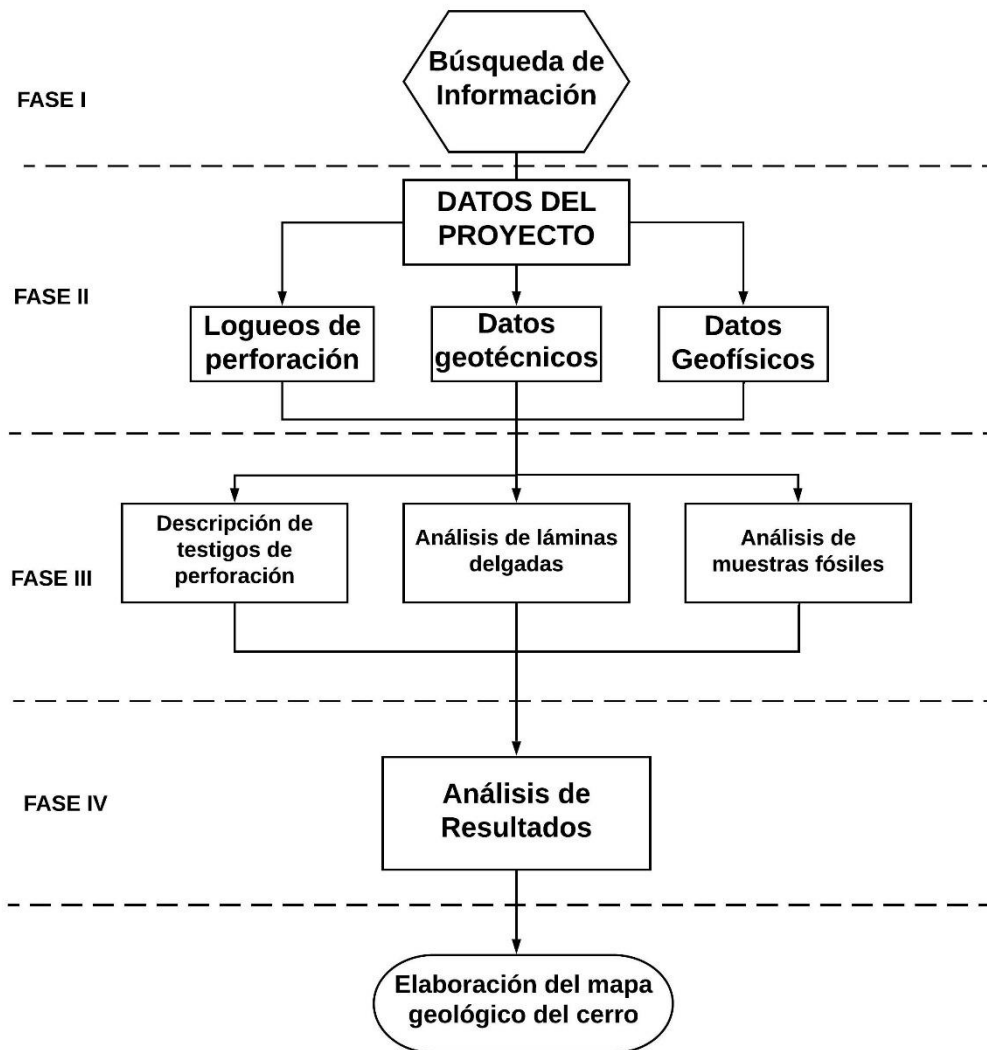


Figura 3.1 Fases para la caracterización geológica del cerro Curiurcu

3.2.1 FASE I

A continuación, se representa el esquema Figura 3.2 que se siguió en la fase de búsqueda de información: en primera estancia se realizó a búsqueda de información geológica de sector a escala regional, con el objetivo de tener conocimiento de comportamiento geológico de la zona. Seguido a esto, se realizó a búsqueda del método hacer aplicados para el estudio, así como también los conceptos petrográficos y geotécnicos importantes que en las siguientes secciones son explicados.

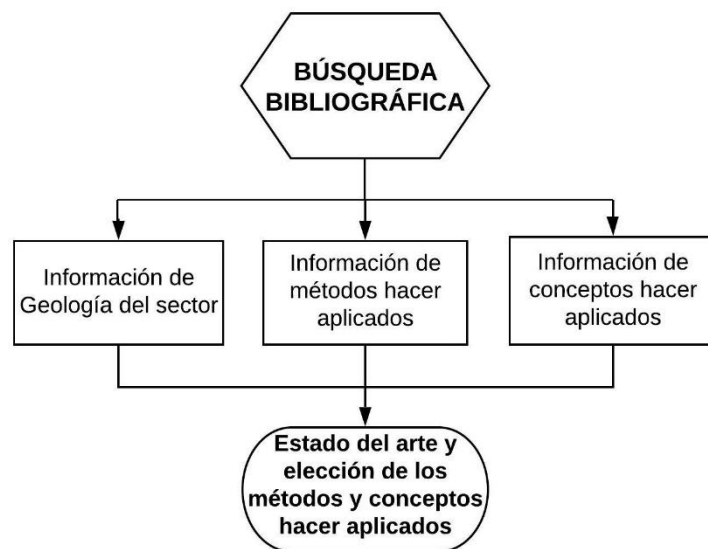


Figura 3.2 Esquema de procesos en la Fase I

3.2.2 Información de la Geología del sector

Consistió en la búsqueda de las formaciones geológicas existentes en la zona de estudio, las estructuras tectónicas regionales, mapas y estudios realizados previamente en la zona. Esto se realizó mediante el buscador académico “scholar Google”, de la Web of Science (WOS), y revistas científicas como: Tectonophysc, Geophysical, Journal Geophysical Research Letters International, Earth and Panetary Science Letters, Journal of South American Earth Sciences, Earth Science Reviews.

3.2.3 Información de métodos aplicados

Consistió en la búsqueda de metodologías para la elaboración de muestras de rocas en láminas delgadas y muestras de fósiles. Esto se realizó mediante información de manuales geotécnicos, y manuales de laboratorio. También se recopiló métodos para el análisis de las muestras preparadas, esto se hizo por medio de revistas científicas: Bull

Eng Geol Environ, Engineering, Automation in Construction, Tunnelling and Underground Space Technology, Measurement,

3.2.4 Información de conceptos aplicados en el estudio

Estos datos fueron tomados de manuales geotécnicos y libros de ingeniería, los conceptos que se consideraron en el estudio fueron: parámetros texturales de rocas ígneas y rocas sedimentarias, parámetros geotécnicos, y terminologías empleadas en el análisis de los fósiles.

3.3 FASE II

3.3.1 Registro de sondeos de perforación

Las perforaciones son consideradas un método directo que ofrece información sobre los tipos de materiales presentes en el subsuelo. Los dos principales tipos de perforación son de diamantina (DDH) y los de aire reverso o circulación inversa (RC).

Las perforaciones que fueron proporcionadas por la empresa alcanzan una profundidad de 240 m (la más profunda) y de 35 m (la más somera). Donde se utilizó un diámetro del sondeo NQ (76.70mm) y diámetro de revestimiento HQ (96 mm). Las especificaciones de estas se muestran en la Tabla 3.2. Revisar Apéndice I (mapa de ubicación de las perforaciones)

Tabla 3.2 Datos de las cuatro perforaciones revisadas en este estudio.

Perforación	Coordenada "x"	Coordenada "y"	Profundidad (m)	Diámetro del sondeo (mm)	Diámetro de revestimiento (mm)
PT-01	736184	9684898	35.4	75.70	96
PT-02	736803	9684895	210	75.70	96
PT-03	737610	9684889	240	75.70	96
PT-04	737722	9684889	190	75.70	96

3.3.2 Datos geofísicos

En esta sección se realiza un breve resumen los métodos realizados en la exploración geofísica por parte de la empresa GEOESTUDIOS S.A. (**Tabla 3.3**) Especificando la relevancia de los mismos. Para especificaciones y detalles acerca del equipo y los métodos empleados. Revisar **APÉNDICE C**.

Tabla 3.3 Métodos aplicados en el estudio geofísico, realizados por parte de la empresa GEOESTUDIOS S.A.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	FINALIDAD
Método de Sísmica de Refracción	La sísmica de refracción generalmente está orientada a la adquisición de ondas P, y aporta una gran cantidad de información para la estimación de parámetros geotécnicos	Estudio de la V_p y V_s (Velocidad de onda compresional y onda de corte respectivamente)
Ensayo a partir de MASW+MAMA	Es un método sísmico para adquisición de ondas superficiales en el cual se utilizan fuentes artificiales, de modo de causar una excitación sísmica en la parte más somera del subsuelo	Estimar la cubierta de material meteorizado
Periodos elásticos usando técnica de Nakamura	Consiste en estimar el efecto de sitio en base al periodo elástico, usando la relación espectral de la componente horizontal y vertical de microtemores registrados en superficie con un sensor de tres componentes.	Estimar los materiaes presentes en base a la frecuencia registrada en un cierto periodo.
V_p y V_s Método Uphole	es la elaboración de un diagrama de frentes de onda someros, a causa de disponer fuentes sísmicas a diversas profundidades, las cuales son grabadas en la superficie usando un arreglo de geófonos".	Estimación de la velocidad de onda compresiona y de onda de corte hasta 43m en la perforación PT-04
Medición de velocidad sónica en núcleos de roca.	El método de velocidad sónica, es una técnica que mide la velocidad de propagación de onda P o S en forma uniaxial en laboratorio, para muestras cilíndricas de suelo, roca o concreto	Cálculo de módulo de corte (G), módulo de elasticidad (E) y el módulo de Bulk (K)

3.3.3 Datos geotécnicos

Los parámetros que fueron proporcionados en el registro de perforación por parte de la empresa se presentan a continuación, los breves conceptos fueron tomados de (Odin Mining & Exploration & Engineering Crux Group, 2014)

- **Recuperación:** es la longitud real obtenida del testigo en una corrida de perforación. En algunos casos, la recuperación puede ser mayor o menor que el 100 por ciento. Si es menor, se le atribuye al lavado de material fino o fallas. Si es mayor al 100 por ciento puede deberse a socavamiento en las paredes de pozo, (re-perforación), arcillas expansivas o remoción. La siguiente tabla fue proporcionada por la empresa a cargo para la clasificación de recuperación del testigo.

Tabla 3.4 Clasificación para la representación del parámetro de recuperación en el registro de logueos de perforación.

Recuperación (%)		
1	100-81	Excelente
2	80-61	Buena
3	60-41	Regular
4	40-21	Baja
5	20-0	Muy baja

- **RQD:** es el resultado de dividir la sumatoria de todos los segmentos intactos del testigo que son mayores o iguales a 10 cm de longitud, para la longitud total del intervalo de perforación (para testigos de norma HQ), obteniendo un valor porcentual. La clasificación utilizada por la empresa a cargo de la perforación, hizo uso de la siguiente tabla para la clasificación del RQD.

Tabla 3.5 Valores de clasificación para la calidad de la roca.

RQD (%)		
1	100-91	Excelente
2	90-76	Buena
3	75-51	Regular
4	50-26	Baja
5	25-0	Muy baja

- **Meteorización**

La meteorización es el proceso de desintegración física y química de los materiales sólidos en o cerca de la superficie, bajo la acción de los agentes atmosféricos (Monkhouse, 1960), La meteorización conduce inevitablemente a la destrucción del material, es por ello que este parámetro es de interés en la geotecnia. Así como en Dureza de roca el Índice o parámetro de meteorización puede fluctuar (Ligeramente meteorizado a fresco). Además, el RQD es penalizado a cero para intervalos con grados de meteorización intensa a moderada. Los valores presentados de este parámetro fueron tomados de la siguiente tabla proporcionada en los logueos de perforación por la empresa a cargo.

Tabla 3.6 Clasificación de acuerdo al grado de meteorización de la roca.

Meteorización	
1	Roca Fresca
2	Ligeramente meteorizado
3	Medianamente meteorizado
4	Altamente meteorizado
5	Completamente meteorizado

- **Frecuencia de fracturamiento:** Este parámetro es calculado y considerado como el número de discontinuidades naturales que se hallan intersectando el tramo del testigo, dividido por la longitud del testigo y es expresado como fracturas por unidad de longitud (F/m).

Tabla 3.7 Clasificación en función del fracturamiento de la roca utilizada para la representación en los registros de perforación.

Fracturamiento (f/m)		
1	<2	Roca maciza
2	2-5	Roca fracturada
3	6-10	Roca muy fracturada
4	11-20	Extremadamente fracturada
5	>20	Roca fragmentada

- **Espaciamiento:** Si el tramo de roca $L1 = \Sigma$ (largo de testigos de roca limitados por estructuras, del tramo L) y, $N1 =$ Número de testigos considerados, el espaciamiento medio: $E = L1/N1$ m, y la frecuencia de fracturas $ff = N1/L1$ m⁻¹ (Villaroel, Renato; Merino, Luis; Leiva, Gabriel; Sanchez, n.d.)

Tabla 3.8 Clasificación en función del espaciamiento de las fracturas, utilizadas para la representación en los registros de perforación.

Espaciamiento (mm)		
1	>2000	Muy amplio
2	601-2000	Amplio
3	201-600	Moderado
4	60-200	Estrecho
5	<60	Muy bajo

- **Flujo de retorno:**

Se refiere a un contraflujo (flujo de retorno) que es producido cuando la presión de la perforación se eleve por encima de la presión promedio de cualquier zona. Os parámetros utilizados para la clasificación de estos parámetros se muestran en la Tabla 3.9

Tabla 3.9 Parámetros de clasificación para registrar el flujo de retorno en la perforación

Flujo de retorno (%)	
1	Muy alto
2	Alto
3	Medio
4	Bajo
5	Muy bajo

- **Tipo de roca:** Se documenta a grosso modo la geología, con anotaciones respecto a cambios litológicos en los testigos. Además, se documentó la composición mineralógica que pueda ser identificada.
- **Resistencia a la compresión simple:** se refiere a valor se carga uniaxial máxima que puede soportar la roca, los valores de resistencia de la roca no suelen ser constantes a lo largo de los intervalos de perforación. Mediante la tabla que se presenta a continuación se clasifica la dureza de la roca de acuerdo a su valor de resistencia:

Tabla 3.10 Parámetros de clasificación para la resistencia de la roca

Resistencia (MPa)		
1	>250	Ext. dura
2	100-250	Muy dura
3	50-100	dura
4	25-50	media
5	1-25	débil

3.4 FASE III

Comprende: la descripción de testigos de perforación (solo se consideran las tres últimas perforaciones mostradas en la Tabla 3.2), el análisis de secciones delgadas, el análisis de fósiles, la elaboración de columnas estratigráficas, la elaboración de mapa geológico de Cero y finalmente el cálculo de coeficiente de textura.

3.4.1 Descripción de testigos

Las perforaciones fueron descritas considerando parámetros texturales, tanto para rocas ígneas, como para rocas sedimentarias, los mismos que fueron tomados de (Hernández, 2017) y (López & Bellos, 2006).

Parámetros texturales en rocas ígneas

Grado de cristalinidad: Relacionado con la velocidad de enfriamiento del magma.

- Roca holocristalina (tuvo suficiente tiempo para cristalizar)
- Roca holohialina (enfriamiento rápido y no se formó ningún cristal)
- Roca merocristalina en parte cristalina y en parte vítrea, denominada (o merohialina), con al menos dos etapas de enfriamiento, una primera lenta que permite el desarrollo de cristales y una segunda más rápida, que da lugar a la formación de vidrio

Tamaño de los cristales: está controlado por la interacción de las siguientes variables principales:

- velocidad de enfriamiento del líquido magmático
- composición química de los líquidos
- existencia y composición de una fase disuelta o “libre” (López & Bellos, 2006)

Relación de tamaños

El tamaño de grano puede ser expresado como su diámetro máximo o como el diámetro más notorio, en milímetros y para su notación se utiliza una tabla con límites específicos.

De acuerdo con el tamaño del grano se puede identificar:

- Roca equigranular (diámetros entre 0,1 y 1 mm).
- Roca inequigranular seriada (diámetros por encima de 0,1 hasta cercano a los 5 mm)
- Roca inequigranular bimodal (contiene fenocristales)
- Roca Inequigranular trimodal (matriz vítrea o de material submicroscópico en la que se encuentran cristales de dos tamaños diferentes)

Forma de los granos

Se refiere a la presencia o no de formas geométricas simples y regidas por el grado de simetría de la red cristalina. Se considera que esta forma de los cristales depende de la interacción de cinco principales mecanismos de crecimiento (López & Bellos, 2006):

Parámetros texturales de las rocas sedimentarias

Textura en rocas clásticas: está constituida por: esqueleto, matriz y porosidad.

- Esqueleto: son los clastos que constituyen la parte rígida de la roca y forman el armazón.
- Tamaño de grano: En función del tamaño de los clastos se diferencian tres grupos de rocas: conglomerados (clastos < 2 mm), areniscas (clastos de 2 a 1/16 de mm), y lutitas (clastos > 1/16 de milímetro).
- Clasificación o selección: medida de la dispersión en el tamaño de los granos, este puede ir de pobremente clasificado a muy bien clasificado.
- Forma: relación entre los diámetros de los tres ejes principales de una partícula (largo, intermedio y corto).
- Madurez mineralógica y textural está determinada por ciertos minerales característicos con las plagioclasas o fragmentos de roca que suelen representar inmadurez mineralógica. Por otro lado, la madurez textural, esta relacionada a la redondez, selección y el contenido de material fino de en la roca.
- Matriz: sedimento de grano fino que se encuentra entre los clastos del esqueleto (Hernandez Tapia, 2017)
- Cemento: material resultante de procesos de precipitación a partir de soluciones acuosas iónicas o coloidales que circulan e interaccionan con las rocas (Hernandez Tapia, 2017)

Equipos utilizados para la descripción de las muestras:

- Lupa aumento 10x
- Lápiz magnético rayador (dureza 9)
- Ácido clorhídrico al 10 %
- Libreta de campo
- Cámara (para el registro fotográfico)

3.4.2 Análisis de láminas delgadas

Esta sub-fase está constituida por: elaboración y descripción de láminas delgadas.

Elaboración de láminas delgadas

Se seleccionaron 18 muestras correspondientes a la perforación (PT-02, PT-03 y PT-04) las mismas que fueron codificadas y registradas con las coordenadas y profundidad, como se muestra en la Tabla 3.11

Tabla 3.11 Detalle de las muestras seleccionadas para la elaboración de láminas delgadas

Código de acuerdo a la perforación	Código de la muestra	Coordenada "x"	Coordenada "Y"	Profundidad (m)
PT-03-C12	2019-142	737610	9684889	59.5
PT-03-C23	2019-148	737610	9684889	114.5
PT-03-C24	2019-149	737610	9684889	118.3
PT-03-C27	2019-150	737610	9684889	133.4
PT-03-C36	2019-151	737610	9684889	179.2
PT-03-C43	2019-152	737610	9684889	214
PT-03-C43	2019-153	737610	9684889	214.7
PT-03-C37	2019-154	737610	9684889	184.1
PT-04-C09	2019-155	737722	9684889	41.4
PT-04-C31	2019-156	737722	9684889	153.6
PT-04-C33	2019-157	737722	9684889	163.7
PT-04-C33	2019-158	737722	9684889	163.7
PT-04-C26	2019-159	737722	9684889	127.5
PT-04-C36	2019-160	737722	9684889	180
PT-04-C28	2019-161	737722	9684889	137.5
PT-04-C11	2019-162	737722	9684889	51.3
PT-02-C31	2019-163	736803	9684895	152
PT-02-C08	2019-164	736803	9684895	114.5

Luego de la selección de las muestras Figura 3.3a, se realizaron los siguientes procedimientos:

- a) **Primer corte:** este fue realizado en una cortadora, donde se deja la muestra de 2 cm de espesor Figura 3.3b.
- a) **Segundo corte:** este se realiza en la cortadora especializada para secciones delgadas, donde se dejó la muestra en unas dimensiones aproximadas a la del vidrio Figura 3.3c.
- b) **Pegado:** la muestra que fue cortada anteriormente, fue pegada al vidrio de dimensiones 4x6 cm aproximadamente. Se utilizó un pegamento especializado para que la muestra se adhiera correctamente al vidrio Figura 3.3d.
- c) **Pulido:** en este proceso se realiza un devastado de la muestra de un espesor de -1200 micras a 0 micras, en algunos casos a 10 micras, esto dependió de los cristales presentes, y de sus colores. Se revisaron las muestras en el microscopio para determinar si el pulido era suficiente.

d) **Uso de abrasivos:** fue el último paso para la reducción del espesor de la muestra, dejándola en 30 micras aproximadamente, donde los cristales se observan con sus respectivos colores. Se utilizaron dos tipos de abrasivos, de tamaño 17.5 y el de 9 respectivamente. La muestra fue pulida en estos abrasivos a unos 8 minutos aproximadamente Figura 3.3e.

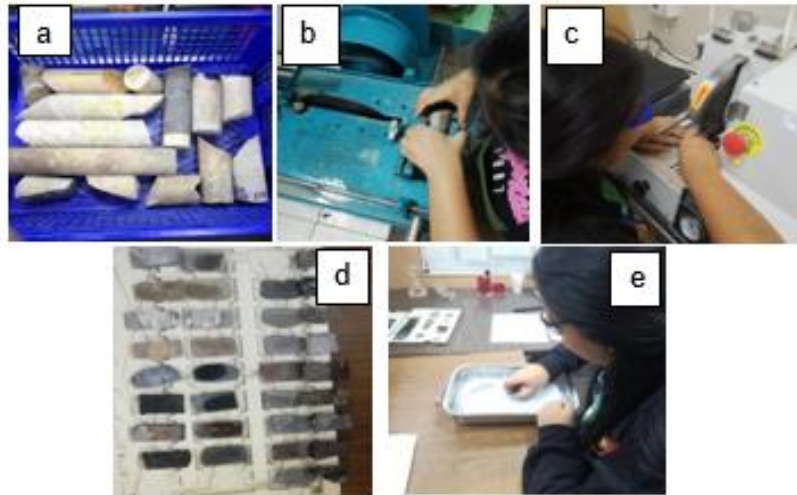


Figura 3.3 Proceso de recolección de muestras y preparación de láminas delgadas

Equipos utilizados para la elaboración de láminas delgadas

- Cortadora de disco
- Equipo de secciones delgadas
- Abrasivos en polvos de tamaño 17.5 y 9.5 micras
- Vidrios de dimensiones 3.5 x 2.5 cm
- Cubre objetos
- Resina epoxy
- Bálsamo de Canadá
- Porta láminas

Descripción de láminas delgadas

Para la clasificación de las rocas sedimentarias se consideró el tamaño de los granos tomando como referencia la siguiente clasificación que se muestra en la Figura 3.4

Milímetros (mm)	Escala Phi (ϕ) Krumbein	Clases de tamaño de Wentworth	
4096	-12	Bloque	Gravas
256	-8	Canto	
64	-6	Guijarro	
4	-2	Gránulo	
2	-1	Arena muy gruesa	
1	0	Arena gruesa	
1/2 — 0.5	1	Arena media	
1/4 — 0.25	2	Arena fina	
1/8 — 0.125	3	Arena muy fina	Limos
1/16 — 0.0625	4	Limo grueso	
1/32 — 0.0312	5	Limo medio	
1/64 — 0.0156	6	Limo fino	
1/128 — 0.0078	7	Limo muy fino	
1/256 — 0.0039	8	Arcilla	
0.00006	14		

Figura 3.4 Clasificación granulométrica de los sedimentos de Wentworth (1922) y Krumbein (1934). Modificado de (Hernández, 2017)

Para la clasificación de las rocas volcánicas se usó de diagramas ternarios de acuerdo al contenido de mineral como se muestra en la Figura 3.5. Los valores porcentuales de los minerales que constituyen la roca fueron realizados mediante conteo modal.

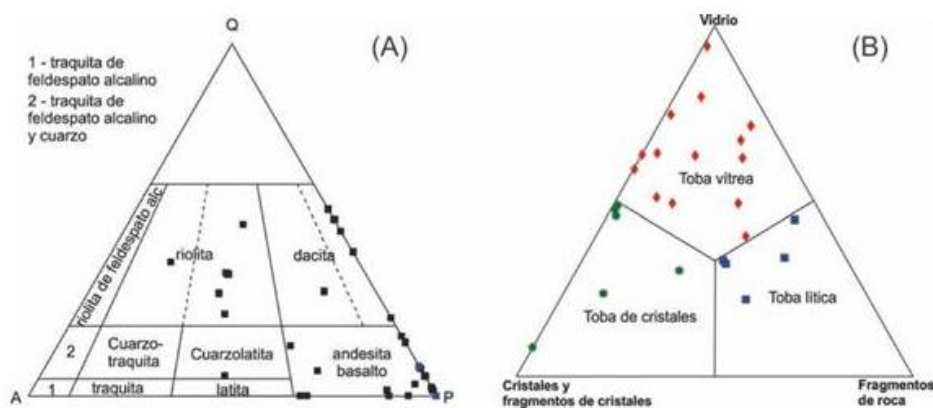


Figura 3.5 Diagrama de clasificación QAPF (sobresaturado en Si) para rocas volcánicas de (Streckeisen, 1978) de las lavas y diques de la Formación Noreán. Q=Cuarzo, A= Feldespato potásico y P= Plagioclasas

3.4.3 Análisis de Fósiles

Este análisis fue realizado con el objetivo de identificar el tipo de ambiente y la edad relativa. Para el análisis de fósiles se tomaron 24 muestras en la perforación PT-02, estas fueron seleccionadas cada 8 metros de profundidad y pesadas Figura 3.6a (25-30g). Estas fueron procesadas mediante el método de Levygado descrito por (Fernández Milanés, 2011) que consiste en:

- **Triturado y molido:** la muestra fue reducida en tamaño con la ayuda de un martillo geológico y para reducir aún más su tamaño se hizo uso de un mortero de ágata. Figura 3.6b
- **Lavado de la muestra:** después de moler la muestra esta entra en reposo con agua para separar sedimento. Después de 2h esta muestra fue pasada por un tamiz de malla 125 de Cu (esto es porque se trata de fósiles invertebrados que podrían ser foraminíferos y radiolarios). Figura 3.6c
- **Secado de la muestra:** esta fue secada en una plancha caliente a una temperatura aproximada de entre 40-60°C Figura 3.6d
- **Conservación de la muestra:** luego de que la muestra esté seca se guarda la muestra en fundas de papel con su rotulado correspondiente.

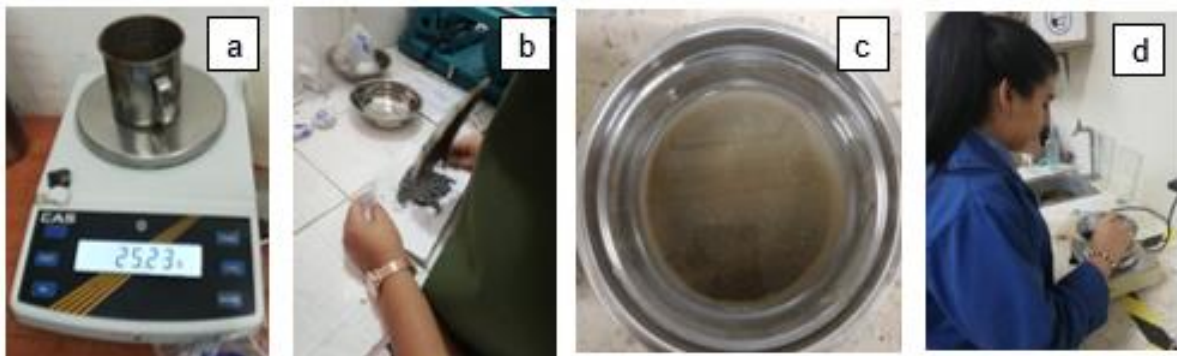


Figura 3.6 Procedimiento que fue realizado para la preparación de muestras de fósiles

Tabla 3.12 Detalle de las muestras tomadas para la realización de las muestras fósiles

Perforación	Nº de muestra	Profundidad (m)	Peso (g)
PT-02	4	4	25.60
PT-02	12	12	25.92
PT-02	20	20	25.51
PT-02	28	28	25.67
PT-02	36	36	25.21

PT-02	44	44	25.40
PT-02	52	52	25.98
PT-02	60	60	25.37
PT-02	68	68	25.11
PT-02	76	76	25.20
PT-02	84	84	25.20
PT-02	92	92	26.31
PT-02	100	100	39.70
PT-02	108	108	39.37
PT-02	116	116	42.74
PT-02	124	124	41.93
PT-02	132	132	43.26
PT-02	140	140	41.62
PT-02	148	148	45.65
PT-02	156	156	41.97
PT-02	172	172	25.75
PT-02	180	180	26.09
PT-02	188	188	25.00
PT-02	196	196	25.94
PT-02	204	204	24.74

Una vez finalizado el procedimiento de Levigado, las muestras fueron revisadas bajo lupa binocular para extraer los microfósiles y separarlos para luego ser colocados en porta microfósiles se realizó el estudio sistemático. El criterio utilizado para la clasificación genérica es el Leoblich y Tappan (1988) que consiste en la comparación bibliográfica de los fósiles encontrados.

Materiales utilizados para la preparación de las muestras

- Martillo geológico
- Mortero de ágata
- Bandejas de aluminio
- Tamiz malla 125
- Fundas de papel para muestras
- Pincel 10/8
- Goma tragacanto
- Placas porta-microfósiles

- Estereomicroscopio Leica
- Microscopio luz polarizante Leica 250

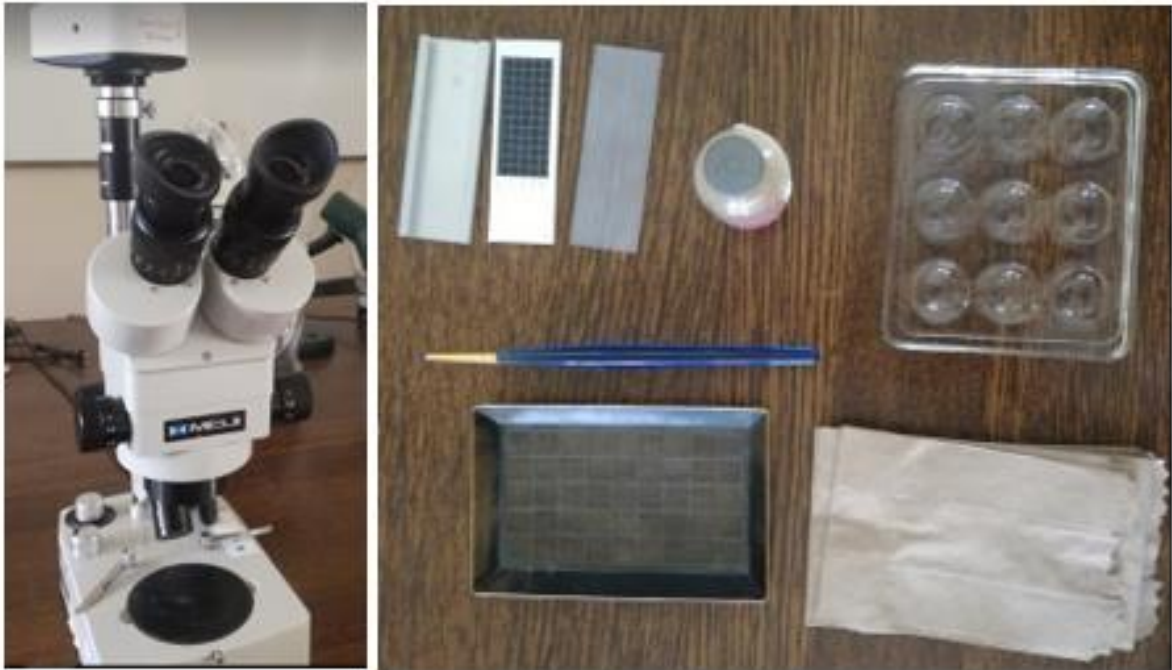


Figura 3.7 Materiales empleados en la preparación y análisis de muestras fósiles

La ilustración de la microfauna se realizó con estereomicroscopio y microscopio de luz polarizante.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1 Resultados de la Prospección Geofísica

A continuación, se presentan los resultados resumidos obtenidos de la prospección geofísica. Obtenidos por la empresa, estos se utilizaron para el análisis de los resultados.

Líneas sísmicas de refracción para estimación de velocidad de onda compresional (Vp) y velocidad de onda de corte (Vs)

- Para **LSR_PT-03_PT-04** se obtuvieron velocidades menores de 1000 m/s de Vp a una profundidad de aproximadamente 10m, lo que geológicamente corresponden a suelos blandos o a material en estado descompuesto. Desde 10 hasta 30m de profundidad, se identifican velocidades entre 1200 a 1850 m/s, asociado a materiales más consolidado (posiblemente arcillolita). Por debajo de los 30m se consiguen velocidades mayores de 2500-3100m/s, con materiales de bajo grado de meteorización. Lo que se observa en la Figura 4.1

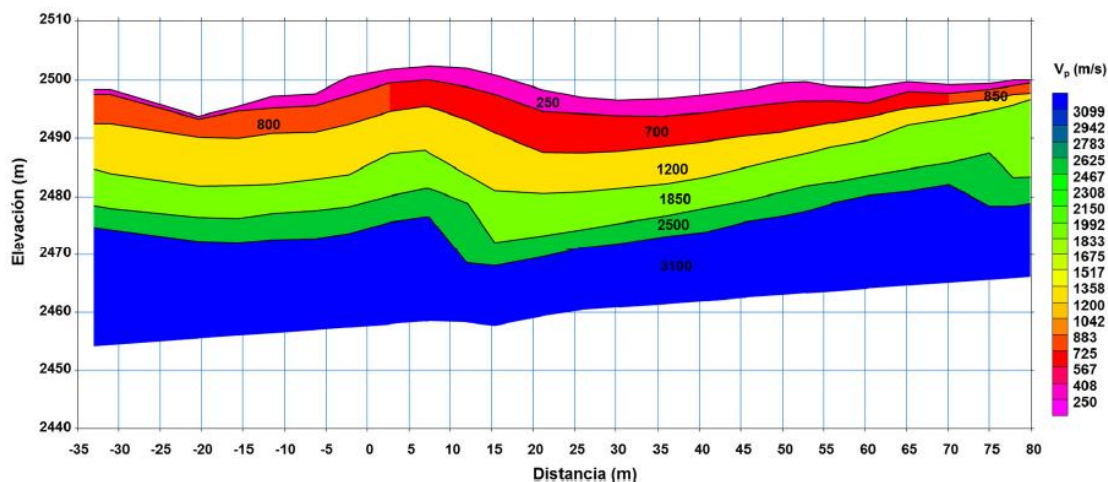


Figura 4.1 Modelo simplificado correspondiente a la línea sísmica de refracción LSR_PT-03_PT-04. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019)

- En el flanco este del Cerro, el modelo de velocidad de la línea **LSRPS-230Vp**, muestra capas con bajas velocidades correspondientes a cubierta de suelo residual y de roca en estado de descomposición (530 m/s – 1700 m/s). La tercera capa con velocidades de 1000-2500 m/s, indica un incremento en la calidad de los materiales. Las últimas dos capas (cuarto y quinto estrato), presentan valores de Vp superiores a 2400 m/s, cuyos valores reflejan que se trata de una roca más sana y con menor fracturamiento.

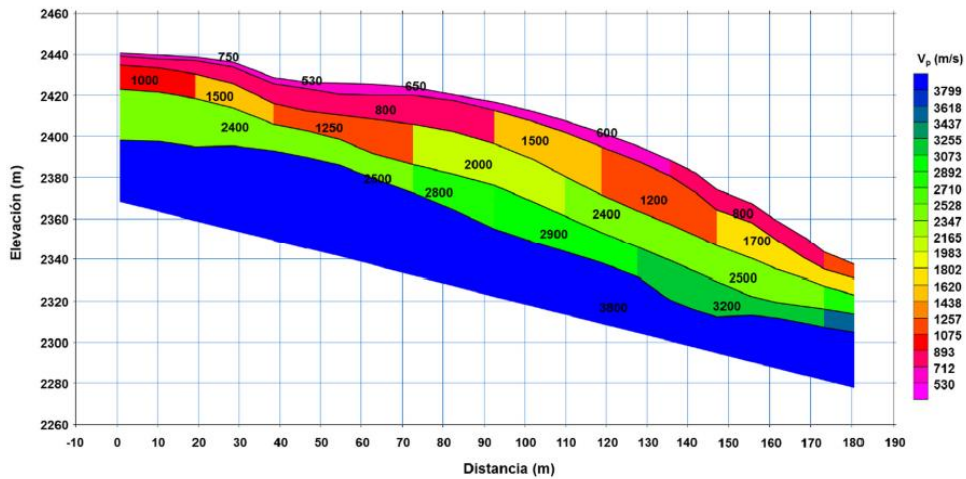


Figura 4.2 Modelo simplificado correspondiente a la línea sísmica de refracción LSRPS-230Vp. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019)

- La sección sísmica obtenida en el flanco este del Cerro, con la estimación de Vs se identificaron 3 capas. Para los primeros 10m del subsuelo, se reportaron velocidades de corte de 300-537 m/s (roca meteorizada o un suelo muy rígido). Las dos capas restantes corresponden a materiales con velocidades correspondientes a rocas con una rigidez media o de roca competente, con nivel más bajo fracturamiento; la segunda capa presento un rango de velocidades entre 950-1512 m/s, y la tercera velocidad (roca competente con valores de 2600 a 2700 m/s).

