



Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**

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

**Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento  
Territorial**

**Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la  
parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja.**

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

**AUTOR**

Junior Alejandro Cobos Ramírez

**DIRECTOR:**

Ing. Oscar Adrián Estrella Lima Mg. Sc

Loja – Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 07 de diciembre de 2023

Ing. Oscar Adrian Estrella Lima, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja.**; previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de autoría del estudiante **Junior Alejandro Cobos Ramírez**, con **cédula de identidad Nro. 1150188918**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.


Ing. Oscar Adrian Estrella Lima, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Junior Alejandro Cobos Ramírez**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula:** 1150188918

**Fecha:** Loja, 29 de enero del 2024

**Correo electrónico:** [junior.cobos@unl.edu.ec](mailto:junior.cobos@unl.edu.ec)

**Celular:** 0991707001

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

Yo, **Junior Alejandro Cobos Ramírez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja.**, como requisito para optar el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar los contenidos de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza del plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

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

**Firma:**



**Autor:** Junior Alejandro Cobos Ramírez

**Cédula:** 1150188918

**Fecha:** Loja, 07 de diciembre del 2023

**Dirección:** Barrio “Buena Vista”, Catamayo.

**Correo electrónico:** [junior.cobos@unl.edu.ec](mailto:junior.cobos@unl.edu.ec)

**Celular:** 0991707001

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** MSc. Oscar Adrian Estrella Lima

## **Dedicatoria**

A Dios, ser supremo y absoluto, a mis queridos padres Sr. Pablo Alejandro Cobos Cobos y Sra. Yaneth Yralda Ramírez Cobos, a mi hermana Paulina Yanel Cobos Ramírez.

Por haber sido quienes estuvieron presentes durante el proceso formativo personal y académico, sin ellos no fuera posible haber logrado esta meta.

*Junior Alejandro Cobos Ramírez*

## **Agradecimiento**

A Dios, Todopoderoso por rodearme de personas espectaculares que me motivan a ser cada día mejor ser humano y darme la fuerza necesaria para afrontar cada uno de mis problemas.

Al Ing. Oscar Adrián Estrella Lima, por guiarme de forma desinteresada en este proceso, aportando con sus conocimientos y enseñanzas que permitieron el desarrollo exitoso de este trabajo investigativo.

A mis docentes de la Carrera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial por brindar e impartir sus conocimientos durante la formación académica y orientarme de forma adecuada para desenvolverme en el campo profesional.

Al Sr. Edgar Jara, por ser la primera persona en permitir el acceso a la zona de estudio y estar pendiente de todos los eventos ocurridos en campo.

A mi familia, seres quienes estuvieron presentes en cada etapa, y más aún en los momentos difíciles, ofreciéndome los consejos necesarios cumplir mis objetivos.

A la Srta. Cindy Lilibeth Galván Martínez, quien ha estado brindándome su cariño y apoyo incondicional en cada momento, siendo esencial en mi vida.

A mis amigos, personas con quienes compartí durante estos años, formando una amistad sincera, llena de buenos recuerdos.

*Junior Alejandro Cobos Ramírez*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas: .....	x
Índice de figuras: .....	xii
Índice de anexos: .....	xv
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1 Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Objetivos</b> .....	<b>5</b>
4.1 Objetivo general .....	5
4.2 Objetivos específicos .....	5
<b>5. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
5.1 Topografía .....	6
5.1.1 Levantamiento topográfico.....	6
5.1.2 Instrumentos de la topografía .....	6
5.2 Geología.....	7
5.2.1 Campos de la geología .....	8
5.3 Prospección.....	8
5.4 Propiedades físicas de los minerales.....	11
5.4.1 Propiedades de los minerales que dependen de la influencia de la luz .....	11
5.4.2 Propiedades mecánicas de los minerales.....	11
5.4.3 Propiedades organolépticas .....	13
5.4.4 Propiedades magnéticas .....	14
5.4.5 Propiedades eléctricas .....	14
5.4.6 Hábitos y agregados cristalinos.....	15
5.5 Las calizas.....	16
5.5.1 Las calizas según su origen .....	17

5.5.2	Clasificación de la caliza según su contenido de CaCO <sub>3</sub> .....	19
5.6	Formación de los minerales .....	20
5.6.1	Filones .....	20
5.6.2	En rocas ígneas .....	20
5.6.3	En rocas metamórficas .....	20
5.7	Métodos generales de la búsqueda, exploración y evaluación de los yacimientos de minerales útiles .....	21
5.7.1	Método de analogía .....	21
5.7.2	Método de Búsqueda .....	21
5.7.3	Método de Muestreo .....	21
5.8	Tipos de muestreo .....	22
5.8.1	Por Trinchera: (Trench) .....	22
5.8.2	Muestra de Canaleta o (Channel Sample) .....	22
5.8.3	Muestreo por puntos “Chip sampling” .....	23
<b>6.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>24</b>
6.1	Descripción general del área de estudio .....	24
6.1.1	Ubicación .....	24
6.1.2	Acceso .....	27
6.1.3	Clima e hidrografía .....	28
6.1.4	Geología Regional .....	28
6.2	Materiales .....	32
Materiales de campo .....	32	
Materiales de oficina .....	32	
Materiales de laboratorio .....	33	
6.3	Procedimiento .....	33
6.3.1	Metodología para el cumplimiento del primer objetivo .....	34
6.3.2	Metodología para el cumplimiento del segundo objetivo .....	43
6.3.1	Metodología para el cumplimiento del tercer objetivo .....	53
<b>7.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>55</b>
7.1.1	Geología Local .....	55
Afloramiento 1 .....	55	
Afloramiento 4 .....	56	
Afloramiento 6 .....	56	
Afloramiento 8 .....	57	
Afloramiento 12 .....	57	



Afloramiento 14 .....	58
Afloramiento 21 .....	59
Afloramiento 27 .....	59
Afloramiento 32 .....	60
Calicata 1 .....	60
Calicata 2 .....	61
Calicata 3 .....	61
Calicata 4 .....	61
Calicata 5 .....	62
Correlación de perfiles estratigráficos .....	62
7.2 Resultados para el cumplimiento del segundo objetivo .....	66
7.2.1 Cálculo de peso específico y densidad por medio del método del picnómetro..	66
7.2.2 Cálculo de peso aparente y porosidad por el método de absorción.....	68
7.2.3 Fluorescencia de rayos X .....	70
7.2.4 Difracción de rayos X.....	72
7.2.5 Ensayo de pureza de carbonatos.....	74
7.3 Resultados para el cumplimiento del tercer objetivo.....	75
7.3.1 Industria de la construcción.....	76
<b>8. Discusión .....</b>	<b>77</b>
<b>9. Conclusiones .....</b>	<b>79</b>
<b>10. Recomendaciones .....</b>	<b>80</b>
<b>11. Bibliografía .....</b>	<b>81</b>
<b>12. Anexos .....</b>	<b>83</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Escala de Mohs.....	12
<b>Tabla 2.</b> Coordenadas que comprende el polígono de interés .....	24
<b>Tabla 3.</b> Materiales utilizados para el desarrollo de la presente investigación. ....	32
<b>Tabla 4:</b> Puntos de control levantados en el área de estudio.....	36
<b>Tabla 5.</b> Ficha técnica de afloramientos .....	40
<b>Tabla 6:</b> Ficha técnica de calicatas.....	41
<b>Tabla 7.</b> Valores típicos del peso específico y porosidad de las rocas.....	48
<b>Tabla 8.</b> Porcentajes de óxidos obtenidos en FRX por muestra.....	49
<b>Tabla 9.</b> Resultados de DRX .....	51
<b>Tabla 10.</b> Clasificación química de las calizas.....	54
<b>Tabla 11.</b> Clasificación de las cales según el índice de hidraulicidad.....	54
<b>Tabla 12.</b> Perfil estratigráfico 1 .....	60
<b>Tabla 13.</b> Perfil estratigráfico 2.....	61
<b>Tabla 14.</b> Perfil estratigrafico 3.....	61
<b>Tabla 15.</b> Perfil estratigráfico 4.....	61
<b>Tabla 16.</b> Perfil estratigráfico 5 .....	62
<b>Tabla 17.</b> Ensayo del picnómetro en la muestra M-1.....	66
<b>Tabla 18.</b> Ensayo del picnómetro en la muestra M-6.....	67
<b>Tabla 19.</b> Ensayo del picnómetro en la muestra M-11.....	67
<b>Tabla 20.</b> Ensayo del picnómetro en la muestra M-14.....	67
<b>Tabla 21.</b> Resultados del ensayo por el método del picnómetro.....	68
<b>Tabla 22.</b> Peso aparente y porosidad de la muestra M-1.....	68
<b>Tabla 23.</b> Peso aparente y porosidad de la muestra M-6.....	69
<b>Tabla 24.</b> Peso aparente y porosidad de la muestra M-11.....	69
<b>Tabla 25.</b> Peso aparente y porosidad de la muestra M-14.....	69
<b>Tabla 26.</b> Resultado del ensayo por el método de absorción.....	70
<b>Tabla 27.</b> Resultados de ensayo de FRX.....	70
<b>Tabla 28.</b> Resultados de ensayo de DRX muestra M-1, M-6 y M-11.....	72
<b>Tabla 29.</b> Minerales encontrados mediante DRX en la muestra M-1.....	73
<b>Tabla 30:</b> Minerales encontrados mediante DRX en la muestra M-6.....	74
<b>Tabla 31:</b> Minerales encontrados mediante DRX en la muestra M-11.....	74
<b>Tabla 32.</b> Concentración de carbonato de calcio en las muestras seleccionadas.....	75

<b>Tabla 33.</b> Valor de calizas en el área de estudio.....	75
<b>Tabla 34:</b> Módulos e índices para determinar el uso de las calizas.....	76

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Muestreo aplicando el método de canaletas. ....	22
<b>Figura 2.</b> Modelos de la red de desmuestre; A y B: muestreos puntuales en diferentes mallados, C: toma de muestras en un nudo del retículo, D: muestreo de una galería por bandas, E: muestro discontinuo de las bandas y F: muestro continuo o total de las bandas. ....	23
<b>Figura 3:</b> Ubicación del área de estudio. ....	26
<b>Figura 4:</b> Acceso a la zona de estudio a través de vía terrestre. ....	27
<b>Figura 5:</b> Acceso a la zona de estudio a través de vía aérea ....	27
<b>Figura 6:</b> Mapa regional de la zona de estudio. ....	31
<b>Figura 7:</b> Punto de control ubicado por el IGM en el 2017 ....	35
<b>Figura 8:</b> Trípode y equipo de radiofrecuencia. ....	35
<b>Figura 9:</b> Puntos de apoyo para levantamiento fotogramétrico por percepción remota. ....	36
<b>Figura 10:</b> Planificación de vuelo mediante software Ground Station. ....	37
<b>Figura 11:</b> Procesamiento de imágenes para la obtención de curvas de nivel y ortofoto ....	37
<b>Figura 12:</b> Ortofoto del área de estudio ....	39
<b>Figura 13:</b> Topografía del área de estudio, con curvas de nivel principales a 5 m. y curvas de nivel secundarias a 1m de distancia. ....	40
<b>Figura 14:</b> Corte topográfico del punto A-A' ....	41
<b>Figura 15:</b> Corte topográfico del punto B-B' ....	41
<b>Figura 16:</b> La imagen a) muestra el afloramiento en su totalidad en donde la parte superficial de la roca se encuentra erosionada; en la imagen b) se observa una calicata de 1x1x1m; mientras que la imagen c) muestra la formación de calcita por escurrimiento. ....	42
<b>Figura 17:</b> Malla de muestreo en el polígono de estudio, en donde se señala mediante puntos color rojo y verde, las zonas en donde se obtuvo las muestras de roca. ....	39
<b>Figura 18:</b> Calicata de 1x1x1m, realizada en el área de estudio ....	42
<b>Figura 19:</b> Enfundado de muestras. ....	42
<b>Figura 20:</b> Modelo a seguir para realizar el mapa geológico. ....	43
<b>Figura 21:</b> Trituración de muestras ensayar ....	44
<b>Figura 22:</b> Tamizado de muestras ....	44
<b>Figura 23:</b> Obtención del peso en gr. del picnómetro más agua destilada ....	44
<b>Figura 24:</b> Introducción de muestra pulverizada en el picnómetro. ....	45
<b>Figura 25:</b> Succión de vacíos mediante bomba. ....	45
<b>Figura 26:</b> Picnómetro con muestra pulverizada y agua al 100% ....	45

<b>Figura 27:</b> Peso de muestras .....	46
<b>Figura 28:</b> Muestras sumergidas en vasos de precipitación con agua destilada. ....	46
<b>Figura 29:</b> Peso de la muestra saturada.....	46
<b>Figura 30:</b> Peso de la muestra sumergida.....	47
<b>Figura 31:</b> Pistola Bruker Turbo S1 .....	49
<b>Figura 32:</b> Molino de discos y trituradora de mandíbulas. ....	50
<b>Figura 33:</b> Equipo DRX, marca Bruker D8 Advance .....	50
<b>Figura 34:</b> Colocación de probeta en la cuba.....	51
<b>Figura 35:</b> Peso de la muestra pulverizada .....	52
<b>Figura 36:</b> Kitasato con ácido clorhídrico.....	52
<b>Figura 37:</b> Reacción de la muestra con el ácido clorhídrico .....	52
<b>Figura 38:</b> Desplazamiento del agua en la probeta .....	53
<b>Figura 39:</b> Triángulo de nomenclatura Caliza-arenisca-lutita.....	53
<b>Figura 40:</b> La imagen a) muestra el afloramiento en su totalidad en donde la parte superficial de la roca se encuentra erosionada; mientras que en la imagen b) se observa parte del afloramiento con una capa de calcita la cual se ha originado por escurrimiento .....	55
<b>Figura 41:</b> Muestra de lutitas con una superficie erosionada por la cobertura vegetal. ....	56
<b>Figura 42:</b> Estratos de lutita con fuerte buzamiento. ....	56
<b>Figura 43:</b> La figura a), muestra el afloramiento natural, en donde se evidencia presencia de limolita y vetillas de calcita masiva y cristalizada. En la figura b) se evidencio formación de estalactitas, debido al escurrimiento de agua con alta presencia de carbonato de calcio. La figura c) es una muestra de caliza, con grado de meteorización medio y vetillas de calcita. ....	57
<b>Figura 44:</b> La figura a) muestra un afloramiento de lutita con grado de alteración media y la figura b) indica una fracción de roca del mismo punto de muestreo .....	58
<b>Figura 45:</b> La figura a) indica el afloramiento de forma natural, con un grado de meteorización medio y en la figura b) se evidencia una muestra de roca metamórfica tomada en el mismo punto de muestreo, cerca de la rivera de la quebrada Inguna.....	58
<b>Figura 46:</b> Afloramiento de caliza con presencia de varias fracturas en donde hay filtración de agua. ....	59
<b>Figura 47:</b> Afloramiento metamórfico con presencia de vetillas de cuarzo. ....	59
<b>Figura 48:</b> Afloramiento metamórfico con presencia de vetillas de cuarzo. ....	60
<b>Figura 49:</b> Correlación estratigráfica de los perfiles 1,2,3,4 y 5 .....	62
<b>Figura 50:</b> Mapa geológico local del área de estudio.....	64
<b>Figura 51:</b> a) Perfil geológico A'-A; b) Perfil geológico B'-B.....	65

<b>Figura 52:</b> Resultados de fluorescencia de rayos X en la muestra M-1 .....	71
<b>Figura 53:</b> Resultados de fluorescencia de rayos X en la muestra M-6.....	71
<b>Figura 54:</b> Resultados de fluorescencia de rayos X en la muestra M-11 .....	72
<b>Figura 55:</b> Difractograma correspondiente a la muestra M-1 .....	73
<b>Figura 56:</b> Difractograma correspondiente a la muestra M-6.....	73
<b>Figura 57:</b> Difractograma correspondiente a la muestra M-11 .....	74

## **Índice de anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Fichas de afloramientos .....	83
<b>Anexo 2.</b> Fichas de calicatas .....	97
<b>Anexo 3.</b> Ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX) .....	102
<b>Anexo 4.</b> Difracción de rayos X (DRX).....	103
<b>Anexo 5.</b> Pureza de carbonatos .....	107
<b>Anexo 6.</b> Mapa topografico del area de estudio.....	108
<b>Anexo 7.</b> Mapa de Geología Regional .....	108
<b>Anexo 8.</b> Mapa de puntos de muestreo de la zona de estudio .....	108
<b>Anexo 9.</b> Geología Local .....	108
<b>Anexo 10.</b> Certificado de traducción del resumen .....	109

## **1. Título**

**Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí,  
cantón Catamayo, provincia de Loja.**



## 2. Resumen

El presente trabajo de investigación refiere a la “Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja”, abarcando una extensión de 40 hectáreas en donde se delimita la zona de interés con un enfoque en la búsqueda inicial de zonas de acumulación de carbonatos de calcio, determinando sus propiedades tanto físicas como químicas que presentan estos depósitos y analizar su posible aplicación en actividades industriales.

Una vez obtenida la información bibliográfica mediante trabajo de oficina, se realizó la primera visita al polígono de estudio, posterior a ello se desarrolló el levantamiento fotogramétrico por percepción remota, el mismo que se utilizó de base para realizar el levantamiento geológico mediante descripción de afloramientos y calicatas en donde se evidenció tres tipos de litologías correspondientes a calizas, lutitas y cuarcitas. Una vez identificadas las rocas, se tomó muestras en diferentes puntos del área de estudio y se realizó ensayos físicos como el cálculo de peso específico, peso aparente y porosidad; ensayos químicos correspondientes a difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X y pureza de carbonatos. Estos análisis determinaron el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  que existe en las calizas, siendo este compuesto el de mayor importancia con un valor promedio de 77,56%  $\text{CaCO}_3$  clasificándola como una caliza impura margosa; así mismo se identificó elementos como el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_3$ , S,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , los cuales según sus porcentajes de concentración en las muestras, permitieron conocer el uso industrial de las calizas con el cálculo del índice hidráulico, obteniendo como resultado que su aprovechamiento es para matriz de cemento portland. Se argumenta que esta roca está relacionada directamente con la industria cementera o industria de la construcción.

***Palabras clave:*** geología, prospección, caliza, uso industrial.

## 2.1 Abstract

The purpose of this research work is the “Geological prospecting of limestone in the Zambí sector, which is located in the Zambí parish, Catamayo canton, Loja province”. It has a 40 hectares extension where the area of interest is delimited with a focus on the initial search for areas of calcium carbonate accumulation and determining the physical and chemical properties that these deposits has and analyzing their possible application for industrial activities.

Once the bibliographic information has been obtained through office work, the first visit to the study area was made then the photographic survey was carried out by remote perception, which was used as a base to carry out the geological survey by describing outcrops and pits where three types of lithologies corresponding to limestone, clay and quartzite were evident. After having identified the rocks, samples were taken at different points in the study area and physical tests were carried out such as calculating specific weight, apparent weight and porosity; chemical tests corresponding to x-ray diffraction, x-ray fluorescence and carbonate purity. These analyzes determined the percentage of  $\text{CaCO}_3$  that exist in the limestones, thus compound being the most important with an average value of 77.56%  $\text{CaCO}_3$ , classifying it as an impure marly limestone; likewise, elements such as  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_3$ , S,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  were identified, which according to their concentration percentages in the samples, allowed us to know the industrial use of limestone with the calculation of the hydraulic index, obtaining as a result that its use is for Portland cement. It is argued that this rock is directly related to the cement industry or construction industry.

**Key words:** *Geology, prospecting, limestone, industrial use.*

### **3. Introducción**

La prospección es la etapa inicial dentro de las actividades mineras, en la cual se tiene como objetivo buscar minerales aprovechables en áreas determinadas, basándose en diferentes tipos de estudios geológicos y otras técnicas como la geofísica, geoquímica e interpretación de imágenes satelitales que sirven para determinar los principales blancos prospectivos.

Nuestro país dispone de varios recursos minerales no metalíferos, entre ellos se destacan las arcillas, mármol, caliza, yeso, piedra pómez, baritina y la bentonita. Siendo la caliza y puzolana las rocas que constituye el rubro más importante de la producción minera no metálica.

Una razón de la escasez de industrias cementeras en la región sur del país se atribuye a la ausencia de información sobre depósitos con características viables que posibiliten el desarrollo de estas actividades, esto debido a la carencia de prospección de recursos minerales no metálicos, como es el caso de la caliza.

Por lo tanto, la base del problema radica en el desconocimiento puntual de los recursos no metálicos, que delimiten nuevas zonas de interés en base a la valoración y validación de la información sobre recursos minerales disponibles que favorezcan la planificación adecuada de áreas para el desarrollo de las actividades mineras. De la misma manera el escaso personal capacitado a nivel nacional y la carencia de profesionales en los Gad Parroquiales dificulta realizar estudios geológicos a escalas a detalle, así como el desconocimiento de la roca caliza en el ámbito industrial provoca un desaprovechamiento causando probables pérdidas económicas y un atraso en la sociedad.

Para satisfacer la demanda de la región sur del país, es necesario realizar la determinación de las rocas carbonatadas con valor industrial en el sector Zambí, en donde se presentan indicios de roca caliza, mineral calcita; así como localizar las anomalías geológicas donde posiblemente existen concentraciones minerales.

Por medio del estudio de prospección geológica se permite localizar anomalías del terreno, logrando un conocimiento general del área de interés, sin que esta intervención afecte al ecosistema, promoviendo actividades sustentables y un desarrollo sostenible, identificando posibles zonas de beneficio geológico mediante la búsqueda y exploración de minerales que cuenten con utilidad económica y representen un beneficio a la sociedad.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

- Valorar mediante prospección geológica, las calizas en el sector Zambí, parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar un levantamiento geológico a detalle direccionado a la delimitación de calizas.

- Determinar la calidad de las calizas mediante sus propiedades físicas y químicas en el sector Zambí.

- Analizar el uso industrial de las calizas según su concentración de carbonato de calcio en el área de estudio.

## 5. Marco Teórico

### 5.1 Topografía

La topografía se ha definido como una ciencia aplicada, encargada de determinar la posición relativa de puntos sobre la Tierra y la representación en un plano de una porción de la superficie terrestre. En un sentido más general, se puede definir como la disciplina que abarca todos los métodos para reunir información de partes físicas de la Tierra, tales como el relieve, los litorales, los cauces de corrientes hídricas, entre otros, usando para ello los métodos clásicos de medición en terreno, la fotogrametría y los Sensores Remotos.

#### 5.1.1 Levantamiento topográfico

Conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar la posición de puntos en el espacio y su representación en un plano, el conjunto de operaciones incluye:

- Selección del método de levantamiento.
- Elección del equipo a utilizar.
- Identificar y ubicar posibles vértices de apoyo.
- Realización de mediciones en terreno.
- Cálculo y procesamiento de datos.
- Elaboración de planos.

#### 5.1.2 Instrumentos de la topografía

Debido a los años de antigüedad en que se empieza a desarrollar la topografía, se ha mejorado los instrumentos utilizados para realizar levantamientos topográficos. En los últimos años la topografía ha logrado avances tecnológicos considerables, entre ellos destacan los siguientes instrumentos en forma consecutiva:

Teodolito es el aparato topográfico que reúne en un mismo montaje un sistema óptico–mecánico capaz de medir ángulos horizontales y verticales. Al estar contruidos para medir básicamente ángulos, éstos los miden con mucha precisión.

Si a los Teodolitos o Taquímetros electrónicos se les incorpora un sistema para medir las distancias por algún sistema electromagnético, se empieza a hablar ya de Estación Total. Además, esta Estaciones suelen incorporar programas internos para almacenamiento de datos,

replanteos, superficies, etc., y tienen sistemas para transferir de forma semiautomática los datos almacenados a un ordenador.

El GPS diferencial consiste en la utilización de un receptor móvil y una estación (o estaciones) de referencia situadas en coordenadas conocidas con gran exactitud. La estación de referencia comprueba todas las medidas a los satélites en una referencia local sólida, y obtiene en tiempo real las coordenadas de ese punto, cuyos valores ya se conocían con exactitud a priori. Compara resultados y a partir de ello calcula los errores del sistema en tiempo real y transmite por algún sistema (satélite, radio, TCP/IP, GSM ó UMTS) dichas correcciones al receptor móvil, que deberá de disponer de un módulo con la capacidad de captar estas correcciones y recalcular su posición.

## **5.2 Geología**

La geología proviene de las palabras griegas geo y logos, se define como el estudio de la Tierra. Por lo general se divide en dos amplias áreas: la geología física y la geología histórica. La disciplina de la geología es tan amplia que se subdivide en muchos campos o especialidades diferentes. (Wicander y Monroe, 1999, p.7)

Tiene por objeto entender la evolución del planeta y sus habitantes, desde los tiempos más antiguos hasta la actualidad mediante el análisis de las rocas. Es considerada como una ciencia histórica ya que parte de la premisa de que el relieve actual de la Tierra es el resultado de una larga y variada evolución, por ello analiza este desarrollo espacial y temporal para señalar los factores y fuerzas que actuaron en el proceso y que le han dado la forma que actualmente conocemos, tanto en el exterior como en el interior de nuestro planeta.

Las rocas de la corteza terrestre, los restos petrificados y los rastros de los organismos (fósiles), son elementos que se han utilizado para hacer la historia biológica ya que representan documentos y testimonios que permiten a los geólogos, deducir las condiciones y los acontecimientos de los siglos pasados. (Servicio Geológico Mexicano, s.f., p.1)

Según (Duque, 2016) la Geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años. El estudio de la Tierra de manera aislada fue objeto de interés en

la antigüedad, pero la Geología como ciencia se inicia en los siglos XVII y XVIII obteniendo su mayor desarrollo en el siglo XX, donde diversas ramas de la Geología se encargan del anterior propósito.

### 5.2.1 *Campos de la geología*

La geología es una ciencia muy amplia en donde se encuentran muchos campos con especialidades diferentes, a continuación, se describirá algunos:

**Mineralogía.** Estudia los minerales, estos son las sustancias químicas que componen el mundo inorgánico.

- **Petrología.** Los minerales están comúnmente mezclados, en agregados que llamamos rocas; las rocas y sus procesos de formación son objeto de esta rama.
- **Geología Estructural o Tectónica.** Los materiales terrestres se disponen con arreglo a ciertas estructuras que los afecta y otorgan una fisonomía particular. Esta disciplina estudia esas estructuras, sus causas y sus efectos.
- **Geocronología.** Es la que se ocupa de los tiempos geológicos. Dado que la geología estudia la historia de la tierra, es muy importante la determinación de los tiempos que sucedieron los acontecimientos geológicos.
- **Geofísica.** Estudia los fenómenos físicos que afectan al planeta y su estructura interna.
- **Geoquímica.** Se ocupa del comportamiento y relaciones de los elementos químicos de la tierra.
- **Geografía.** Relaciona los conocimientos geológicos con las ciencias humanas.
- **Geología Económica.** Es la disciplina que estudia los recursos naturales del reino mineral.
- **Geotecnia.** Encargada de estudiar las características que influyen en las obras de ingeniería.
- **Geología ambiental.** Se ocupa de relacionar la geología con el medio ambiente, incluyendo riesgos geológicos.
- **Hidrogeología.** Estudia la presencia y circulación del agua en el subsuelo. (Lavandaio, 2008, p. 34)

### 5.3 Prospección

En la etapa de prospección se localizan las anomalías geológicas donde posiblemente existen depósitos minerales, desconociendo la cantidad, el valor y el tipo o los tipos de

minerales que posee el terreno. Para esta actividad son utilizadas principalmente técnicas basadas en estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos. (Virtual Pro, 2021)

En la prospección se quiere lograr un reconocimiento general del área de interés, localizar una anomalía con las propiedades de un depósito mineral y reducir su tamaño. La prospección está enfocada en la búsqueda de las menas ubicadas relativamente cerca con respecto a la superficie aplicando los métodos directos e indirectos de prospección. Para la localización de un depósito mineral se aplica las fotos aéreas y las imágenes de satélite del área en cuestión, la topografía y los mapas estructurales correspondientes. Directamente se levanta y analiza los afloramientos de un depósito mineral y/o las rocas meteorizadas y/o alteradas, que pueden originar de un yacimiento mineral. En casos más complejos se lleva a cabo un levantamiento de la geología del área de interés como de las formaciones geológicas, de sus dimensiones y de su estructura. Se toma distintos tipos de muestras (método indirecto) como del agua de río, del suelo, de plantas o de rocas y se aplica en ellas los análisis del laboratorio adecuados como los análisis químicos en muestras de agua, los análisis petrográficos (por un micropolariscopio) y geoquímico (por ejemplo el análisis de fluorescencia de rayos X o el análisis por la espectrometría de absorción atómica) en muestras de rocas por ejemplo para obtener informaciones acerca de la calidad, la cantidad y la distribución de los elementos y/o los minerales de interés y acerca de la génesis de la mineralización. Estos métodos también pueden dar resultados en el caso de depósitos minerales descubiertos por ejemplo por una capa de aluviones.