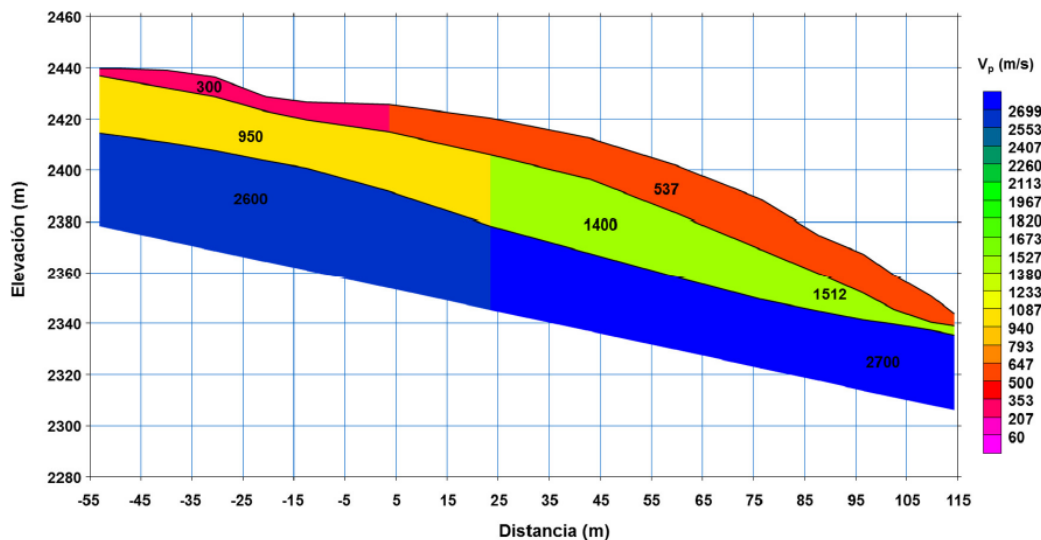


Figura 4.3 Modelo simplificado correspondiente a la línea sísmica de refracción LSRPS-230Vs. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019)

Estimación de velocidad de onda de corte (V_s) a partir del ensayo MASW+MAM.

Tabla 4.1 Valores de V_{s30} , V_{s1} , V_{s2} y H_1 obtenidos de los ensayos MASW-MAM. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019)

Ensayo	V_{s30} (m/s)	V_{s1} (m/s)	H_1 (m)	V_{s2}
MMPS-01	826	410	6.00	1325
MMPS-02	793	334	4.05	1114
MMPS-03	919	624	12.65	1412
MMPS-04	648	702	34.80	1373
MMPS-05	644	403	6.71	1058
MMPS-06	347	277	20.55	955
MMPS-07	270	310	27.00	643

MMPS-01, MMPS-02 y MMPS-03 corresponden a un perfil de roca de (Suelo tipo B); en MMPS-04 y MMPS-05 se identifican velocidades promedio que están en el rango de un perfil de roca meteorizada o de suelos muy rígidos, lo que significa que se trata de suelos tipo C ($360 \text{ m/s} < V_s < 760 \text{ m/s}$); y los sitios de medición de MMPS-06 y MMPS-07, corresponden a suelos tipo D, ya que sus velocidades de corte promedio en 30m son de 180-360 m/s de V_s .

Periodos elásticos de sitios obtenidos por la relación espectral usando la técnica de Nakamura.

A continuación, se resumen los valores obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Valores de frecuencia dominante y amplitud del análisis espectral. Obtenido de GEOESTUDIOS S.A

Ensayo	F0 [Hz]	F1 [Hz]	Te1 [s]	Te2 [s]	Amplitud F0 [H/V]
NPS-01	38.22	-	0.026	-	-
NPS-02	52.44	-	0.019	-	-
NPS-03	35.62	-	0.028	-	-
NPS-04	37.52	-	0.026	-	-
NPS-05	44.19	-	0.023	-	-
NPS-06	3.91	-	0.26	-	-
NPS-07	26.02	2.31	0.038	0.43	5.19
NPS-08	34.55	-	0.029	-	-
NPS-09	27.56	2.12	0.036	0.47	3.06
NPS-10	34.03	1.32	0.029	0.75	2.06

Se estableció que los sitios NPS-01, NPS-02, NPS-03, NPS-04, NPS-05, NPS-07, NPS-08 y NPS-09, corresponden a un perfil del subsuelo conformado por roca o suelos muy rígidos; y para el NPS-10 se consiguió un valor de periodo de 0.72 segundos, lo cual permite clasificarlo como un sitio de suelo blando

Estimación de V_p y V_s a partir del método Uphole

- Las cifras más elevadas de módulos se encuentran en la zona del Portal de la Salida (formaciones geológicas de origen ígneo y composición andesítica). Se reportó magnitudes de 13 MPa para el módulo de corte (G_{max}) en los materiales superficiales y hacia la parte más profunda 2 GPa a una profundidad de entre 70 y 80m.
- Los resultados obtenidos a partir de MMPS-01, MMPS-02, MMPS-03, MMPS-04 y MMPS-05 (flanco oeste del cerro), donde se encuentra la Formación Yunguilla, con valores medios de G_{max} , E_{max} y K_{Bulk} a una profundidad de 20m con respecto al resto de las zonas donde se ejecutaron mediciones. Para los sitios MMPS-01, MMPS-02, MMPS-03 y MMPS-05 a 20m de profundidad, respecto al módulo de corte se obtuvieron valores de entre 225 MPa a 538 MPa, el módulo de elasticidad o Young Inicial arrojó cifras de 572 MPa a 1368 MPa, y para el módulo volumétrico valores desde 414 MPa hasta 991 MPa. El sitio MMPS-04, a 20m de profundidad, el módulo de corte tiene un valor de 107 MPa, el módulo de elasticidad 272 MPa, y el módulo volumétrico 197 MPa.
- En último lugar, los sitios MMPS-06 y MMPS-07 arrojaron los valores más bajos de parámetros geomecánicos obtenidos en el análisis, consiguiéndose valores de módulo de corte de 18 MPa y 34 MPa, de módulo de Young Inicial de 46 MPa y 87 MPa, para una profundidad de 20m.

Análisis integrado de datos geofísicos y geológicos para generación de perfiles generalizados de V_s con respecto a la profundidad.

Usando los valores de 0.14 y 0.33 de coeficiente de Poisson y las V_p obtenidas por la medición de velocidad sónica en laboratorio, se obtuvieron valores de velocidad de onda de corte de muestras que estaban desde los 18m hasta 300m de profundidad. Lo que se resume en la siguiente:

Tabla 4.3 Resumen de los valores de V_s calculados a partir de las V_p de los núcleos y los valores seleccionados de coeficiente de Poisson. Obtenido de (Geoestudios S.A, 2019)

Roca	Material geológico	Perforación	Prof. (m)	V_p (m/s)	V_s ($\nu=0.33$)	V_s ($\nu=0.14$)
SEDIMENTARIA	Lutitas (Fm. Yunguilla)	PT-01	-18	2349	1183	1519
	Lutitas (Fm. Yunguilla)	PT-01	-31.5	4101	2065	2653
	Arenisca (Fm. Quingeo)	PT-03	-237.82	3194	1608	2066
	Arenisca (Fm. Quingeo)	PT-03	-238.65	3367	1696	2178
	Conglomerado (Fm. Quingeo)	PT-03	-244.33	3344	1684	2163
	Conglomerado (Fm. Quingeo)	PT-03	-250.43	4132	2081	2673
	Conglomerado (Fm. Quingeo)	PT-03	-253	2518	1268	1629
	Limolita (Fm. Quingeo)	PT-03	-259.11	2964	1493	1917
	Limolita (Fm. Quingeo)	PT-04	-40.13	2888	1454	1868
ÍGNEA	Andesita	PT-03	-300.64	5347	2693	3459
	Andesita	PT-04	-161.47	5464	2752	3535
	Andesita	PT-04	-172.04	4762	2398	3080

4.2 Resultado de parámetros geotécnicos

Estos datos fueron obtenidos de los registros de logueos de perforación como resultados de ensayos de laboratorio por parte de la empresa Geoestudios S.A., los parámetros medidos fueron especificados en la sección 3.3.3. Para observar los datos completos de los resultados de la PT-02, PT-03 y PT-04 revisar **APÉNDICE D**

A continuación, se muestran los resultados relevantes para PT-02 (Tabla 4.4), PT-03 (Tabla 4.5) y PT-04 (Tabla 4.6)

Tabla 4.4 Datos geotécnicos relevantes de la perforación PT-02

Profundidad (m)	Litología	Parámetros geotécnicos			
		RQD(%)	Meteorización	Fracturamiento (f/m)	Compresión simple (MPa)
85	Lutita negra	Regular a muy baja	Altamente meteorizada	Roca Fragmentada	10.25
93	Lutita negra	Regular a muy baja	Altamente meteorizada	Roca Fragmentada	17.67
75	Lutita negra	Bueno	Medianamente meteorizada	Roca fracturada	81.59
195	Lutita negra	Regular	Medianamente meteorizada	Roca muy fracturada	69.88

Tabla 4.5 Datos geotécnicos relevantes de la perforación PT-03

Profundidad (m)	Litología	Parámetros geotécnicos			
		RQD(%)	Meteorización	Fracturamiento (f/m)	Compresión simple (MPa)
3	Bloques de riolita	Baja	Altamente meteorizado	Roca maciza	26.66
57	Limo-arcillolita	Muy baja	Altamente meteorizado	Roca extremadamente fracturada	2.82
102	Arenisca conglomerática	Muy baja	Altamente meteorizado	Roca fracturada	15.43
115	Arcillolita	Muy baja	Altamente meteorizado	Roca fracturada	12.11
213	Conglomerado mal clasificado	Regular	Medianamente meteorizado	Roca fracturada	61.65
233	Andesita porfídica	Regular	Medianamente meteorizado	Roca fracturada	83.66

Tabla 4.6 Datos geotécnicos relevantes de la perforación PT-04

Profundidad (m)	Litología	Parámetros geotécnicos			
		RQD(%)	Meteorización	Fracturamiento (f/m)	Compresión simple (MPa)
43	Limolita	Regular	Altamente meteorizado	Roca muy fracturada	14.26
55	Andesita	Buena	Medianamente alterado	Roca fracturada	81.18
86	Andesita	Baja	Medianamente alterado	Extremadamente fracturada	106.15
135	Andesita	Regular	Medianamente alterado	Roca muy fracturada	221.19
186	Andesita	Muy baja	Medianamente alterado	Extremadamente fracturada	51.63

4.3 Descripción a la meso escala

Estos resultados se dividieron en 3 partes, la primera parte corresponde a la descripción de testigos de perforación que, debido a la densidad de los resultados, se muestran en el **APÉNDICE E, F, y G**, como ejemplo en esta sección se muestran descripciones de muestras de mano con estructuras relevantes. La segunda parte comprende la descripción microscópica de las 18 muestras, por efectos de densidad de datos solo se presenta de dos muestras, para revisar la descripción de las otras 16 muestras, revisar **APÉNDICE G**. La tercera parte corresponde al análisis e interpretación de fósiles. Finalmente se muestran las columnas estratigráficas de las perforaciones **PT-02, PT-03,** y **PT0-04**.

4.3.1 Muestras de mano



Figura 4.4 Muestra correspondiente a la perforación PT-03

Clastos mal clasificados Figura 4.4 de alrededor de 1-4cm sobre una matriz de arcilla y arena fina desdrenable. Otros clastos de menor tamaño pertenecen a litologías aledañas. El clasto silíceo de color blanco.



Figura 4.5 Muestra perteneciente a la perforación PT-03

Se identificó una posible micro falla Figura 4.5. Que podría ser causa del fracturamiento de la roca. A una profundidad de 91.5m, en la roca identificada como arenisca conglomerática de color gris, con clastos mal clasificados.



Figura 4.6 Muestra de mano en perforación PT-03

Fragmentos líticos de tipo sedimentario e ígneo mal clasificados Figura 4.6, con clastos de hasta 7cm con presencia de venillas de carbonato (línea roja), otros clastos de menor tamaño y mal clasificados se encuentran en una matriz de arena gruesa (material desdrenable y altamente fracturado)



Figura 4.7 Mineral de carbonato en la perforación PT-03

A 96.1m de profundidad de la perforación PT-03 Figura 4.7, se identifica un mineral de color blanco bien cristalizado y de baja dureza de tipo carbonato (cerusita), debido a su cristalización granular y a la lenta reacción con el HCl.

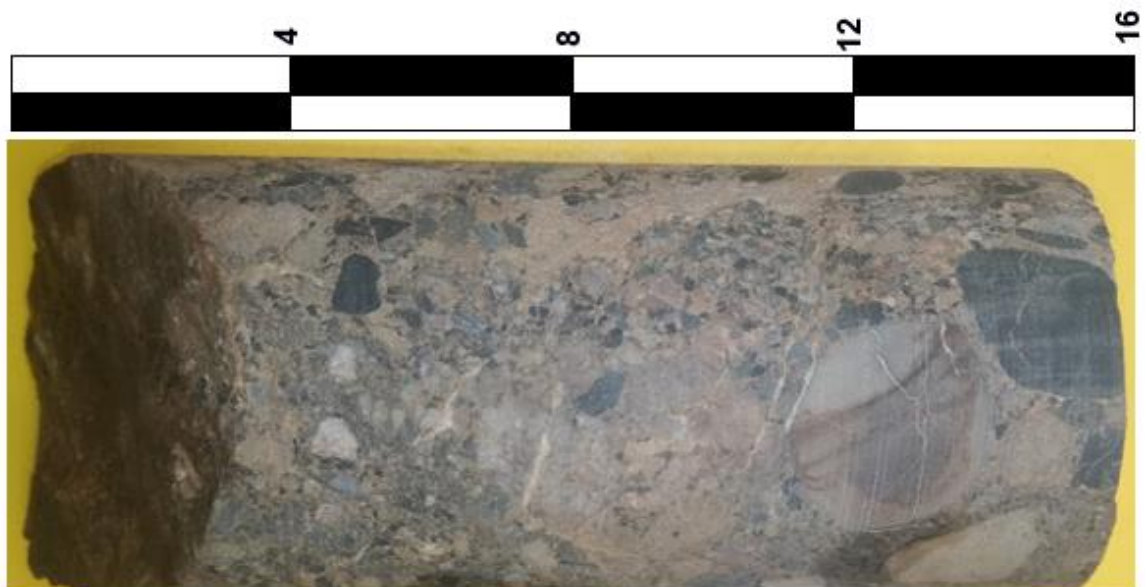


Figura 4.8 Muestra de mano perforación PT-03

Roca más consolidada Figura 4.8, a una profundidad de 210.3m de la perforación. Se observan varios clastos mal clasificados y subredondeados a subangulosos de tipo volcánico y sedimentario con tamaños que van desde milimétricos hasta 4cm

aproximadamente se encuentran sobre una matriz de arena gruesa y arcilla bien consolidada.



Figura 4.9 Lente en muestra de perforación PT-03

A 203.9m de la perforación PT-03 se observó Figura 4.9 una estructura a manera de lentillas de materiales correspondientes a material de carbonato (flecha azul) y material arcilloso (flecha roja) sobre una roca identificada como limo arcillolita.

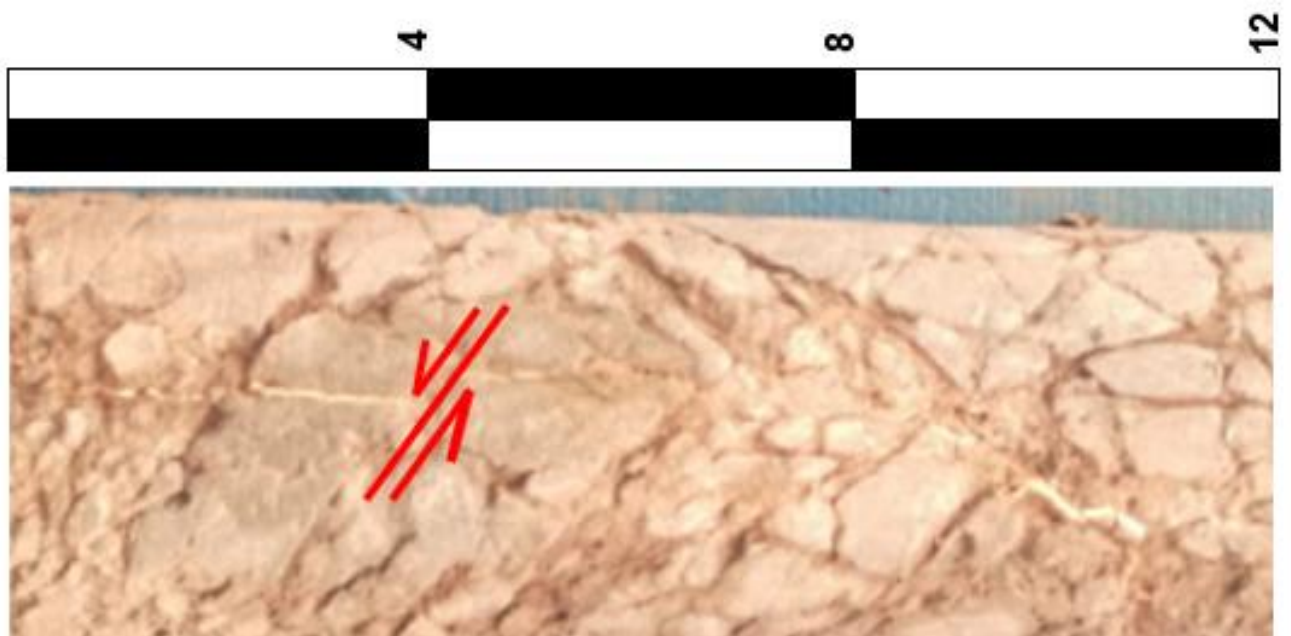


Figura 4.10 Microfalla en perforación PT-03

A una profundidad de 160m de la perforación PT-03 se observa Figura 4.10 una microfalla evidenciado en el desplazamiento de una vetilla de calcita, en la roca

sedimentaria identificada como arcillolita. La misma que se encuentra altamente fracturada.

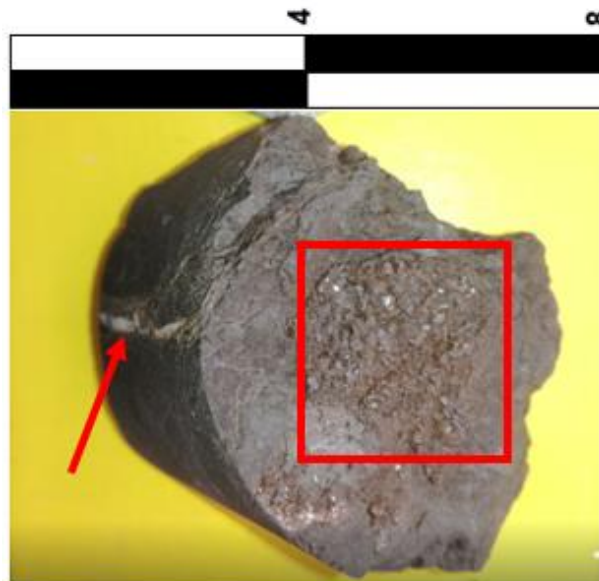


Figura 4.11 Cacita cristalizada en la perforación PT-03

Se identificó cristalización de calcita (cuadro rojo) que se encuentra de color marrón debido a la presencia de arcilla, a una profundidad de 216.5m en la perforación PT-03 Figura 4.11. este mineral se encuentra sobre la roca identificada como arcillolita de color marrón oscuro. Además, tiene venillas de carbonatos (dolomita representado por la flecha roja) de aprox. 3mm de espesor.



Figura 4.12 Venillas milimétricas de carbonato. En la perforación PT-03

Se identifican venillas de (calcita-dolomita) en forma de enrejados a manera de stockwork, sobre la roca identificada como limolita Figura 4.12

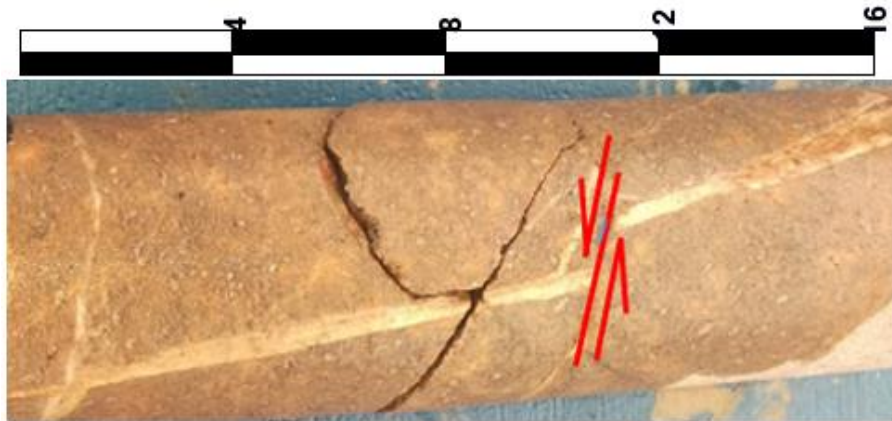


Figura 4.13 Microfalla en muestra de mano de PT-04

A 96.5m de la perforación PT-04 se observa una venilla de 2mm aprox. Que muestra un desplazamiento (líneas rojas) que se evidencia en la venilla de carbonato, lo que podría tratarse de una microfalla Figura 4.13



Figura 4.14 Muestra de mano correspondiente a PT-04

A 133m de profundidad de la perforación PT-04 se observa la litología correspondiente a lava andesítica. La particularidad en este metraje es que se observan manchas color marrón oscuro dándole una textura moteada a la roca. Estas manchas no corresponden a óxidos ni a minerales de arcillas. Puede tratarse del paso posterior de un fluido que no cristalizó Figura 4.14



Figura 4.15 Muestra de mano de la perforación PT-04

A los 163.7m se observa una roca con matriz cristalina de color gris. Los bandeamientos blancos están constituidos de carbonatos (calcita por su rápida reacción), minerales de color negro (horblendas). Se observan unas cloraciones de color morados con apariencia de arcilla de baja dureza Figura 4.15



Figura 4.16 Muestra de mano de la perforación PT-02

A 87.4m de profundidad correspondientes a la perforación PT-02 se observa la presencia de restos vegetales (raíces), que solo se presentan hasta unos 25 cm. También se observa coloraciones blanquecinas Figura 4.16



Figura 4.17 Muestra de mano de la perforación PT-02

A 95m de profundidad de la perforación PT-02 Figura 4.17. Se observan las coloraciones blanquecinas a manera de clastos y enrejados sobre la litología identificada como lutita negra (posible estructura sedimentaria, bioturbación?)

4.3.2 Descripción de láminas delgadas

A continuación, se presentan las descripciones de dos láminas delgadas con el objetivo de ejemplificar lo realizado. Estas fueron escogidas con el objetivo de representar una de las litologías que no habían sido identificadas en PT-03 (Tabla 4.7) y en (PT-04) la litología más representativa de la perforación (Tabla 4.8). Además, en la (Tabla 4.9) se resume los resultados obtenidos de la descripción y clasificación de las 18 muestras de secciones delgadas. Para visualizar las 16 descripciones restantes, revisar **APÉNDICE H**.

Tabla 4.7 Descripción de la muestra 2019-150 correspondiente a la perforación PT-03



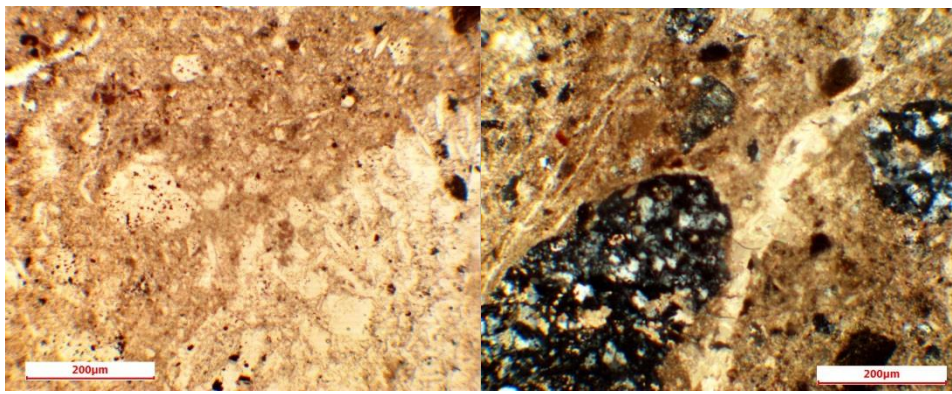
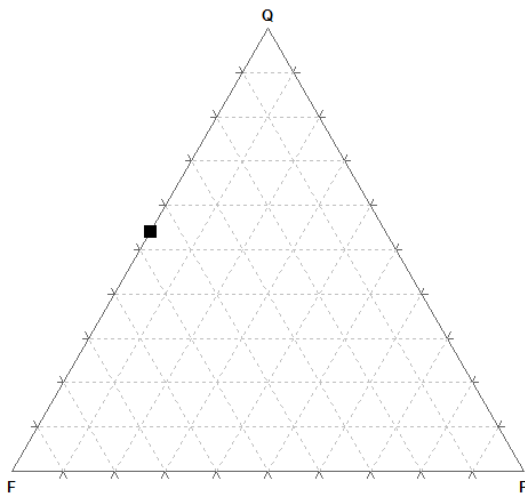
 			
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS			
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu			
Código de la muestra:	2019-150	Perforación :	PT-03
Ubicación:	Vía Guanguarcucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay		
Coordenadas:	X: 737610	Profundidad:	133.4m
	Y: 9684889		
Descripción microscópica:			
			
<p>Presenta una textura piroclástica con fragmentos de microcristales sobre una matriz vítrea.</p> <p>Los microcristales contienen de:</p> <p>Cuarzo: 45%</p> <p>Feldespatos alcalinos: 30%</p> <p>Plagioclasas: 0%</p> <p>Vidrio o minerales opacos: 20%</p> <p>Minerales azules: 5%</p> <p>Q: 60%</p> <p>A: 40%</p> <p>P: 0%</p> <p>Otro clasto caracterizado presentó:</p> <p>Cuarzo: 35%</p> <p>Carbonato: 15%</p> <p>Feldespatos alcalinos: 30%</p> <p>Minerales opacos o vidrio: 20%</p> <p>Q: 54%</p> <p>A: 46%</p> <p>P: 0%</p>			
		<p>Nombre de la roca: Riolita de feldespato alcalino</p>	

Tabla 4.8 Descripción de la muestra 2019-161 correspondiente a la perforación PT-04

		FICHA DE DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS			
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu					
Código de la muestra: 2019-161		Perforación: PT-04			
Ubicación:		Vía Guanguarcho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay			
Coordenadas:		X: 737722		Profundidad:	
		Y: 9684889		137.5m	
Descripción microscópica:					
<p>Textura porfidítica sobre una matriz de felsítica, con presencia de fenocristales de hornblendas y plagioclasas zonadas, poca presencia de cuarzo también se observa piroxenos, presencia de cloritas y plagioclasas alteradas</p> <p>Composición mineralógica:</p> <p>Cuarzo: 5%</p> <p>Feldespatos alcalinos: 10%</p> <p>Opacos: 5%</p> <p>Hornblendas: 20%</p> <p>Piroxenos: 8%</p> <p>Plagioclasas: 50%</p> <p>Cloritas: 2%</p>			<p>Nombre de la roca: Lati Andesita</p>		

A continuación, se presenta los resultados íntegros de las 18 muestras revisadas bajo la observación y análisis petrográfico, donde se especifica la ubicación, e código y el nombre de la roca:

Tabla 4.9 Resultados obtenidos de la descripción y clasificación microscópica de las 18 secciones delgadas

Código de acuerdo a la perforación	Código de la muestra	Coordenada "X"	Coordenada "Y"	Profundidad (m)	Nombre de la roca
PT-03-C12	2019-142	737610	9684889	59.5	Lutita marrón
PT-03-C23	2019-148	737610	9684889	114.5	Limolita marrón
PT-03-C24	2019-149	737610	9684889	118.3	Ignimbrita de composición Andesítica
PT-03-C27	2019-150	737610	9684889	133.4	Ignimbrita de composición Riolítico
PT-03-C36	2019-151	737610	9684889	179.2	Tobas de lapilli
PT-03-C43	2019-152	737610	9684889	214	Brecha volcano-sedimentaria
PT-03-C43	2019-153	737610	9684889	214.7	Roca piroclástica de fragmentos dacíticos
PT-03-C37	2019-154	737610	9684889	184.1	Arenita lítica
PT-04-C09	2019-155	737722	9684889	41.4	Brecha volcano-sedimentaria
PT-04-C31	2019-156	737722	9684889	153.6	Cuarzo Monzonita
PT-04-C33	2019-157	737722	9684889	163.7	Cuarzo latita
PT-04-C33	2019-158	737722	9684889	163.7	Cuarzo latita con carbonatos
PT-04-C26	2019-159	737722	9684889	127.5	Cuarzo monzonita
PT-04-C36	2019-160	737722	9684889	180	Andesita
PT-04-C28	2019-161	737722	9684889	137.5	Lati Andesita
PT-04-C11	2019-162	737722	9684889	51.3	Arcillolita calcárea
PT-02-C31	2019-163	736803	9684895	152	Limolita negra
PT-02-C08	2019-164	736803	9684895	114.5	Limolita fosilífera

4.3.3 Resultados de análisis bioestratigráfico (fósiles)

El método de Levygados no fue muy satisfactorio en el análisis de muestras fósiles debido a la poca presencia de foraminíferos. Solo en las muestras número 12 y 20 se encontró dos restos de foraminíferos bentónicos aglutinados Figura 4.18. Las demás muestra fósil resultaron estériles.



Figura 4.18 Fósiles encontrados en las muestras 20 y 12 respectivamente

En la preparación de láminas delgadas, en la muestra (2019-162) se encontraron restos de foraminíferos planctónicos y bentónicos como se muestra a continuación:

Los planctónicos Figura 4.19, se pueden observar formas de cámaras infladas tipo Globigerinas, no se pudo identificar la especie.

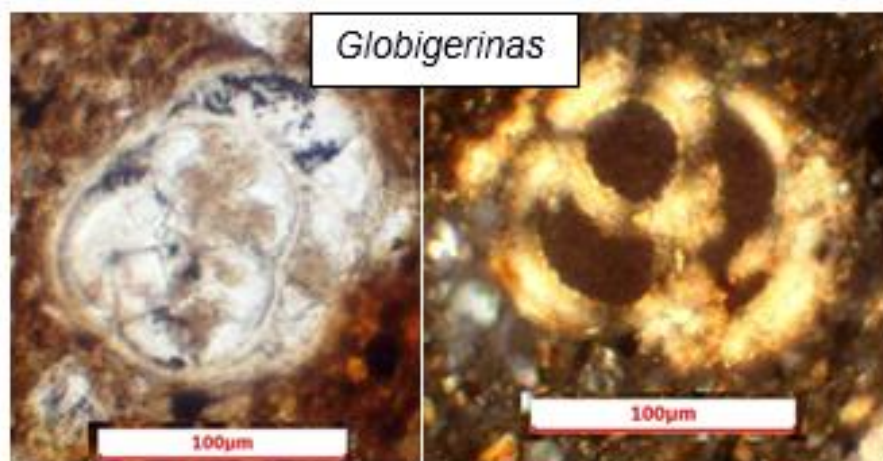


Figura 4.19 Foraminíferos planctónicos en lámina delgada

Los foraminíferos tipo bentónicos registrados en la muestra de sección delgada con código 2019-164 se registraron los siguientes microorganismos:

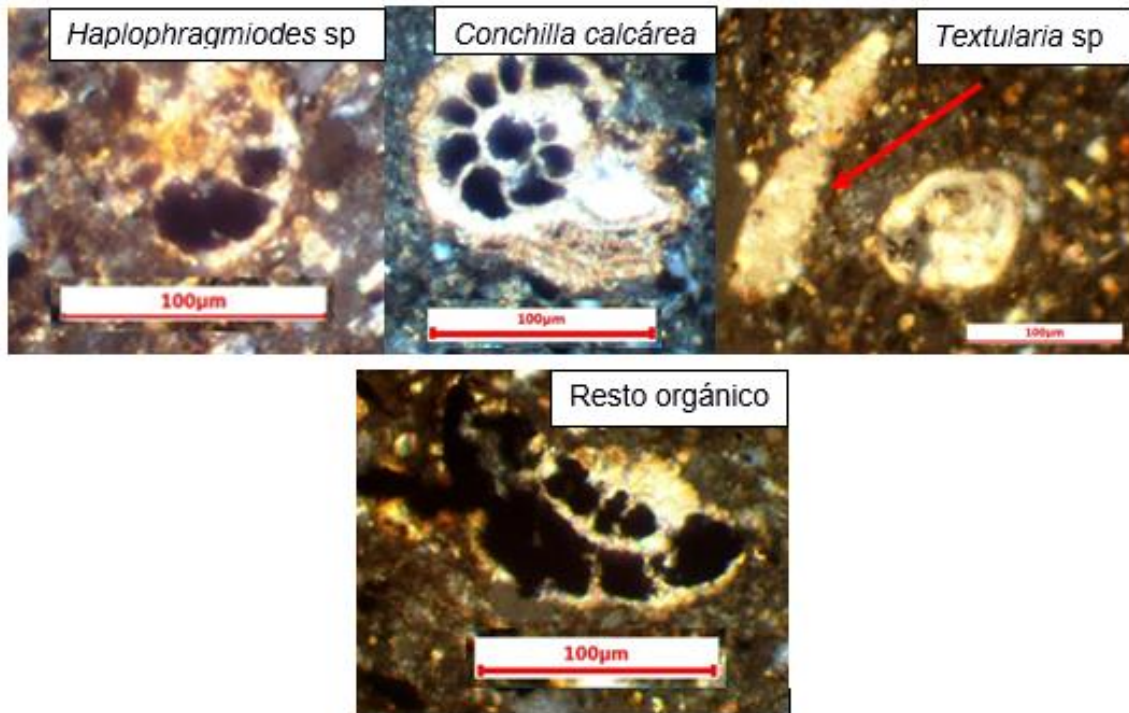


Figura 4.20 Foraminíferos bentónicos en lámina delgada

- **Foraminíferos aglutinados**

Las muestras del perfil estudiado, contiene una microfauna muy pobre de foraminíferos, de regular preservación, entre estos se destacan los foraminíferos aglutinados como: *Bathysiphon cf. brosegi* Tappan 1957, *Bathysiphon sp.*, *Textularia sp.*, *Haplophragmoides sp.*, y formas calcáreas de conchillas pequeñas y entre los planctónicos de formas de cámaras infladas tipo Globigerinas

- **Fauna y edad**

Sigal (1969) obtuvo una edad de Maastrichtiano para depósitos detríticos expuestos en la localidad tipo (norte de Quito), Bristow y Hofftetter (1977), reporta una edad de Maastrichtiano en la parte sur de la cordillera occidental. Jairallard et al., (2004), reporta ammonites como: *Exiteloceras sp* y *Phylloceras Sp*, que indican una edad de Campaniano Tardío - Maastrichtiano Temprano.

- **Paleoambiente de depósito**

La proporción de foraminíferos bentónicos aglutinados, respecto a los calcáreos incrementa con la profundidad, indicando una mayor adaptabilidad de los arenáceos. La interpretación del ambiente de depósito corresponde a un ambiente marino turbidítico. La presencia de foraminíferos aglutinados sugiere un importante aporte de detritos hacia

la cuenca. Esta condición de la cuenca con gran aporte de detritos, depositó series sedimentarias terrígenas de considerables espesores del orden de los cientos de metros, lo que ha diluido la concentración de carbonato de calcio en el medio, favoreciendo la formación de conchillas aglutinadas y una muy poca preservación de calcáreos.

4.4 Columnas estratigráficas

Mediante las columnas estratigráficas se muestra las litologías identificadas en las perforaciones correspondientes, estas fueron realizadas con el software strater. Se representan también las estructuras encontradas en cada perforación. Y una descripción general por unidades litológicas que se observaron.