Los métodos indirectos abarcan los métodos geofísicos y los métodos ya mencionados como el 'remote sensing', el muestreo y los métodos geoquímicos. Los métodos geofísicos sirven para detectar anomalías geofísicas, que pueden ser originadas por depósitos minerales. Los métodos geofísicos en parte son adecuados para el uso aéreo, superficial y subterráneo, como el método magnético, y se puede aplicarlos a partir de la superficie terrestre, a partir del mar o en una mina como el método sísmico. (Griem Klee, 2016)

La prospección y exploración minera están fundamentadas en un abanico variado de herramientas y técnicas instrumentales y empíricas, donde destacamos las siguientes:

Recolección de datos o información: Esta técnica de bajo costo consiste en la recopilación de datos de bibliotecas, bases de datos y otros referentes a yacimientos



prospectados. Con esta técnica se identifican las características geológicas y geométricas, además se determina y evalúa el historial minero y los volúmenes de reserva esperados.

Teledetección: este proceso está basado en la utilización de satélites artificiales para obtener información geológico-minera referente al estado de reflectividad del terreno frente a la radiación solar, identificando las bandas de espectro electromagnético que muestran alteraciones, variaciones de temperatura y la presencia de minerales en la zona.

En las fases de prospección y exploración se realiza análisis geológico reconociendo geológicamente el área seleccionada. En este proceso se crea la cartografía geológica, el levantamiento estratigráfico, el estudio tectónico, el estudio petrológico y el hidrogeológico, entre otros.

Geoquímica: en este proceso se analizan sedimentos de suelos, fuentes de agua o plantas que puedan contener elementos químicos de determinados minerales. El costo de esta técnica suele ser alto, ya que requiere de un equipo de trabajo especializado que obtenga y efectúe los análisis respectivos.

Geofísica: esta disciplina emplea diversas técnicas como el uso de métodos donde se estudia la conductividad y la resistividad del territorio determinado. También se pueden hacer estudios electromagnéticos de la zona e identificar el campo magnético del terreno, igualmente se puede medir el campo gravitatorio terrestre, detectar la radioactividad o la transmisión de ondas sísmicas del lugar, entre otras operaciones.

Se destaca que la estrategia de prospección, en conjunción con la exploración minera, se basa en la recopilación constante de datos que se van interpretando a medida que las actividades progresan. De esta manera, la investigación minuciosa en la etapa de exploración verifica, ajusta o respalda las interpretaciones iniciales de la prospección preliminar.

En la actualidad, se encuentran disponibles tecnologías y métodos innovadores para descubrir depósitos minerales, como la generación de mapas autónomos de áreas sumergidas, incluyendo lechos marinos, que proporcionan datos de alta resolución para la identificación de vetas minerales. En este sentido, se han desarrollado sistemas robóticos autónomos de exploración que detectan y analizan depósitos polimetálicos en las profundidades del océano, además de robots capaces de identificar diversos gases subterráneos. Paralelamente, se están adaptando drones equipados con cámaras fotográficas y de video para realizar labores de prospección y exploración minera.

Como resultado de estos avances, ha surgido la tecnología de escaneo láser 3D altamente precisa, que proporciona información valiosa sobre las características del suelo y el subsuelo en la búsqueda de yacimientos minerales. También se han introducido al mercado una variedad de software y aplicaciones digitales diseñados para las primeras etapas de los proyectos mineros, lo que ha modernizado las tareas de prospección y exploración al automatizar diversos procesos.. (Virtual Pro, 2021)

## **5.4 Propiedades físicas de los minerales**

Como se mencionó anteriormente, la mineralogía física es la que se encarga del estudio de las propiedades físicas de los minerales, para ello además de tener en cuenta la isotropía y anisotropías hay que conocer y diferenciar ciertas características.

### **5.4.1 *Propiedades de los minerales que dependen de la influencia de la luz***

**5.4.1.1 Transparentes.** Cuando dejan pasar luz de modo que puedan distinguirse a través de ellos el contorno de un objeto que encuentra por detrás de dichos minerales.

**5.4.1.2 Traslucidos.** Cuando dejan pasar algo de luz, pero los objetos no pueden ser vistos a través de ellos.

**5.4.1.3 Opacos.** Cuando no dejan pasar la luz aun estando en láminas muy delgadas.

### **5.4.2 *Propiedades mecánicas de los minerales***

Se manifiestan al aplicar la influencia mecánica de las fuerzas exteriores durante la compresión, la tracción o el impacto y que se expresan en la variación de su forma e integridad.

**5.4.2.1 Exfoliación.** Propiedad que presentan algunos minerales cristalizados de separar fácilmente en láminas, y que depende principalmente de la estructura del mineral

**5.4.2.2 Clivaje.** Capacidad de los minerales de romperse siguiendo direcciones preferentes, a lo largo de superficies planas y ángulos definidos. Como el clivaje está relacionado con la estructura cristalina, sirve de indicio diagnóstico importante de los minerales.

**5.4.2.3 Color.** Es el indicio exterior más vivo y expresivo de los minerales los que se distinguen por su extraordinaria variedad de colores y matices, lo cual es debido a las modificaciones que sufre la luz al incidir sobre ellos. Esta propiedad se debe a la composición química y a las impurezas presentes en el mineral haciendo la salvedad que en un mismo mineral se pueden presentar una o más tonalidades. Hay especies de color invariable por no depender este de la composición a estos minerales se los conoce como idiocromáticos; y se denominan a los cromáticos a los que se deben su color a sustancias extrañas o impurezas.

**5.4.2.4 Brillo.** llamado también conocido como lustre, este término está vinculado a la capacidad de los minerales para reflejar la luz en su superficie. La calidad del brillo está determinada por la naturaleza del enlace químico: de esta forma, el brillo metálico se presenta en minerales con enlaces metálicos y covalentes metálicos; el brillo diamantino corresponde a minerales con enlaces covalentes; mientras que el brillo vítreo se observa en minerales con enlaces iónicos. Esta propiedad es un indicio diagnóstico importante de los minerales que depende de la estructura de las caras superficiales y la transparencia, y puede ser:

**5.4.2.4.1 Brillo no metálico.** Vítreo, diamantino, resinoso, graso, sedoso, nacarado.

**5.4.2.5 Raya:** es el color de polvo que dejó mineral cuando se frota contra una superficie rugosa de otro cuerpo de mayor dureza, principalmente porcelana cuyo color a veces difiere del color del mineral. La raya es la característica más estable de la coloración y por eso se utiliza ampliamente en el diagnóstico.

**5.4.2.6 Diafanidad:** conocida también como transparencia y es la capacidad que tienen los minerales para dejar pasar la luz a través de ellos sí pueden ser: transparentes, translucidos y opacos.

**5.4.2.7 Dureza:** se refiere a la capacidad de los minerales para resistir el rayado causado por un objeto más resistente. Para medir de manera práctica la dureza, se utiliza una escala conocida como la escala de Mohs, que consta de 10 minerales que se utilizan como referencia debido a su raya de color blanco (Rivera Mantilla, 2005, pp. 80-84).

**Tabla 1.** Escala de Mohs

Dureza	Mineral	Composición	Características
1	Talco	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Se raya fácilmente con la una
2	Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Se raya con la una con mayor dificultad
3	Calcita	$CaCO_3$	Se raya con una moneda de cobre
4	Fluorita	$CaF_2$	Se raya con un cuchillo de acero
5	Apatito	$Ca_5(PO_4)_3F$	Se raya difícilmente con un cuchillo de acero
6	Ortosa	$KSi_3AlO_6$	Se raya con una lija para acero
7	Cuarzo	$SiO_2$	Raya el vidrio
8	Topacio	$Al_2(SiO_4)(FOH)_2$	Rayado por carburo de wolframio
9	Corindón	$Al_2O_3$	Rayado por herramientas de carburo de silicio
10	Diamante	C	Rayado por otro diamante

**Fuente:** Tomado de Rivera Mantilla, 2005, p.85.

**5.4.2.8 Tenacidad.** Es la resistencia que un mineral opone hacer deformado y puede ser:

- **Elástico.** Es la capacidad de los minerales que recobrar su forma primitiva al cesar la fuerza que los deforma.
- **Flexible.** Es la capacidad de los minerales de no recobrar de nuevo su forma al cesar la fuerza que lo deforma.
- **Frágil.** Es la capacidad de los minerales a romperse en fragmentos o pulverizarse fácilmente.
- **Maleable.** Capacidad de reducirse a láminas delgadas.
- **Dúctil.** Cuando puede reducirse en hilos delgados.
- **Sectil.** Cuando puede ser reducido a virutas. (Rivera Mantilla, 2005, p.84).

**5.4.2.9 Peso específico.** El peso específico se define como un valor que indica la relación entre el peso de un mineral y el peso de un volumen equivalente de agua. Para ilustrar este concepto, si un mineral pesa tres veces más que un volumen igual de agua, su peso específico sería de 3. Con un poco de práctica, es posible estimar el peso específico de los minerales simplemente sosteniéndolos en la mano. Por ejemplo, si un mineral se siente tan pesado como las rocas comunes que hemos manejado, es probable que su peso específico se encuentre en algún punto entre 2.5 y 3. Algunos minerales metálicos tienen un peso específico que es de dos a tres veces mayor que el de los minerales que componen las rocas comunes. (Tarbuck & Lutgens, 2005, p. 90).

### **5.4.3 Propiedades organolépticas**

Son propiedades que poseen algunos minerales y que son apreciados por los sentidos.

**5.4.3.1 Tacto.** Es una apreciación superficial de los cuerpos, con los cuales, algunos minerales tienen un tacto característico que nos ayuda a identificarlos.

- Untuoso
- Seco
- Suave

**5.4.3.2 Sabor.** Poseen solamente algunos minerales:

- Salado
- Amargo
- Astrigente
- Alcalino

**5.4.3.3 Olor.** Hay muy pocos minerales que tienen olor propio tal caso es el de la azufre que al arder huele a sus sulfuroso. (Rivera Mantilla, 2005, pp .85-86).

#### **5.4.4 *Propiedades magnéticas***

Se conoce con el nombre de magnéticos aquellos materiales que en su estado natural pueden ser atraídos por un imán. La magnetita y la pirrotina son los dos únicos minerales magnéticos comunes. La piedra imán, una variedad de la magnetita, tiene poder natural de atracción, y la polaridad de un imán verdadero. (Hurlbut, 1976, p. 159).

Las propiedades magnéticas de los minerales surgen y se manifiestan en el campo magnético, son pocos los minerales que poseen gran imantación suficiente para atraer la aguja magnética los polvos magnéticos o el aserrín de hierro. Algunos minerales adquieren esta propiedad por tratamientos previos, pero otros tienen desde su formación. (Rivera Mantilla, 2005, p. 86).

**5.4.4.1 Minerales magnéticos.** Conocidos son la magnetita y la magno ferrita que son imanes naturales capaces de atraer partículas de hierro.

**5.4.4.2 Minerales paramagnéticos.** Son aquellos que son atraídos por los imanes naturales tales como la ilmenita, hematita, cromita, austenita, siderita, así como los silicatos que contienen hierro.

**5.4.4.3 Minerales diamagnéticos.** Son aquellos que son ligeramente repelidos y esto se manifiesta con mayor fuerza por el bismuto nativo, grafito y en menor grado por la plata y oro nativo, la florita, calcita y cuarzo. (Rivera Mantilla, 2005, p. 86).

#### **5.4.5 *Propiedades eléctricas***

**5.4.5.1 Piezoelectricidad.** Si se desarrolla una carga eléctrica sobre la superficie de un cristal cuando se ejerce presión en los extremos de un eje cristalográfico se dice que dicho cristal es piezoeléctrico. Solamente pueden presentar esa propiedad los minerales que cristalizan en clases de simetría que carecen de centro y que de este modo tienen ejes polares.

**5.4.5.2 Piroelectricidad.** El desarrollo simultáneo de cargas positivas y negativas en los extremos opuestos de un eje cristalográfico por cambios de temperatura se conoce como piroelectricidad. Solamente los cristales que permanecen a las 10 clases cristalinas que tienen un único eje polar se consideran como poseedores de piroelectricidad primaria o verdadera. (Hurlbut, 1976, p. 159)

#### **5.4.6 Hábitos y agregados cristalinos.**

El hábito forma cómo se presentan los minerales, así como la forma en que los cristales crecen juntos los agregados son una característica en el reconocimiento de minerales. Los términos empleados para describir el hábito de los cristales individuales y de los agregados cristalinos son los siguientes:

##### **5.4.6.1 Cuando un mineral consta de cristales aislados**

- a) Acicular. Cristales en forma de aguja
- b) Capilar o filiforme. Cristales en forma de cabellos o hebras
- c) Hojosa. Cristales alargados y aplastados en forma de hoja

##### **5.4.6.2 Cuando un mineral consta de grupos de cristales distintos.**

- a) Dendrítico. Informa arborescente en ramas divergentes y delgadas algo parecido a las plantas
- b) Reticulado. Cristales delgados agrupados en forma de una red.
- c) Radial. Grupo de cristales naciendo de un punto común.
- d) Drusa. Superficie cubierta o tapizada de cristales.

##### **5.4.6.3 Cuando un mineral consta de un grupo de cristales radiales o paralelos de cristales distintos.**

- a) Columnar. Individuos como columnas gruesas.
- b) Hojoso. Agregado de muchas hojas superpuestas.
- c) Fibroso. En agregados fibrosos delgados paralelos o radiales.
- d) Estrellado. Individuos radiales que forman grupos concéntricos o en forma de estrella.
- e) Globular. Cristales radiales que forman grupos esféricos o semiesféricos.
- f) Botroidal. Cuando las formas globulares se agrupan como racimo de uvas.
- g) Reniforme. Cristales radiales terminados en masas redondeadas que parecen un riñón.

##### **5.4.6.4 Cuando un mineral se presenta en forma de láminas o escamas.**

- a) Laminar. Cuando un mineral consta de cristales laminares superpuestos unos de otros
- b) Plumoso. Formado por escamas finas con una estructura plumosa o divergente

#### **5.4.6.5 Otros agregados**

- a) Estalactítico. Cuando un mineral se presenta en forma de conos o cilindros colgantes.
- b) Concentrico. Una o más capas superpuestas alrededor de un centro común.
- c) Pisolítico. Un mineral formado por masas redondeadas de tamaño aproximado de un guisante
- d) Oolítico. Agregado mineral formado por pequeñas esferas semejantes a los huevos de pescado
- e) Bandeado. Cuando un mineral aparece en bandas estrechas de diferentes texturas o colores
- f) Masivo. Agregado mineral formado por mineral al compacto con una forma irregular, sin apariencia peculiar. (Rivera Mantilla, 2005, p.89-90)

#### **5.5 Las calizas**

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente monomineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de Mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico. (Ponce & Gambaudo, 2005, p.308)

Las calizas representan el 95% del total de las rocas sedimentarias no clásticas, lo que implica que las calizas son de gran importancia. Son rocas conformadas por minerales carbonatados de origen químico, tales como calcita y aragonito (ambos de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), puede presentarse también dolomita  $(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$ ; con menor frecuencia siderita  $\text{CO}_3\text{Fe}$ , magnesita  $\text{CO}_3\text{Mg}$ , ankerita  $(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$ . Los minerales complementarios son: cuarzo fino, calcedonia, glaucomita, arcilla, illmenita, magnetita, circón, turmalina, granate, ópalo, moscovita, biotita, ortoclasa, plagioclasa, colofana, marcasita, yeso, anhidrita, limonita, pirita y otros. Los componentes orgánicos principales en calizas bioquímicas, son restos orgánicos duros conformados por microcristales de caliza y aragonito, algunos quitinosos no cristalizados y otros fosfáticos de colofana ( $\text{PO}_3\text{Ca}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ). Las calizas se forman en los océanos en un 95% por precipitación de carbonatos, a partir de aguas cálidas y profundas saturadas de estos compuestos químicos; también se forman por acumulación de restos y sustancias orgánicas en aguas marinas someras. (Soto Godoy, 2005, p. 138)

### 5.5.1 *Las calizas según su origen*

Las Calizas, según el origen, pueden ser: químicas, bioquímicas u orgánicas y clásticas. Las calizas de origen orgánico se presentan en estratos de diversos espesores en grandes cuerpos macro fosilíferos y en cuñas o estratos irregulares. Se suelen encontrar estratos formados por acumulación de restos de diversos tamaños de caliza, lo que se reconoce como textura clástica calcárea. La variabilidad de estas rocas es muy grande, dependiendo del origen y de la composición de minerales accesorios.

- De origen químico:

Caliza. - Es una roca de textura masiva o amorfa con superficies concoidales que tiene un contenido de Calcita o Aragonito es superior al 95%.

Travertino. - Es una variedad de Caliza de origen químico que resulta de la precipitación química de carbonato de calcio, en forma de Aragonito o Calcita, a partir de manantiales termales. El Travertino presenta estructura "costriforme", irregular, en forma de columna; textura bandeada, masiva o porosa.

Toba calcárea. - Es una variedad porosa de textura arborescente, en forma de algas.

Caliza fosfática. - Cuando contiene fosfatos, especialmente colofana, en un porcentaje superior al 5%.

Caliza arcillosa. - Cuando presenta un porcentaje de arcilla que supera al 5%. La materia prima, ideal, para fabricar el cemento Pórtland es una caliza arcillosa con el 30% de arcilla, aproximadamente.

Marga. - es una variedad de caliza arcillosa, de color amarillento, deleznable. Esta roca presenta textura masiva a clástica, encontrándose en afloramientos junto a calizas y lutitas. La estructura es de estratos muy delgados.

Caliza magnesiana. - Es una Caliza de origen marino que tiene hasta 10% de dolomita.

Caliza dolomítica. - Cuando el contenido de Dolomita varía entre 10 y 50%.

Un grupo de calizas poco conocidas y no comunes, son:

Caliza silíceo. - Cuando contiene 5% o más de minerales de sílice.



Caliza glauconítica. - Cuando contiene Glauconita (mineral de hierro de color verde).

Caliza ferruginosa. - Cuando contiene más de 5% de minerales de hierro.

Caliza carbonosa. - Con más de 5% de materia carbonosa.

- De origen orgánico

Biohémica o de arrecife. - Se forma por litificación de arrecifes que quedaron enterrados por lodos calcáreos, la textura es algácea o clástica y la estructura es irregular, con semejanza a un promontorio circular. Se compone de restos de corales, equinodermos, braquiópodos, algas, moluscos, foraminíferos y muchos otros.

Biostrómic. - Se forma por la litificación de restos de moluscos, equinodermos y otros organismos neríticos, que aparecen en estratos irregulares y cuneiformes; Se encuentra interestratificada con pizarras blandas, margas, calizas químicas y areniscas. La textura es clástica y fosilífera.

Coquina. - Es una caliza biostrómic, consolidada de manera incipiente, compuesta de conchas de animales marinos mezcladas con arenas y gravas.

Pelágicas. - Son calizas microfossilíferas compuestas principalmente por la acumulación de restos de micro - organismos pelágicos, principalmente foraminíferos; tienen textura porosa, oolítica, microfossilífera y estructura estratiforme. A la caliza se le agrega un segundo nombre que corresponde al del micro fósil mayoritario.

- Clásticas

Es un grupo de calizas que pertenece a las rocas clásticas, pero que merece especial atención en este acápite, por el alto contenido de carbonato de calcio que contiene; se han formado por la erosión de calizas pre - existentes, de las que se arrancaron, por diversas circunstancias, fragmentos de diversos tamaños que se acumularon y litificaron posteriormente. Se presentan en estratos junto con otras rocas. La textura es clástica, pudiendo ser:

Calciruditas. - Son fragmentos gruesos de caliza, que han sido redepositados y consolidados; destacan los conglomerados calcáreos y las brechas calcáreas.

Calcarenitas. - Son areniscas calcáreas, con un porcentaje mayoritariamente de restos de caliza, del tamaño de la arena.

Calclutitas. - Son lutitas calcáreas con un alto contenido de restos pelíticos de carbonato de calcio. (Soto Godoy, 2005, pp. 138-143)

### **5.5.2 Clasificación de la caliza según su contenido de $\text{CaCO}_3$**

La clasificación de calizas de grado químico por el contenido de  $\text{CaCO}_3$  no toma en cuenta todas las variaciones en la composición química. Los análisis químicos deberían llevarse a cabo por un espectrofotómetro de rayos X fluorescente (XRF) a pesar de que los métodos húmedos químicos pueden ser usados cuando son apropiados. Un análisis químico típico de calizas incluirá  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$  y S, F, Cu, Pb y Zn. Para ciertos usos finales puede ser también necesario analizar As, Cr, Co u otros elementos. Investigaciones más detalladas pueden requerir la determinación de la composición individual de los componentes del carbonato y/o minerales asociados, usando instrumentos electrónicos como el microscopio o el SEM. (Ponce & Gambaudo, 2005)

Durante el siglo XVII, Vicat expone su teoría de la hidraulicidad, definiendo su índice como el cociente entre la suma de óxidos de silicio y aluminio y el contenido en óxido de calcio. Es así que se dividen en:

Cal aérea: Es el producto resultante de la descomposición por el calor de las rocas calizas. Si éstas son puras y se calientan a temperatura superior a  $900^\circ\text{C}$ . El carbonato cálcico  $\text{CO}_3\text{Ca}$  se descompone, dando anhídrido carbónico  $\text{CO}_2$  que es gaseoso y se desprende junto con los humos del combustible y el óxido de calcio  $\text{CaO}$ . El índice hidráulico se encuentra entre 0 – 0,10.

Cal hidráulica: Una cal se denomina hidráulica cuando el porcentaje de arcilla en la roca caliza es superior al 5% y siempre inferior al 17%-20%. Según la cantidad en arcilla podemos determinar el índice de. Así pues, son capaces de fraguar en un medio saturado de humedad gracias a la proporción de silicatos y aluminatos cálcicos, pero al mismo tiempo conservan una fase aérea, en mayor o menor medida, que permite a la cal fraguar por carbonatación. El comportamiento hidráulico permite una reducción importante del tiempo de fraguado, con lo que podemos estabilizar más rápidamente las fábricas. La parte aérea fraguará más lentamente permitiendo pequeños movimientos del mortero y un endurecimiento continuado en el tiempo. El índice hidráulico de la cal hidráulica varía entre 0,10-0,50

Cemento Portland: El cemento portland es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y, en menor proporción, por aluminatos de calcio, que,

mezclado con agua se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente, tanto al aire como bajo el agua, su índice hidraulico es mayor a 0,5. (Miguel Ángel & Chinchón, 2004)

## **5.6 Formación de los minerales**

La corteza terrestre está formada por rocas que a su vez son agregados de minerales. Los ejemplares más hermosos suelen encontrarse en los filones hidrotermales que son fracturas de la corteza terrestre a través de los cuales circulan fluidos muy calientes. Estos fluidos contienen los elementos que constituyen muchas. Los minerales se encuentran también en rocas ígneas cuando cristalizan a partir del enfriamiento de un magma o de una lava. Gran variedad de minerales se forma en las rocas metamórficas a cristalizar rocas preexistentes. En algunas rocas sedimentarias tales como calizas de evaporitas los minerales cristalizan a partir de soluciones a baja temperatura.

### **5.6.1 *Filones***

Son cuerpos tabulares de minerales que a menudo cortan la estructura de rocas preexistentes. Pueden haber sido fallas que han producido la rotura de las rocas y donde una masa rocosa se ha movido en relación a la otra; o diaclasas donde hay fracturación sin movimiento. Posteriormente puede haber un relleno de minerales o una cristalización alrededor de masas fragmentadas.

### **5.6.2 *En rocas ígneas***

Los minerales se forman en las rocas ígneas cuando un magma fundido se solidifica. Los minerales más densos los silicatos Ferro magnesianos tales como se forman a mayor temperatura mientras que los menos densos tales como feldespato y cuarzo se encuentran al final del enfriamiento todos crecen sin limitación y su forma cristalina está desarrollada.

### **5.6.3 *En rocas metamórficas***

En las rocas metamórficas se forma un gran número de minerales entre los cuales se encuentra el granate, la mica y la cianita. La temperatura y la presión pueden alterar la química de la roca preexistente y crear nuevos minerales; o los fluidos que circulan a través de la roca pueden añadir elementos adicionales. (Pellant, 1993, pp. 18-19).

## **5.7 Métodos generales de la búsqueda, exploración y evaluación de los yacimientos de minerales útiles**

Según Ariosa Iznaga & Vladimirovich (1990, p. 20) se plantean algunos métodos que se pueden utilizar para la búsqueda, exploración y evaluación de minerales útiles:

### **5.7.1 Método de analogía**

La tipificación de los objetos geológicos y los métodos de su investigación constituyen la base de toda la teoría de ejecución de los trabajos de búsqueda y exploración. Esta tipificación parte del hecho de que cada yacimiento mineral muestra una semejanza considerable con otros yacimientos formados por procesos geológicos similares en condiciones parecidas, aunque cada objeto tiene también sus rasgos específicos propios. Esta similitud se observa de manera consistente en la morfología del cuerpo, las condiciones de ubicación, la calidad del mineral valioso y las dimensiones del objeto, lo que permite hacer predicciones más precisas sobre la variabilidad de los parámetros geólogo-industriales del yacimiento. En consecuencia, la búsqueda y exploración de nuevos yacimientos o áreas pueden llevarse a cabo utilizando los métodos de investigación que demostraron ser más efectivos en casos de objetos similares previamente explorados. Es importante evitar repetir los errores cometidos durante el estudio de yacimientos análogos.

### **5.7.2 Método de Búsqueda**

Para revelar las acumulaciones minerales naturales, se utilizan diferentes modos de estudio de la heterogeneidad del subsuelo. Ellos permiten, tanto pronosticar con detalles diferentes la localización de manifestaciones o yacimientos en la corteza terrestre, como hallar directamente dichos objetos.

### **5.7.3 Método de Muestreo**

Este método tiene como objetivo el estudio de la calidad del mineral útil. Debe admitirse que los datos auténticos sobre este parámetro geólogo industrial son totalmente necesarios, porque las minas industriales se destacan de las rocas encajan únicamente por su calidad. El estudio de la calidad del mineral útil se realiza por medio de crucero de exploración y los datos obtenidos se extienden a todo el volumen del cuerpo mineral. De este modo las muestras deben representar necesariamente la calidad del mineral útil en los puntos de toma. Además, hace falta tratar estas muestras, así como analizarlas de manera que el resultado corresponda bien a las propiedades de la muestra inicial. Para resolver esas tareas es importante aplicar diferentes técnicas de muestreo argumentadas teóricamente.