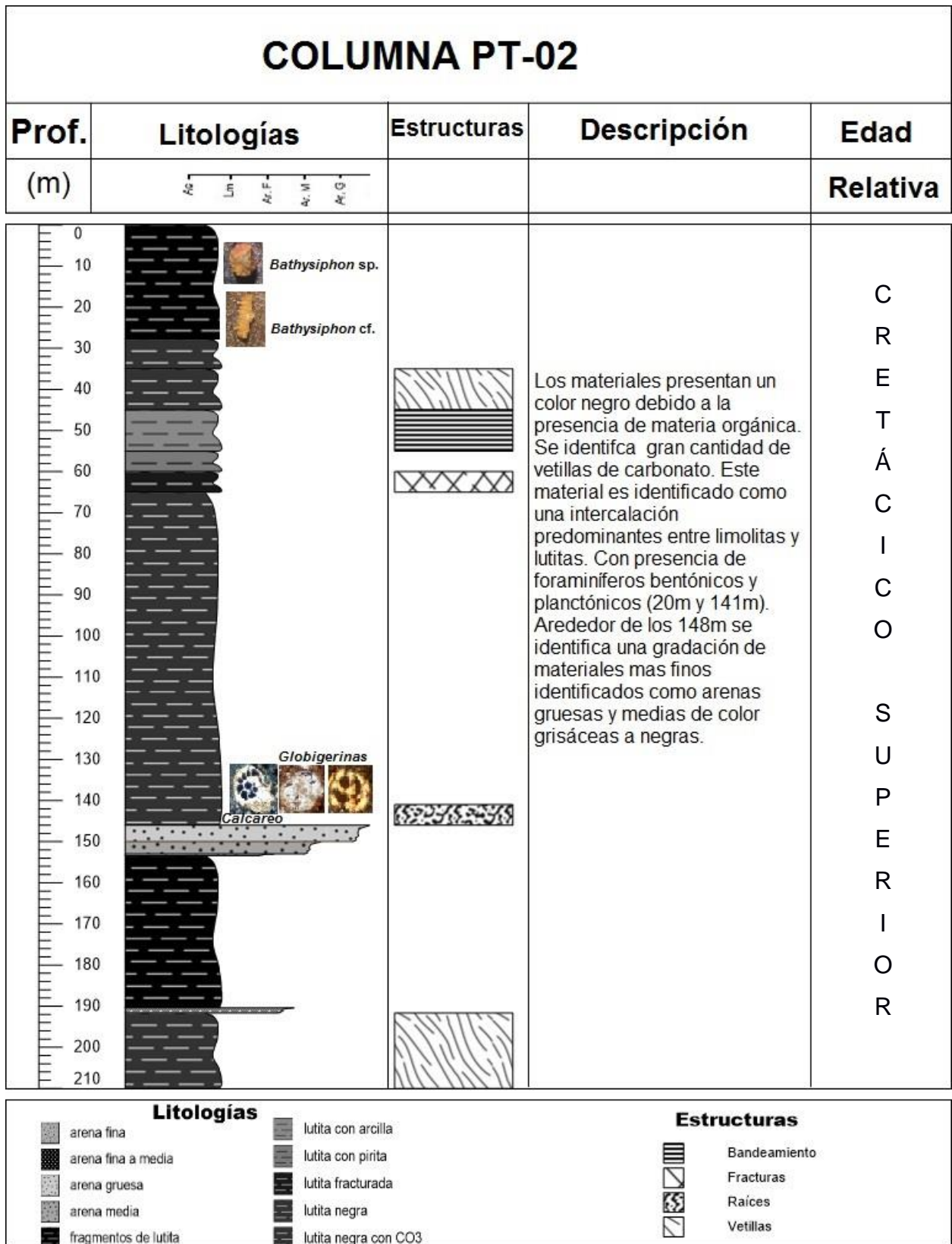


Figura 4.21 Columna estratigráfica correspondiente a la perforación PT-02. Como resultado de la descripción y análisis de los testigos.

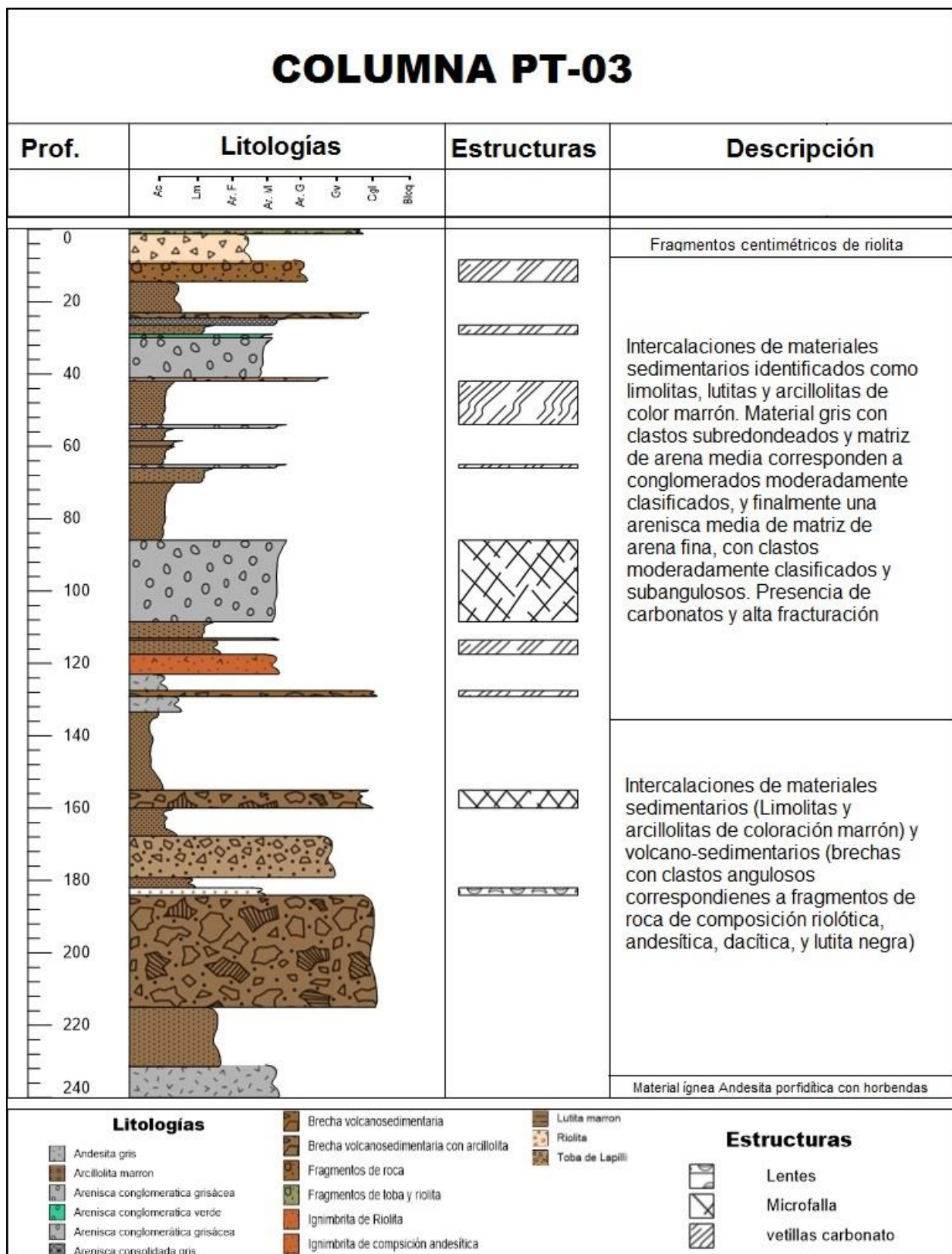


Figura 4.22 Columna estratigráfica correspondiente a la perforación PT-03. Como resultado de la descripción a meso y micro escala de las litologías.

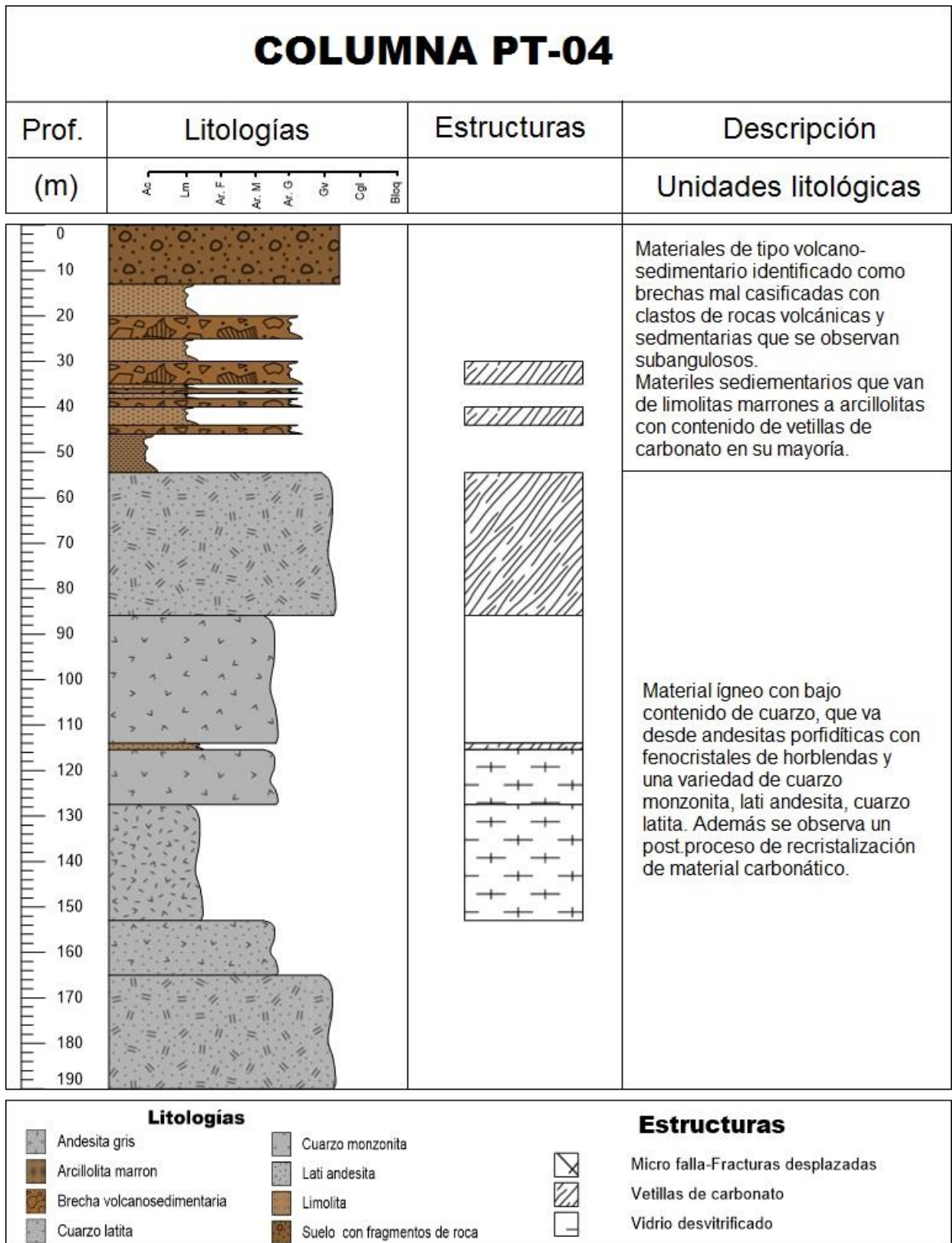


Figura 4.23 Columna estratigráfica correspondiente a la perforación PT-04. Como resultado de la descripción a meso y micro escala.

4.5 Resultados de la FASE IV

4.5.1 Análisis de los Resultados

- A través de los resultados de las líneas sísmicas de refracción se determinó que entre la perforación PT-03 y PT-04 cinco capas que se diferencian por la velocidad de onda compresional. Estas capas solo son descritas cualitativamente como: suelos blandos (0-10m), posible arcillolita (10-30m); y por debajo de los 30m los materiales presentan mayor valor de onda lo que se asocia a un material más consolidado que está asociado a los materiales de tipo volcanosedimentarios y volcánicos.
- De los datos geotécnicos de la perforación PT-02 se puede mencionar que de acuerdo a los parámetros geotécnicos la roca presenta valores de resistencia de 81 MPa ver Tabla 4.4, pero por otra parte alcanza valores mínimos de resistencia (10-17 MPa) esto se encuentra influenciado por el grado de fracturamiento y meteorización. Los valores de resistencia no aumentan con respecto a la profundidad ya que a los 195m se tiene un valor de resistencia de 69.88 MPa por debajo del vaor máximo obtenido a los 75m.
- De acuerdo a los datos geotécnicos de la perforación PT-03 Tabla 4.5 los materiales sedimentarios como: arenisca conglomeráticas, limolitas y arcillolitas muestran resistencias muy baja considerados como rocas media a débil. Por otra parte, la andesita que se encuentra al final de esta perforación es considerado roca dura de acuerdo con la Tabla 3.10.
- La perforación PT-04 de acuerdo con la Tabla 4.6 en sus primeros metrajes hasta aproximadamente los 50m estaría constituida de una roca débil. A partir de os 55m en adelante la roca se puede considerar dura a muy dura correspondiente a una andesita. Pero al final de la perforación la resistencia de la roca disminuye a 51.63 MPa lo que sería el resultado de una alta fracturación y una muy mala calidad de la roca por su RQD considerado muy bajo.
- Complementando los resultados obtenidos en la estimación de la onda de corte y los periodos elásticos se determina a grandes rasgos que los materiales ubicados en el flanco oeste del cerro corresponderían a materiales blandos, y en el flanco oeste los materiales son más consolidados (materiales ígneos-andesitas).

- El análisis realizado a la perforación PT-03 mediante la observación de secciones delgadas y la descripción de testigos de perforación (APÉNDICE H y APÉNDICE E, F y G) registran en este tramo del cerro, tres facies:
 - a) La primera está representada por una facie sedimentaria que va de: arcillolitas, limolitas y lutitas de color marrón.
 - b) La segunda serie corresponde a materiales volcánicos como: andesitas porfídicas, riolitas y tobas de lapilli; así como también facies de ignimbritas de composición andesítica y riolítica.
 - c) La tercera facie de tipo volcanosedimentaria corresponderían a materiales de tipo: brecha volcanosedimentaria y arenisca conglomerática.
- La presencia de tres facies en la perforación PT-03 indica diferentes tipos de actividad al momento de la depositación de los materiales, empezando por los materiales sedimentarios estos están asociados a ambientes de baja energía; los materiales de tipo volcánico están sujetos a mayor actividad, y además la presencia de ignimbritas solo en esta perforación, podría indicar a presencia de un paleorelieve (valle) que permitió la depositación de esta facie.
- De acuerdo al registro fósil en la perforación PT-02, se encontraron organismos correspondientes a la familia de los Foraminíferos de tipo bentónicos: *Textularia* sp.; *Haplophragmoides* sp.; conchillas calcáreas (ver Figura 4.20) y planctónicos identificados como: *Bathysiphon* cf. y *Bathysiphon* sp. Lo que corresponde a microorganismos de ambientes marinos.
- El análisis de la perforación PT-04 mediante las secciones delgadas indica que este está compuesto por materiales de tipo ígneo que comprenden: andesitas, lati-andesitas, cuarzo monzonita y cuarzo latita.
- La presencia de materiales como: arcillolitas, limolitas y brechas volcanosedimentarias de la perforación PT-03 (135-225m aproximadamente) en la perforación PT-04 (15-55m aproximadamente) muestran alta correlación. Por otro lado, la perforación PT-02 no se correlaciona con ninguna de las dos perforaciones, lo que indica que pertenecen a dos formaciones geológicas distintas.
- La presencia de carbonatos en la perforación PT-04 se identifica como un proceso posterior a la formación de la roca, ya que este mineral está recristalizado sobre los materiales y minerales primarios. Otra particularidad encontrada en los

materiales de esta perforación es el cambio en la coloración de la roca (naranja, blanco), el cual no se debe a variaciones en la composición mineralógica primaria, sino debido a la presencia de materiales secundarios como la calcita (color blanco) y el vidrio desvitrificado (aparición de color amarilla).

4.6 Mapa geológico del cerro

Como resultado de la complementación de los datos obtenidos mediante las fases anteriores, se presenta un mapa geológico de la zona, el mismo que solo se presenta en donde sería la sección de construcción del túnel. Los lineamientos fueron proporcionados por parte de la empresa y revisados en base a la ortofoto que se muestra en la Figura 4.24 , así como también puntos de control que se usaron para determinar los contactos entre los materiales, por lo que estos son considerados como inferidos y deberán ser revisados en campo. Las curvas de nivel se encuentran espaciadas a 5m.

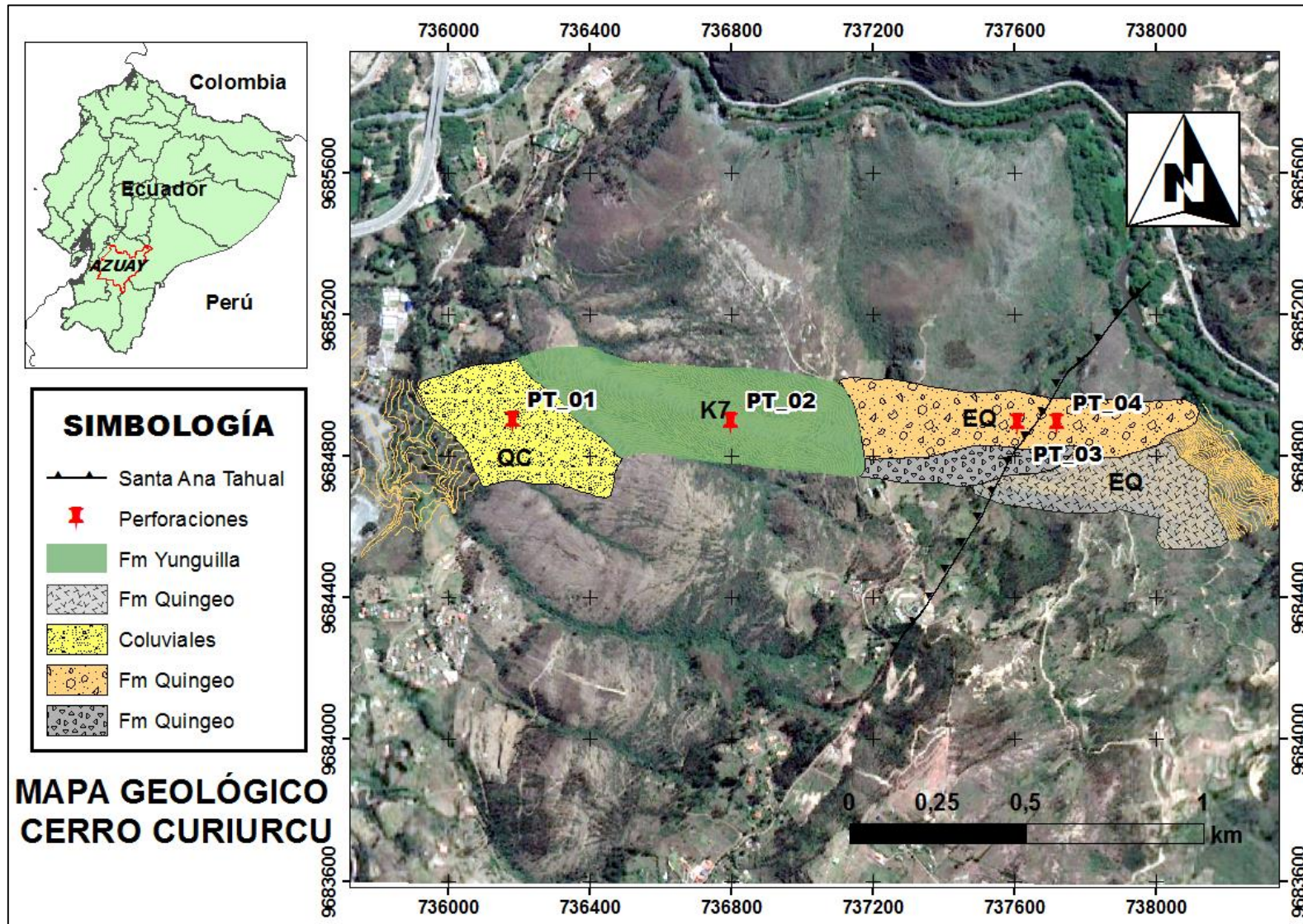


Figura 4.24 Mapa geológico obtenido en la zona de estudio.

CÁPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La construcción de un túnel carretero implica varios estudios ingenieriles que permiten establecer la factibilidad del proyecto, desde identificar los materiales que constituyen la masa rocosa a ser atravesada, hasta determinar la calidad de la roca. Una de las maneras de identificar los materiales que constituyen este macizo rocoso es revisando la geología del sector.

En el caso de estudio del cerro Curiurcu, esta información representada a través de dos cartas geológicas de Gualaceo, realizados por distintos autores (IGM y el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico) y en diferentes años (1974 y 2018) difieren en la información proporcionada. Por lo que fue necesario revisar la geología a detalle a través de descripción de testigos de perforación, el análisis de láminas delgadas y registro fósil. Identificando con mayor exactitud los materiales que componen el Cerro Curiurcu; teniendo como conclusión de este estudio que:

- La perforación PT-04 representa materiales con valores de resistencia altos (47-225 MPa), lo que indica rocas muy duras a duras; por el contrario, la perforación PT-03 tiene materiales medianamente resistentes, esto se evidencia en los resultados de los ensayos de resistencia (17-83 MPa), por lo que al momento de realizar el túnel será necesario considerar esta perforación.
- La perforación PT-02 ubicada en el flanco oeste de acuerdo a la descripción a meso y micro escala del cerro; este está constituido por materiales de tipo sedimentarios identificados como: lutitas de color negro con alto contenido de carbonatos, areniscas gruesas a medias de color negro y limolitas fosilíferas de color negro.
- De acuerdo a la fauna encontrada en la perforación PT-02 donde se identifican foraminíferos aglutinados bentónicos: *Textularia* sp.; *Haplophragmoides* sp.; conchillas calcáreas; y planctónicos identificados como: *Bathysiphon* cf. y *Bathysiphon* sp permiten decir de esta formación que su ambiente deposicional es marino turbidítico profundo.

- Debido a la poca presencia de fósiles de tipos bentónicos, no es posible acortar el rango de edad con respecto al contenido fósil. Por lo que únicamente se ubica a esta formación en el Cretácico Superior.
- La perforación PT-03 ubicada en el centro-este del cerro consta de materiales de tipo sedimentario, volcánico y volcano-sedimentario. Constituidos por: Lutitas, limolitas y arcillolitas de color marrón, Ignimbritas de composición andesíticas y riolíticas, tobas de lapilli, andesita y Brecha volcanosedimentaria. Estos materiales podrían corresponder o correlacionarse con la Formación Quingeo por su similitud litológica.
- La perforación PT-03 registra tres facies litoestratigráficas diferentes, que pueden interpretarse como diferentes entornos de depositación. Los materiales sedimentarios indican un ambiente de baja energía, mientras que los materiales volcánicos, como los flujos piroclásticos tobas alta energía.
- La perforación PT-04 registra materiales de la perforación PT-03 en sus primeros metros (hasta los 55m) correspondientes a las litologías de brecha volcanosedimentaria, limolitas y arcillolitas. Sus últimos metrajes corresponden a material volcánico como: andesitas, lati-andesitas, monzo-dioritas, y cuarzo-latita que debido a la naturaleza de su composición se podría tratar de un intrusivo en su últimos 140m de la perforación.
- El cambio en la coloración de los materiales de la perforación PT-04 se debe a la presencia de minerales secundarios como lo es el carbonato (coloración blanca a la roca) y vidrio desvitrificado (color amarillo). Por otro lado, su composición varía en porcentaje, pero no en el contenido mineral.
- El carbonato que se encuentra presente en las tres perforaciones corresponde a el paso de un fluido posterior a la depositación de los materiales principales, lo que se evidencia en la recristalización de los carbonatos sobre minerales que han sido meteorizados o re-trabajados.
- La correlación que presentan las perforaciones PT-03 y PT-04 se podría tratar de una misma formación geológica, pero se necesita de otro estudio (datación para identificar las edades de las rocas) para ser corroborado.

5.2 Recomendaciones

- Es recomendable realizar un estudio a detalle como segunda fase del proyecto; con especial enfoque a la datación de edades de las litologías representativas en la perforación PT-03; ya que las terminologías empleadas para estos materiales difieren entre un conglomerado y una brecha volcanosedimentaria, y la forma de identificar a que Formación geológica pertenecen estos materiales es revisando la edad de los mismos.
- Se recomienda que, para mejorar el mapa geológico presentado del cerro, se realice una verificación en el campo con el objetivo de identificar los contactos litológicos correspondientes a cada Formación.
- Para mejorar el análisis de muestras fósiles se podría realizar el muestreo en un intervalo más corto, es decir de 4m ya que como sucedió en este estudio al ser muy grandes los rangos ciertos tramos con alto contenido de fósil podrían perderse.
- Se recomienda revisar y corroborar las litologías correspondientes al flanco oeste del cerro identificada como PT-01, que no fue incluida en este estudio por falta de datos de la perforación.
- Se recomienda realizar un análisis de los materiales de la perforación PT-03 y PT-04; con el fin de determinar si pueden ser utilizados como agregados para materiales de la construcción, esto no se cubrió en este estudio debido a que este análisis requiere de pruebas de laboratorios especializados en ese campo de materiales de construcción
- Se recomienda enfocar el estudio geofísico a la identificación de pliegues y fallas a lo largo del cerro ya que de acuerdo con las muestras de mano descritas en la sección 4.3.1 ciertas muestras de mano evidencian posibles microfallas.
- Debido a la alta correlación entre las perforaciones PT-03 y PT-04 es necesario revisar la petrología de la perforación PT-03 para corroborar si el material ígneo que presentan en su parte basal es de la misma composición que la perforación PT-04.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., . . . Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador. *Tectonics*, 1048-1065.
- ASTM D2845-08, Método de prueba estándar para la determinación de laboratorio de velocidades de pulso y constantes elásticas ultrasónicas de roca (Retirado 2017), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008, www.astm.org
- Aspden, J. A., Litherland, M., & Salazar, E. (1988). Historia tectónica del centro y sur del Ecuador y posibles controles para la geología cenozoica y mineralización polimetálica. *Politécnica Quito*, 49-75.
- Aspden, J. A., Litherland, M., Duque, P., Salazar, E., Bermudez, R., & Viteri, F. (1987a). Un nuevo cinturón ofiolítico en la Cordillera Real, Ecuador y su posible significado regional. *Politécnica (Quito)*, XII, 81-93.
- Aspden, J. A., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1-3), 187-204. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90426-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90426-7)
- Aspden, John; Clarke, Martin; Jemielita, Richard; Litherland, M. (1994). *Aspden et al., 1994 Norte.pdf*. Quito.
- Baldock Instituto de Ciencias Geológicas Ecuador, (Gran Bretaña).(1982). Mapa geológico nacional de la República del Ecuador: Este mapa representa solo una parte del territorio nacional Quito, Ecuador
- Bristow, CR, y Sociedad Ecuatoriana de Geología y Geofísica.(1973) Guía de geología de la cuenca de Cuenca, sur de Ecuador-Quito. *Sociedad Ecuatoriana de Geología y Geofísica*.
- Bristow, C.(1975). *GUALACEO*. Retrieved from https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=26252&query_desc=au%3A%22Bristow%2C%20C.R.%3B%22

- Bristow, C. R., & Parodiz, J. J. (1982). The stratigraphical paleontology of the Tertiary non-marine sediments of Ecuador. *Carnegie Museum of Natural History Bulletin*, 53.
- Construcción, I. d. (2015). *Manual de Aplicación de Técnicas Geofísicas Basadas en Ondas de Superficie para la Determinación del Parámetro Vs30*. Iconstruccion.
- Cox, M. (1999). *Static Corrections for seismic reflection surveys*. Tulsa, United States of America: Society of Exploration Geophysicists.
- Dal Moro, G. (2015). *Surface wave analysis for near surface applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Dalgıç, S. (2000). Comparison of geological conditions predicted from tunnel boreholes and found in situ. *Springer-Verlag*, 115-123.
- Diaz Segura, E. G. (2015). Effect of MASW field configuration on estimation of shear wave propagation velocity in sloped terrain. *Géotechnique Letters*, 21-27.
- Ego, F., Sébrier, M., & Yepes, H. (1995). Is the Cauca-Patia and Romeral Fault System left or rightlateral? *Geophysical Research Letters*, 33-36.
- Fernández Milanés, M. del C. (2011). *Descripción de las actividades que deben seguirse en la realización de Levigados de Muestras Paleontológicas* (p. 18). p. 18. Retrieved from: https://www.uma.es/media/tinyimages/file/2011.Manual_de_Procedimientos_de_Levigados_de_Muestras.pdf
- Gansser, A. (1973). Facts and theories on the andes. *Journal of the Geological Society*, 93-131.
- García Ruiz, R. (2018). Criterios geológicos geotécnicos para un adecuado diseño de túneles en rocas. *Tekhné*, 65-71.
- Geostudios S.A. (2019). *INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA PARA PELIGRO SISMICO DE TUNEL*.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geologica*. Madrid: Pearson Educación.
- Hernández, U. (2017). *Manual de prácticas de laboratorio de Petrología Sedimentaria*. Ciudad de México.
- Hughes, R. A., & Pilatasig, L. F. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 29-48.

- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D. E., ... Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57(1–2), 75–124. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00071-X)
- IAEA. (2002). *Training Course N° 17: Guidebook on non-destructive testing of concrete structures*. Vienna, Austria.: International Atomic Energy Agency.
- Kennerley, J. B. (1980). Outline of the geology of Ecuador. *Overseas Geology and Mineral Resources*, 17.
- Lebrat, M., Megard, F., & Dupuy, C. (1985). Pre-Orogenic Volcanic Assemblages and Position of the Suture Between Oceanic Terranes and the South American Continent in Ecuador. *Geologische Rundschau*, 343-351.
- Lebrat, M., Megard, F., & Dupuy, C. (1986). Pre-Orogenic Volcanic Assemblages and Position of the Suture Between Oceanic Terranes and the South American Continent in Ecuador. *Geol. Palaeontol*, 1207-1214.
- Legget , R. F. (2015). The value of geology in planning. *Geological Society*, 53-58.
- Litherland , M., Aspden, J. A., & Jemielita, R. A. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *Overseas Geology and Mineral Resources. British Geological Survey*, 147.
- Litherland, M. (1990). *Proyecto de investigación Geológica Cordillera real primer informe, Martin Litherland resumen de los resultados del proyecto geológico Cordillera Real 1986-1990*. Quito: BGS, Keyworth, Nottingham, UK, and INEMIN.
- López, J., & Bellos, L. (2006). *Texturas y Estructuras de las Rocas Igneas: Significado Petrológico e Implicancias en las Condiciones de Formación de las Rocas*. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Mera Andrade, J. F., & Mera Bustos, J. A. (2016). *Estudio litoestratigráfico y evolución estructural de la zona de Quingeo–Ludo–Sigsig, provincia de Azuay*.
- Ministerio de Obras Públicas, N.-1. (2013). *Procedimientos de operación y seguridad vial. Norma ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP*. Quito: Ministerio de obras públicas.
- Ministerio de desarrollo urbano y vivienda. (Diciembre de 2014). *Ministerio de Desarrollo Urbano y vivienda*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-GC-Geot%C3%A9cnica-y-Cimentaciones.pdf>

- Mohd Ashraf, M. I., Taksiah A, M., Chin Ong, G., Siao Phin, L., & Chee Ghuan, T. (2019). Geological assessment for tunnel excavation under river with shallow overburden using surface site investigation data and electrical resistivity tomography. *Measurement*, 260-274.
- Nakamura, Y. (1989). method for dynamic characteristics estimation of. *Quarterly Report Railway Technology Research Institute subsurface using microtremor on the ground surface.*, 25-30.
- Nkosi, N., Manzi, M. S., Drennan, G., & Yilmaz, H. (2016). Experimental measurements of seismic velocities on core samples and their dependence on mineralogy and stress. *Studia Geophysica et Geodaetica*. 61. doi:10.1007/s11200-016-0804-x
- Noblet, C., Lavenu, A., & Schneider, F. (1988). E'tude geodynamique d'un bassin intramontagneux tertiaire sur de'crochements dans les Andes du sud de l'Equateur: l'exemple du bassin de Cuenca. *Geodynamique*, 117-138.
- Odin Mining & Exploration, L., & Engineering Crux Group, (CEG). (2014). *Geotechnical Core Logging_Cangrejos_Spanish* (p. 50). p. 50. Vancouver, British Columbia.
- Sheriff, R. (2002). *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics Cuarta edición*. USA: Society of Exploration Geophysicists.
- Soldo , I., Vendramini, M., & Eusebio, A. (2018). Tunnels design and geogical studies. *Tunnelling and underground space technology*, 84, 82-98. doi:doi.org/10.1016/j.tust.2018.10.013
- Steinmann, M. . (1997). *Doctoral Thesis tectono-sedimentary history and the Tertiary Andean evolution* (Zurich). Retrieved from //doi.org/10.3929/ethz-a-001843356
- Streckeisen, A. (1978). IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks: Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks; recommendation and suggestions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen*, 1-14.
- Tamay, J. (2018). *Estructura de Cuencas Intramontañosas del Sur del Ecuador en relación con la Tectónica de la Cordillera de los Andes a partir de datos geofísicos y geológicos*.
- Thalman, H. E. (1946). Micropaleontology of Upper Cretaceous and Paleocene in western Ecuador. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 337-347.

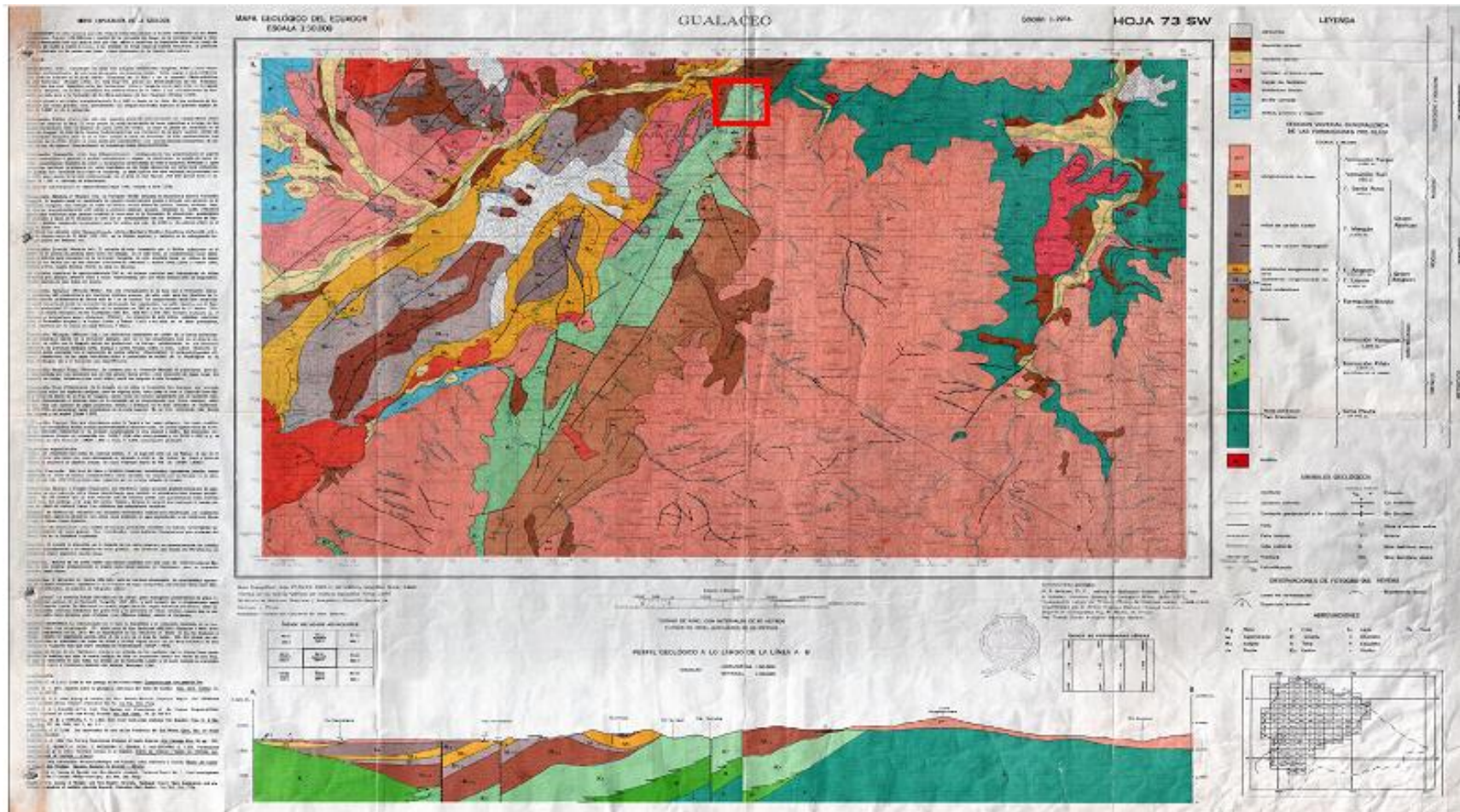
- Verdezoto Villacís, P. A. (2006). *Levantamiento geológico del sector comprendido entre las latitudes 2° 37' S y 2° 50' S, provincias de Canar y Azuay, con especial enfoque sobre las secuencias miocénicas*. (Escuela Politécnica Nacional). Retrieved from http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-12/010041249.pdf
- Aspden, J. A., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1–3), 187–204. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90426-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90426-7)
- Aspend, John; Clarke, Martin; Jemielita, Richard; Litherland, M. (1994). *Aspden et al., 1994 Norte.pdf*. Quito.
- Bristow, C. . (1975). *GUALACEO*. Retrieved from https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=26252&query_desc=au%3A%22Bristow%2C%20C.R.%3B%22
- Fernández Milanés, M. del C. (2011). *Descripción de las actividades que deben seguirse en la realización de Levigados de Muestras Paleontológicas* (p. 18). p. 18. Retrieved from https://www.uma.es/media/tinyimages/file/2011.Manual_de_Procedimientos_de_Levigados_de_Muestras.pdf
- Gansser, A. (1973). Facts and theories on the andes. *Journal of the Geological Society*. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.129.2.0093>
- Geoestudios S.A. (2019). *INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA PARA PELIGRO SISMICO DE TUNEL*.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Hernández, U. (2017). *Manual de prácticas de laboratorio de Petrología Sedimentaria*. Ciudad de México.
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D. E., ... Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57(1–2), 75–124. <https://doi.org/10.1016/S0012->

8252(01)00071-X

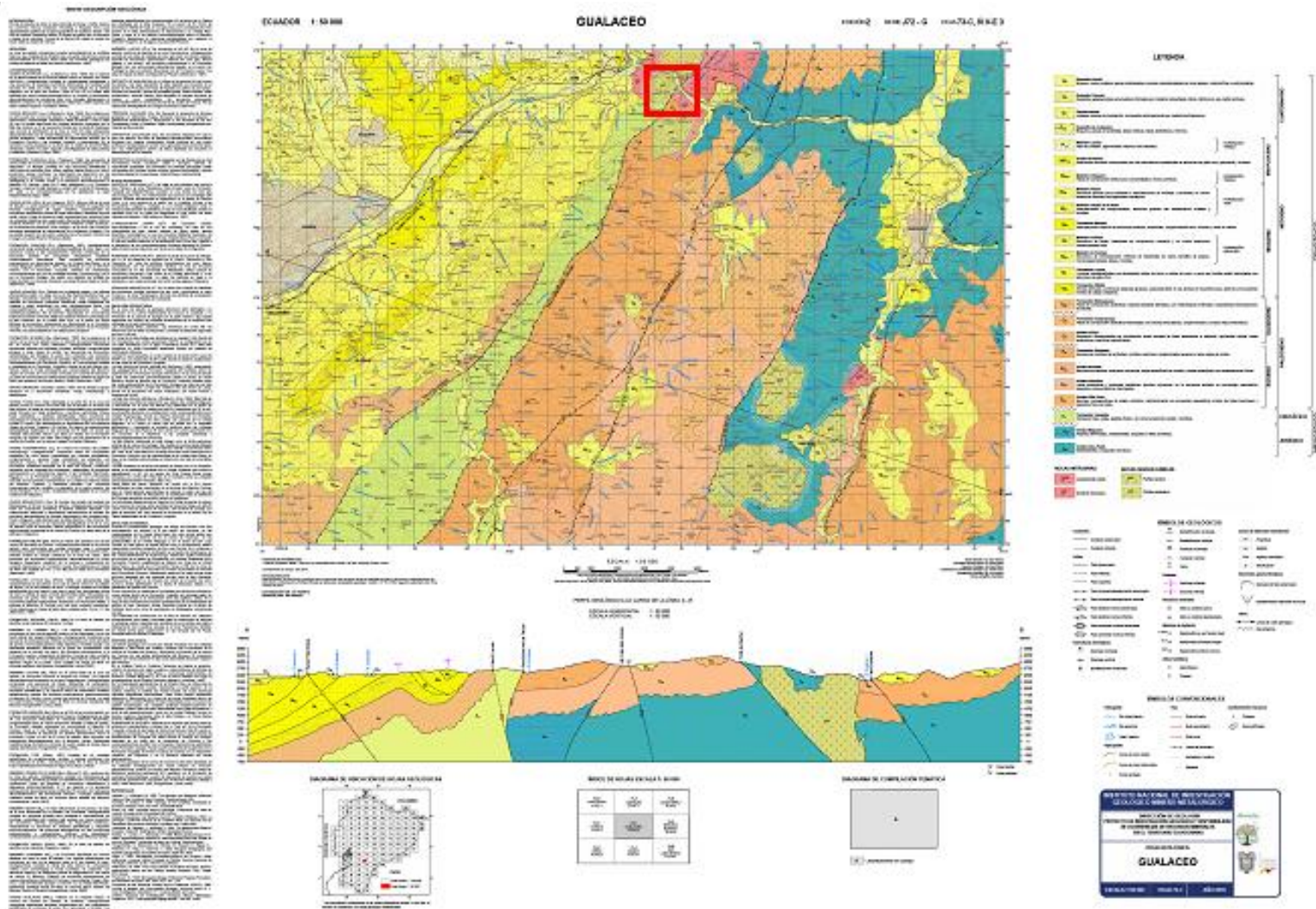
- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. (2018). *Gualaceo* (p. 1). p. 1. Quito, Ecuador.
- López, J., & Bellos, L. (2006). *Texturas y Estructuras de las Rocas Igneas: Significado Petrológico e Implicancias en las Condiciones de Formación de las Rocas*. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Mera Andrade, J. F., & Mera Bustos, J. A. (2016). *Estudio litoestratigráfico y evolución estructural de la zona de Quingeo–Ludo–Sigsig, provincia de Azuay*.
- Odin Mining & Exploration, L., & Engineering Crux Group, (CEG). (2014). *Geotechnical Core Logging_Cangrejos_Spanish* (p. 50). p. 50. Vancouver, British Columbia.
- Steinmann, M. . (1997). *Doctoral Thesis tectono-sedimentary history and the Tertiary Andean evolution* (Zurich). Retrieved from //doi.org/10.3929/ethz-a-001843356
- Tamay, J. (2018). *Estructura de Cuencas Intramontañosas del Sur del Ecuador en relación con la Tectónica de la Cordillera de los Andes a partir de datos geofísicos y geológicos*.
- Verdezoto Villacís, P. A. (2006). *Levantamiento geológico del sector comprendido entre las latitudes 2° 37' S y 2° 50' S, provincias de Canar y Azuay, con especial enfoque sobre las secuencias miocénicas*. (Escuela Politécnica Nacional). Retrieved from http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-12/010041249.pdf
- Villaroel, Renato; Merino, Luis; Leiva, Gabriel; Sanchez, G. (n.d.). *Macizo rocoso de la Unidad Ingenieril Santa, afectado por pliegues y ... | Descargar Scientific Diagram*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Macizo-rocoso-de-la-Unidad-Ingenieril-Santa-afectado-por-pliegues-y-fallas_fig1_270157460
- Waller , M. D., & Ersoy , A. (1995). Textural characterisation of rocks. *Engineering Geology*, 123-136. Recuperado el 2 de Noviembre de 2019
- White, S. M., Trenkamp, R., & Kellogg, J. N. (2003). Recent crustal deformation and the earthquake cycle along the Ecuador-Colombia subduction zone . *Earth and Planetary Science Letters*, 231-242.

- Winckfill, A. (1982). Relieve y Geomorfología del Ecuador. En A. Winckfill, *Geomorfología* (págs. 3-19). Quito: Centro Euatoriano de Investigación Geográfica.
- Winter, T., Avouac, J. P., & Lavenue, A. (1993). Late Quaternary kinematics of the Pallatanga strike-slip fault (Central Ecuador) from topographic measurements of displaced morphological features. *Geophysical Journal International* , 905-920.
- Xia, J., Miller, R., & Park, M. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity of inversion of Rayleigh wave. *Geophysics*, 691-700.

APÉNDICE A

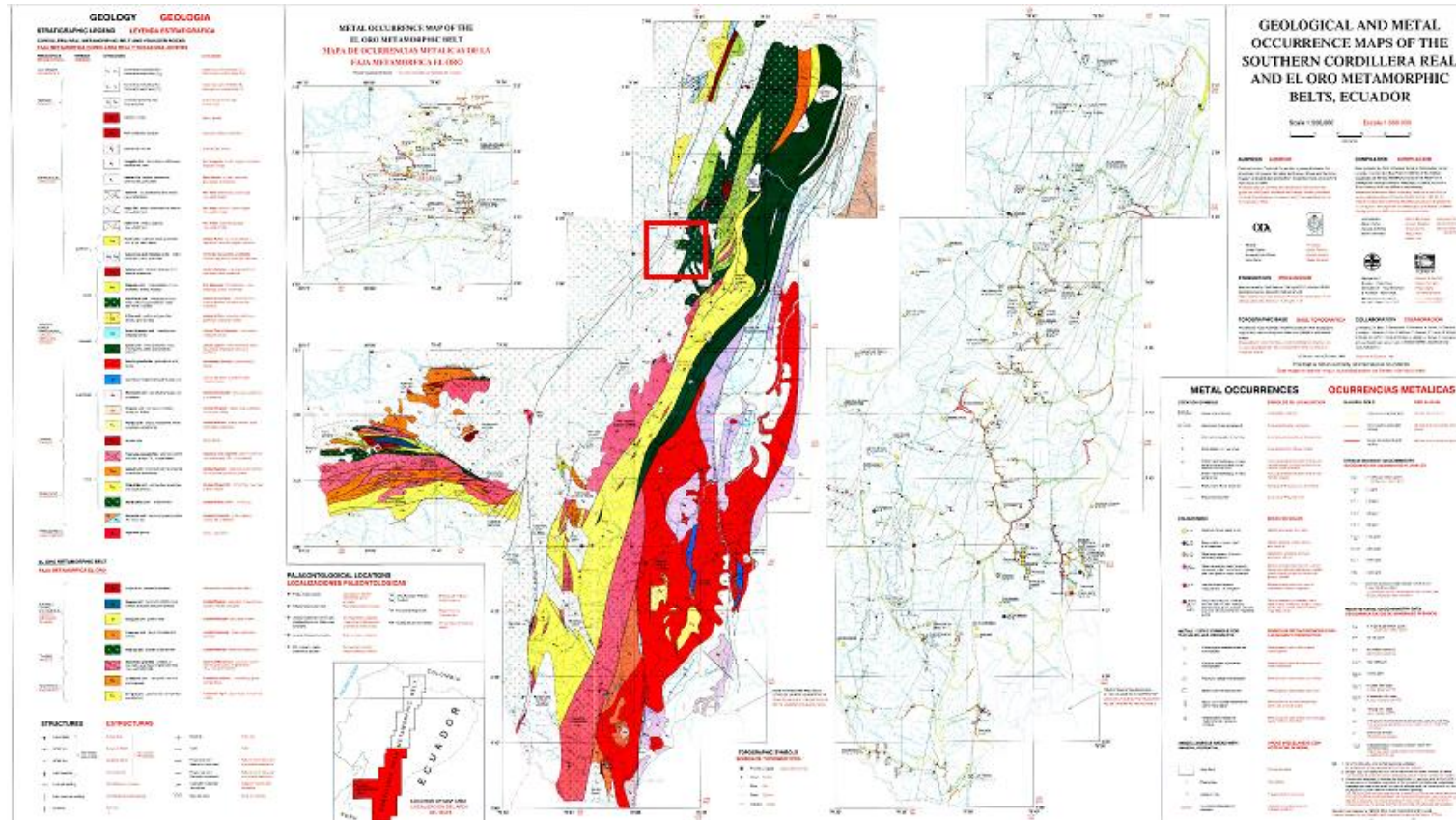


Hoja geológica Gualaceo a escala 1: 50 000. Fuente: Instituto Geográfico Militar, 1974



Hoja geológica Gualaceo a escala 1: 50 000. Fuente: Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, 2018. El recuadro rojo representa la ubicación general de la zona de estudio.

APÉNDICE B



Geological and metal occurrence maps of the Southern Cordillera Real and El Oro metamorphic belts, Ecuador. Obtenido de (Aspend, John; Clarke, Martin; Jemielita, Richard; Litherland, 1994). El recuadro rojo representa la ubicación correspondiente a la zona de estudio.

APÉNDICE C

Este apéndice constituye los métodos y técnicas aplicadas a la prospección geofísica en el cerro Curiurcu:

Método de sismica de Refracción

Consiste en la inducción de un frente de ondas al subsuelo, mediante una fuente artificial (mandarina, explosivo, etc.); y por medio del cual se puede ejecutar la exploración del suelo que se encuentra subyacente a un arreglo de adquisición sísmica. El concepto físico que describe el método de refracción sísmica viene dado por la Ley de Snell, la cual plantea que cuando una onda corpórea (onda que se transmiten dentro de un medio elástico) cruza el límite entre dos medios homogéneos e isotrópicos, la onda sufre un cambio de dirección en su propagación en función del índice de refracción de cada medio.

En cuanto a las metodologías de adquisición de datos, existen varios tipos de configuración que relacionan los sensores receptores de las señales junto con la ubicación de las fuentes sísmicas, entre las configuraciones más empleadas están:

- **Configuración Roll on – Roll off:** en esta las fuentes se ubican al principio y final del tendido, este modo se hace práctico cuando se emplea una fuente con energía suficiente para cubrir todo el tendido.
- **Configuración Split-Spread:** en este las fuentes no sólo se ubican al principio y final del tendido, sino que se agregan posiciones intermedias. Este tipo de configuración se aplica cuando se busca obtener una imagen con buena resolución del subsuelo (tomografía sísmica), o cuando la energía de la fuente es baja con relación al tamaño del tendido.

Para la adquisición de los datos sísmicos de refracción fueron empleados los siguientes equipos:

- Sismógrafo Geode de 24 canales marca Geometrics.
- Cable de geófonos de 230 metros para 24 canales.
- 24 geófonos de marca Geospace de sensibilidad de 14 Hz o 4,5 Hz.
- Geófonos horizontales de marca Geospace de sensibilidad de 10 Hz.
- Booster de pentolita de 150 gr (fuente sísmica).

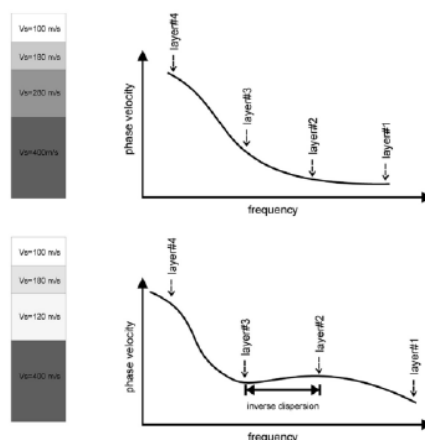
- Fulminantes eléctricos (detonador de fuente sísmica).
- Bláster de marca Geometrics y modelo HVB-1.
- Cable de red para conexión sismógrafo-computador.
- Cable de corriente del sismógrafo.
- Batería de 12 voltios.
- Placa metálica.
- Laptop.
- Cinta métrica.
- Navegador GPS marca GARMIN.

Métodos sísmicos de ondas superficiales

La investigación del subsuelo con relación a la medición de la velocidad de onda de corte, permite calcular parámetros asociados a la rigidez del suelo y a su comportamiento mecánico dentro de los límites de elasticidad, lo que permite a su vez realizar el mejor diseño para las construcciones civiles.

(Dal Moro, 2015) describe que, la dispersión de las ondas superficiales, puede ser representado en un gráfico de Frecuencia vs Velocidad de fase (Espectro FK)

(Xia *et al*, 1999) plantea que, ya que en el espectro FK, se pueden identificar varias velocidades de fase de onda Rayleigh para una misma frecuencia, ya que existen distintos modos de vibración, se debe interpretar el modo fundamental (1er modo de vibración) como aquel cuya velocidad de fase es la más baja.



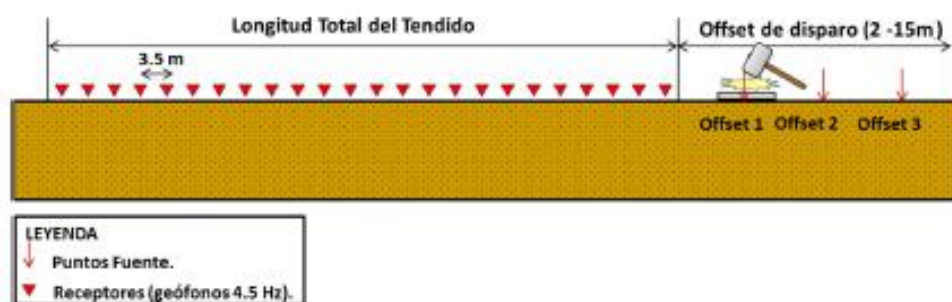
Representación simplificada de la forma de las curvas de dispersión en función de las Vs de distintas capas del subsuelo. Tomado y modificado de (Dal Moro, 2015)

Luego de la inversión de los datos de las curvas de dispersión, se obtienen estimaciones 1D de la velocidad de onda de corte (V_s). Dentro de los métodos sísmicos se usan métodos de fuente pasiva como: el Análisis de Microtremidaciones de Arreglo Multicanal (MAM) o la Refracción de Microtremores (ReMi) que registran sismicidad natural, y los de fuente activa o artificial tales como: Análisis Espectral de Ondas Superficiales (SASW) y el Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) siendo este último de mayor uso.

Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

Es un método sísmico para adquisición de ondas superficiales en el cual se utilizan fuentes artificiales, de modo de causar una excitación sísmica en la parte más somera del subsuelo. Su metodología es muy práctica debido a que permite el uso de arreglos de muchos geófonos.

Los arreglos son de tipo lineal y cuentan con grupos de 12, 24 o 48 receptores y una fuente impulsiva (mandarria, o caída de peso) para la emisión de energía al subsuelo. Se toman dos consideraciones a momento de ubicar el arreglo: la primera es que se deben ubicar al menos tres posiciones de fuente (que no excedan el 15% de longitud del tendido); y la segunda es que, en caso de presencia de diferencias de elevaciones importantes, (Díaz Segura, 2015) manifiesta que debe ubicarse la fuente en la parte más baja de la pendiente, y poner el tendido en la misma dirección de la pendiente.



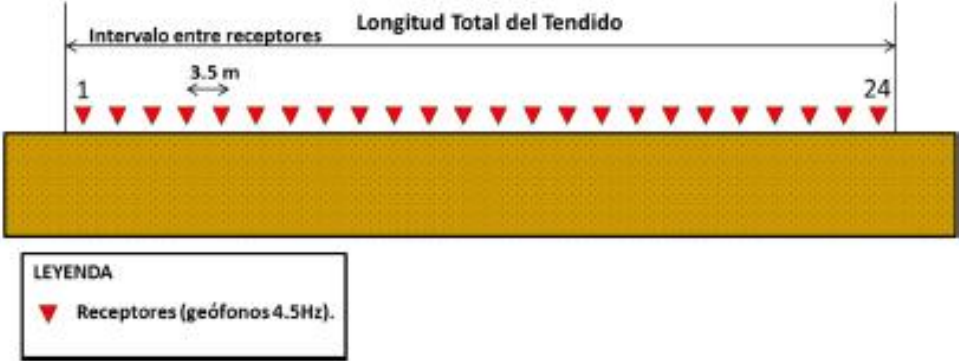
Arreglo de adquisición para un ensayo MASW. Tomado de (Geoestudios S.A, 2019)

Método de sísmica pasiva

Este método es muy usado para obtener mejores resultados en la prospección de menores frecuencias de respuesta sísmica (asociadas a mayores profundidades). Para la aplicación de ensayos pasivos se pueden usar tanto arreglos lineales como bidimensionales, que son menos susceptibles a ser perjudicados por el ruido ambiental.

Arreglos lineales (ReMi)

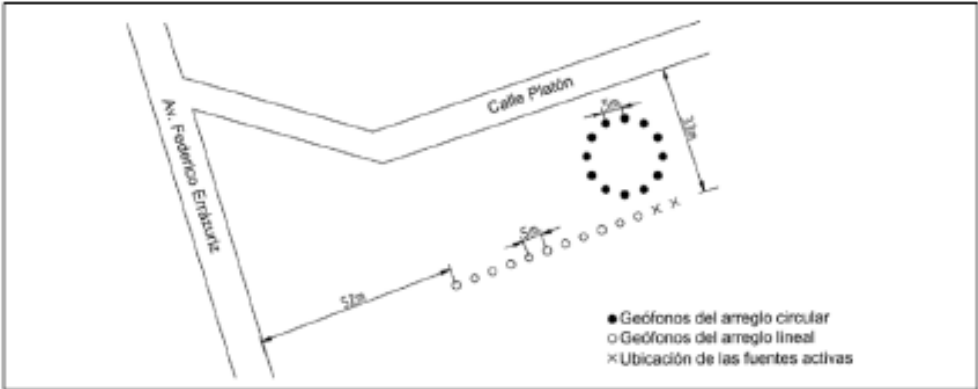
La configuración lineal es muy conveniente en sitios donde se ve imposibilitada la opción de plantear un arreglo bidimensional, los tendidos lineales tienen a ser perjudicados por los campos de ondas que vienen por los lados del arreglo sísmico, causando que se puedan apreciar modos de vibración superiores al modo fundamental, y eso ocasiona dificultades al momento de interpretar la curva de dispersión.



Arreglo de adquisición para un ensayo de sismica pasiva lineal.

Arreglos bidimensionales (MAM)

Las geometrías de adquisición 2D permiten optimizar la detección de frentes de onda que provienen en distintas direcciones, es por ello que son altamente recomendados para áreas urbanas. Principalmente se utilizan geometrías simétricas, entre las que se puede mencionar: en “L”, triangulares y circulares, siendo estas últimas las que ofrecen el mejor resultado espectral de la señal sísmica.



Ubicación de arreglos en un mismo sitio de medición (arreglo circular y lineal). Tomado y modificado de (Construcción, 2015)

Para la adquisición de los ensayos sísmicos de ondas superficiales fueron empleados los siguientes equipos:

- Sismógrafo ES-3000 de 24 canales marca Geometrics.
- Sismógrafo Geode de 24 canales marca Geometrics.
- Cable de geófonos de 115 metros para 24 canales.
- 24 geófonos de marca Geospace de sensibilidad de 4,5 Hz
- Mandarria de 9 kg con trigger incorporado (fuente sísmica).
- Cable de red para conexión sismógrafo-computador.
- Cable de corriente del sismógrafo.
- Baterías de 12 voltios.
- Placa metálica.
- Laptop.
- Cinta métrica.
- Navegador GPS marca GARMIN.

Método de medición de periodo elástico usando la técnica de Nakamura.

Consiste en estimar el efecto de sitio en base al periodo elástico, usando la relación espectral de la componente horizontal y vertical de microtremores registrados en superficie con un sensor de tres componentes. Según (Nakamura, 1989), el método se basa en que los microtremores poseen dos componentes (horizontal y vertical) tanto en superficie como en la base de la capa sedimentaria. La frecuencia de vibración del suelo sufre fluctuaciones que varían de acuerdo con el origen de las vibraciones que se generen alrededor del punto de medición.

La expresión que rige al método de Nakamura viene dada por la función de transferencia que se describe a continuación:

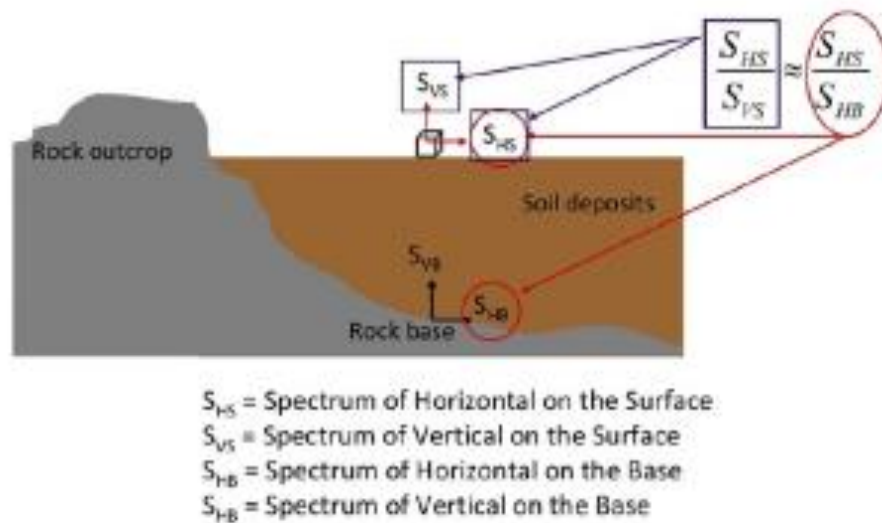
$$S_{TT} = \frac{SH_S}{SV_S}$$

En donde,

S_{TT} : Función de transferencia del método de Nakamura.

SH_S : Componente horizontal del tremor en la superficie.

SV_S : Componente vertical del tremor en la superficie.



Explicación gráfica de las componentes horizontales y verticales de la función de transferencia S_{tt} , usada en el método de Nakamura.

Para la adquisición de los ensayos de método de Nakamura fueron empleados los siguientes equipos:

- Sismógrafo Geode de 24 canales marca Geometrics.
- Sismómetro Geoelec MSG-3C1 de 3 componentes, de 1Hz de frecuencia natural.
- Batería de sismómetro Geolec.
- Cable de red para conexión sismógrafo-computador.
- Batería de 12 voltios.
- Brújula.
- Laptop.
- Navegador GPS marca GARMIN 64S.

Métodos de sísmica de pozo para estimación de V_p y V_s .

Cuando se quiere estimar con mayor detalle la información del subsuelo, se pueden ejecutar métodos dentro de pozos o perforaciones geológicas, permitiendo así obtener mediciones de velocidades sísmicas (V_p y V_s).

Método Uphole

Según (Sheriff, 2002) el método es la elaboración de un diagrama de frentes de onda someros, a causa de disponer fuentes sísmicas a diversas profundidades, las cuales son grabadas en la superficie usando un arreglo de geófonos". (Cox, 1999) señala que, la

técnica de utilizar cargas de dinamita, instaladas en un pozo para medir el tiempo de arribo de la onda y caracterizar las capas superficiales del suelo a partir de las las velocidades promedio de paquetes del subsuelo.

Para la adquisición de los datos sísmicos de refracción fueron empleados los siguientes equipos:

- Sismógrafo Geode de 24 canales marca Geometrics.
- Cable de geófonos de 230 metros para 24 canales.
- 4 geófonos de marca Geospace de sensibilidad de 14 Hz.
- 2 geófonos horizontales de marca Geospace de sensibilidad de 10 Hz.
- Booster de pentolita de 150 gr (fuente sísmica).
- Fulminantes eléctricos (detonador de fuente sísmica).
- Blaster de marca Geometrics y modelo HVB-1.
- Cable de red para conexión sismógrafo-computador.
- Cable de corriente del sismógrafo.
- Batería de 12 voltios.
- Placa metálica.
- Laptop.
- Cinta métrica.
- Navegador GPS marca GARMIN.

Se dispusieron cuatro geófonos verticales en forma de cruz alrededor de la boca del pozo PT-04, manteniendo una distancia de un 1m con respecto al centro, de los cuales dos se encontraban en el sentido paralelo al trazado del túnel y dos en el sentido perpendicular; y dos geófonos horizontales al lado del geófono ubicado al sur del arreglo.

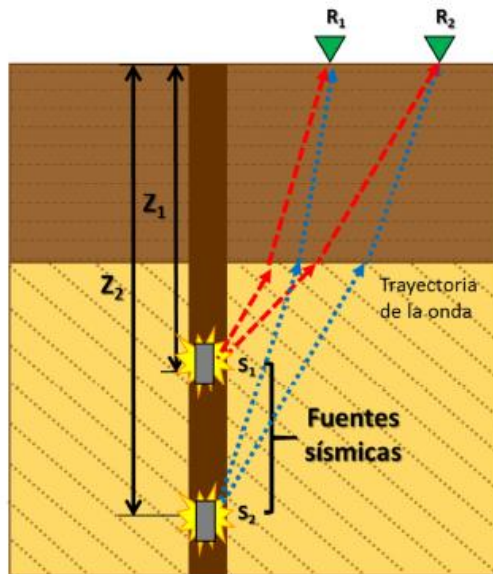


Diagrama esquemático de la ejecución del método Uphole y ubicación de fuentes y receptores sísmicos.

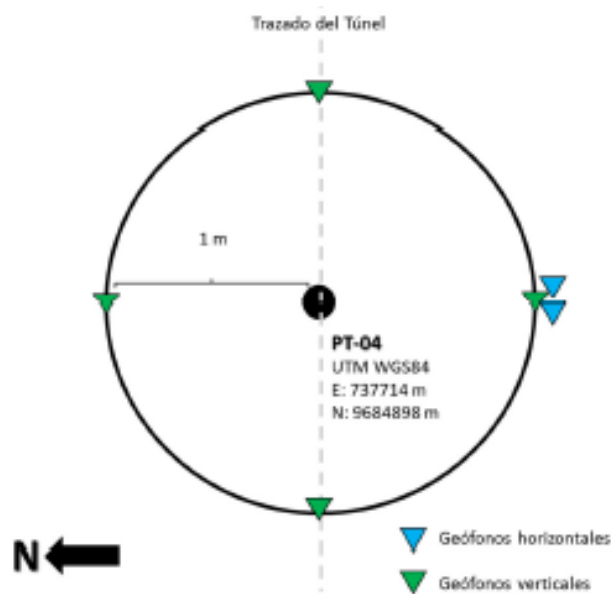


Diagrama de la disposición espacial de los receptores sísmicos para el método Uphole en superficie.

5.2.1.1 Medición de velocidad sónica en núcleos de roca.

El método de velocidad sónica, es una técnica que mide la velocidad de propagación de onda P o S en forma uniaxial en laboratorio, para muestras cilíndricas de suelo, roca o concreto. Con el fin de poder realizar el cálculo de la velocidad, en el caso de núcleos de roca o concreto, y evitar problemas en la identificación del arribo de la onda, es necesario

que la muestra este sana y sin fracturas visibles. Según (IAEA, 2002), la señal sísmica es un pulso provocado por un transductor electro-acústico, el cual se encuentra adherido a la superficie de la muestra, mediante una pasta de celulosa que impida que se formen múltiples reflexiones entre el sensor y la muestra; la señal transmitida es recibida por otro transductor que convierte la vibración en una señal eléctrica.

Los instrumentos o equipos necesarios para llevar a cabo esta medición son: una unidad generadora de pulso, dos transductores (transmisor y receptor), un preamplificador de voltaje, y una unidad de visualización de la señal sísmica (Osciloscopio).

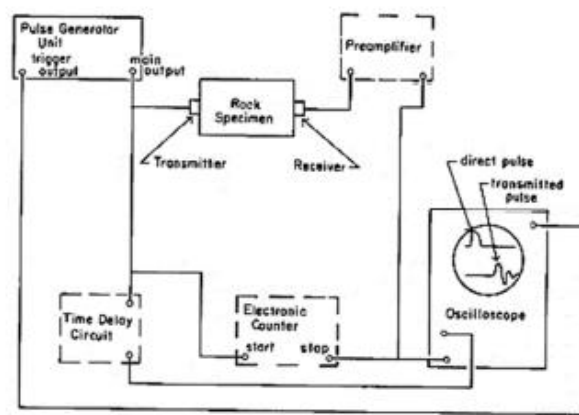
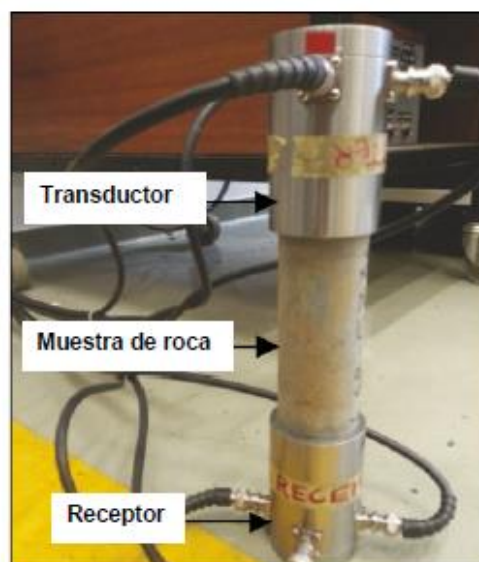


Diagrama esquemático que indica cómo está conformado el equipo para medición de velocidad sónica. Tomado y modificado la norma ASTM D2845.



Muestra de roca con transductores, para una prueba de velocidad sónica. Tomado y modificado de (Nkosi *et al*, 2016)

APÉNDICE D

Parámetros geotécnicos obtenidos del registro de perforación para la perforación PT-02

Profundidad (m)	Litología	Parámetros Geotécnicos						
		Recuperación (%)	RQD (%)	Meteorización	Fracturamiento (f/m)	Espaciamiento (mm)	Flujo de retorno (%)	Compresión de la roca(MPa)
36-36.4	Lutita negra	100-20	50-0	Medianamente meteorizado a completamente meteorizado	>20	<60	Muy alto-muy bajo	33.53 (D)
43-43.2	Lutita negra	100-0	25-0	Medianamente meteorizado a completamente meteorizado	>20	<60	Muy alto-muy bajo	4.83 (w)
55-55.6	Lutita negra	100-0	50-0	Medianamente meteorizado a completamente meteorizado	>20	<60	Muy alto-muy bajo	61.49 (D)
59-59.6	Lutita negra	80-0	75-0	Medianamente meteorizado a completamente meteorizado	11-20	600-60		2.30 (w)
68-68.2	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	6-20	600-60	Muy alto-muy bajo	20.94 (D)
71-73.4	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	6 - >20	600-60	Muy alto-muy bajo	2.31 (w)
75-76	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	6 - >20	600-60	Muy alto-muy bajo	81.59 (D)

85-86.2	Lutita negra	80-0	75-0	Medianamente meteorizado a completamente meteorizado	>20	<60	Muy alto-muy bajo	10.25 (D)
86.2-86.6	Lutita negra	100-0	90-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	>20	600-60	Muy alto-muy bajo	4.30 (w)
86.6-86.8	Lutita negra	100-0	90-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	>20	600-60	Muy alto-muy bajo	8.36 (w)
86.8-87.6	Lutita negra	100-0	90-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	>20	600-60	Muy alto-muy bajo	6.93 (w)
87.6-88.4	Lutita negra	100-0	90-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	>20	600-60	Muy alto-muy bajo	3.16 (w)
88.4-89	Lutita negra	100-0	90-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	>20	600-60	Muy alto-muy bajo	8.93 (w)
91-95.2	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	9.23 (w)
95.2-95.4	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	42.88 (D)
95.4-95.6	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	42.88 (D)
95.6-95.8	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	17.67 (D)

95.8-96	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	6.65 (W)
96-96.2	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	10.53 (W)
96.2-96.6	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	6.09 (W)
96.6-96.8	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	6.94 (W)
96.8-97.6	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	32.44 (D)
97.6-97.8	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	30.68 (D)
97.8-98.4	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	28.48 (D)
99-106.4	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	6-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	66.31 (D)
106.4-107.4	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	6-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	74.36 (D)
145-145.2	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	11-20	200-60	Muy alto-muy bajo	39.06 (W)

157-157.8	Lutita negra	100-0	50-0	Medianamente meteorizado a completamente meteorizado	6-20	200-60	Muy alto-muy bajo	42.40 (W)
160-161.2	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	6-20	200-60	Muy alto-muy bajo	46.21 (D)
168-169	Lutita negra	100-0	50-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	6-20	200-60	Muy alto-muy bajo	71.09 (D)
175-178.4	Lutita negra	100-0	100-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	6-20	200-60	Muy alto-muy bajo	52.44 (D)
180-180.2	Lutita negra	100-0	100-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	38.42 (W)
180.2-180.4	Lutita negra	100-0	100-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	25.02 (W)
180.4-181.2	Lutita negra	100-0	100-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	12.66 (W)
181.2-181.4	Lutita negra	100-0	100-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	16.41 (W)
181.4-181.6	Lutita negra	100-0	100-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	2000-60	Muy alto-muy bajo	11.88 (W)
182-182.4	Lutita negra	100-0	100-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	6-20	<60	Muy alto-muy bajo	57.80 (W)
195-196.4	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	600-60	Muy alto-muy bajo	69.88 (D)
200-202.4	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente meteorizado	2-20	600-60	Muy alto-muy bajo	11.41 (W)

202.4-203	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente	2-20	600-60	Muy alto-muy bajo	13.35 (W)
203-203.4	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente	2-20	600-60	Muy alto-muy bajo	58.28 (W)
203.4-203.8	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente	2-20	600-60	Muy alto-muy bajo	59.92 (W)
203.8-204.2	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente	2-20	600-60	Muy alto-muy bajo	14.90 (W)
204.2-204.4	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente	2-20	600-60	Muy alto-muy bajo	27.63 (W)
204.4-204.6	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente	2-20	600-60	Muy alto-muy bajo	71.14 (D)
205-209.6	Lutita negra	100-0	75-0	Ligeramente meteorizado a completamente	2-20	600-60	Muy alto-muy bajo	82.34 (D)

Parámetros geotécnicos obtenidos del registro de perforación para la perforación PT-03

Profundidad (m)	Litología	Parámetros Geotécnicos				
		RQD (%)	Meteorización	Fracturamiento (f/m)	Espaciamiento (mm)	Compresión simple (MPa)
1-2	Bloques de rioita	25-0	completamente meteorizado	-	<60	26.66 (D)
3-4	Bloques de rioita	25-0	completamente meteorizado	-	<60	23.77 (D)
4-5	Bloques de rioita	25-0	completamente meteorizado	-	<60	15.88 (S)
23-24	Arenisca conglomerática	25-0	Altamente a completamente meteorizado	11 a >20	<60	6.99 (S)
29-30	Arenisca conglomerática	90-0	Altamente a completamente meteorizado	>20	<60	21.5 (D)
53-54	Arcillolita	90-0	Ligera a completamente meteorizado	>20	600 a <60	6.37 (D)
57-58	Limolita	90-0	Ligera a completamente meteorizado	>20	600 a <60	2.82 (D)
85-86	Arcillolita	25-0	Altamente a completamente meteorizado	6 a >20	2000 a <60	18.27 (S)
86-87	Arenisca	25-0	Altamente a completamente meteorizado	6 a >20	2000 a <60	5.85 (D)
89-100	Arenisca	25-0	Altamente a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	11.37 (D)
95-96	Conglomerado	90-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	2000 a <60	4.55 (D)
96-97	Conglomerado	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	200 a <60	3.8 (S)