## 5.8 Tipos de muestreo

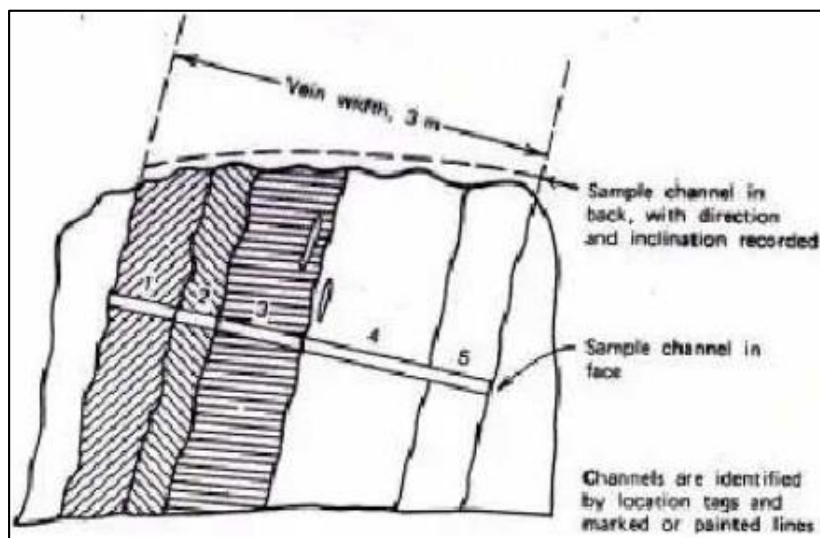
### 5.8.1 *Por Trinchera: (Trench)*

Este método es usado en muestreos de desmontes, reconocimientos en afloramientos de vetas, o depósitos superficiales. Consiste en cavar zanjas o trincheras de tamaño adecuado al caso con equipos pesado como tractores orugas o retroexcavadoras sobre oruga. Estas trincheras se realizan normalmente a la corrida de la veta o estructura. Primeramente, se realiza el escarpe y limpieza de terreno dejando el afloramiento expuesto en superficie de roca fresca. El tamaño de la muestra se reduce por cuarteos sucesivos. (Lambert, 2006, p.24).

### 5.8.2 *Muestra de Canaleta o (Channel Sample).*

La muestra tipo canaleta se define como un muestreo tabular que se utiliza para obtener una muestra continua y uniforme en una longitud dada. La información tiene un valor similar a un sondaje. La posición y la longitud de la canaleta dependerán de la extensión y orientación de la característica a muestrear, permaneciendo constante su ancho y profundidad.

Cuando se desea obtener una muestra tipo canaleta, la primera operación consiste en marcar, en el afloramiento la orientación y el largo, además de los intervalos a los cuales se recupera la muestra. A menos que se lo requiera de otro tipo, la canaleta debe orientarse de manera perpendicular a cualquier elemento lineal del conjunto, si lo hubiera. El intervalo de muestra a recuperar depende de la potencia y litología de los elementos lineales y del grado de exactitud que se desee. (Lambert, 2006, p.28).



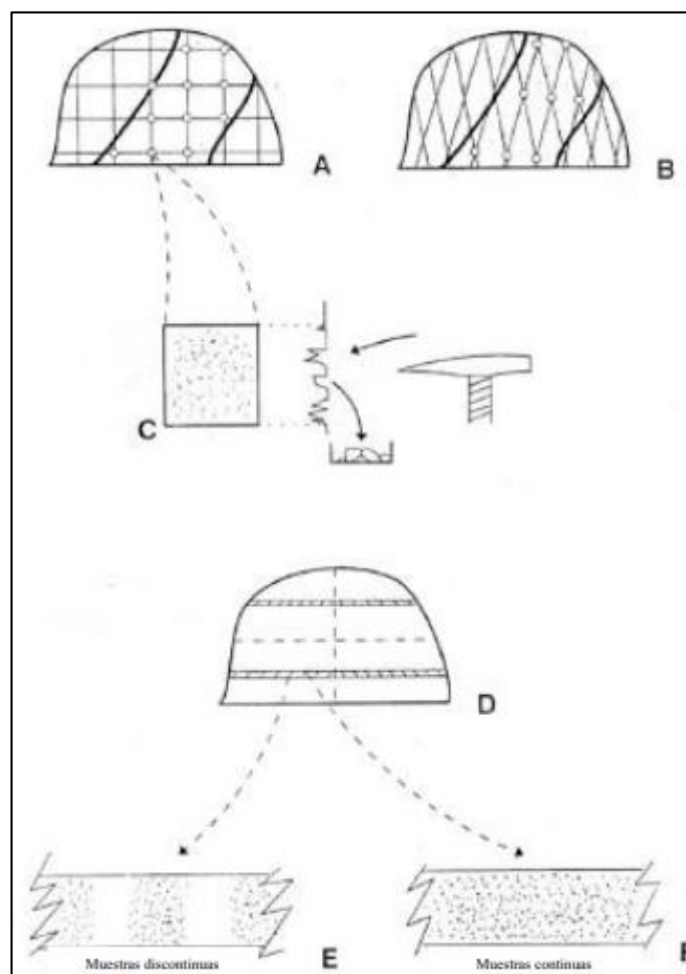
**Figura 1.** Muestreo aplicando el método de canaletas.

**Nota.** (Orche, 1999)

### 5.8.3 Muestreo por puntos “Chip sampling”

Este método suele sustituir, en muchas ocasiones, a otro tipo de muestreo por razones de coste y rendimiento. Aquí el material no procede de una ranura del cuerpo mineral sino de puntos distribuidos geoméricamente en la masa mineral, bien de forma lineal o bien formando una malla regular en dos dimensiones.

La distancia entre puntos es variable pero no debe superar los 20 cm y la cantidad de muestra debe ser siempre igual. La definición de intervalos fijos en la malla evita la tendencia subjetiva a muestrear en exceso las zonas de ley más elevada. (Lambert, 2006, p.30).



**Figura 2.** Modelos de la red de desmuestreo; A y B: muestreos puntuales en diferentes mallados, C: toma de muestras en un nudo del retículo, D: muestreo de una galería por bandas, E: muestro discontinuo de las bandas y F: muestro continuo o total de las bandas.

**Nota.** (Orche, 1999)

## 6. Metodología

### 6.1 Descripción general del área de estudio

#### 6.1.1 Ubicación

El presente trabajo de investigación se encuentra al Sur del Ecuador, en la provincia de Loja, cantón Catamayo, parroquia Zambí, siendo desarrollado puntualmente en el sector Zambí, determinando un polígono de interés; a 39 km al noroeste de la cabecera cantonal Catamayo, a una altura de 1380 msnm. (Fig. 3)

El área de estudio, comprendida en el sector Zambí, cuenta con una extensión de 400 000 m<sup>2</sup> cuadrados equivalente a 40 Ha. Limita al norte con la parroquia Guayquichuma, al sur con la vía Las Chinchas-Portovelo, al este con el sector Reina del Cisne y al oeste con el sector Miraflores.

El área de interés comprende las siguientes coordenadas según la Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) – Zona 17 Sur, Datum Horizontal WGS 1984:

**Tabla 2.** Coordenadas que comprende el polígono de interés

Coordenadas del área de estudio		
Puntos	X (m)	Y (m)
PP	662816	9567931
P 1	662548	9567311
P 2	662597	9567188
P 3	662698	9567086
P 4	662795	9567082
P 5	662844	9567102
P 6	662920	9567239
P 7	663406	9567862
P 8	663041	9567986
P 9	663028	9567944
P F	662816	9567931

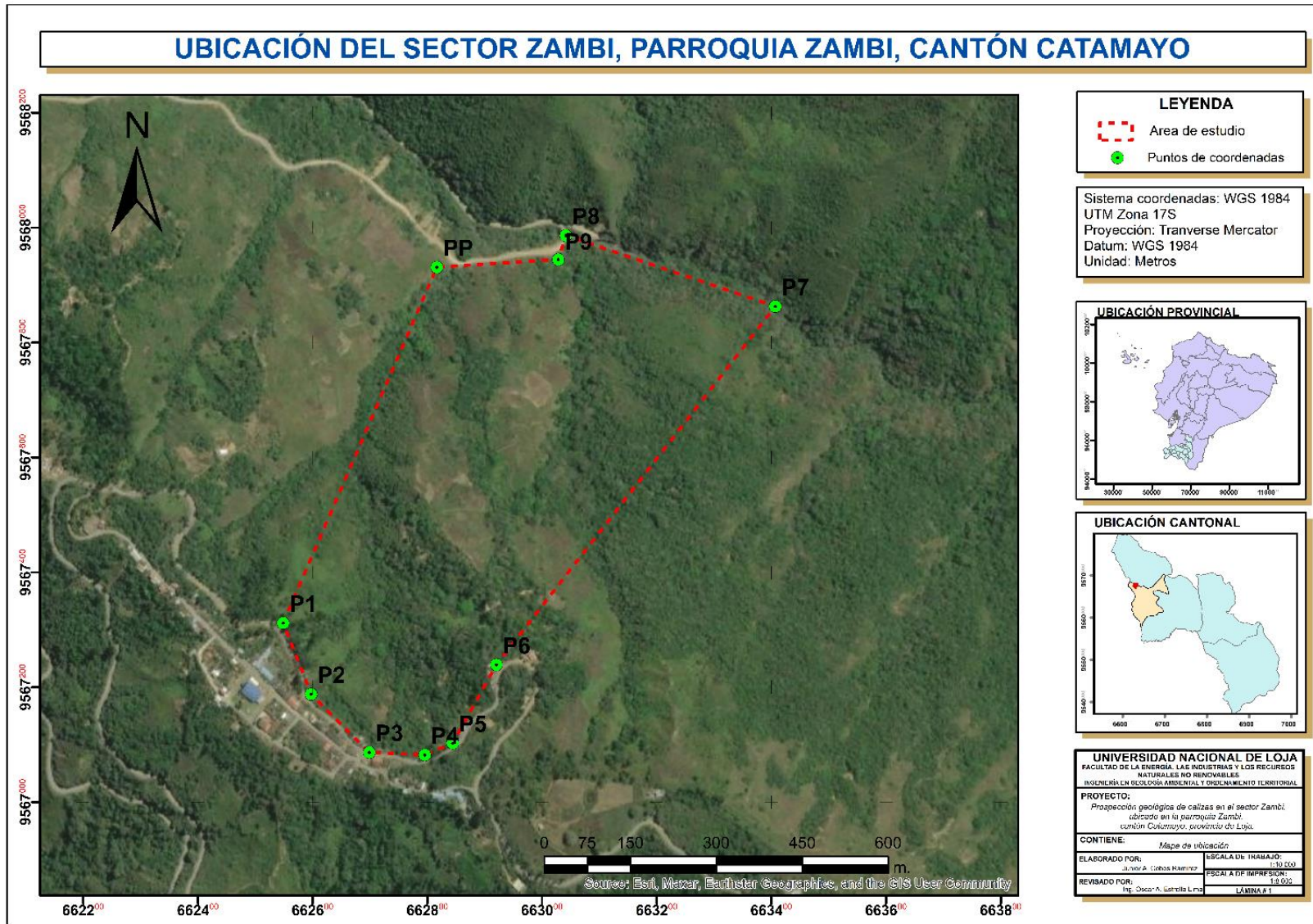


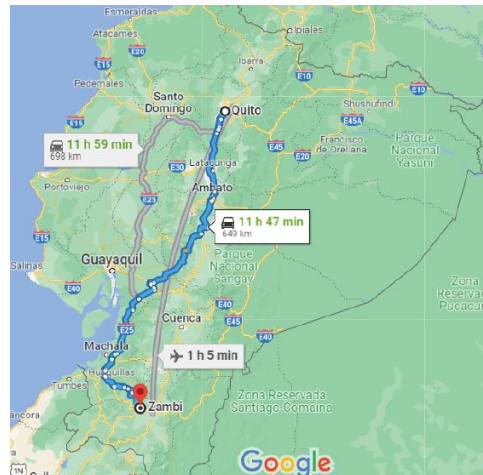
Figura 3. Ubicación del área de estudio.



## 6.1.2 Acceso

### 6.1.2.1 Vía Terrestre

El acceso al sitio de estudio se lo puede realizar desde la ciudad de Quito, durante un recorrido de 649 km a través de la carretera Panamericana Trocal de Sierra, hasta el sector las Chinchas, posteriormente se toma el desvío por la vía de primer orden Chinchas-Portovelo, teniendo como punto de llegada la parroquia Zambi. (Fig. 4)

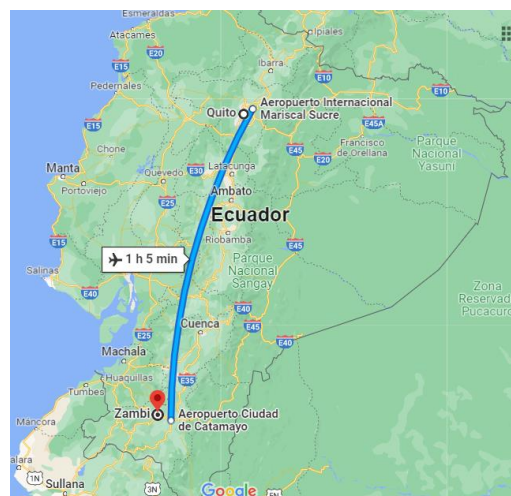


**Figura 4.** Acceso a la zona de estudio a través de vía terrestre.

**Nota.** Google Earth (2023)

### 6.1.2.2 Vía Aérea

Por vía aérea se lo realiza desde Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre ubicado en la capital de República del Ecuador, hacia el aeropuerto Ciudad de Catamayo, ubicado en el cantón Catamayo, en un tiempo aproximado de 1 h 5 minutos, a continuación, por medio terrestre se sigue las vías mencionadas anteriormente. (Fig. 5)



**Figura 5.** Acceso a la zona de estudio a través de vía aérea

**Nota.** Google Earth (2023)

### **6.1.3 Clima e hidrografía**

Según el Instituto Espacial Ecuatoriano, el clima de la parroquia Zambí es ecuatorial Semi Húmedo (1400 a 2800 msnm), y la temperatura promedio es de 15° a 22° C. Dentro de la parroquia específicamente no cuenta con estaciones meteorológicas que permitan una información de medidas continuas del grado de humedad de la zona. Además de ello, según la información de PDOT Catamayo 2019, en la parroquia se presenta de manera grave el factor sequía, que afecta principalmente a las actividades agrícolas y pecuarias, por la inexistencia de canales de riego.

En la parroquia las precipitaciones varían entre 1000 a 1500 mm/año, presentando marcadas variaciones en espacio y tiempo.

La red hidrográfica principal en la zona de estudio es la quebrada Inguna la cual se encuentra en dirección Este-Oeste, formada por quebradas secundarias, entre ellas la quebrada El Placer, San José, San Antonio y Tarupo.

### **6.1.4 Geología Regional**

El polígono de estudio se encuentra comprendido en la Hoja 38, denominada Carta Geológica Zaruma NVI-E, asentándose sobre dos unidades, a pesar de ello se detallarán las unidades cercanas que presentan relación con los materiales encontrados en campo:

**Unidad Tigre (Paleozoico).** Se extiende como un cinturón E-O en la zona centro-norte del área. Consiste en una secuencia sedimentaria que incluye arcosas, grauvacas, lutitas y limolitas incluyendo niveles de areniscas de grano fino, todas con bajo grado de metamorfismo, además de cuarcitas, pizarras, filitas y metagrauvacas verdosas, intercaladas entre sí. Las areniscas son cuarzosas con muscovita, están intercaladas con limolitas verdosas y filitas negras fuertemente fracturadas con vetillas de cuarzo.