101-102	Conglomerado	90-0	Altamente a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	3.26 (D)
102-103	Conglomerado	100-0	Altamente a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	15.43 (D)
105-106	Conglomerado	90-0	Altamente a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	27.55 (S)
114-115	Limolita	90-0	Altamente a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	12.11 (D)
121-122	Lava andesítica	90-0	Altamente a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	6.58 (D)
123-124	Lava andesítica	90-0	Altamente a completamente meteorizado	2 a >20	200 a <60	10.06 (S)
126-127	Conglomerado	25-0	Altamente a completamente meteorizado	6 a >20	<60	12.35 (D)
129-130	Lava andesítica	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	22.96 (D)
132-133	Lava andesítica	25-0	Alta a completamente meteorizado	11 a >20	<60	50.58 (S)
139-140	Arcillolita	50-0	Alta a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	9.71 (D)
167-168	Arcillolita	25-0	Mediana a completamente meteorizado	11 a >20	<60	11.08 (D)
173-174	Arcillolita	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	11.28 (D)
174-175	Arcillolita	25-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	35.25 (S)

183-184	Arcillolita	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	11.28 (S)
190-191	Arenisca	25-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	<60	29.98 (D)
191-192	Arenisca	50-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	10.2 (S)
192-193	Arenisca	50-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	18.98 (D)
194-195	Arenisca	75-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	11.37 (D)
197-198	Conglomerado	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	18.69 (S)
199-200	Conglomerado	50-0	Mediana a completamente meteorizado	2 a >20	<60	27.03 (S)
200-201	Conglomerado	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	47.58 (D)
201-202	Limo	50-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	31.23 (D)
204-205	Limo	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	10.09 (S)
208-209	Limo	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	14.93 (D)
210-211	Conglomerado	90-0	Mediana a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	43.14 (S)
213-214	Conglomerado	75-0	Mediana a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	61.65 (D)

214-215	Conglomerado	75-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	3.6 (S)
215-216	Arcillolita	75-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	15.15 (D)

Parámetros geotécnicos obtenidos del registro de perforación para la perforación PT-04

Profundidad (m)	Litología	Parámetros Geotécnicos				
		RQD (%)	Meteorización	Fracturamiento (f/m)	Espaciamiento (mm)	Compresión simple (MPa)
39-40	Limo arenisca	75-0	Ligera a completamente meteorizado	11 a >20	200 a <60	24.17 (D)
42-43	Conglomerado	75-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	14.26 (D)
52-53	Arcillolita	90-0	Roca fresca a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	36.68 (D)
53-54	Arcillolita	90-0	Roca fresca a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	29.39 (D)
55-56	Roca andesítica	90-0	Roca fresca a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	81.18 (D)
57-58	Roca andesítica	90-0	Roca fresca a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	86.34 (S)
60-61	Roca andesítica	100-0	Roca fresca a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	66.99 (S)
62-63	Roca andesítica	90-0	Roca fresca a completamente meteorizado	6 a >20	2000 a <60	80.25 (D)
63-64	Roca andesítica	75-0	Roca fresca a completamente meteorizado	6 a >20	2000 a <60	76.37 (D)
65-66	Roca andesítica	90-0	Roca fresca a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	74.77 (D)
66-67	Roca andesítica	25-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	2000 a <60	45.08 (S)

71-72	Roca andesítica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	200 a <60	54.65 (S)
72-73	Roca andesítica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	60.86 (D)
73-74	Roca andesítica	100-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	83.24 (D)
74-75	Roca andesítica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	31.71 (D)
78-79	Roca andesítica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	79.84 (S)
79-80	Roca andesítica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	79.52 (S)
80-81	Roca andesítica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	200 a <60	63.7 (D)
85-86	Roca andesítica	25-0	Alta a completamente meteorizado	6 a >20	<60	110.63 (S)
86-87	Roca andesítica	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	106.15 (D)
89-90	Roca andesítica	25-0	Alta a completamente meteorizado	11 a >20	<60	75.57 (D)
90-91	Andesita alterada	50-0	Alta a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	29.18 (S)
99-100	Andesita alterada	25-0	Mediana a completamente meteorizado	11 a >20	<60	51.69 (D)
102-103	Andesita alterada	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	36.63 (S)

107-108	Andesita alterada	25-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	35.25 (S)
108-109	Andesita alterada	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	68.62 (D)
112-113	Andesita alterada	25-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	<60	19.24 (D)
116-114	Andesita alterada	50-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	13.37 (S)
116-117	Andesita porfídica	50-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	99.75 (S)
117-118	Andesita porfídica	75-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	60.79 (D)
120-121	Andesita porfídica	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	76.03 (D)
123-124	Andesita porfídica	50-0	Mediana a completamente meteorizado	2 a >20	<60	106.25 (S)
127-128	Andesita porfídica	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	102.96 (S)
128-129	Andesita porfídica	50-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	58.62 (D)
131-132	Andesita porfídica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	62.21 (S)
132-133	Andesita porfídica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	83.82 (D)
134-135	Andesita porfídica	90-0	Mediana a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	41.61 (S)

135-136	Andesita porfídica	75-0	Mediana a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	221.19 (D)
141-142	Andesita porfídica	75-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	115.58 (D)
143-144	Andesita porfídica	75-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	118.83 (S)
146-147	Andesita porfídica	100-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	108.79 (S)
147-148	Andesita porfídica	75-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	200 a <60	127.15 (D)
150-151	Andesita porfídica	100-0	Ligera a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	90.88 (S)
151-152	Andesita porfídica	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	200 a <60	134.19 (D)
158-159	Andesita porfídica	75-0	Mediana a completamente meteorizado	20 a >20	600 a <60	87.78 (S)
159-160	Andesita porfídica	50-0	Mediana a completamente meteorizado	2 a >20	<60	124.88 (D)
160-161	Andesita porfídica	90-0	Alta a completamente meteorizado	2 a >20	200 a <60	124.23 (D)
163-164	Andesita porfídica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	73.44 (S)
168-169	Andesita porfídica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	39.96 (S)
170-171	Andesita porfídica	90-0	Mediana a completamente meteorizado	2 a >20	200 a <60	74.96 (S)

171-172	Andesita porfídica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	91.14 (D)
176-177	Andesita porfídica	90-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	600 a <60	103.51 (D)
178-179	Andesita porfídica	75-0	Ligera a completamente meteorizado	2 a >20	200 a <60	105.26 (S)
183-184	Andesita porfídica	50-0	Mediana a completamente meteorizado	6 a >20	600 a <60	68.43 (S)
187-188	Andesita porfídica	25-0	Mediana a completamente meteorizado	11 a >20	<60	51.63 (D)

APÉNDICE E



0 – 25.00 m Se observan fragmentos de lutitas centimétricos de coloración marrón claro. No se observa recuperación al 100% de la roca perforada, presencia de fracturas de apertura milimétrica, rellena de carbonatos y minerales de arcilla. En los bordes se evidencia manchas de óxidos de hierro y manganeso (debido a la meteorización).



25.00-27.70 m Se observan fragmentos de lutitas centimétricos de coloración marrón claro. No se observa recuperación al 100% de la roca perforada, presencia de fracturas

de apertura milimétrica, rellena de carbonatos y minerales de arcilla. En los bordes se evidencia manchas de óxidos de hierro y manganeso (debido a la meteorización).

27.70 – 30.00 m Cambio de coloración en la roca, lutitas de color negro fracturadas, se obtiene mayor recuperación de roca en relación a los tramos anteriores. La textura de la roca es más sedosa. Se observan minerales de arcilla y carbonatos rellendo fracturas milimétricas.



30.00 - 45.00 m Lutitas negras fracturadas, se obtiene mayor recuperación de roca en relación a los tramos anteriores. La textura de la roca es más sedosa. Se observan minerales de arcilla y carbonatos rellendo fracturas milimétricas. Se observa diseminaciones de Calcopirita y oxidación de hierro y manganeso.



45.00-55.00 m Lutitas cambian de color negro a marrón oscuro, presenta fracturas que se muestran rugosas y se observan venillas milimétricas de carbonatos y en ciertos tramos de arcilla. Se observa diseminaciones de Calcopirita y oxidación de hierro y manganeso.



55.00-70.00 m Lutitas de color negro, roca compacta, altamente disgregable por el diaclasamiento masivo que presenta y por planos de estratificación. Las paredes de las fracturas son onduladas a rugosa de apertura milimétrica, rellena de carbonatos, y con presencia de oxidación de hierro y manganeso.



70.00 - 1456.00 m Lutitas negras fracturadas, se obtiene mayor recuperación de roca en relación a los tramos anteriores. La textura de la roca es más sedosa. Se observan minerales de arcilla y carbonatos rellenando fracturas milimétricas. Se observa oxidación de hierro y manganeso.



145.00-146.40 m Lutitas de color negro, roca compacta, altamente disgregable por el diaclasamiento masivo que presenta y por planos de estratificación. Las paredes de las fracturas son onduladas a rugosa de apertura milimétrica, rellena de carbonatos, y con presencia de oxidación de hierro y manganeso.

146.40-150.00 m Arena gruesa de color negro, con clastos milimétricos angulosos a subangulosos, de baja esfericidad y moderadamente clasificados. Se identifican cristales milimétricos de calcita. Esta arena posiblemente corresponda a la trituración de la roca de la lutita de color negro.



150.00-153.00 m Arena media de color negro, con clastos milimétricos angulosos a subangulosos, de baja esfericidad y moderadamente clasificados. Se identifican cristales milimétricos de calcita. Esta arena posiblemente corresponda a la trituración de la roca de la lutita de color negro.

153.00-153.40 m Arena fina de color negro, con clastos milimétricos angulosos a subangulosos, de baja esfericidad y moderadamente clasificados. Se identifican cristales milimétricos de calcita.

153.40-155.00 m Lutitas de color negro, roca compacta, altamente disgregable por el diaclasamiento masivo que presenta y por planos de estratificación. Las paredes de las fracturas son onduladas a rugosa de apertura milimétrica, rellena de carbonatos, y con presencia de oxidación de hierro y manganeso.



155.00-190.00 m Lutitas de color negro, roca compacta, altamente disgregable por el diaclasamiento masivo que presenta y por planos de estratificación. Presenta varias familias de diaclasas. Las paredes de las fracturas son lisas de apertura milimétrica, rellena de carbonatos, y con presencia de oxidación de hierro y manganeso.



190.00-190.40 m Se observan fragmentos de lutitas centimétricos de negra.

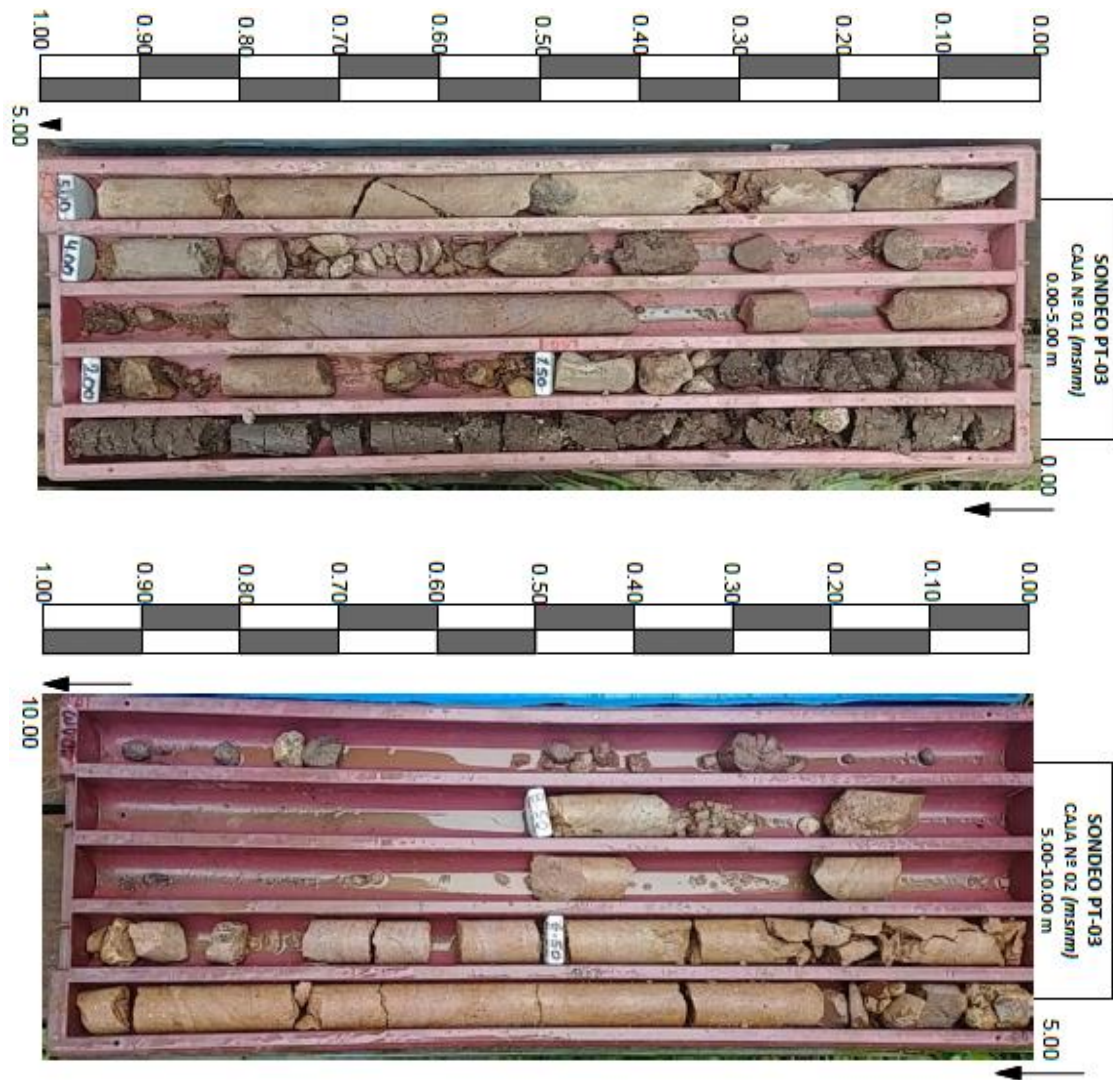
190.40-191.65 m Gradación normal de una arena fina a gruesa (tomando como base La parte más baja del cerro

191.65-195.00 m Lutitas de color negro, roca compacta, altamente disgregable por el diaclasamiento masivo que presenta y por planos de estratificación. Presenta varias familias de diaclasas. Las paredes de las fracturas son lisas de apertura milimétrica, rellena de carbonatos, y con presencia de oxidación de hierro y manganeso.



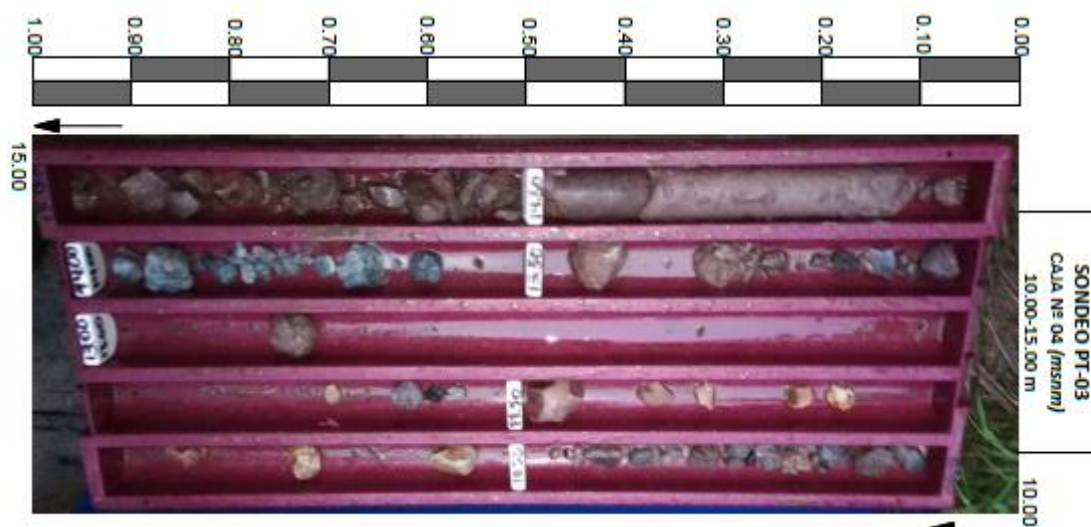
195.00-210.00 m Lutitas de color negro, roca compacta, altamente disgregable por el diaclasamiento masivo que presenta y por planos de estratificación. Presenta varias familias de diaclasas. Las paredes de las fracturas son lisas de apertura milimétrica, rellena de carbonatos, y con presencia de oxidación de hierro y manganeso.

APÉNDICE F

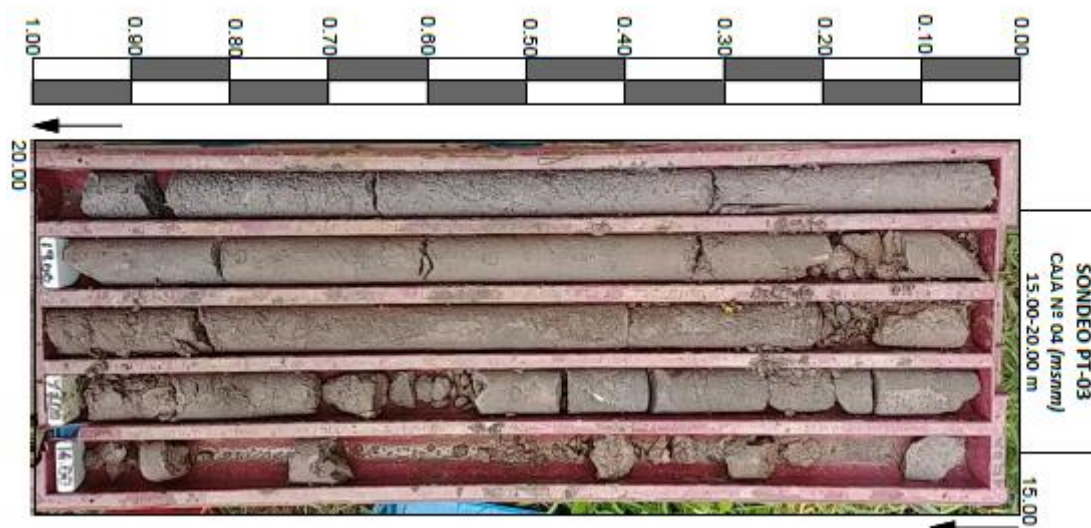


0 - 1.30m Se observa material de color marrón oscuro con contenido de clastos centimétricos de forma irregular, estos tienen coloraciones blancas y marrón, se trata de material volcánico (tobas y riolita?), también se identifican fragmentos de rocas de color rojiza de tipo sedimentario.

1.30 – 9.5m Riolita Roca de coloración rojiza grisácea, con presencia de fragmentos de rocas que presentan minerales negros diseminados (biotita), también se observan cuarzos de color blanco. Fragmentos de roca de color negra también es identificada y se trata de lutita negra con microvetillas de carbonato.

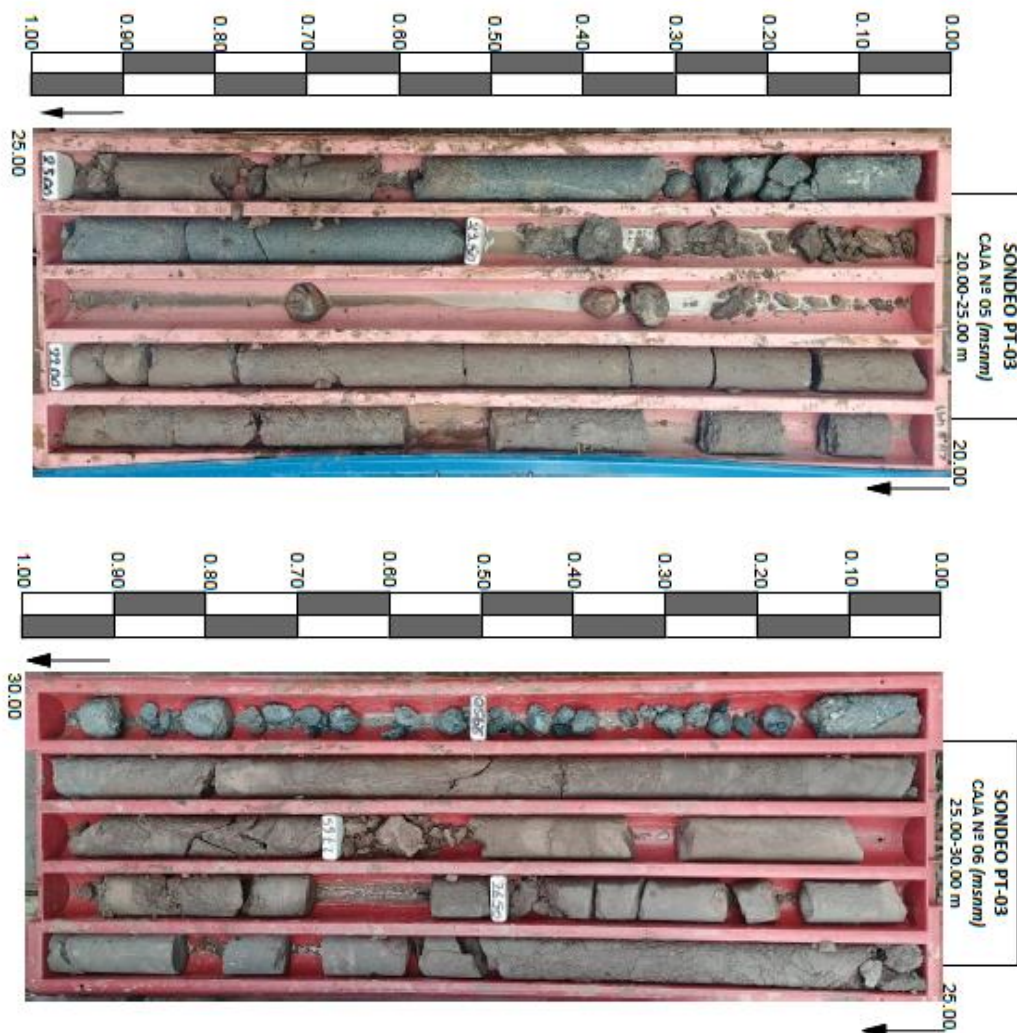


10.5 - 14.5m (Riolita) Se poco material recuperado en este metraje, y el material presente está en forma de fragmentos color marrones y grises, estos pertenecen a diferentes tipologías. los fragmentos marrones pertenecen a al material antes descrito en donde se identifican minerales de color negro (¿posibles biotitas?), y cuarzo. Los fragmentos grises presentan vetillas milimétricas calcita, también se observan minerales de color verde en un menor porcentaje.



14.5 - 16.7m (Arcilolita) Material de color marrón, presenta clastos que van de centimétricos a milimétricos, se observan muy angulosos y mal clasificados. Estos clastos están sobre una matriz fina (arcilla), este material en los últimos 30cm se observa mejor clasificado con pequeñas fracturas rellenas de mineral carbonatado.

16.7 - 20m (Arcilloлита) La matriz se muestra más consolidada, pero los clastos siguen presentándose mal clasificados y angulosos.



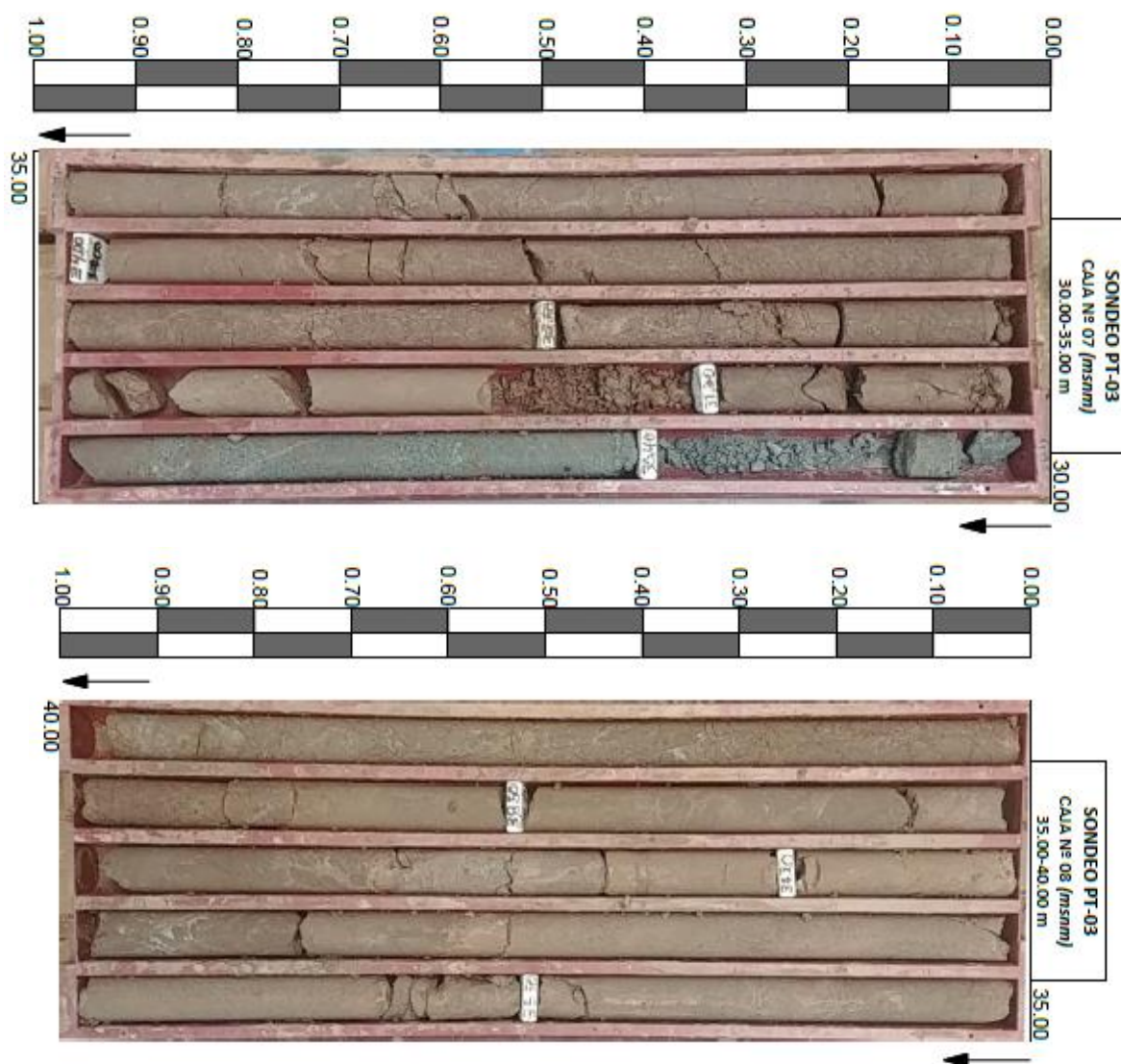
20 - 23m (Arcillolita) Material de color marrón, presenta clastos que van de centimétricos a milimétricos, se observan muy angulosos y mal clasificados. Estos clastos están sobre una matriz fina (arcilla), este material en los últimos 30cm se observa mejor clasificado con pequeñas fracturas rellenas de mineral carbonatado.

23 – 24.6m (Brecha volcanosedimentaria) Se observa material de color verde grisáceo con fracturas rellenas de carbonato y clastos angulosos y mal clasificados, correspondientes a fragmentos de roca en su mayoría de tipo volcánico.

24.6 - 26.5m (Arenisca) Material de color gris bien consolidada, de tipo clasto sostenido, los clastos se encuentran bien clasificados y subredondeados. Se observan minerales como cuarzo y vetillas calcáreas milimétricas.

26.5 – 29m (Limolita) Matriz fina de arcilla de color marrón oscuro, al inicio presenta clastos milimétricos de arenisca que se encuentran sobre la matriz, se observan subangulosos y mal clasificados.

29 – 30m (Arenisca conglomerática) Material de color verde grisáceo que presenta una matriz de arena con clastos subangulares moderadamente clasificados, además se identifican clastos pertenecientes a otras litologías.

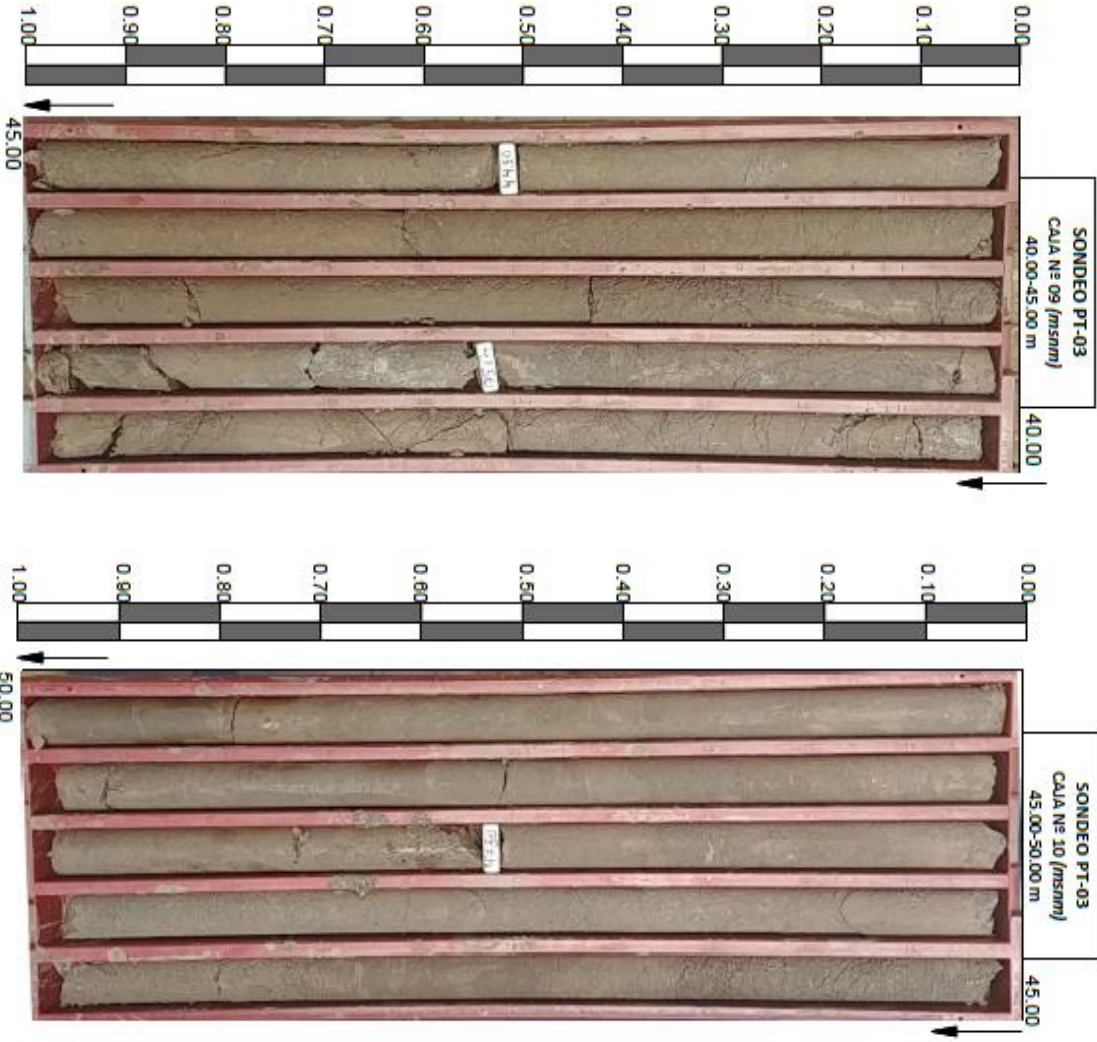


30 – 31m (Arenisca) Material de color grisáceo que presenta una matriz de arena con clastos subangulares moderadamente clasificados, además se identifican clastos pertenecientes a otras litologías. Posiblemente de origen volcánica.

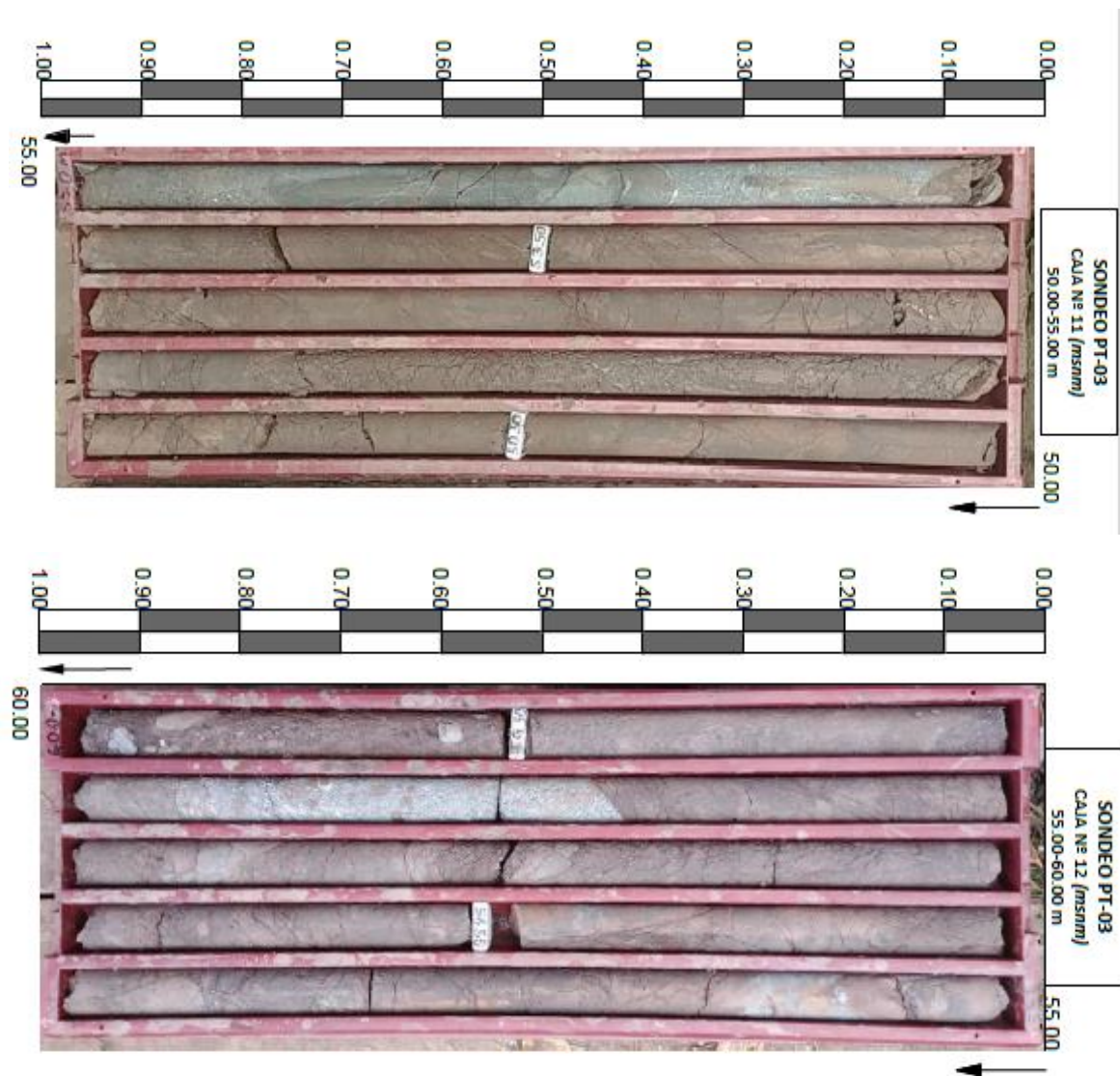
31 – 35m (Arcillolita) Material de color marrón oscuro, de grano muy fino, presenta clastos milimétricos muy fracturados, estas fracturas generalmente se encuentran rellenos por calcita. En el último metraje, se observa el material descrito en la caja anterior, que ha sido recubierto por la arcillolita.

35 – 40m (Arcillolita) Material de color marrón oscuro, de grano muy fino, presenta clastos milimétricos muy fracturados, estas fracturas generalmente se encuentran

rellenados por calcita. Las paredes de esta perforación se muestran más rugosas. Hay mayor presencia de carbonatos que se muestran algunas veces rellenando las fracturas y otras a manera de vetillas.



40 – 50m (Arcillolita) Material de color marrón oscuro, de grano muy fino, presenta clastos milimétricos muy fracturados, estas fracturas generalmente se encuentran rellenos por calcita. Las paredes de esta perforación se muestran más rugosas. Hay mayor presencia de carbonatos que se muestran algunas veces relleno las fracturas y otras a manera de vetillas.

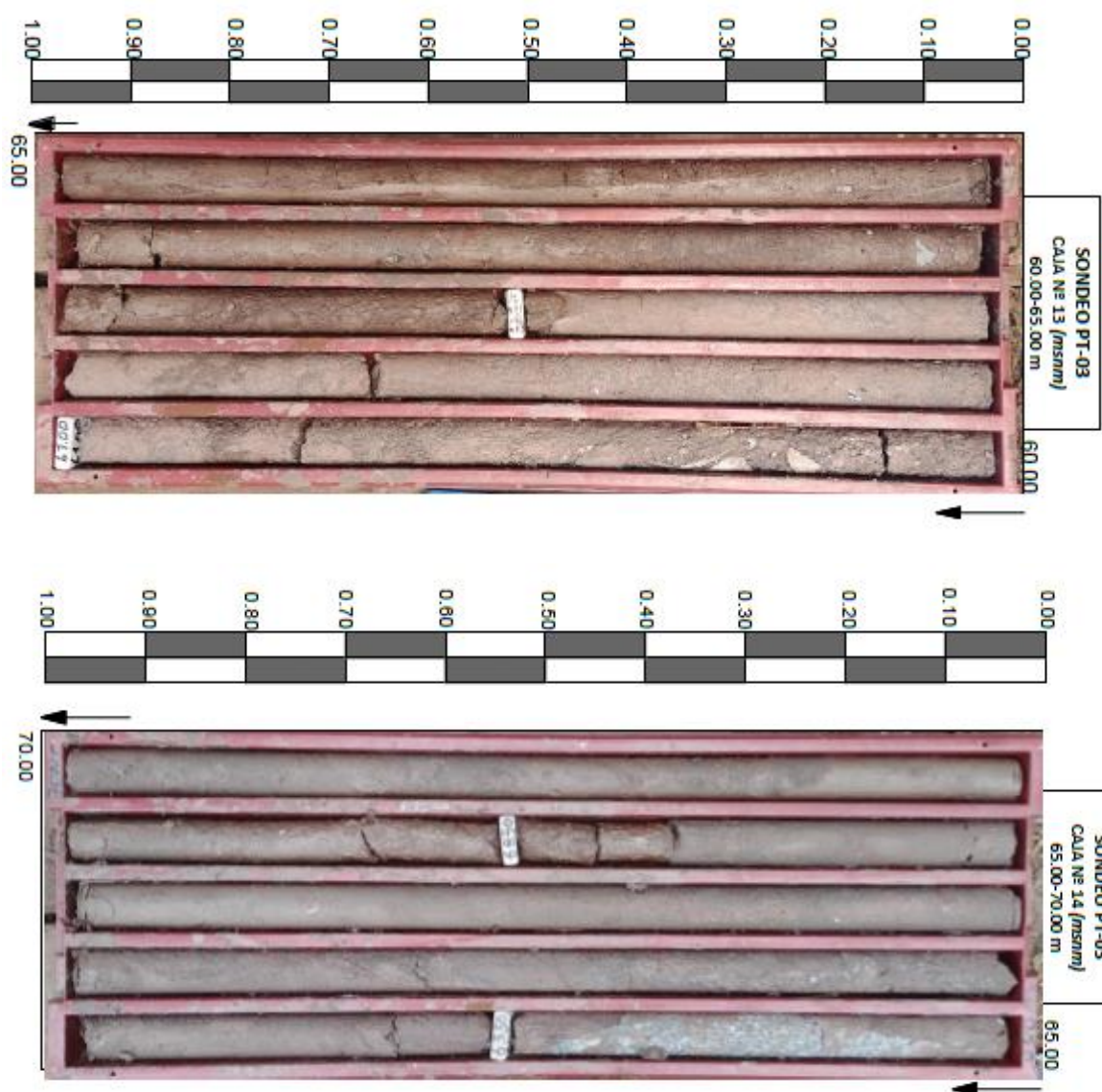


50 – 54m (Arcillolita) Material de color marrón oscuro, de grano muy fino, presenta clastos milimétricos muy fracturados, estas fracturas generalmente se encuentran rellenos por calcita. Las paredes de esta perforación se muestran más rugosas. Hay mayor presencia de carbonatos que se muestran algunas veces relleno las fracturas y otras a manera de vetillas.

54 – 55m (Arenisca conglomerática) Material de color gris verdoso bien consolidado, con gran contenido de carbonato y vetillas milimétricas de calcita. Se identifican clastos negros, y cristales de color negro. En ciertos lugares de la roca se muestran vesículas sin relleno.

55 – 58.4 m (Limolita) Se observa material de color marrón oscuro, con matriz muy fina de limo. En las paredes de la perforación se observan restos de otras litologías. Se observan pequeñas laminaciones.

58.4 – 60m (Lutita color marrón) Material de color marrón oscuro con matriz de arcilla, presenta clastos milimétricos muy fracturados, estas fracturas generalmente se encuentran rellenos por calcita. Clastos de color negro, granos de cuarzo de 2cm aprox.

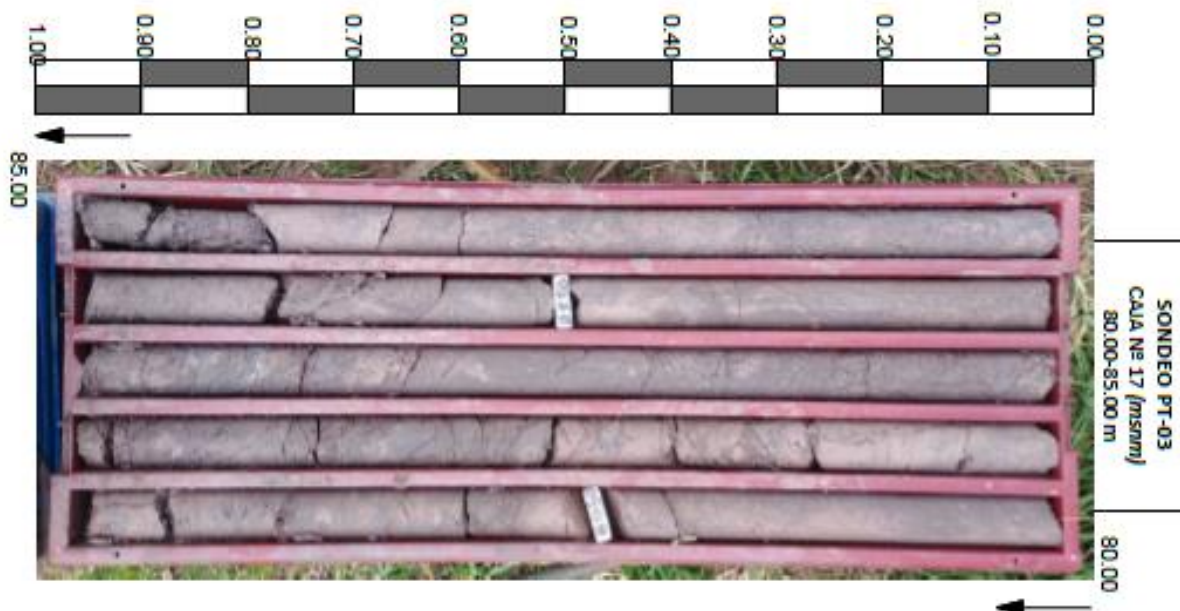


60 – 65m (Arcillolita) Material desdrenable de color marrón oscuro, con presencia de matriz de arcilla y clastos centimétricos de cuarzo, y fragmentos de roca de origen volcánico (posibles tobas y lutitas negras) estos fragmentos se presentan angulosos y mal clasificados. Las presencias de estos fragmentos disminuyen a medida que aumenta la profundidad.

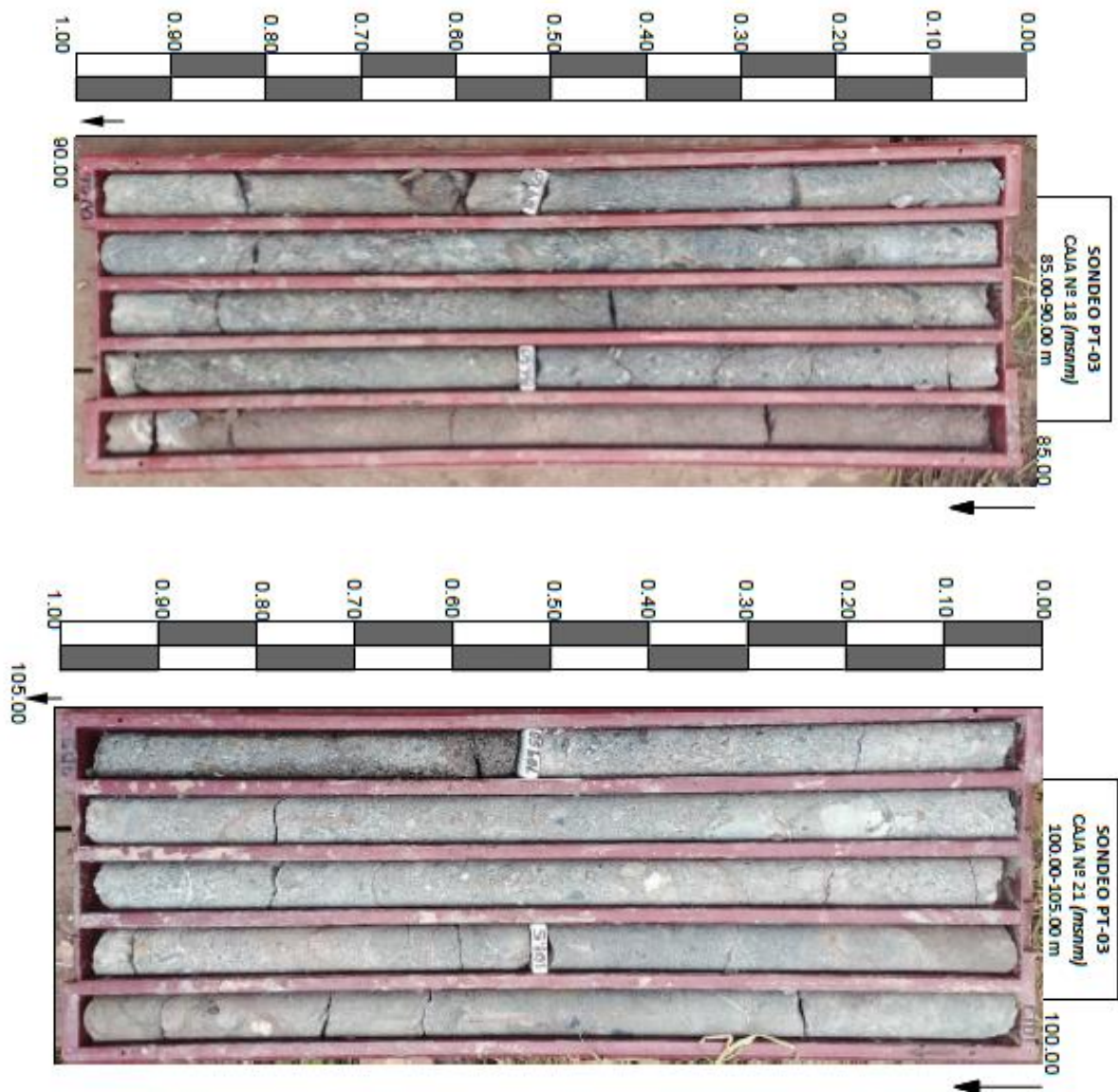
65 – 66m (Arenisca) Material consolidado de color gris, con gran presencia de clastos soprtados y una matriz muy fina de arena. Los clastos son milimétricos a centimétricos y

se presentan moderadamente clasificados. Se observan vetillas de carbonatos en un 20%.

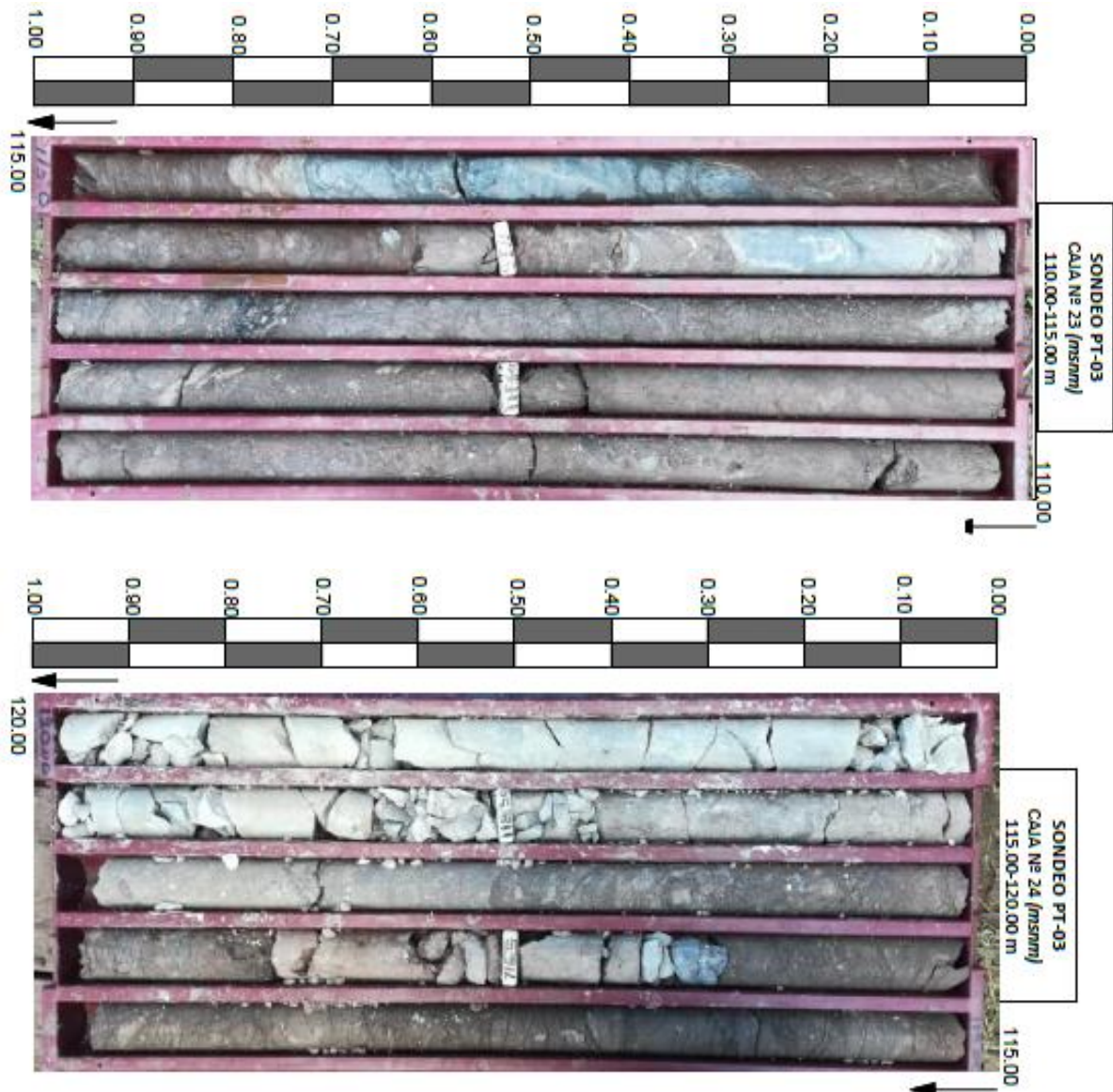
66 – 70m (Limo) Material de color marrón oscuro, con presencia de matriz de limo y fragmentos de roca de origen volcánico (posibles tobas y lutitas negras) estos fragmentos se presentan angulosos y mal clasificados.



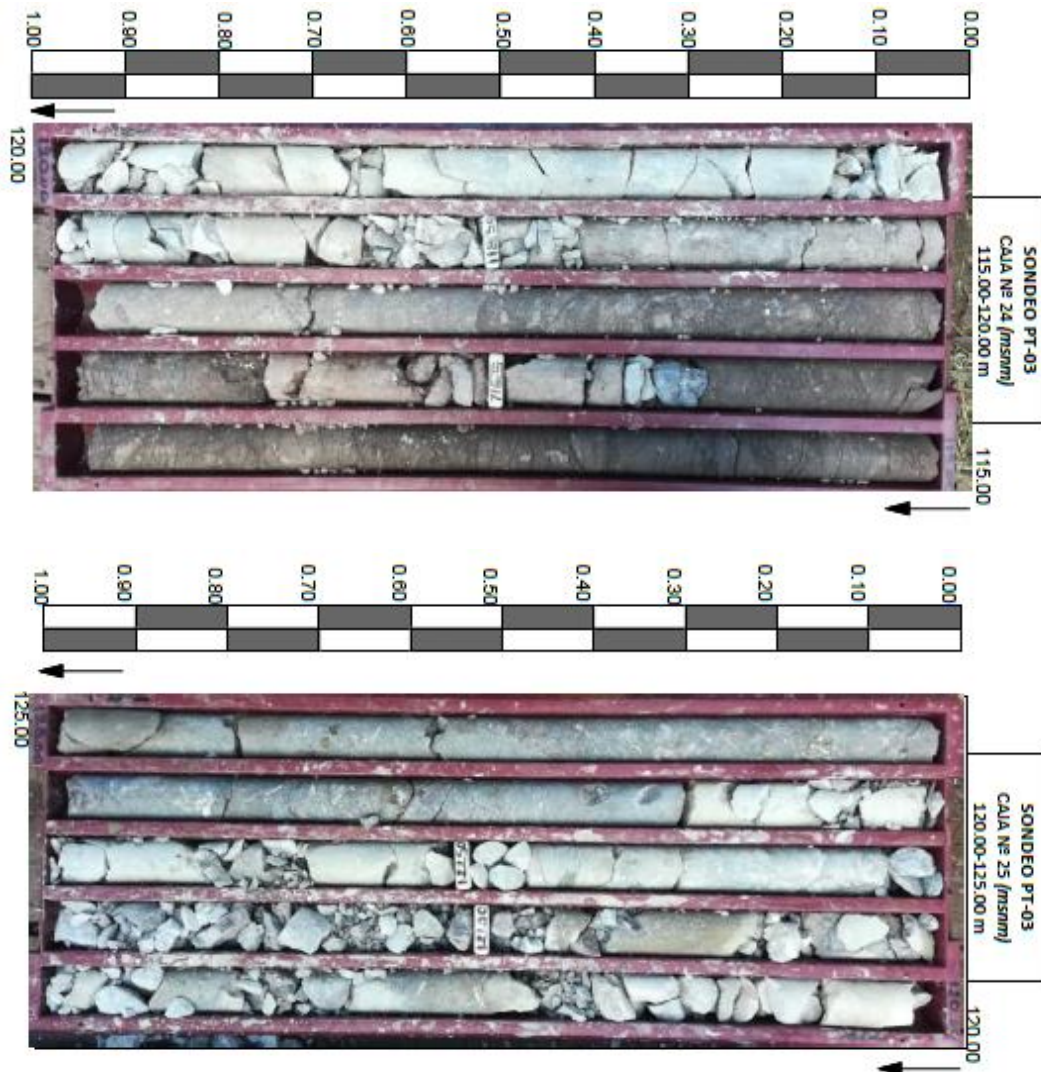
70 – 85m (Arcillolita) Material de color marrón oscuro, de grano muy fino, presenta clastos milimétricos muy fracturados, estas fracturas generalmente se encuentran rellenos por calcita. Las paredes de esta perforación se muestran más rugosas. Hay mayor presencia de carbonatos que se muestran algunas veces relleno las fracturas y otras a manera de vetillas.



85 – 108.5m (Arenisca) Material de color gris verdoso, con clastos de color negro que se muestran alargados y con microfracturas rellenas de mineral carbonático. Se identifican minerales de color verde, marrón y blancos (algunos pertenecen a cuarzo y otros de material de arcilla?). Se observan otros clastos mal clasificados, subredondeados sobre una matriz de arena. Presencia de vetillas de carbonato. A medida que aumenta a profundidad os clastos se presentan con mejor clasificación y ordenamiento.

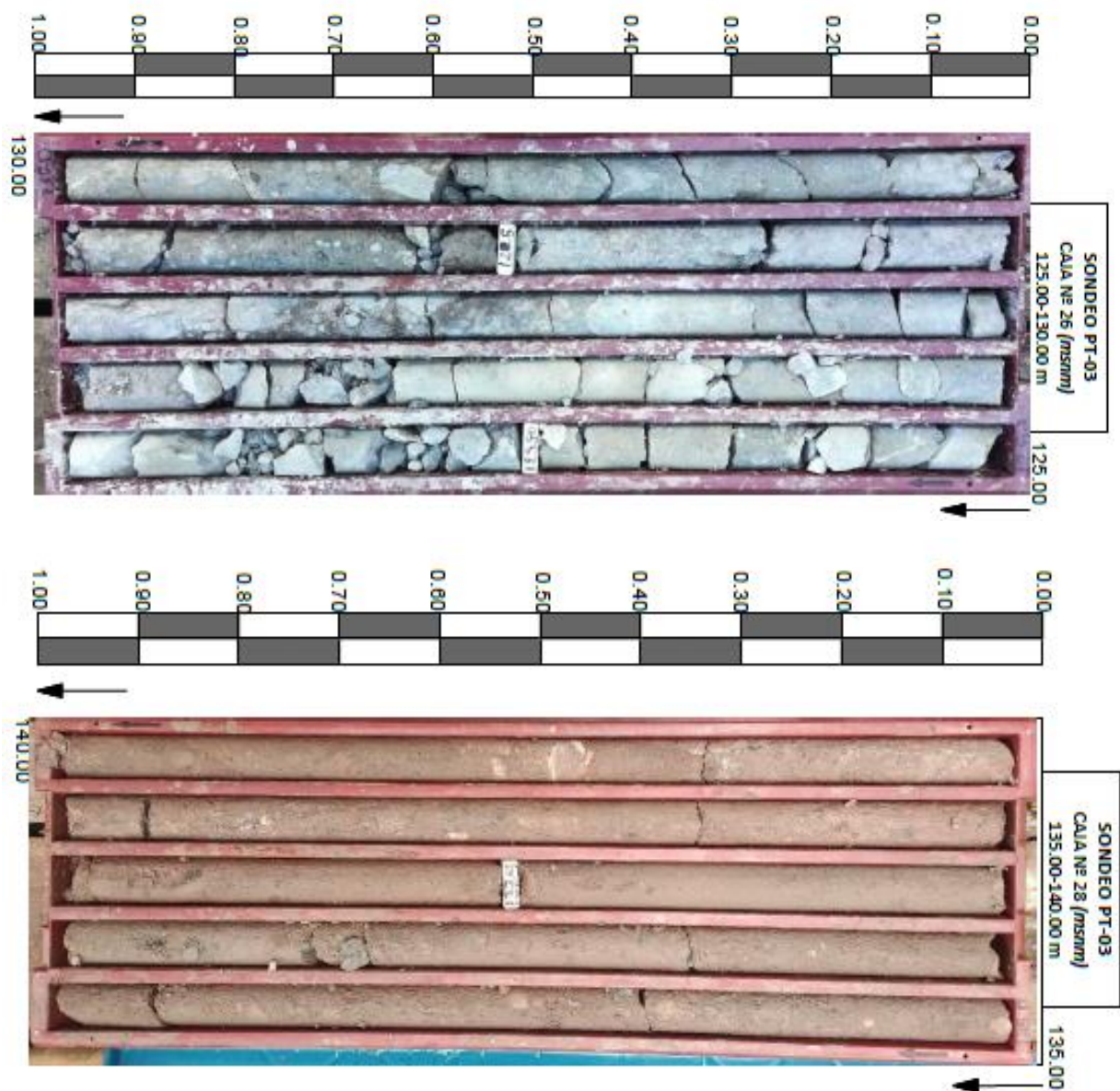


108.5 – 116.3m (Arcillolita) Se observa un material de color marrón oscura, con matriz de arcilla y fragmentos de roca de color negro de tipo sedimentario con contenido de vetias de carbonato. Hay presencia de minerales de color verde, y negros (posibles biotitas). En ciertos tramos de estas perforaciones se observa lentes de arenisca en las paredes de la perforación.



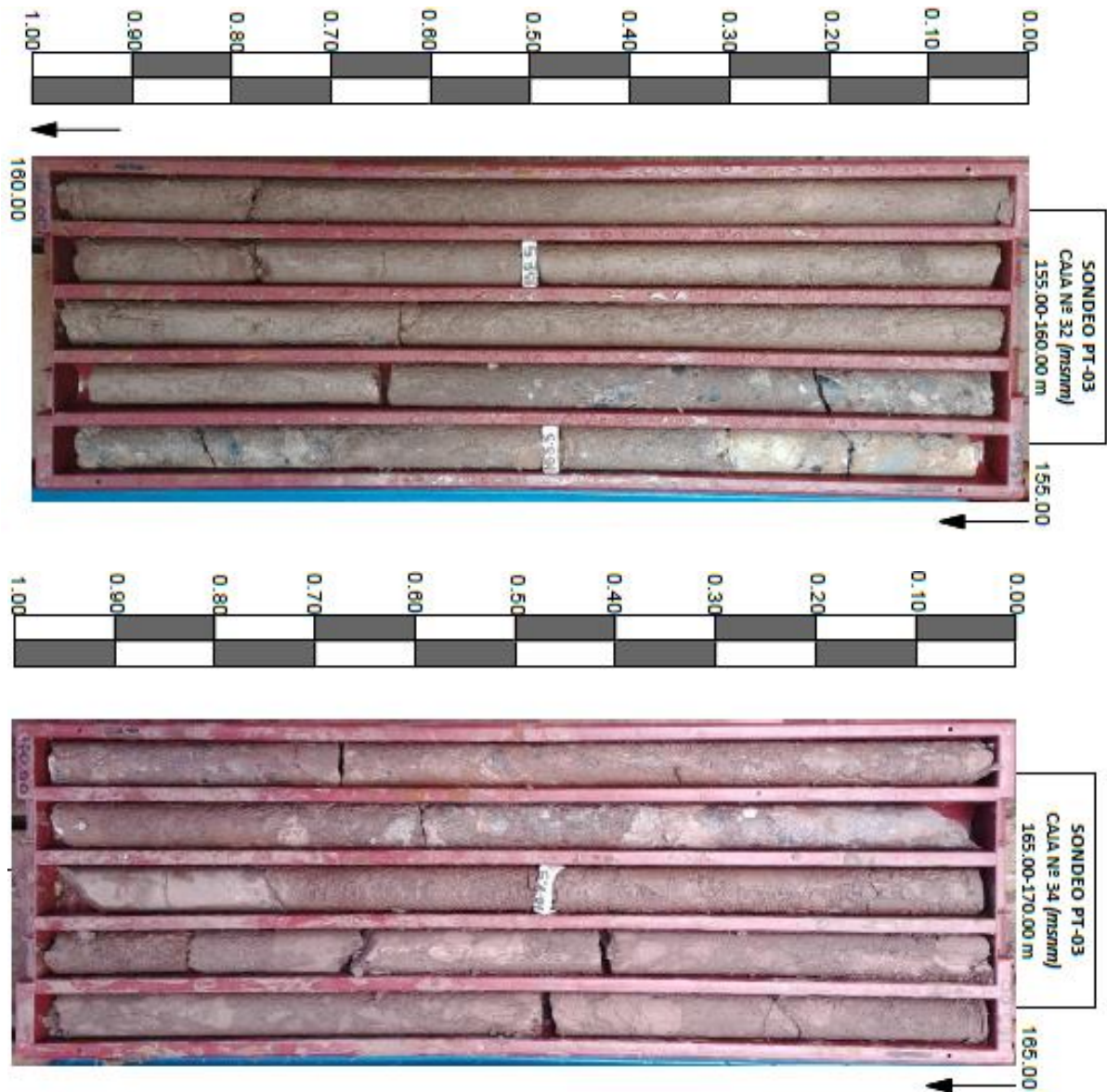
116.3 – 118.3m (Arcillolita) Se observa un material de color marrón oscura, con matriz de arcilla y fragmentos de roca de color negro de tipo sedimentario con contenido de vetas de carbonato. Hay presencia de minerales de color verde, y negros. En ciertos tramos de estas perforaciones se observa lentes de arenisca.

118.3 – 127.5m (Material ígneo) Material de color gris pardo, con textura fanerítica con fracturas en orientación casi vertical a la perforación. Se observa una matriz cristalina con plagioclasas. Las fracturas de aproximadamente 2mm se encuentran rellenas de carbonato, presencia de posibles minerales de arcilla debido a su fácil rayado. Algunos materiales cercanos a las fracturas se observaban oxidados. La presencia de un mineral de color rosa ortoclasa aumenta desde los 120 m hacia lo más profundo de este tramo.



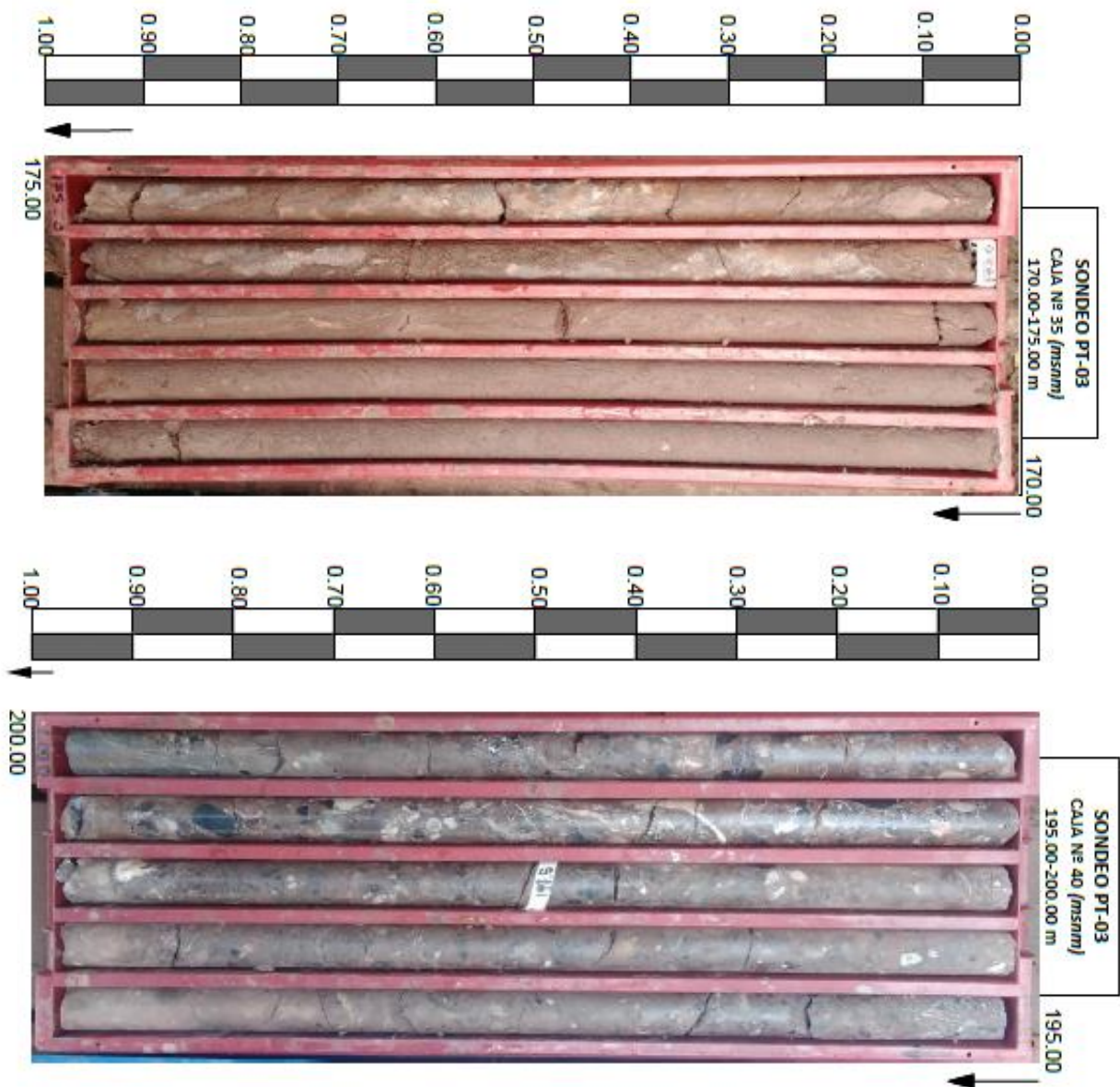
127.5 – 133.4m (Material ígneo y brecha volcanoclástica) Al los 2m iniciales se observa un lente de color gris versoso, con clastos subangulos y mal clasificados. Despues se observa un material de color gris pardo, con textura fanerítica con fenocristales de horblendas. Se observa una matriz cristalina con pagioclasas. Además se identifican fragmentos de la litología anterior (brecha volcanoclástica).

133.4 – 155m (Arcillolita con lentes de brecha volcánoclástica) Se observa un material de color marrón oscuro bien consolidado, con matriz fina con clastos y fragmentos de roca de color negro y fragmentos de material ígneo. En 143m se identifica fragmentos de riolita descritos en tramos anteriores. También se observan vetillas de calcita. Presencia de pequeños lentes de brecha volcanoclástica.

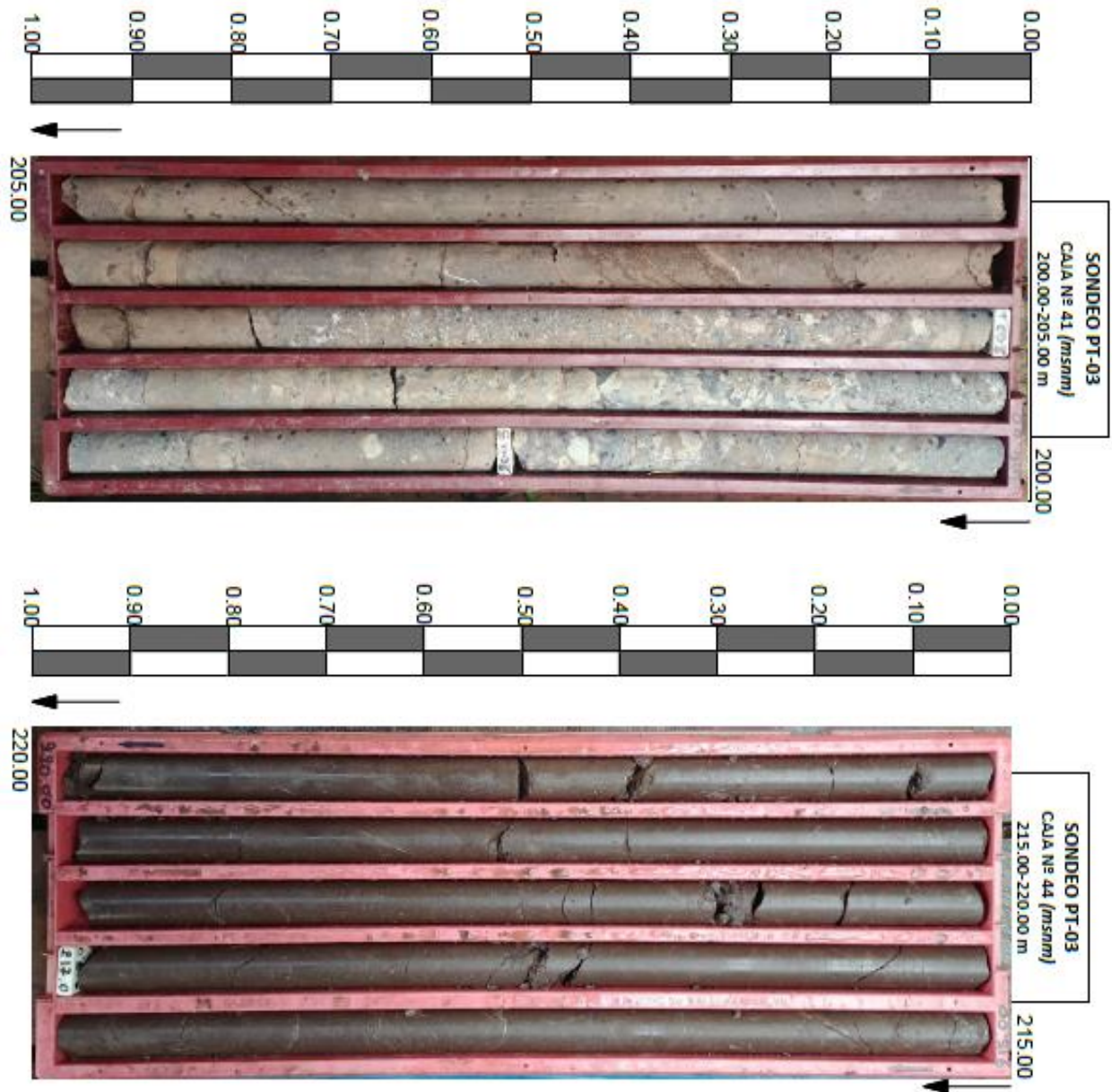


155 – 160m (Arcillolita y brecha volcanoclástica) Se observa un material de color marrón oscuro bien consolidado, con matriz fina con clastos y fragmentos de roca de color negro y fragmentos de material ígneo. En 143m se identifica fragmentos de riolita descritos en tramos anteriores. También se observan vetillas de calcita. Presencia de pequeños lentes de brecha volcanoclástica.