El contacto entre las Unidades El Tigre y Guerras en el sector Orianga-Guerras-Los Amarillos es tectónico y está representado por la falla Orianga de rumbo variable, NE-SO en la zona suroccidental a E-O en la zona central. Criterios paleontológicos y correlación con rocas similares en el Perú, sugieren una edad de depositación correspondiente al Paleozoico.

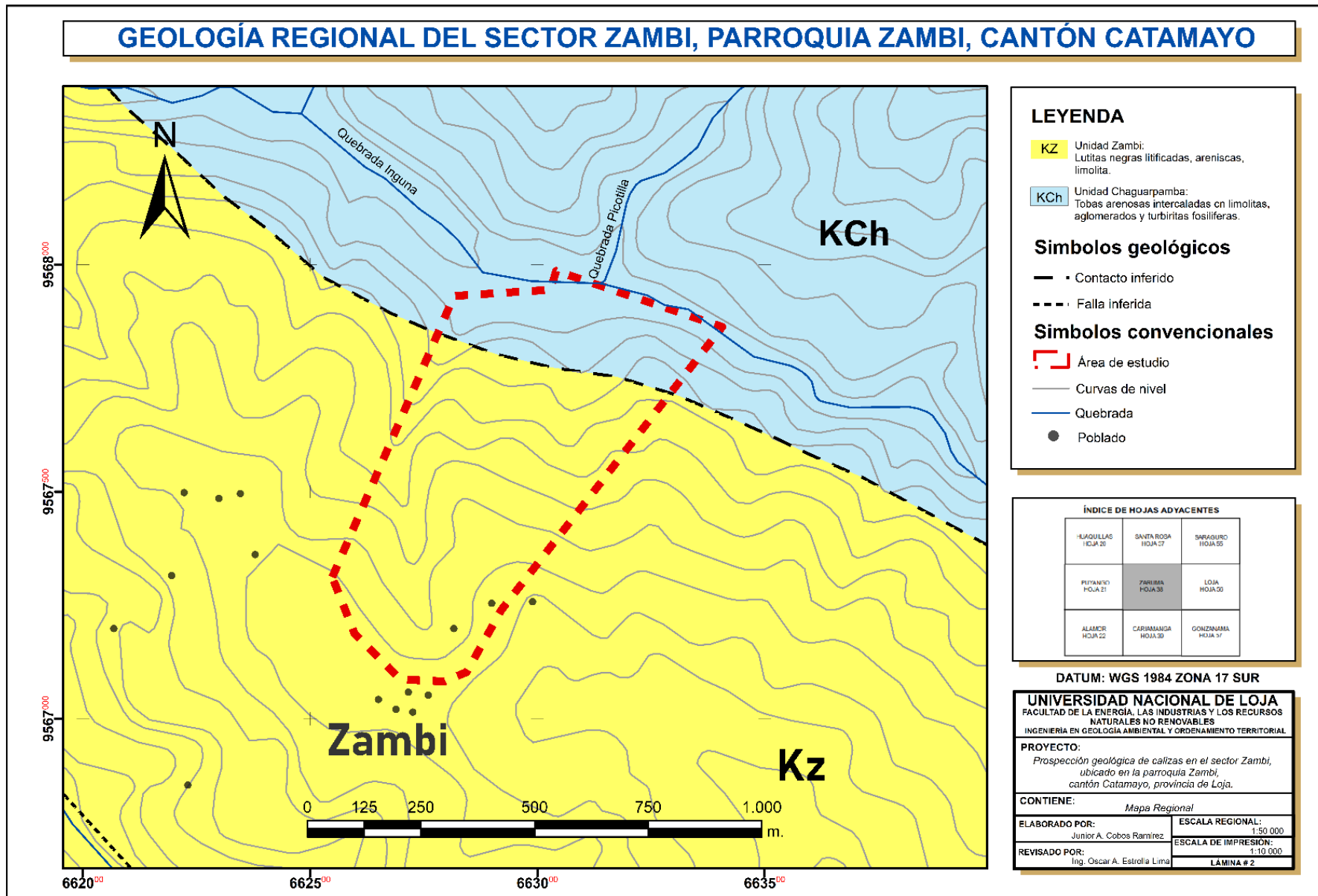
**Unidad Chaguarpamba (Cretácico).** En este estudio, se identifican dos cuerpos alargados de dirección E-O a NE-SO en la zona central e inferior derecha de la hoja geológica. Esta secuencia consiste en rocas de tonalidad verde, comúnmente

estratificadas, las cuales incluyen tobas arenosas, aglomerados finos y lentes subordinados de lutitas y limolitas. Estos materiales están mayormente compuestos por componentes de origen volcánico sedimentario.

Las lutitas y limolitas de tono gris y negro, se organizan en capas que van desde medidas métricas a decamétricas en comparación a las facies gruesas, constituyendo las facies marinas más profundas de la cuenca. Aunque no se establece una conexión definitiva con la Unidad Celica, se interpreta como discordante debido a la existencia de áreas de erosión en el este de Chaguarpamba que exponen rocas volcánico-clásticas de grano grueso. Además, el contacto con la Unidad Ciano es resultado de procesos tectónicos con presencia de franjas de rocas con diferentes grados de afectación por clivaje pizarroso y fracturación.

**Unidad Zambi (Cretácico).** Conformada por una faja que se extiende en dirección NO-SE. Está compuesta por filitas, pizarras y areniscas de tonalidad gris oscuras que han experimentado una deformación intensa. Las filitas y pizarras se encuentran dispuestas en capas laminadas, que contienen niveles afectados por un clivaje pizarroso pronunciado, granos de cuarzo con extinción ondulada y esporádica muscovita, en matriz con abundante mica de grano fino, arcilla, además de sílice y opacos como minerales secundarios. Las areniscas que varían desde de grano fino a grueso, aparecen en capas de varios centímetros. En su composición se encuentran fragmentos de fenocristales rotos de plagioclasa, granos de cuarzo y pequeños líticos de meta areniscas cuarzosas, en matriz pelítica, incluyendo sericita débilmente orientada, calcita y opacos como minerales secundarios. En el NE la secuencia sobreyace discordantemente a la Unidad Chaguarpamba, mientras al O el contacto con las Unidades Celica y Bramaderos es el resultado de procesos tectónicos.

**Formación Yunguilla (Cretácico).** Se restringe a la parte S y SE del área de estudio, formando un bloque tectónico en la región de Aguasillas y una laja tectónica al N de Yamana. La secuencia consiste de rocas sedimentarias turbidíticas, bien estratificadas, finogranulares, carbonatadas y muy deformadas. Las litologías incluyen areniscas calcáreas, limolitas y lutitas negras que ocurren en capas centimétricas con rumbo preferencial E-O buzando al N. Las rocas presentan fracturamiento astilloso localmente tienen el aspecto de pizarras. Los contactos con las Unidades Bramaderos, Loma Blanca y Rio Playas son tectónicos. (en Jaillard et al.,1999).



**Figura 6.** Mapa regional de la zona de estudio.

**Nota.** Carta geológica de Zaruma (2017). Adaptado por el autor (2023)

## 6.2 Materiales

Los materiales y equipos utilizados para cumplir a cabalidad el trabajo de campo y oficina se dividen en:

**Tabla 3.** Materiales utilizados para el desarrollo de la presente investigación.

---

<b><i>Materiales de campo</i></b>
<i>Levantamiento geológico</i>
Martillo geológico
Brújula Brunton
GPS
Lupa geológica
Ácido clorhídrico (10%)
Lápiz de dureza
Chaleco
Mochila
Botas
Traje impermeable
Sombrero
Cámara fotográfica
Cinta métrica
Fichas de campo
Lápices de color
Libreta de campo
Equipos de protección personal (EPP)
Fundas ziploc
Hoja geológica Zaruma escala 1:100 000 NVI-E 38, de 2017
Carta topográfica Chaguarpamba escala 1:50 000 NVI-E4,3682 – II,
<i>Levantamiento topográfico</i>
GPS diferencial
Drone Matrice 300
Equipo RTK
Estación total Trimble S3
<b><i>Materiales de oficina</i></b>
Computadora portátil
Software ArcGIS 10.5
Google Earth Pro,
Ground Station Software (UGCS)
EVA DifracPlus
Programas Office

---

---

***Materiales de laboratorio***

---

<i>Ensayo del picnómetro</i>	Picnómetro Balanza Embudo Espátula Cápsula metálica Agua destilada
<i>Ensayo de Fluorescencia de Rayos X</i>	Estufa de secado Pulverizador de anillos Retch Portaobjetos Pistola Brukker Turbo S1
<i>Ensayo de Difracción de Rayos X</i>	Estufa de secado Molino de discos Trituradora de mandíbulas Difractómetro marca, Brukker, modelo D8 ADVANCE Kitasato
<i>Ensayo de pureza de carbonatos</i>	Manguera Tapón de caucho Cuba de vidrio Probeta graduada Pera de succión Espátula Termómetro Pipeta graduada

---

**6.3 Procedimiento**

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizó el método inductivo deductivo, empezando por un reconocimiento geológico general, delimitando las calizas en el área de estudio. Para ello se realizó trabajo de campo, permitiendo obtener datos reales y estudiarlos tal como se presentan, aquello se logró con el muestreo, ensayos y análisis. La investigación se enmarca en tres niveles diferentes: explorativa, descriptiva y correlacional; permitiendo que la

recopilación de información sea analizada junto a sus componentes y detallando a través de porcentajes el grado de relación que exista entre dos o más muestras.

La población comprende la parroquia Zambí abarcando las formaciones geológicas, litológicas, afloramientos y calicatas; mientras que la muestra seleccionada para el análisis son las calizas que se encuentran ubicadas en un polígono del sector Zambí.

Los mapas que se presentan en el proyecto de investigación son ilustrativos, si se requiere los mapas a escala real, ver anexos.

### **6.3.1 Metodología para el cumplimiento del primer objetivo**

*“Desarrollar un levantamiento geológico a detalle direccionado a la delimitación de calizas”*

#### **6.3.1.1 Topografía**

Para el cumplimiento del primer objetivo se generó la base topográfica de la zona de estudio, encontrándose ubicada en la Carta Topográfica: Chaguarpamba Escala 1:50.000 NVI-E4,3682 – II; se realizó mediante levantamiento fotogramétrico por percepción remota, el cual consiste en la adquisición de fotografías aéreas de toda el área de estudio, para ello se utilizó un dron Matrice 300 RTK, siendo idóneo para moverse sobre áreas con pendientes muy pronunciadas y espacios reducidos. Esta técnica permite tomar características métricas y geométricas e identificar las distintas coberturas y usos del suelo.

Para el apoyo topográfico se colocó referencias en la superficie a fotografiar para la obtención de los puntos de apoyo con coordenadas GPS. Estos puntos sirvieron para transformar el modelo fotogramétrico en modelo del terreno. Los puntos de control en los levantamientos fotogramétricos con drones permitieron la correcta georreferenciación del proyecto tanto en posición horizontal como vertical.

En la zona de estudio se estableció una estación base, enlazando el equipo al sistema de referencia nacional, para lo cual se utilizó el servicio NTRIP del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM), cuyo punto de control geodésico fue CATAMAYO 28, ubicado sobre el bordillo en esquina sur del parque central de la población Zambí. En la figura 7 se muestra el equipo utilizado para establecer el punto base para medición diferencial ubicado en el sector Zambí.



**Figura 7.** Punto de control ubicado por el IGM en el 2017.

En este sitio se colocó el trípode y un equipo de radiofrecuencia el cual capturó la señal enviada por el Trimble R4.



**Figura 8.** Trípode y equipo de radiofrecuencia.

Como siguiente, mediante el equipo de radiofrecuencia Trimble R4, se tomó 6 puntos de apoyo terrestre dentro de la zona a levantar con la finalidad de mejorar la precisión del levantamiento, para ello la corrección del equipo debía ser fija con el objetivo de minimizar el error.





**Figura 9.** Puntos de apoyo para levantamiento fotogramétrico por percepción remota.

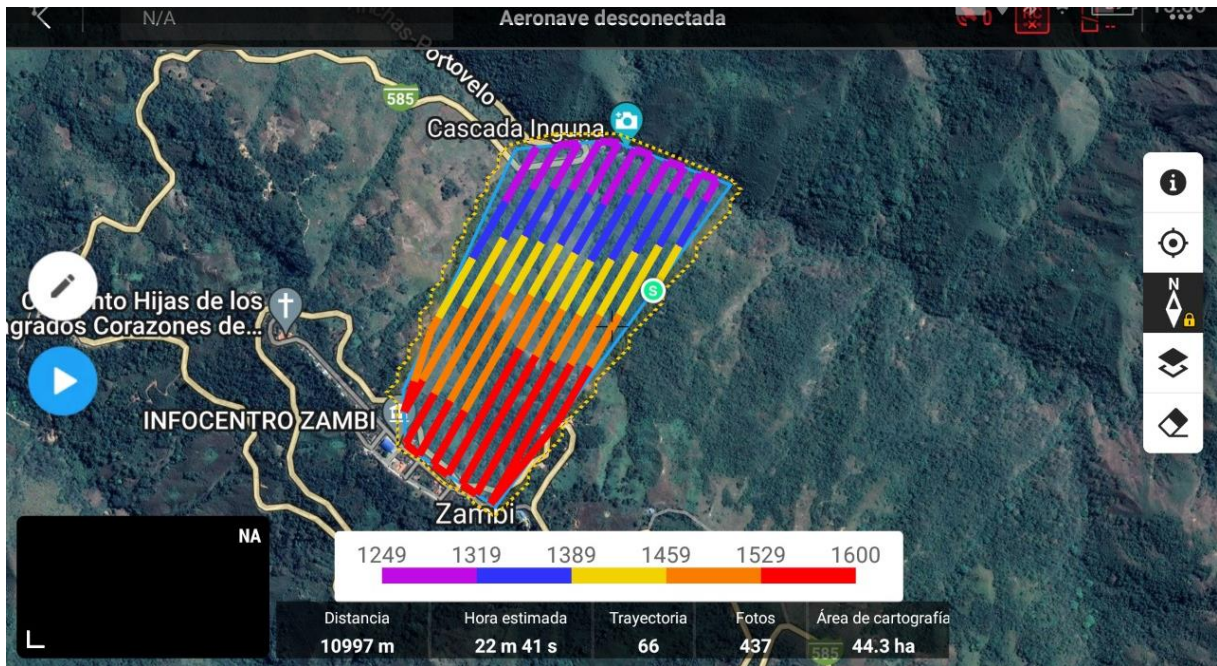
En la Tabla 4 se indica las coordenadas de los puntos tomados y la referencia de cada uno para facilitar la orientación.