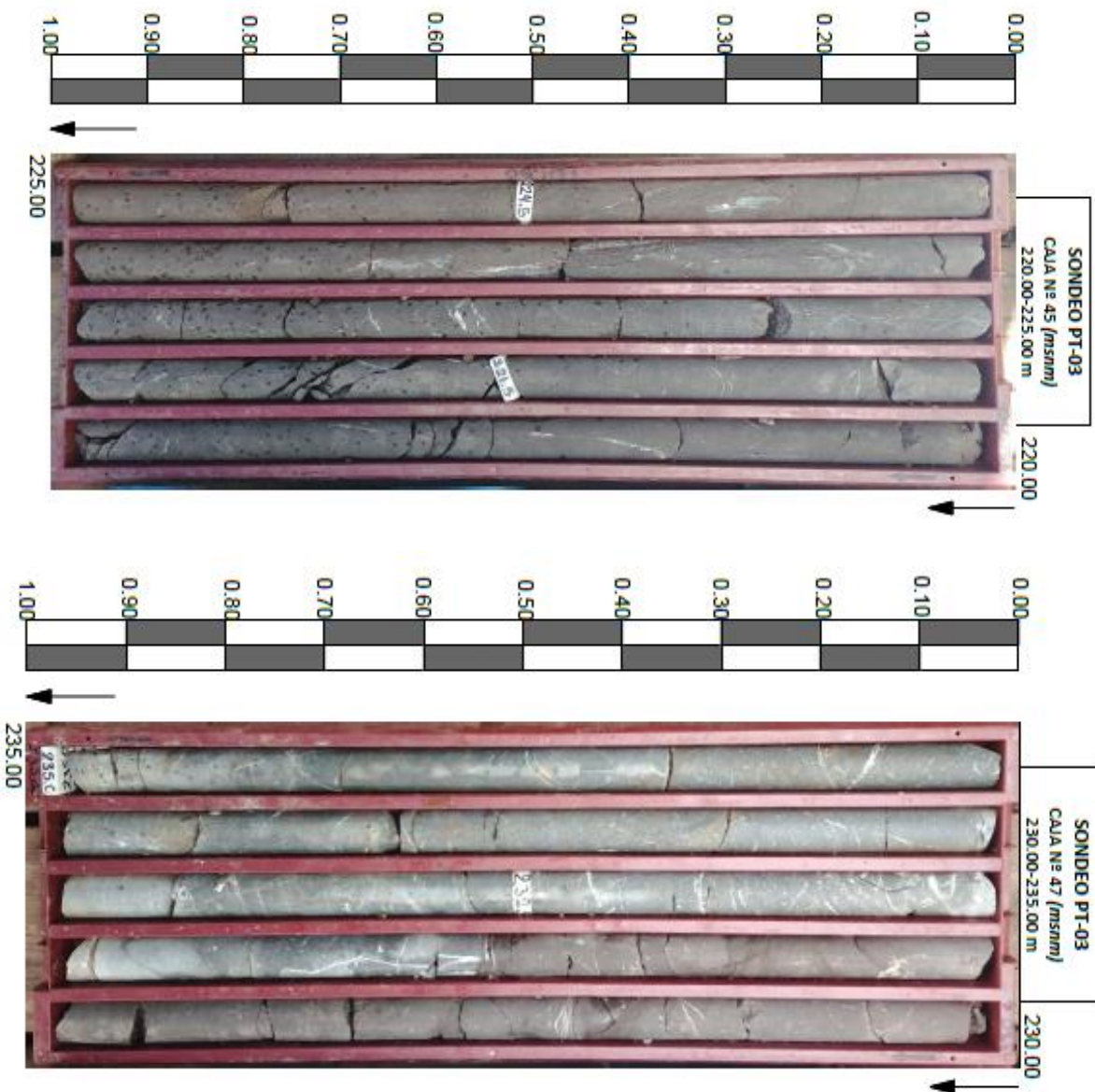
160 – 167.7m (Arcillolita con vetillas) Se observa el material de color marrón oscuro, se observan clastos de cuarzo blanco. Gran porcentaje de matriz de arcilla. Vetillas de carbonato.



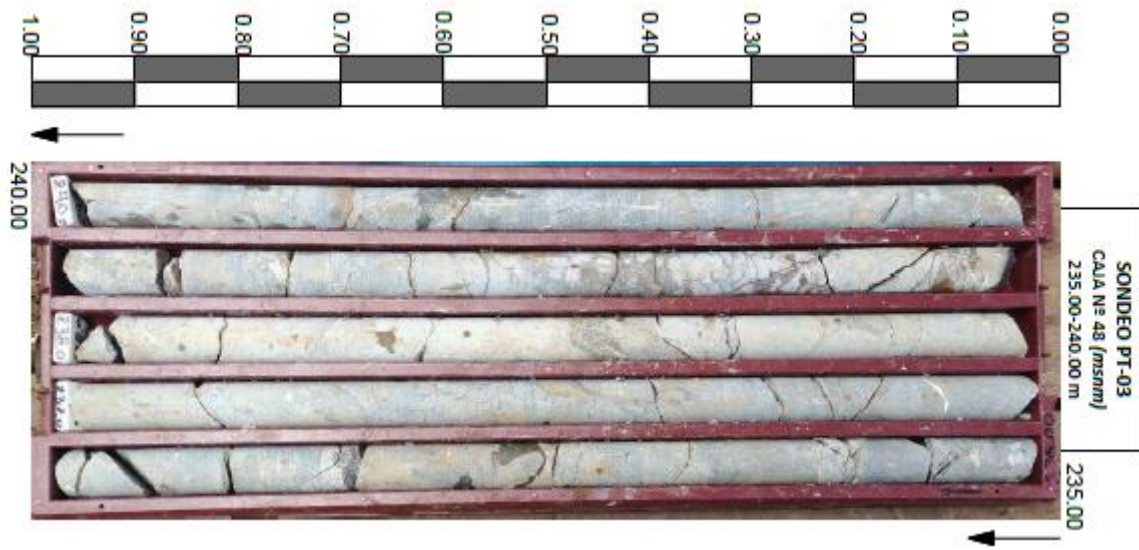
167.7 – 203m (Arcillolita con tramos de brecha volcanoclástica) Se observa el material de color marrón claro, con gran porcentaje de arcilla. Este material en ciertos tramos se observan fragmentos de otras litologías en las paredes. Alrededor de los últimos 5m se observa gran cantidad de clastos subangulosos correspondientes a otras litologías de tipo volcánico y sedimentario antes descritos. En estos últimos 5m se observa un cambio en la matriz, esta se observa más consolidado y de color más oscuro inclusive aumento en el tamaño de granos de la matriz (limo).



203 – 220m (Alternancia entre brecha, arcillolita y limolita) Se observa el material de color marrón claro, con gran porcentaje de arcilla. Este material en ciertos tramos se observan fragmentos de otras litologías en las paredes. En ciertos tramos se observa gran cantidad de clastos subangulosos correspondientes a otras litologías de tipo volcánico y sedimentario antes descritos. En los últimos 5m se observa un cambio en la matriz, esta se observa más consolidado y de color más oscuro inclusive aumento en el tamaño de granos de la matriz (limo).



220 – 231.5m (Limolita) Se observa el material de color marrón claro a gris. Este material presenta vetillas de 4 mm de contenido carbonático, en las paredes de las vetillas se muestra cuarzo. El material es más consolidado y menos fracturado que en los tramos anteriores.



231.5 – 240m (Andesita porfidítica) Material de color gris, con textura porfidítica debido a los cristales de horblenda que se observan en todo este tramo. Se identifica una matriz cristalina de posibles plagioclasas y cuarzos. También se observan minerales de color verde (clorita?) y color marrón que se encuentran diseminados en los testigos de perforación.

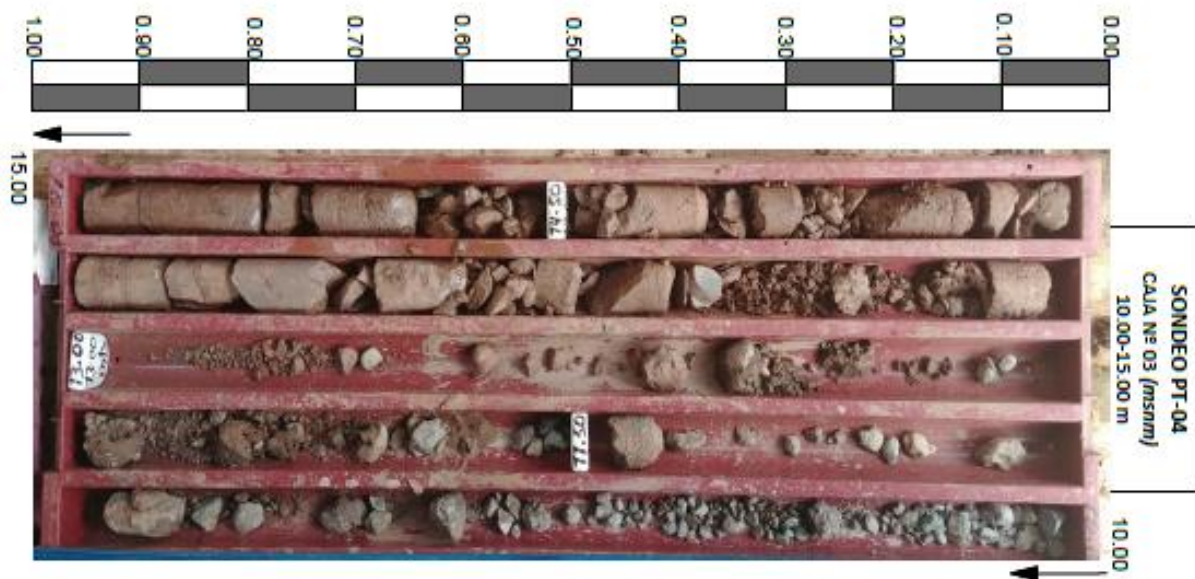
APÉNDICE G



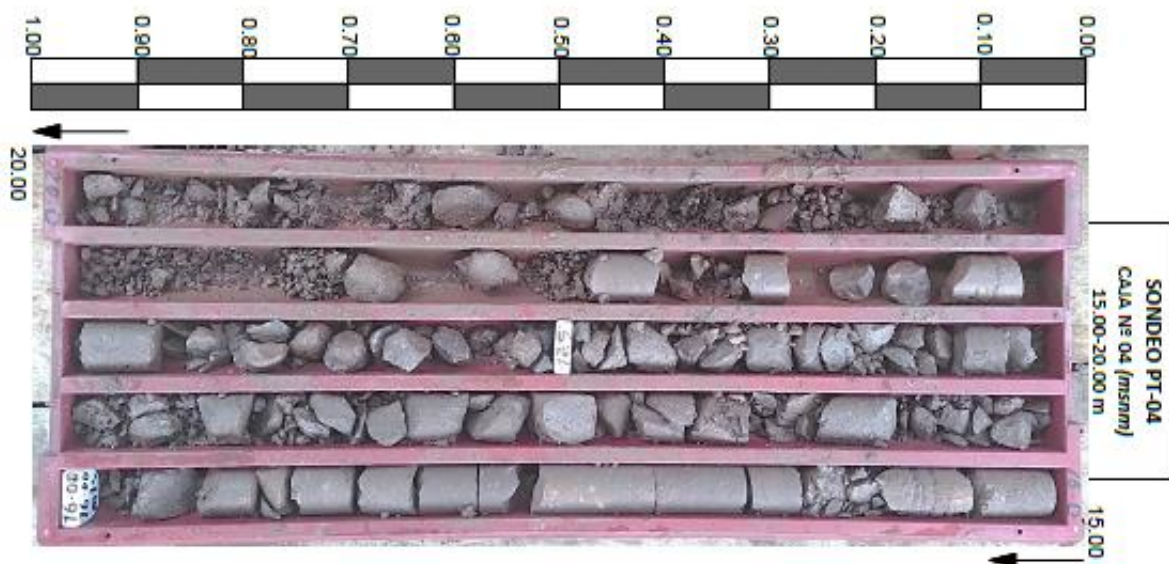
Los primeros 3m muestran suelo coluvial de color rojizo con contenido de arcilla, desde los 3m hasta los 5 m se observa fragmentos de otras litologías uno de ellos es de color gris con presencia de carbonatos, fragmentos de arenisca y de brecha volcanoclástica también son identificados.



En este tramo se observa litologías similares a las descritas en la anterior caja, el material de color rojizo tiene alto contenido de arcilla, en los 8.5-9m se observa una mejor recuperación que pertenece a un material de color rojizo con vetillas de mineral de color blanco (calcita por su rápida reacción con el ácido clorhídrico). **(Suelo coluvial)**



Fragmentos de roca se identifican hasta los 13m, de ahí hasta los 15m el material tiene mejor recuperación el mismo que es de color rojizo marrón y que se muestra consolidado con una matriz de limo este tiene poca presencia de carbonatos y pequeños cristales de cuarzo se identifican. **(Limolita)**

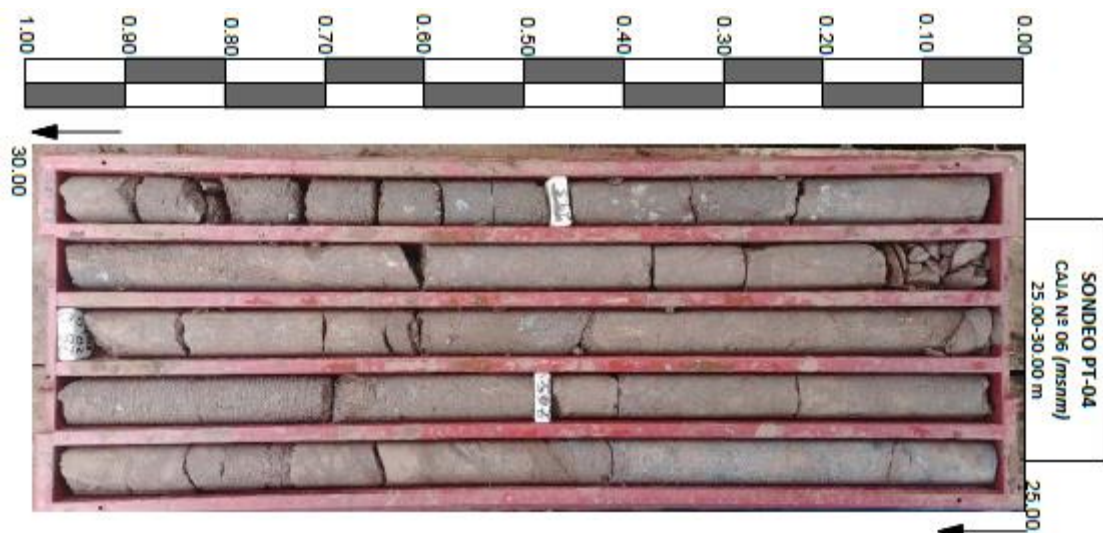


Mayor recuperación del material. Fragmentos de roca se identifican hasta los 13m, de ahí hasta los 15m el material tiene mejor recuperación el mismo que es de color rojizo marrón y que se muestra consolidado con una matriz de limo este tiene poca presencia de carbonatos y pequeños cristales de cuarzo se identifican. **(Limolita)**

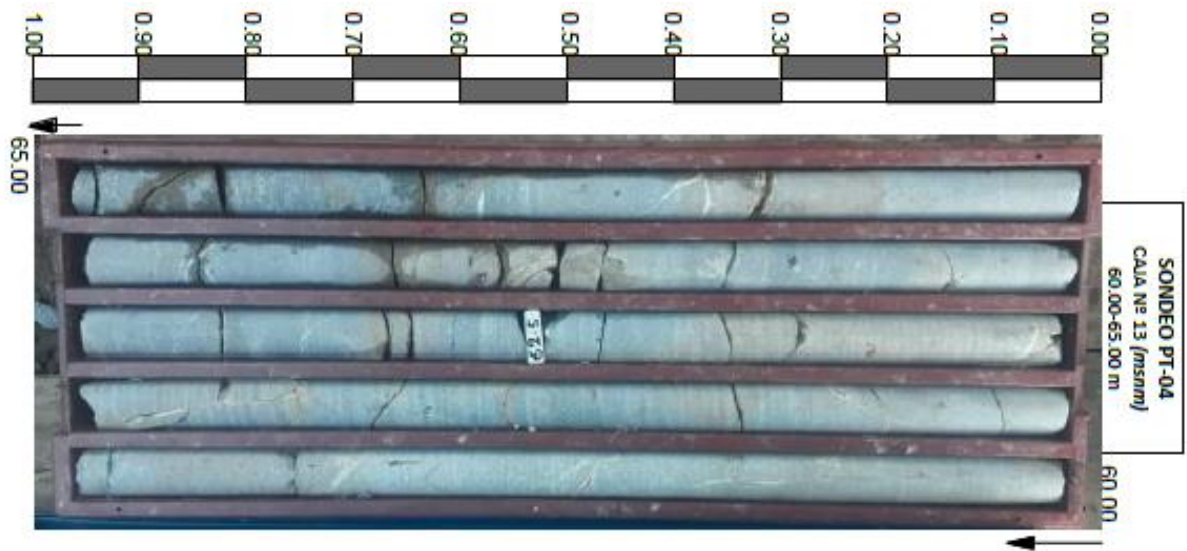


21.00 – 22.00 m se siguen observando fragmentos de roca de color marrón oscuro.

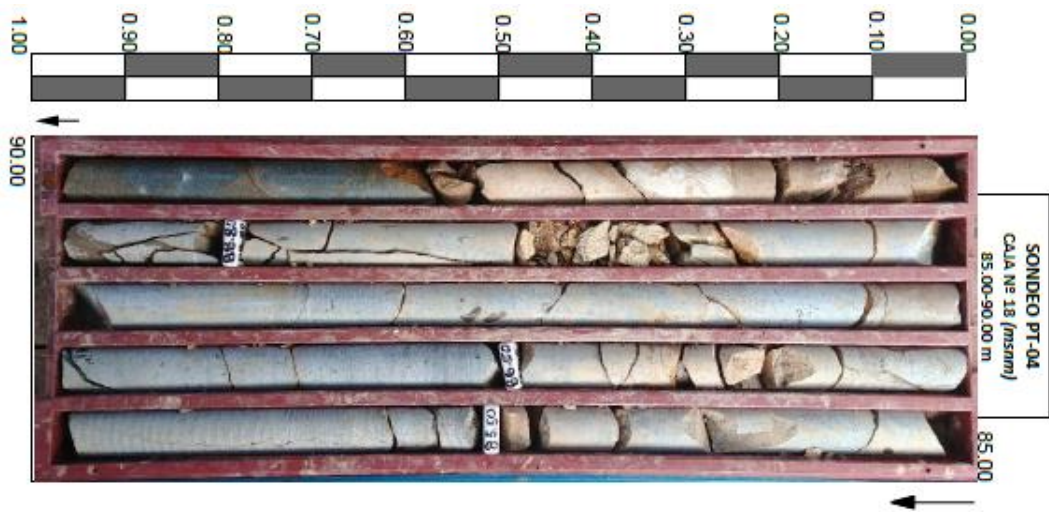
22.00 – 25.00 m el material se muestra con mayor recuperación, se observa una alternancia de dos materiales. El primero corresponde a la **limolita** y el otro material correspondería a una **brecha con matriz de arena** y clastos subangulosos mal clasificados.



25.00 – 30.00 m Se observa una alternancia de dos materiales. El primero corresponde a la **limolita** de color marrón claro, y el otro material correspondería a una **brecha** con matriz de arena y clastos subangulosos mal clasificados. Se encuentra muy fracturado. En ciertos tramos se identifican clastos de color blanco y cantos rodados en las paredes del testigo.



50.00 – 65.00 m se observa un material de color gris, con una matriz cristalina con contenido de plagioclasas en su mayoría. Se observan también cristales de hornblendas. También se observan minerales de color verde (clorita?), en ciertos tramos se observan franjas de coloraciones rojizas. **(Andesita)**



65.00 – 190.00 m se observa un material de color gris, con una matriz cristalina con contenido de plagioclasas en su mayoría. Se observan también cristales de horblendas. También se observan minerales de color verde (clorita?), en ciertos tramos se observan franjas de coloraciones rojizas. **(Andesita)**, en ciertos metrajés cambia su composición mineralógica, por lo que se mencionan a continuación:

74.00 m se observa una drusa de mineral cacita, también se identifican cristales de epidota.

75.00 – 80.00 m se observa un cambio en la coloración (manchas naranjas), aunque se trata de la misma andesita.

81.00 - 82.50 m se observa piratas diseminadas, también se identifican cuarzos en mayor porción, presencia de minerales carbonatados.

83.40 – 85.00 m presencia de un mineral magnético

92.00 – 105.00 m se observa una andesita de color naranja probablemente puede tratarse de una alteración o un post-proceso ocurrido a esta profundidad.

107.50 - 108.60 m andesita con coloración blanca



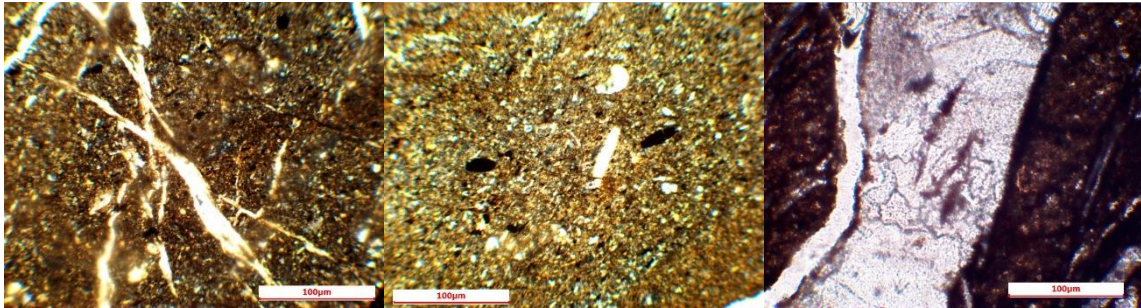
113.50 - 115.60 m se observa material de color marrón oscuro (limolita), con enrejados de mineral calcita.

120.00 – 125.00 m mineral negro magnético, presencia de oxidación.

179.00 – 180.00 m trazas de pirita, cristales de horblendas y plagioclasas esta última corresponde a la matriz cristalina.

APÉNDICE H

5.2.1.2 Descripción de láminas delgadas.

 FICHA DE DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS 			
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu			
Código de la muestra:	2019-142	Perforación :	PT-03
Ubicación:	Vía Guanguarcucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay		
Coordenadas:	X: 737610	Profundidad:	
	Y: 9684889		59.5m
Descripción microscópica:			
			
<p>La muestra presenta un color marrón claro, con textura lutítica-limosa. La matriz es de tamaño muy fino, y en un aumento de 60X, se pudo identificar ciertos clastos y cristales.</p> <p>Con composición mineralógica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuarzo: 20% - Calcita: 30% - Feldespatos: 15% - Moscovitas: 15% - Pirita: 5% - Minerales opacos: 15% <p>Se observan vetillas de calcita y canales a manera de ramificaciones con las paredes fuertemente oxidadas. Fragmentos limosos estratificación bandeada ricos en materia orgánica de color marrón rojizo</p> <p>Microforaminíferos calcáreos.</p> <p>Nombre de la roca: Lutita muy fracturada</p>			

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS

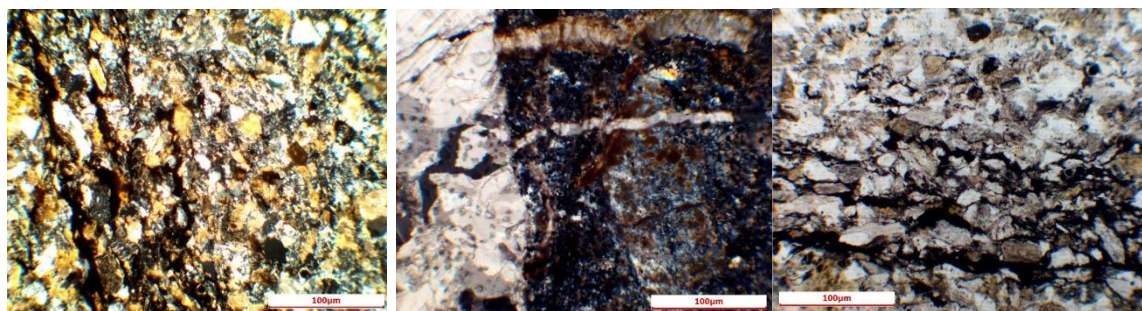
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra: 2019-148 **Perforación :** PT-03

Ubicación: Vía Guanguarucucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay

Coordenadas: X: 737610 **Profundidad:** 114.5m
Y: 9684889

Descripción microscópica:



La muestra presenta un color negro, esto por el contenido orgánico presente. Se observa una textura lutítica-limosa microgranular Se observa una alteración sericítica sobre las plagioclasas.

Composición mineralógica:

- Cuarzo: 35%
- Calcita: 40%
- Plagioclasas (andesina): 10%
- Material de carbón: 10%
- Sericita: 5%

Presenta Canales rellenos de carbonatos (calcita) y microvetillas de calcita.

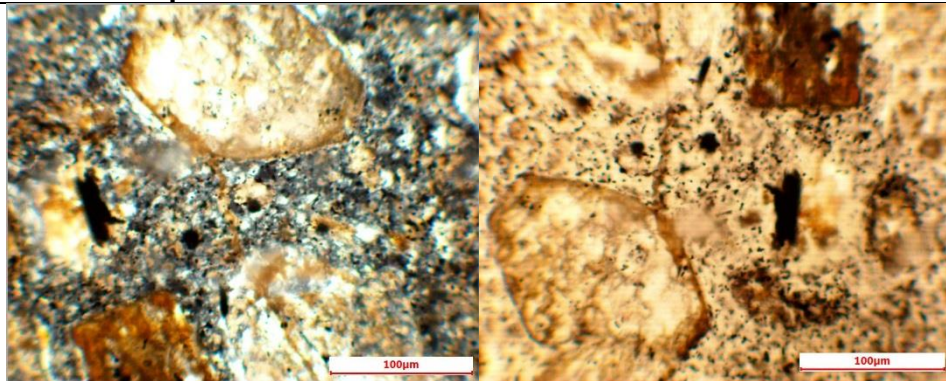
Mas limosa que la anterior, gradación de grado limoso a arenisca muy fina a lutitica

Nombre de la roca: Limo con fragmentos vítreos (desvitrificados)

Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-149	Perforación :	PT-03
Ubicación:	Vía Guanguarcho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay		
Coordenadas:	X: 737610	Profundidad:	118.3m
	Y: 9684889		

Descripción microscópica:



Se observan una textura porfídica con fenocristales bien definidos que siguen una cierta dirección y que se observan muy alterados, además una vetilla de calcita de espesor aproximado de 2mm. La matriz es de tipo félsica debido al contenido de pequeños cristales de cuarzos y feldespatos.

Los fenocristales (posibles horblendas) se encuentran alterados y en su mayoría muy fracturados, dentro de las fracturas se observa un intercrecimiento o recristalización de otros materiales de tipo carbonaticos. Se observan cristales de plagioclasas zonadas.

Minerales presentes:

Horblendas alteradas: 45%

Plagioclasas: 10%

Feldespatos alcalinos: 10%

Calcita: 30%

Piroxeno: 5%

Pareciera haber un remplazamiento de los fenocristales, por carbonatos

Tipo de roca: Ignimbrita de composición andesítica

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS

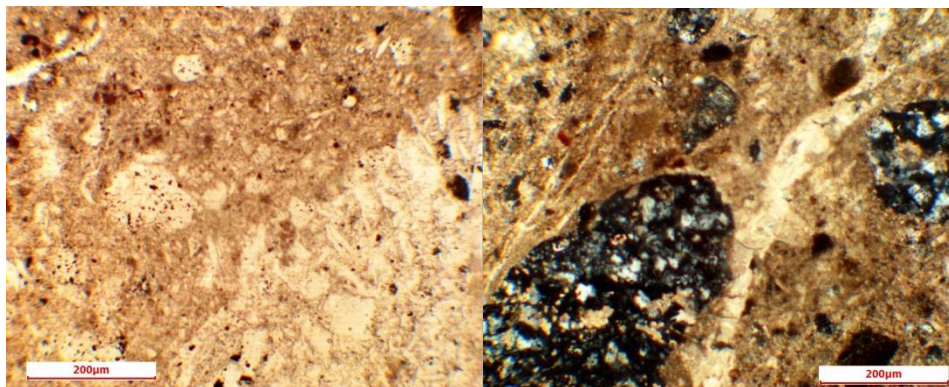
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra: 2019-150 **Perforación :** PT-03

Ubicación: Vía Guanguarcho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay

Coordenadas: X: 737610 **Profundidad:** 133.4m
Y: 9684889

Descripción microscópica:



Presenta una textura piroclástica con fragmentos de microcristales sobre una matriz vítrea.

Los microcristales contienen de:

- Cuarzo: 45%
- Feldespatos alcalinos: 30%
- Plagioclasas: 0%
- Vidrio o minerales opacos: 20%
- Minerales azules: 5%

Q: 60%

A: 40%

P: 0%

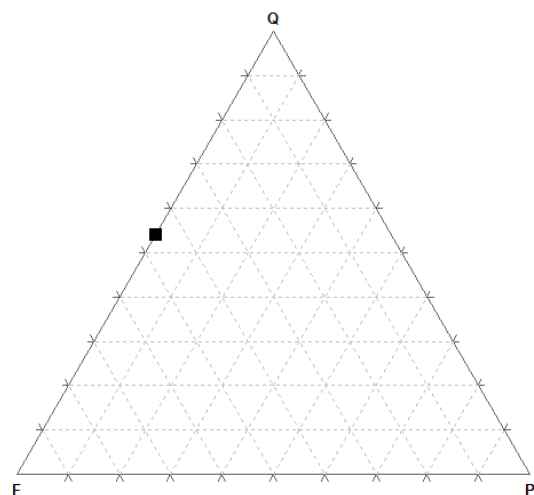
Otro clasto caracterizado presentó:

- Cuarzo: 35%
- Carbonato: 15%
- Feldespatos alcalinos: 30%
- Minerales opacos o vidrio: 20%

Q: 54%

A: 46%

P: 0%



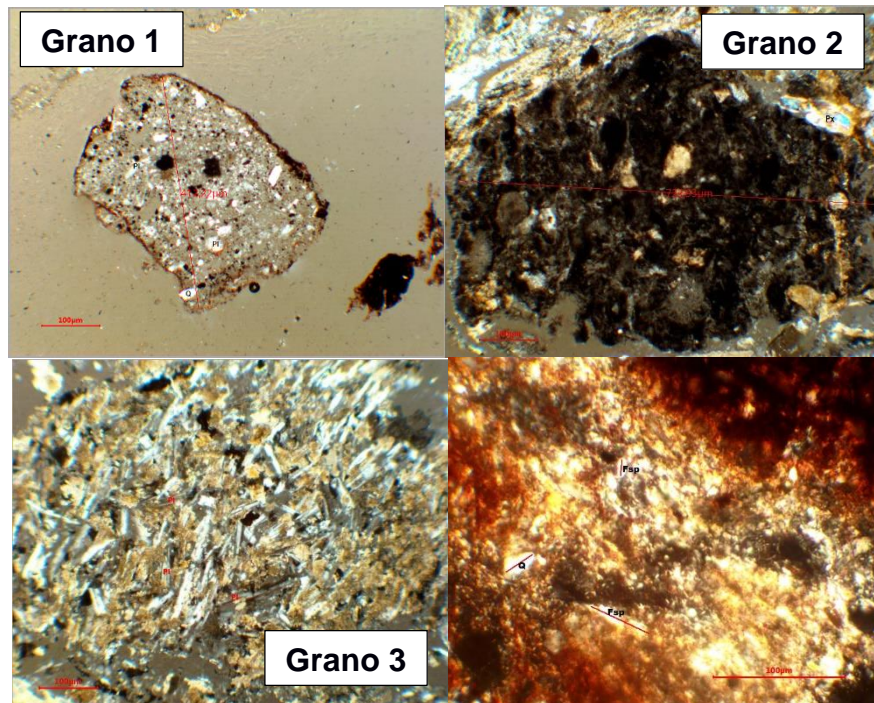
Nombre de la roca: Ignimbrita de composición riolítica

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS

Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-151	Perforación:	PT-03
Ubicación:	Vía Guanguarcucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay		
Coordenadas:	X: 737610	Profundidad:	
	Y: 9684889	179.2m	

Descripción microscópica:



Se observa un contacto entre dos litologías la primera litología que se observa en la parte superior pertenece a fragmentos de roca con tamaños que van hasta las 500. micras, además se evidencian vetillas de calcita en

Grano 1:

Microcristales en una matriz vítrea

Cuarzo: 45%

Feldespatos alcalinos: 25%

Minerales opacos o vidrio: 25%

Plagioclasas: 5%

Grano 2:

Color negro con fragmentos líticos subredondeados y pequeños cristales de cuarzo matriz muy fina de color negro lutita negra

Grano 3:

Microlitos de plagioclasas entrecruzadas. Textura pilotaxica. Matriz vítrea

Composición mineralógica:

Plagioclasas: 40% (del tipo bitownita)

Feldespatos alcalinos:40%

Minerales opacos: 2%

Carbonatos: 18%

La segunda litología presenta una matriz con contenido de clastos angulosos y de composición mineralógica dominante de feldespatos alcalinos, pequeños cuarzos también son identificados y además un material cementante de color marrón rojizo. Se observan también presencia de carbonatos tanto en vetillas y manera de clastos. Fragmentos de roca también son observados.

Arcillolita con cemento ferruginoso

Nombre de la roca: Tobas de Lapilli

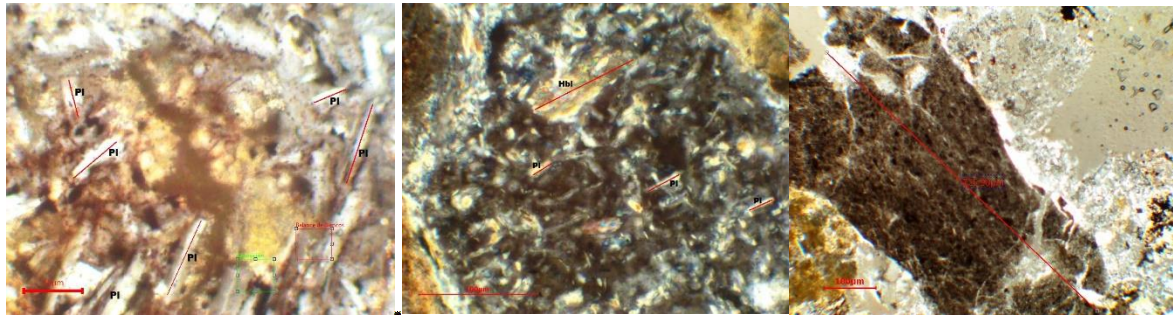
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-152	Perforación :	PT-03
------------------------------	----------	----------------------	-------

Ubicación:	Vía Guanguarucucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay
-------------------	---

Coordenadas:	X: 737610	Profundidad:
	Y: 9684889	

Descripción microscópica:



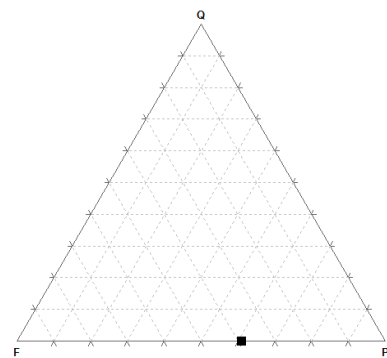
Roca fragmental con fragmentos subangulosos de diferentes tipologías, en ciertos casos se identifica a la lutita negra se muestra alargada. Además, se observan clastos de color verde rodeados por plagioclasas que se entrecruzan. Otros clastos se encuentran sobre una matriz de microlitos de plagioclasas.

Composición mineralógica:

Plagioclasas: 60% (del tipo labradorita)

Feldespatos alcalinos: 38%

Minerales opacos: 2%



De acuerdo a la clasificación de Streikensen os fragmentos que componen esta roca son latita por no contener cuarzo en su compsiación

Nombre de la roca: Brecha Volcano sedimentaria con clastos de latita

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS

Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra: 2019-153

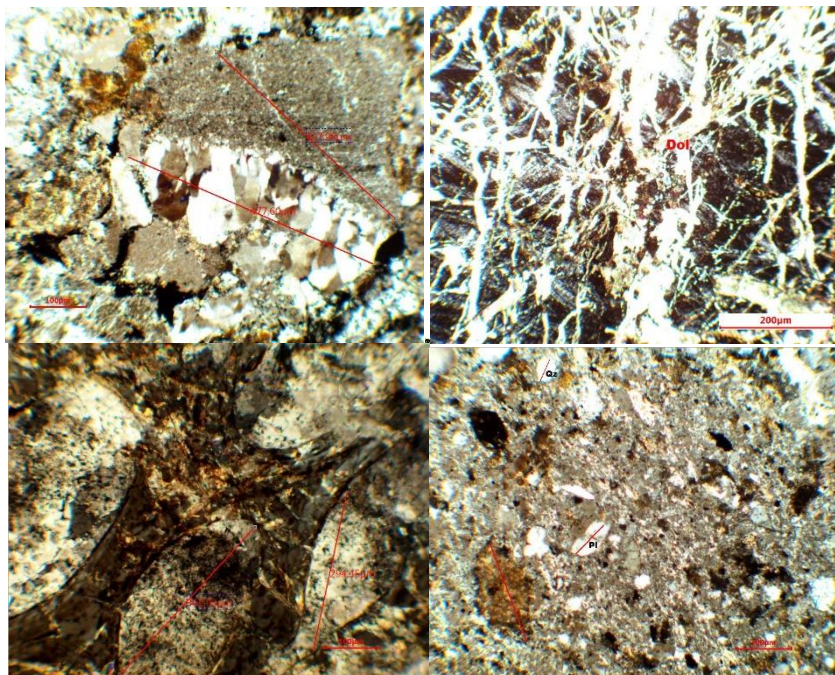
Perforación : PT-03

Ubicación: Vía Guanguarcucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay

Coordenadas:
X: 737610
Y: 9684889

Profundidad:
214.7m

Descripción microscópica:



Presenta una textura piroclástica con matriz microlítica compuesta por microcristales de cuarzo y feldespatos. Se observan una intrusión de tipo calcárea que presenta una textura fluidal debido a que los clastos se encuentran rodeados por un fluido carbonatado. Estos clastos que se encuentran rodeados están compuestos por carbonatos en su mayoría.