**Tabla 4:** Puntos de control levantados en el área de estudio.

Nro.	Coordenadas UTM			Referencia
	X (m)	Y (m)	Z	
1	9567212.926	662498.863	1454.861	Poste
2	9567212.916	662498.852	1454.850	Poste de energía
3	9567187.124	662523.687	1456.482	Estaca
4	9567184.430	662580.412	1448.642	Estaca
5	9567094.129	662681.983	1457.294	Estaca
6	9567084.499	662732.494	1461.086	Estaca

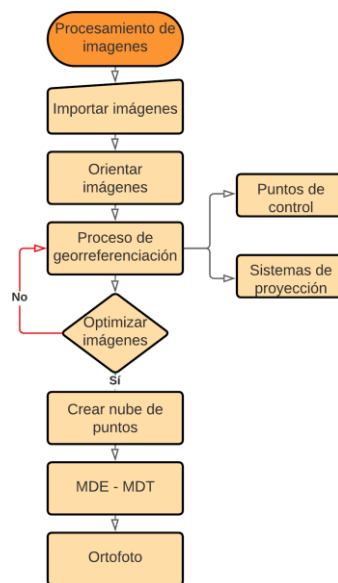
Para la ejecución del vuelo fotogramétrico se realizó una planificación a partir de una resolución fijada y teniendo en cuenta las características del equipo (Drone), determinando altura y velocidad del vuelo, así como tiempos de disparo y distancias entre pasadas para asegurar los recubrimientos fotográficos necesarios para su posterior tratamiento. De esta manera se obtuvo una distancia de 10997 metros, en un tiempo estimado de 22 minutos, siendo la extensión cartografiada de 44.3 hectáreas.

Para el presente estudio se utilizó el software de planificación de vuelos profesional “Ground Station Software (UGCS)”. En la figura 10 se observa la planificación de vuelo con una extensión de 44.3 Ha. correspondiente al polígono de interés, en el sector Zambi.



**Figura 10.** Planificación de vuelo mediante software Ground Station.  
**Nota:** Setia Group (2023)

A continuación, en la figura 11 se muestra el flujo de trabajo para el cumplimiento del desarrollo fotogramétrico mediante el software fotogramétrico Agisoft Metashape.



**Figura 11.** Procesamiento de imágenes para la obtención de curvas de nivel y ortofoto.

A partir de las 437 fotografías aéreas logradas con el drone y de los 6 puntos de control terrestre, se obtuvo un mosaico u ortofoto georreferenciado en el sistema de coordenadas WGS 84 UTM zona 17 sur.

Una vez obtenida la ortofoto (Fig. 12) se evidenció el acceso óptimo del área, así como los puntos en donde el muestreo presenta mayor facilidad. Se realizó un reconocimiento visual previo del terreno con la finalidad de seguir abarcar la totalidad del polígono de estudio. Las curvas de nivel obtenidas en el levantamiento fotogramétrico por percepción remota se encuentran a 1 m de distancia, presentando una superficie irregular en el área de estudio predominando las pendientes empinadas de  $35^{\circ}$ - $55^{\circ}$ , con el 71.04% del territorio es decir 281081,18 m<sup>2</sup> (28,11 Ha.), a continuación se ubican las pendientes verticales con un área de 100676,07 m<sup>2</sup> (10,07 Ha.), equivalente a 25.44%, seguidamente las pendientes muy inclinadas de  $15^{\circ}$ - $35^{\circ}$ , con una extensión de 13355,18 m<sup>2</sup> (1,34 Ha.) equivalente a 3.37%; luego las pendientes fuertemente inclinadas de  $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ , ocupan 577,44 m<sup>2</sup> (0,0578 Ha.) equivalente a 0.14%; y finalmente con menor extensión se encuentran las pendientes ligeramente inclinadas de  $0^{\circ}$ - $5^{\circ}$ , ocupando un área de 0,015 m<sup>2</sup> (0,000002 Ha.) equivalente a 0.000004%; además se evidencia que la cota menor tiene un valor de 1116 msnm, encontrándose como referencia la quebrada Inguna: y la cota mayor presenta un valor de 1471msnm. (Fig.13)

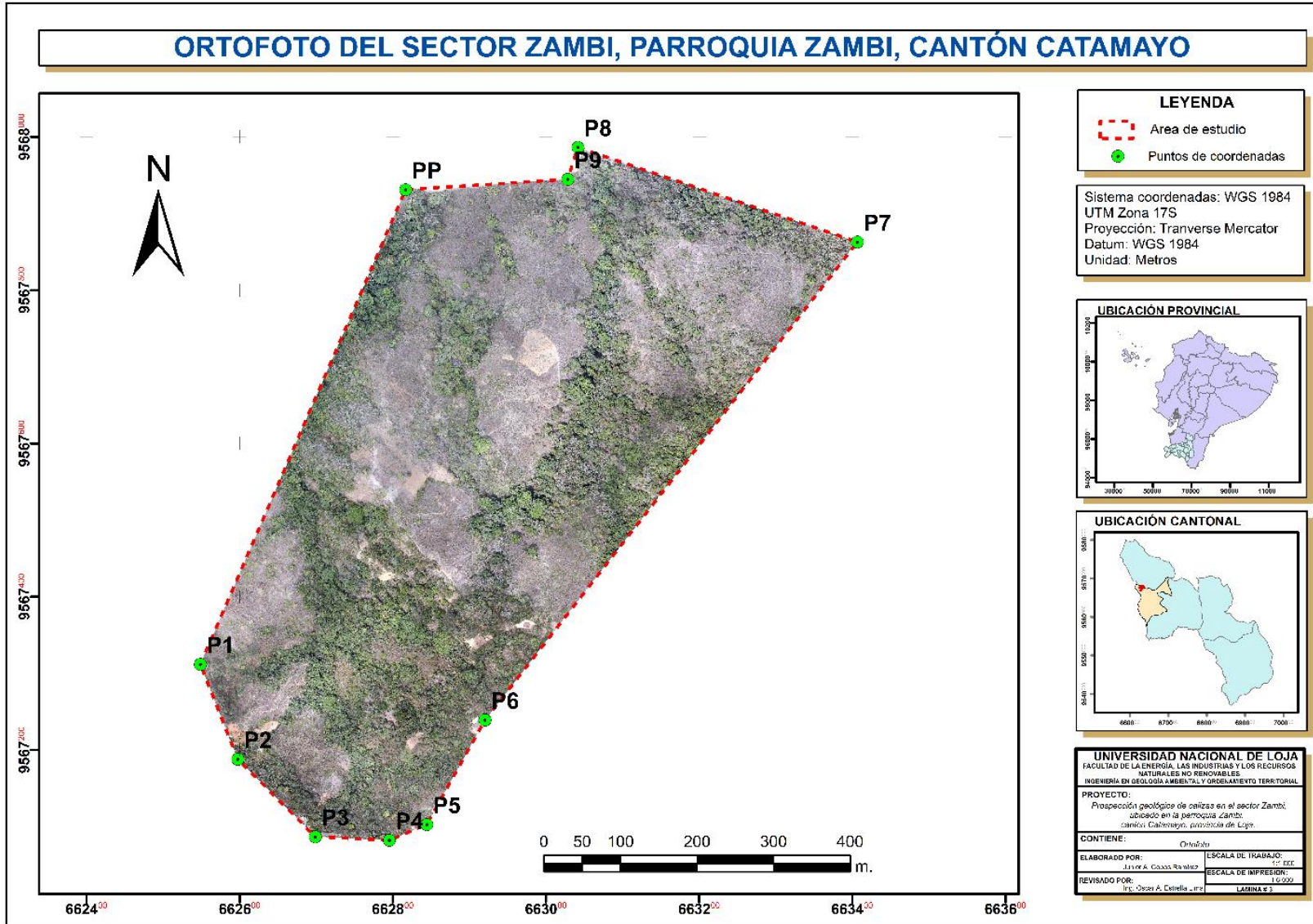
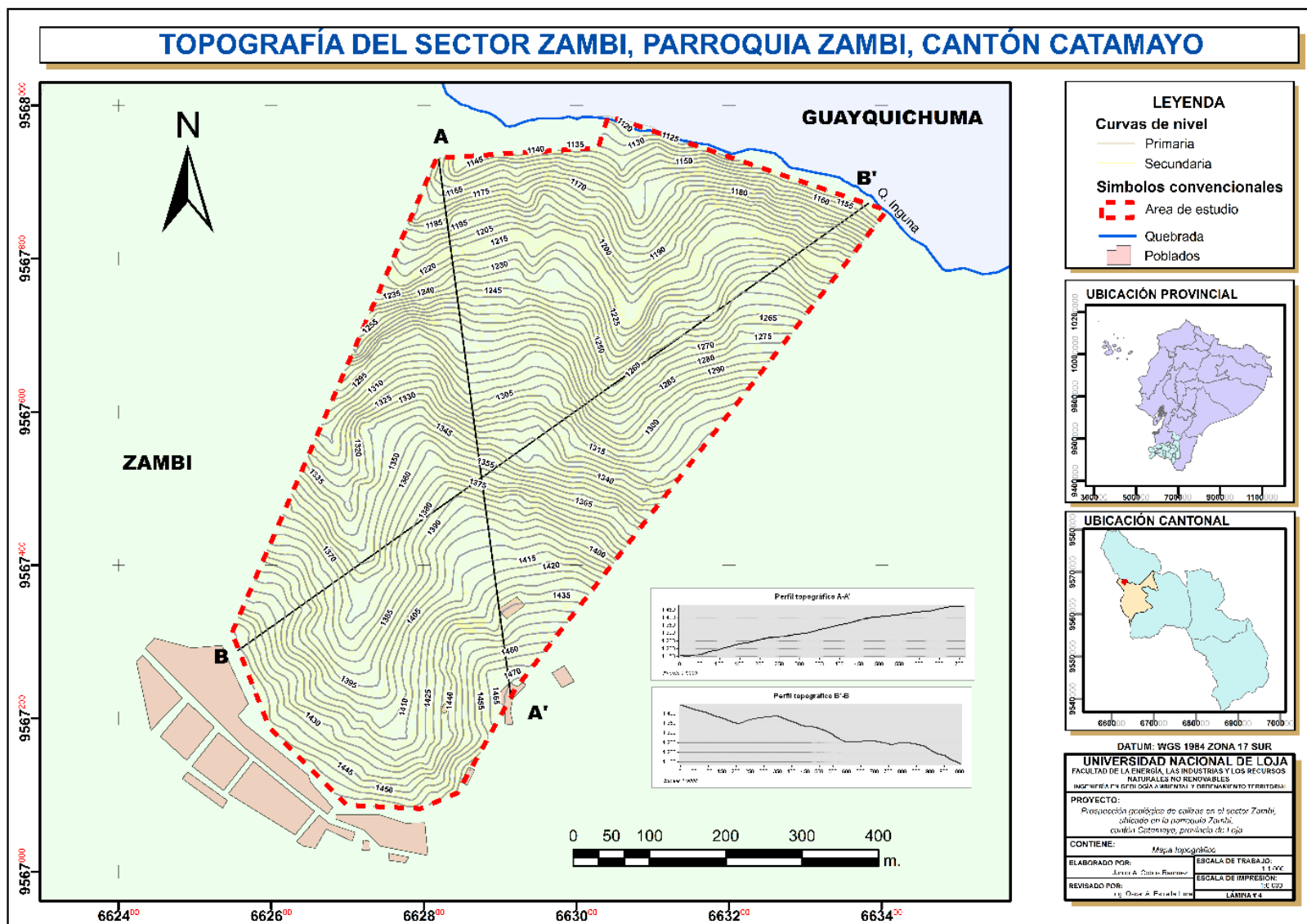


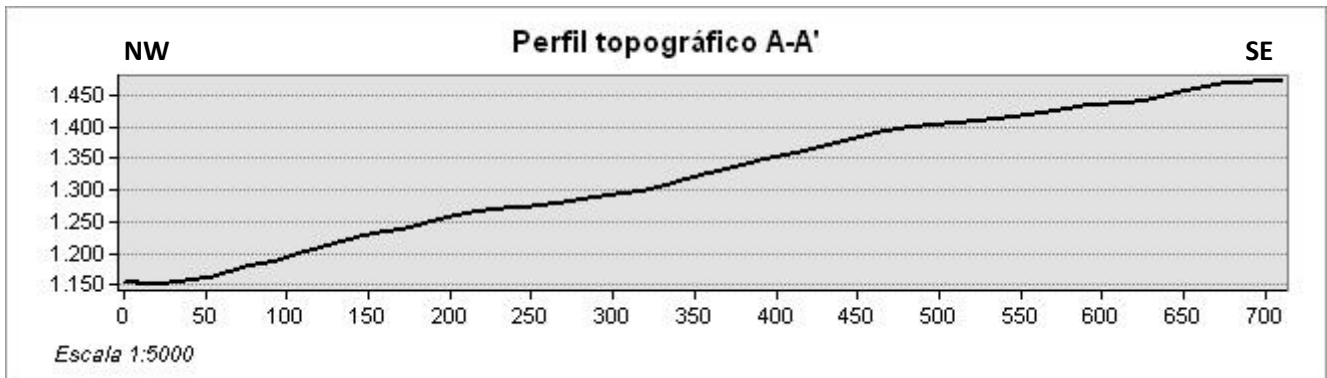
Figura 12. Ortofoto del área de estudio



**Figura 13.** Topografía del área de estudio, con curvas de nivel principales a 5 m. y curvas de nivel secundarias a 1m de distancia.