Además, se observa la presencia de materiales líticos que se tratan de cuarcitas y lutita negra, los clastos se presentan subangulosos. Clastos de color marrón se identifican tanto en nicols paralelos como nicols cruzados.

Minerales:

Carbonatos 40%

Cuarzos 20%

Plagioclasas 10%

Fragmentos líticos 25%

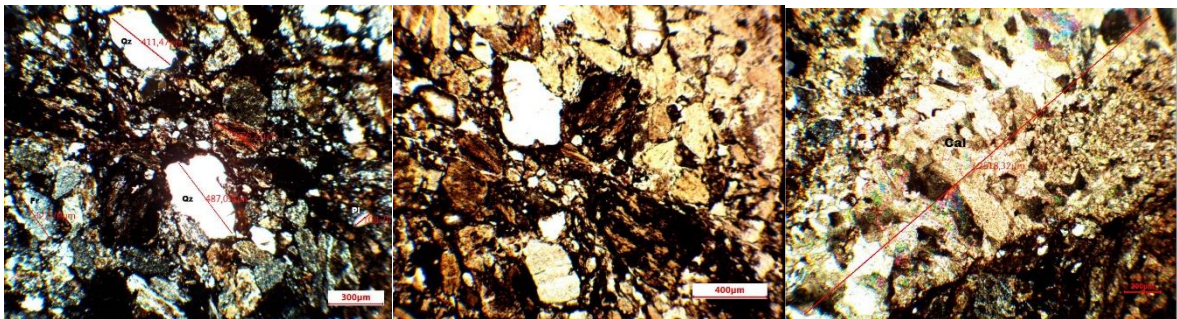
Minerales opacos 5%

Nombre de la Roca: Roca piroclástica con fragmentos de composición dacíticos crecimiento de carbonización

Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-154	Perforación :	PT-03
Ubicación:	Vía Guanguarcucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay		
Coordenadas:	X: 737610	Profundidad:	184.1m
	Y: 9684889		

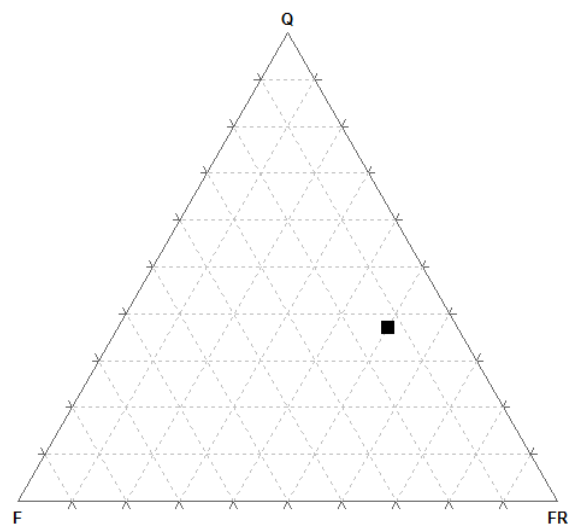
Descripción microscópica:



Se observan clastos angulosos a subangulosos en una matriz de arena de tamaños que van 2.5 mm 3.4 mm se observan vetillas de carbonato. También se observa un cemento ferruginoso.

Composición mineralógica:

- Cuarzos: 30%
- Plagioclasas: 20%
- feldespatos alcalinos:10%
- fragmentos de roca: 40%
- turbidítico por existencia de materia orgánica y materia de carbonatos, graduación de grueso más fino



Nombre de la roca: Arenita lítica

Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra: 2019-155

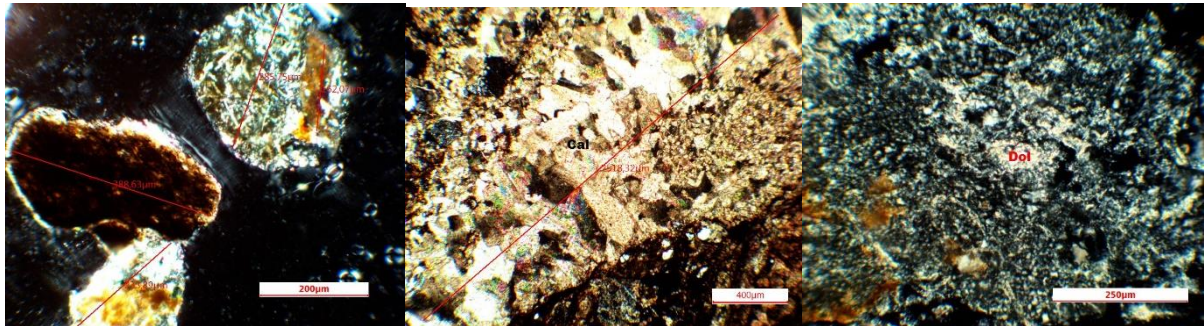
Perforación : PT-04

Ubicación: Vía Guanguarucu-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay

Coordenadas:
X: 737610
Y: 9684889

Profundidad:
41.4m

Descripción microscópica:



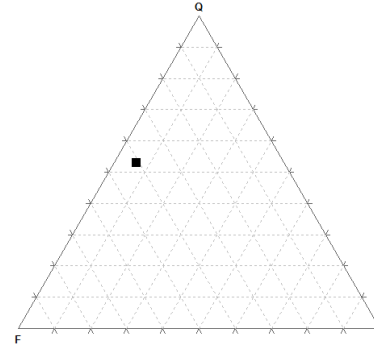
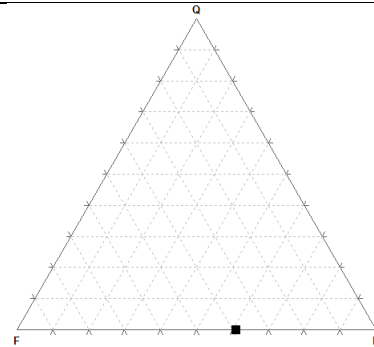
Textura piroclástica con fragmentos de diferentes tipologías, además de observa predominancia de plagioclasas en ciertos clastos algunos fragmentos de roca corresponden a litologías antes descritas. En los tres granos de la fotografía el primero pertenece a un material sedimentario de abundante matriz de color marrón, no se identifican minerales (arcillolita). El segundo clasto pertenece un material ígneo.

Composición mineralógica: plagioclasas entrecruzadas en un 60% y feldespatos alcalinos en un 39%, calcita 1% estos se encuentran sobre una matriz microcristalina.

El otro clasto tiene una matriz cristalina con un porcentaje igual de feldespatos y cuarzo; carbonato y plagioclasas se observan en un menor porcentaje

Composición mineralógica:

Cuarzo: 45%
Feldespato: 35%
Plagioclasa: 5%
Carbonatos: 15%

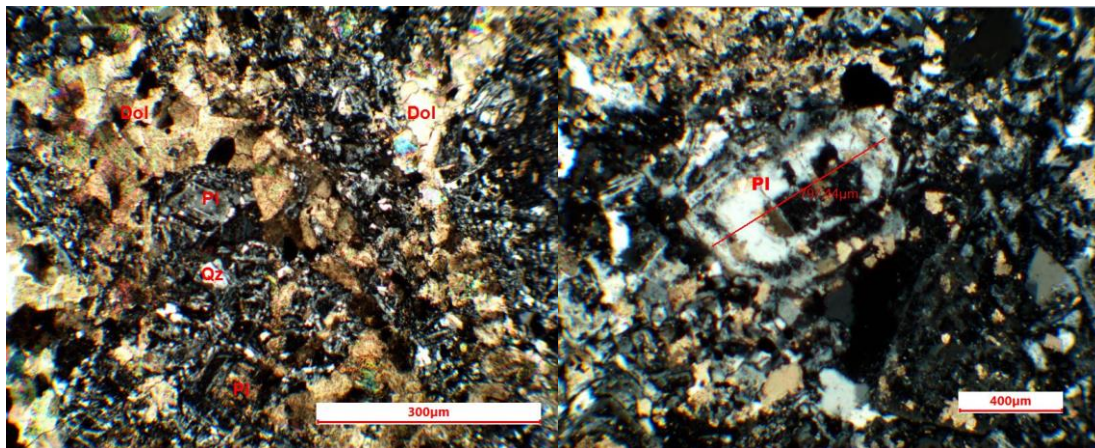


Nombre de la roca: Tobas de latita con fragmentos de riolita de feldespato alcalino, arcillolita.

Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

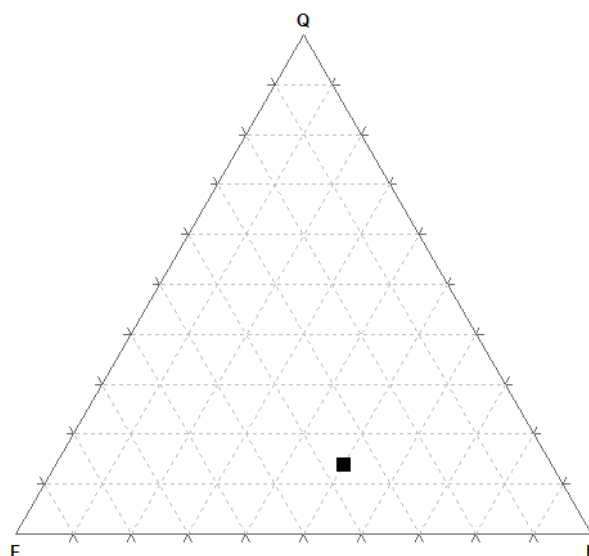
Código de la muestra:	2019-156	Perforación :	PT-04
Ubicación:	Vía Guanguarcucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay		
Coordenadas:	X: 737722	Profundidad:	
	Y: 9684889	153.6m	

Descripción microscópica:



Se observan fenocristales de feldespatos y plagioclasas zonadas sobre una matriz felsítica compuesta por microcristales de plagioclasas y feldespatos alcalinos. también se identifican ciertos cristales de cuarzo. Gran presencia de carbonatos como la calcita. El proceso de cristalización de los carbonatos es posterior a la cristalización de las plagioclasas zonadas

Plagioclasas; 35%
 Carbonato: 30
 Feldespatos alcalinos: 25%
 Cuarzo: 10%



Nombre de la roca: Monzonita cuarzosa.

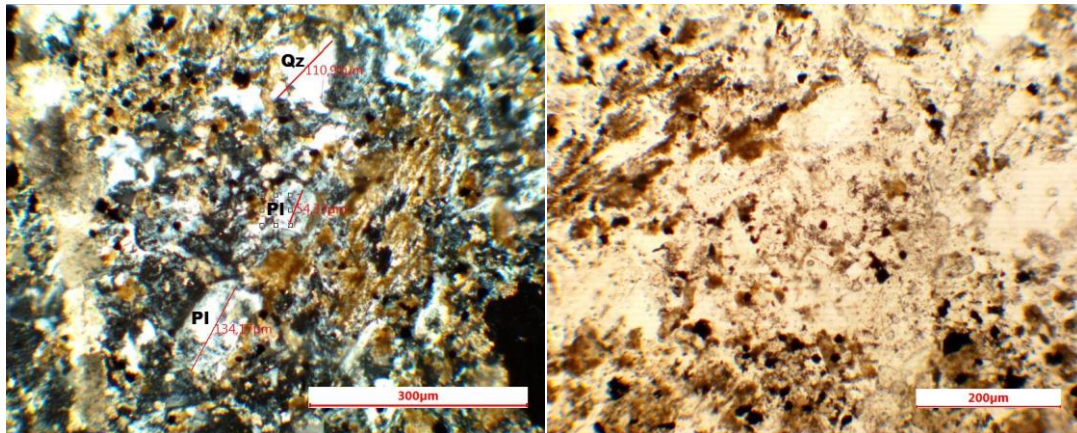
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-157	Perforación :	PT-04
------------------------------	----------	----------------------	-------

Ubicación:	Vía Guanguarucu-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay
-------------------	--

Coordenadas:	X: 737722	Profundidad:
	Y: 9684889	

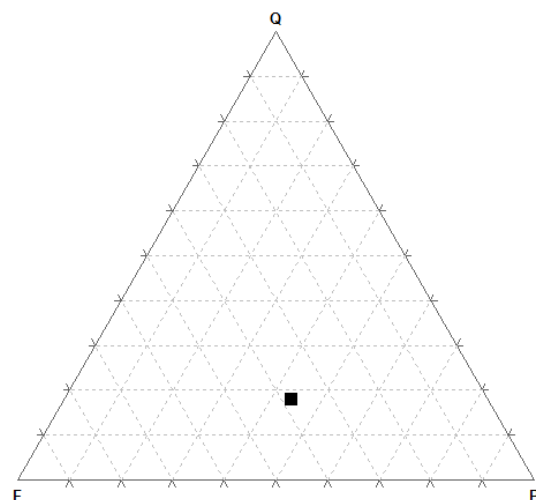
Descripción microscópica:



Presenta una textura intersertal se observan minerales como plagioclasas zonadas, Feldespatos alcalinos y poca presencia de cuarzo. Sobre una matriz microlítica. Se observa una vetilla de carbonato y un proceso después de la cristalización de los microlitos de plagioclasas ya que por encima de ello se observa un material a manera de fragmentos marrones que no tienen pleocroísmo en nicoles paralelos. Las plagioclasas se muestran muy fracturadas.

Composición mineralógica:

- Feldespatos alcalinos: 30%
- Carbonato: 20%
- Plagioclasas: 35% (labradorita a bitownita)
- Cuarzo: 15%



Nombre de la roca: de acuerdo a la casificación de streikensen se trata de Cuarzo latita

Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra: 2019-158

Perforación : PT-04

Ubicación: Vía Guanguarcho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay

Coordenadas:

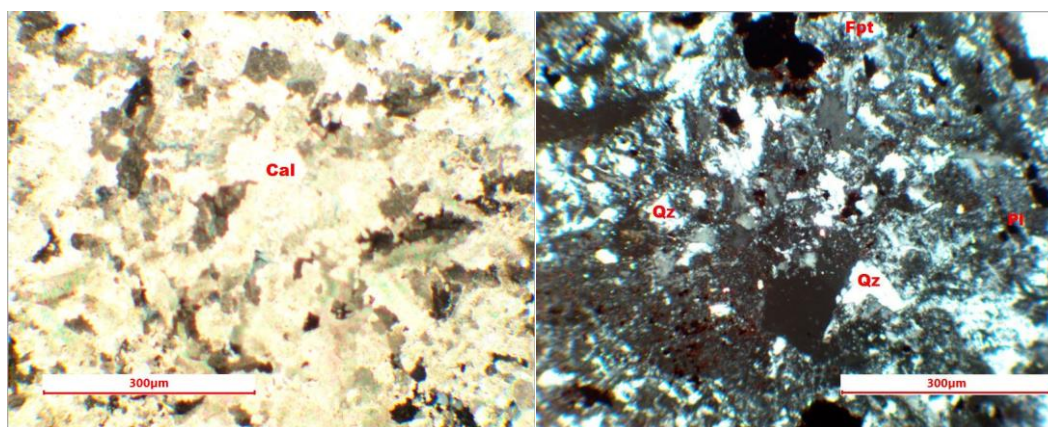
X: 737722

Profundidad:

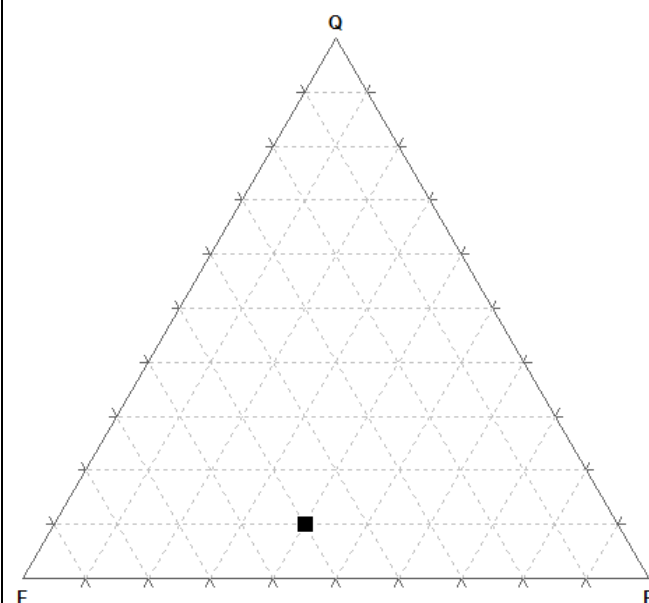
Y: 9684889

163.7m

Descripción microscópica:



La muestra presenta carbonatos de tipo calcita y dolomita que se han superpuesto sobre una matriz microlítica de plagioclasas con fenocristales de plagioclasas zonadas y feldespatos. La composición mineralógica está comprendida de:
 Carbonatos: 45
 Plagioclasas: 20%
 Feldespatos: 25%
 Cuarzo: 5%
 Minerales opacos se muestran con fillos rojizos: 5%



Nombre de la roca: Cuarzo latita

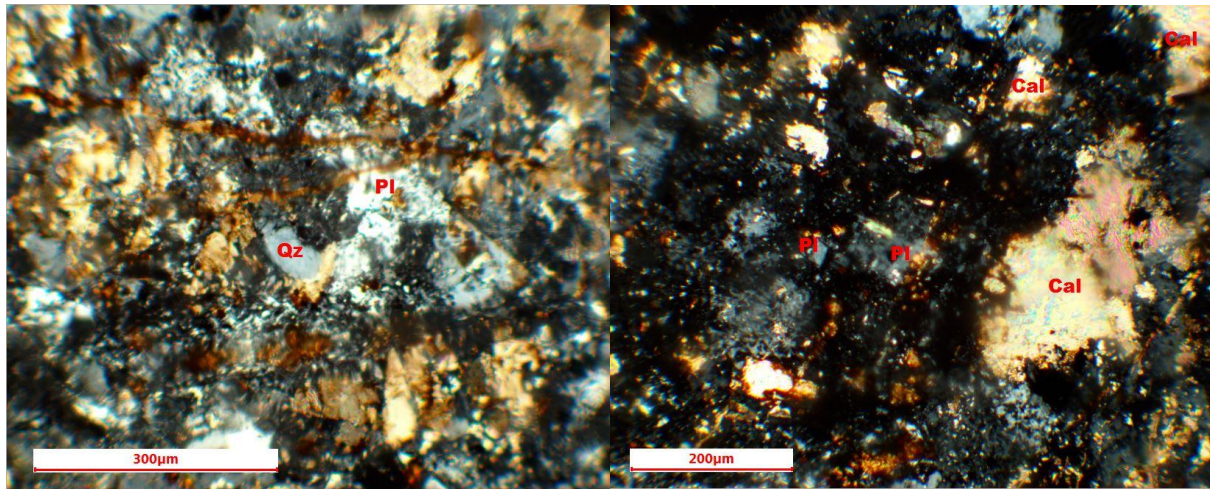
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-159	Perforación :	PT-04
------------------------------	----------	----------------------	-------

Ubicación:	Vía Guanguarucu-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay
-------------------	--

Coordenadas:	X: 737722	Profundidad:
	Y: 9684889	

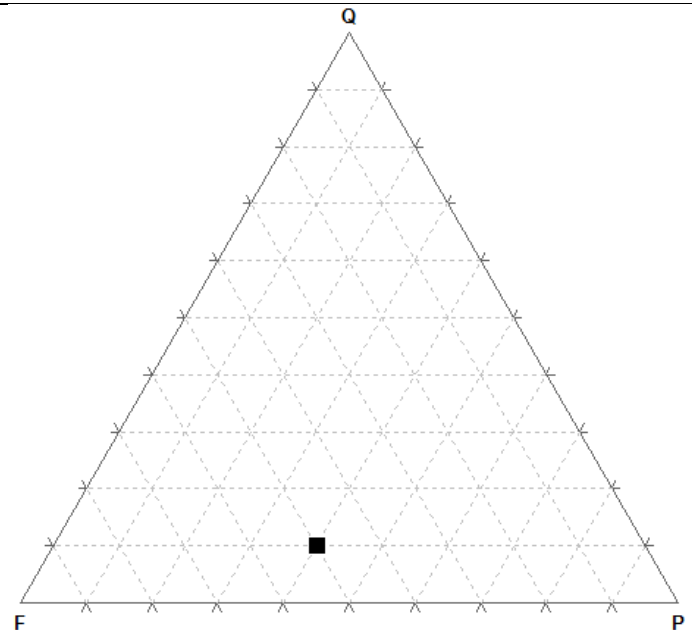
Descripción microscópica:



Presenta material de color marrón en mayor proporción de las otras muestras, presencia de carbonatos y plagioclasas, textura hialopilitica con una matriz fina de microlitos. presencia de minerales opacos. Cuarzo en una menor proporción vetillas de color marrón oscuro rellenas con el mismo material de pasta de color marrón oscuro.

Composición mineralógica:

- Calcita: 40%
- Cuarzo: 15%
- Feldespatos alcalinos: 15%
- Plagioclasas: 20%
- Minerales opacos: 10%
- Ignimbrita



Nombre de la roca: Cuarzo Monzonita

Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra: 2019-160

Perforación :

PT-04

Ubicación:

Vía Guanguarcucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay

Coordenadas:

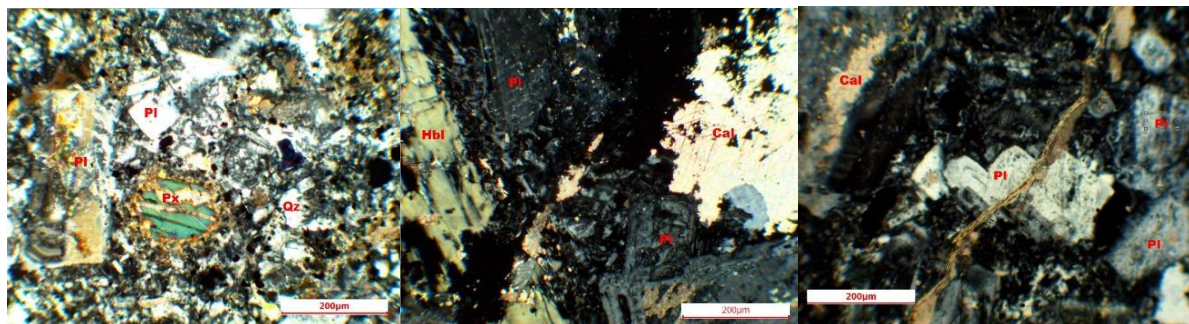
X: 737722

Profundidad:

Y: 9684889

180m

Descripción microscópica:



Textura porfídica sobre una matriz de felsítica, con presencia de fenocristales de hornblendas y plagioclasas zonadas, poca presencia de cuarzo también se observa piroxenos, presencia de cloritas y plagioclasas alteradas

Composición mineralógica:

Cuarzo: 5%

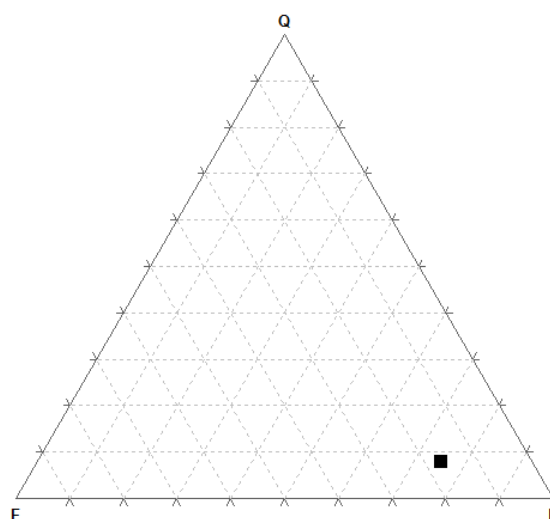
Feldespatos alcalinos: 15%

Opacos: 5%

Hornblendas: 20%

Piroxenos: 10%

Plagioclasas: 45% (andesina)



Nombre de la roca: Andesita debido a su gran porcentaje de plagioclasas

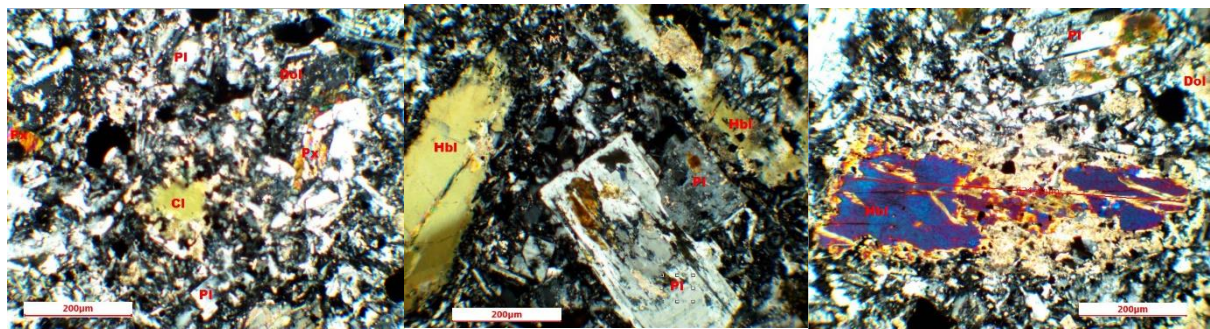
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-161	Perforación :	PT-04
------------------------------	----------	----------------------	-------

Ubicación: Vía Guanguarucucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay

Coordenadas:	X: 737722	Profundidad:	137.5m
	Y: 9684889		

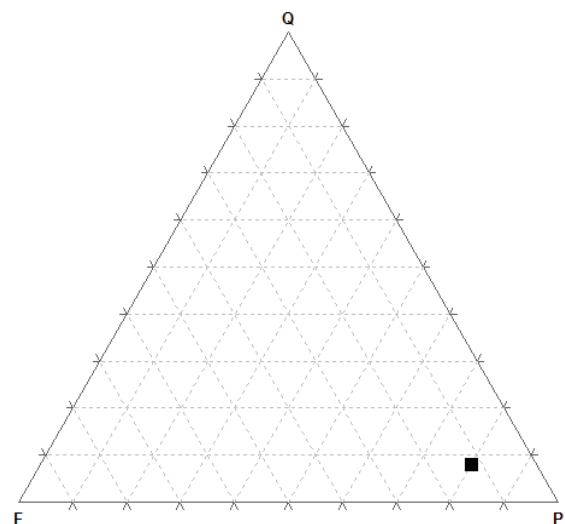
Descripción microscópica:



Textura porfídica sobre una matriz de felsítica, con presencia de fenocristales de hornblendas y plagioclasas zonadas, poca presencia de cuarzo también se observa piroxenos, presencia de cloritas y plagioclasas alteradas

Composición mineralógica:

- Cuarzo: 5%
- Feldespatos alcalinos: 10%
- Opacos: 5%
- Hornblendas: 20%
- Piroxenos: 8%
- Plagioclasas: 50%
- Cloritas: 2%



Nombre de la roca: Lati Andesita debido a su gran porcentaje de plagioclasas

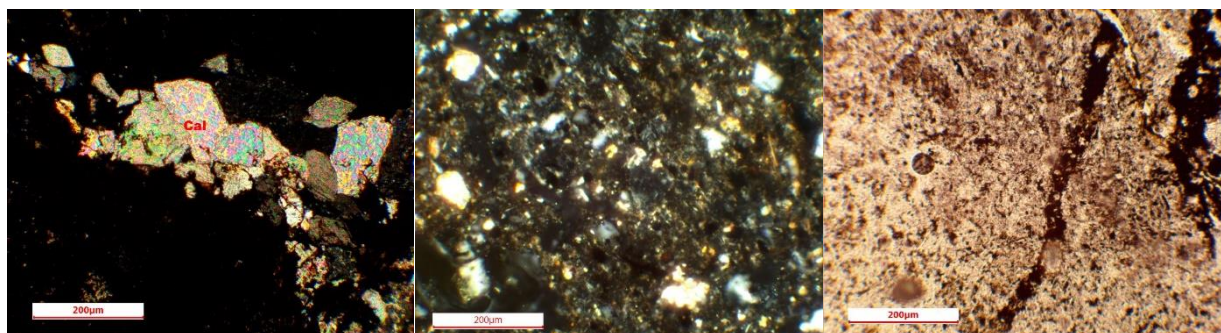
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-162	Perforación :	PT-04
------------------------------	----------	----------------------	-------

Ubicación:	Vía Guanguarucu-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay
-------------------	--

Coordenadas:	X: 737722	Profundidad:	51.3m
	Y: 9684889		

Descripción microscópica:



Presenta una textura llimolítica, con matriz muy fina y de color marrón oscura del orden de las arcillas. Vetas de calcita bien cristalizada se observan en toda la lámina. Se identifican pequeños clastos subredondeados, moderadamente clasificados.

Composición mineralógica:

Cuarzo: 25%

Feldespatos: 20%

Calcita: 40%

Minerales arcillosos: 5%

Nombre de la roca: Arcillolita calcárea

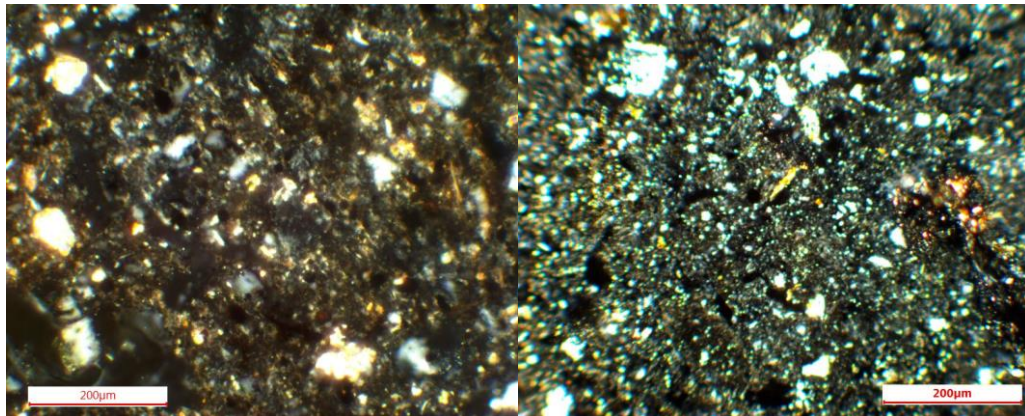
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-163	Perforación :	PT-02
------------------------------	----------	----------------------	-------

Ubicación:	Vía Guanguarucucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay
-------------------	---

Coordenadas:	X: 736803	Profundidad:	152m
	Y: 9684895		

Descripción microscópica:



La muestra presenta una textura lutítica-limolítica de matriz muy fina de color marrón, con contenido fosilífero en un pequeño porcentaje. Se evidencia recristalización de materia orgánica, es decir que el carbonato se ha recristalizado sobre los cuerpos fosilíferos.

Se identifican también una composición mineralógica de:

Cuarzo: 35%

Feldespato alcalino: 15%

Plagioclasas: 20%

Calcita: 30%

Contenido de fósil

Nombre de la roca: Limolita volcanoclástica

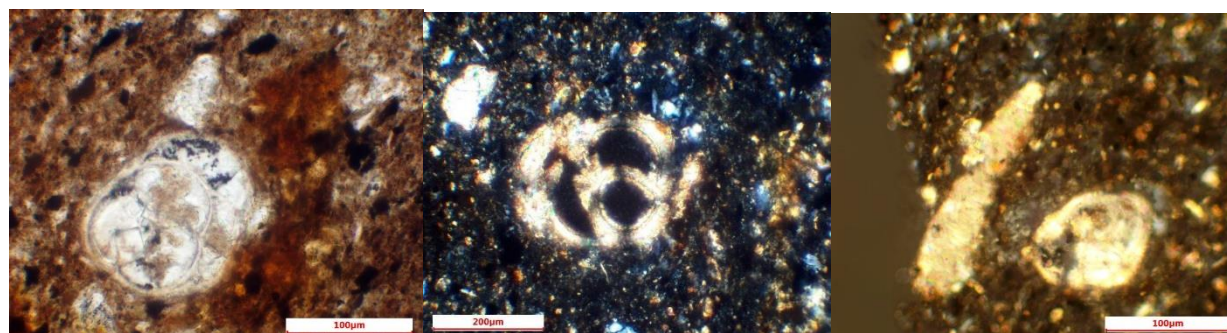
Proyecto integrador: Caracterización geológica del cerro Curiurcu

Código de la muestra:	2019-164	Perforación :	PT-02
------------------------------	----------	----------------------	-------

Ubicación:	Vía Guanguarcucho-Paute-Gualaceo Provincia del Azuay
-------------------	--

Coordenadas:	X: 736803	Profundidad:	
	Y: 9684895		114.5m

Descripción microscópica:



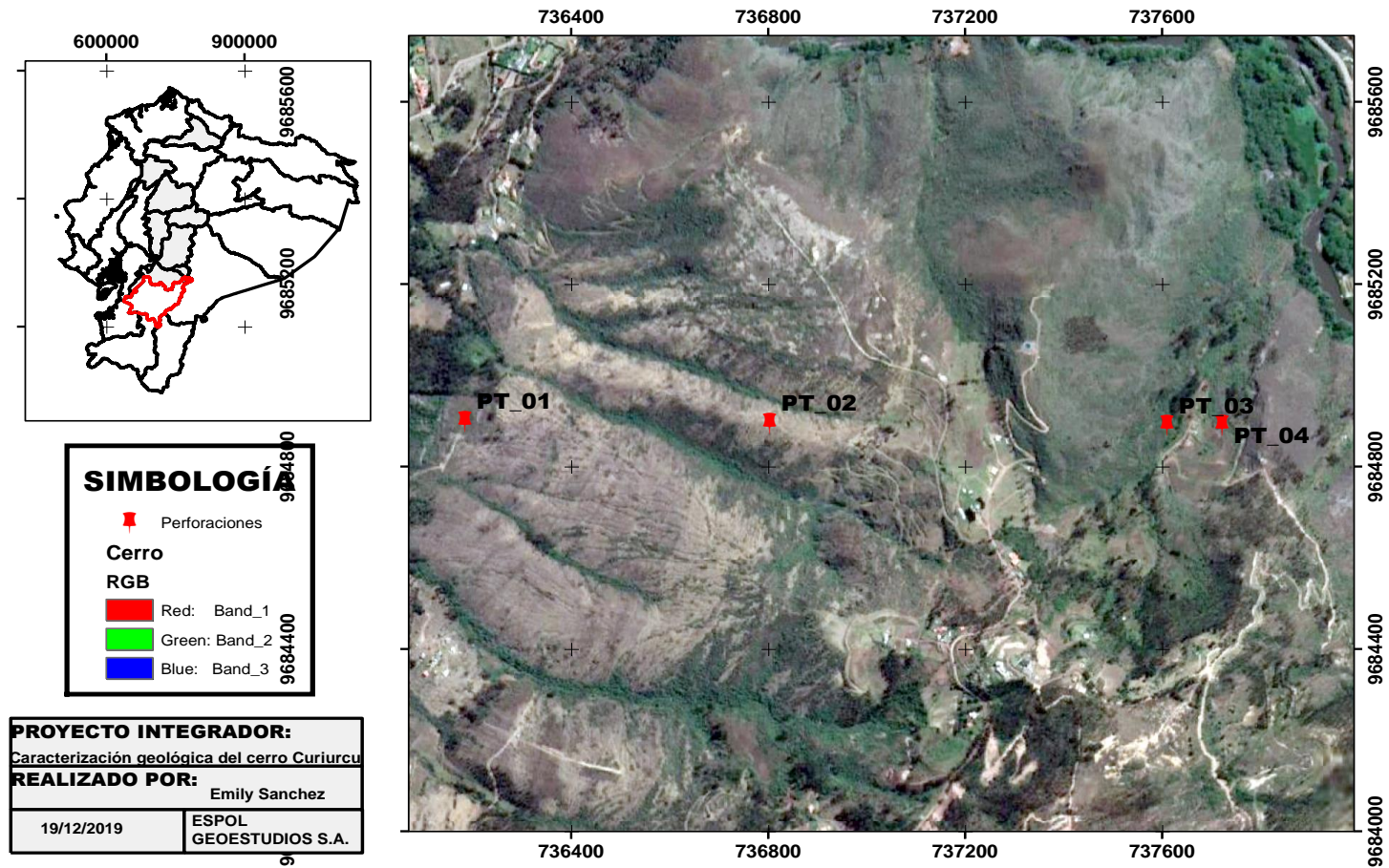
La muestra presenta una textura lutítica-limolítica de matriz muy fina de color marrón, con contenido fosilífero de la familia de los foraminíferos, de tipo bentónico y planctónicos, la mayoría pertenecientes al Cretácico superior. Se evidencia recristalización de materia orgánica, es decir que el carbonato se ha recristalizado sobre los cuerpos fosilíferos.

Se identifican también una composición mineralógica de:

- Cuarzo: 35%
- Feldespatos alcalinos: 15%
- Plagioclasas: 20%
- Calcita: 30%

Nombre de la roca: Limolita fosilífera

APÉNDICE I



Mapa de ubicación de las perforaciones revisadas en este estu