### 6.3.1.1 Perfil Topográfico A-A'

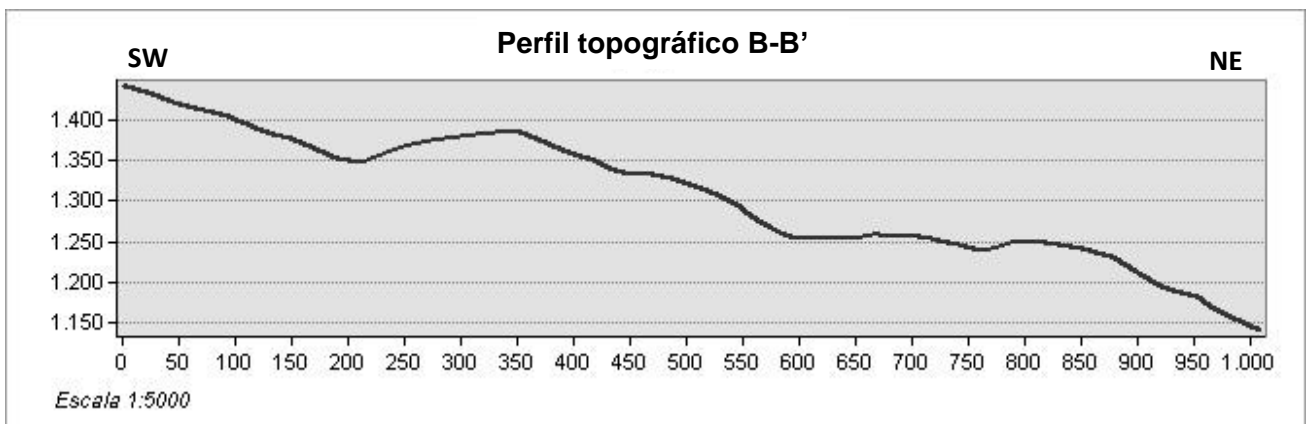
En la figura se representa el perfil topográfico A-A', con una dirección NW-SE, comprendiendo una longitud de 1011,57 m; siendo su cota mayor de 1441 msnm y la cota menor de 1140 msnm, con una diferencia entre alturas de 301 m.



**Figura 14.** Corte topográfico del punto A-A'

### 6.3.1.2 Perfil Topográfico B-B'

En la figura se representa el perfil topográfico B-B', con una dirección SW-NE, comprendiendo una longitud de 710,23 m; siendo su cota mayor de 1471 msnm y la cota menor de 1151 msnm, con una diferencia entre alturas de 320 m.

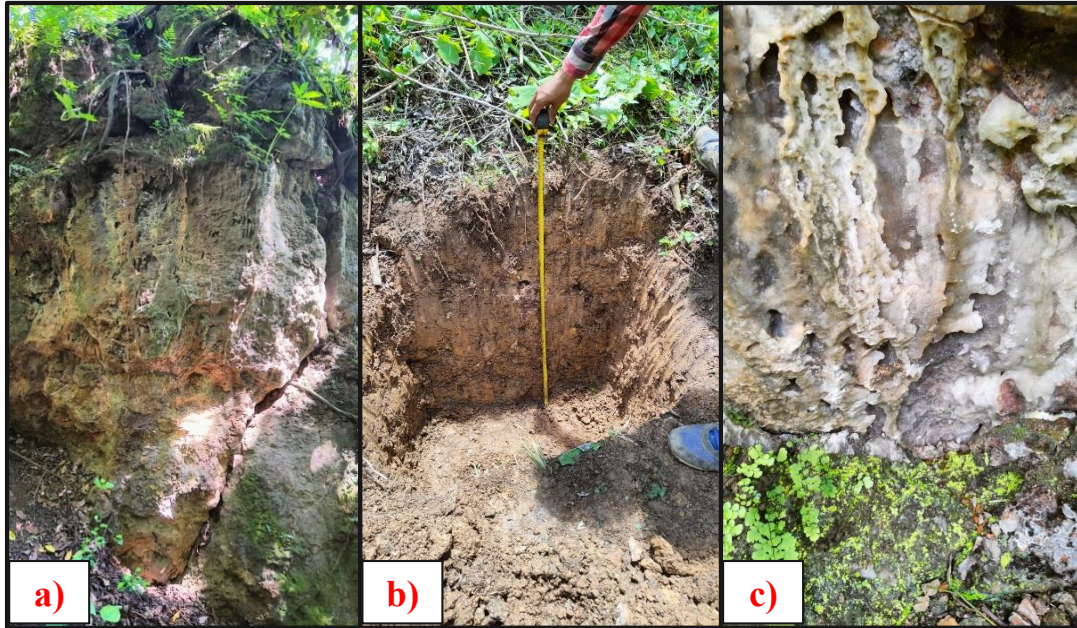


**Figura 15.** Corte topográfico del punto B-B.

### 6.3.1.3 Geología

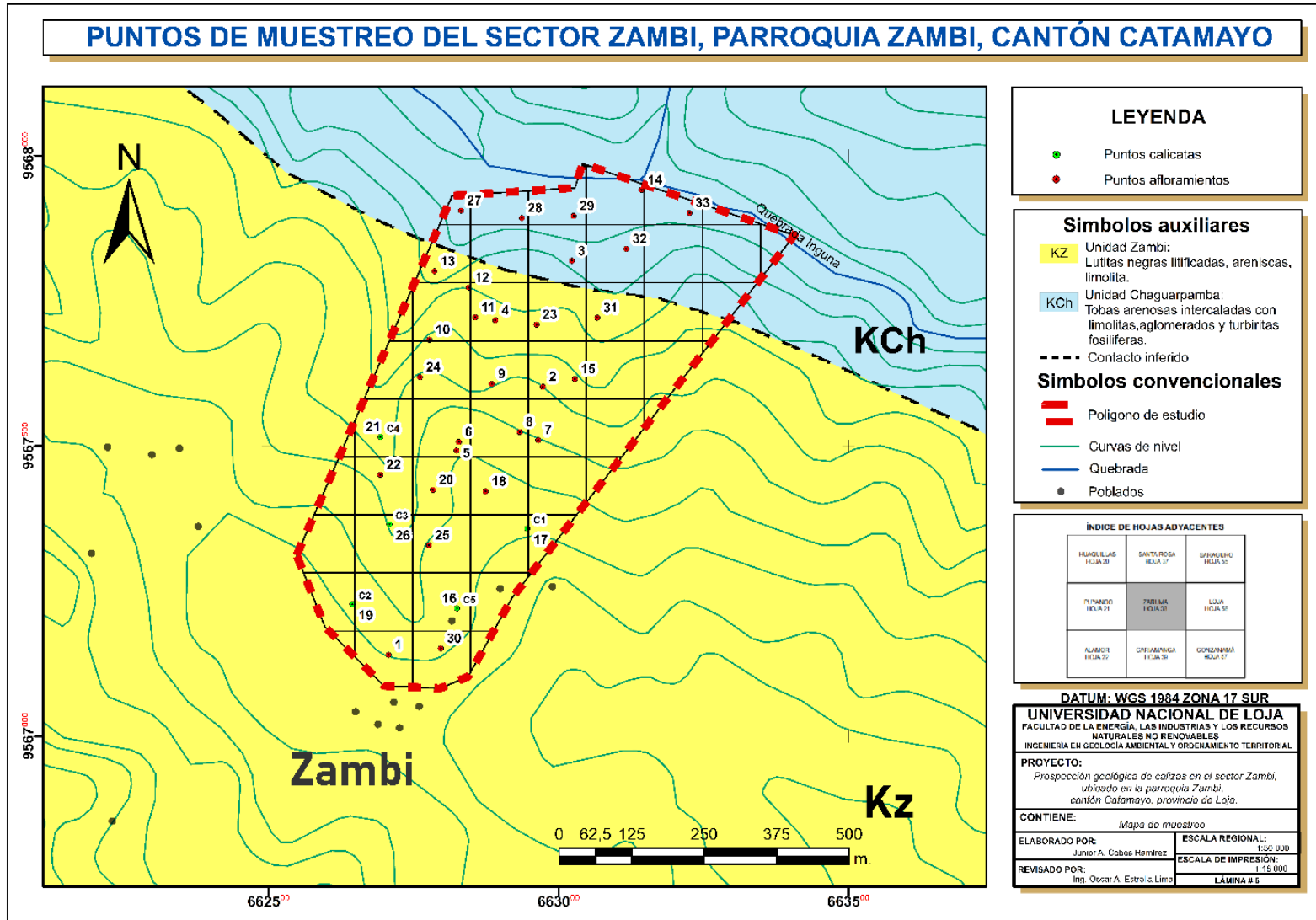
#### 6.3.1.3.1 Muestreo

En el primer paso de la fase campo se realizó el reconocimiento del polígono de estudio para seleccionar zonas a muestrear, en donde la información geológica se levantó mediante la descripción de rocas con ayuda de herramientas y fichas de campo.



**Figura 16.** La imagen a) muestra el afloramiento en su totalidad en donde la parte superficial de la roca se encuentra erosionada; en la imagen b) se observa una calicata de 1x1x1m; mientras que la imagen c) muestra la formación de calcita por escurrimiento.

Al contar con 40 Ha. de extensión, un terreno con pendientes irregulares y una distribución del mineral desconocida, se decidió aplicar un esquema de muestreo aleatorio sistemático propuesto por el *Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto (2006)*, con la finalidad que todas las muestras por sección tengan la misma probabilidad de ser escogidas. Para ello se elaboró una grilla de 56 polígonos de 100 m<sup>2</sup>, sobre el mapa geológico regional de Zaruma Hoja 38 del año 2017, en donde se colocó los puntos de muestreo. Se lo realizó en 33 puntos diferentes, 28 de ellos por medio de descripción de muestras o afloramientos y 5 calicatas; así mismo en sitios donde se observó indicios de mineralización de carbonatos se tomó muestras de roca representativa de cada punto.



**Figura 17.** Malla de muestreo en el polígono de estudio, en donde se señala mediante puntos color rojo y verde, las zonas en donde se obtuvo las muestras de roca.



Los pasos para realizar el muestreo fueron tomados de la Empresa Nacional Minera del Ecuador (ENAPI EP):

*Actividades previas.* - Antes de cualquier salida de campo es necesario contar con una buena base cartográfica para poder plotear los datos obtenidos en el terreno. Para ello se necesitó la Hoja geológica Zaruma escala 1:100 000 NVI-E 38 y Carta topográfica Chaguarpamba escala 1:50 000 NVI-E4,3682 - II.

*Actividades durante el muestreo de rocas.* -Una vez encontrado un afloramiento de interés, se realizó el posicionamiento del sitio mediante un navegador GPS, el cual debe estar configurado en el Datum WGS-84, zona 17 Sur.

La descripción de la litología presente se basó en el tipo de roca, minerales principales, contacto litológico, grado de alteración y estructuras geológicas; toda esta información se registró en fichas técnicas de afloramientos y fichas de calicatas.

**Tabla 5.** Ficha técnica de afloramientos

 		<b>FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS</b>	
Nro. de Afloramiento:			
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:		Datum:	
Cantón:		Coordenadas X:	
Parroquia:		Coordenadas Y:	
Barrio:		Altura (msnm):	
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:			
Unidad:			
Estado:			
Humedad:			
Estructura:			
Tipo de material:			
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:		
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			
REGISTRO FOTOGRÁFICO			

**Tabla 6:** Ficha técnica de calicatas

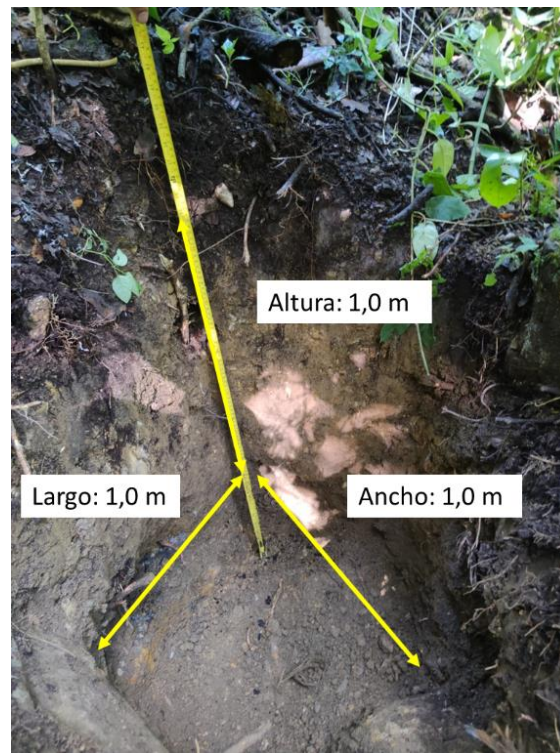
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b>		
<b>INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL</b>		
<b>DATOS</b>	<b>PROYECTO</b>	
	<b>UBICACIÓN</b>	
	<b>FECHA</b>	
	<b>NOMBRE DEL ESTUDIANTE</b>	
<b>COORDENADAS</b>		<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>X</b>		
<b>Y</b>		
<b>Z</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<b>NRO. CALICATA</b>		
<b>PROFUNDIDAD</b>		
<b>COBERTURA VEGETAL</b>		
<b>NIVEL FREÁTICO</b>		
<b>MATERIAL</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>		

La medición de estructuras o rasgos estructurales tales como estratificación, fallas, ejes de pliegues y fracturas principales, se desarrollaron con formato de inclinación del plano y o buzamiento; es así como registró en la libreta y posteriormente en la base de datos para finalmente plotear en el mapa geológico.

*Extracción de muestras tipo chips o por puntos.* – Este método consistió en la toma de muestras de 0.5 a 2 kg de peso del mineral con el objeto tener un conocimiento aproximado de sus características. Se emplea cuando se desea tener una idea de elementos que conforman la paragénesis, especialmente con fines mineralógicos. La extracción se efectuó tomando en consideración la metodología indicada en el protocolo de muestreo de rocas.

Para la toma de muestras se usó el martillo geológico, combo y cincel. Una vez obtenidos los fragmentos de roca, se realizó un cuarteo y se colocó en una funda plástica ziploc que previamente ha sido etiquetada con la identificación de la muestra. Finalmente se procedió a sellar y etiquetar la muestra ubicándola junto al sitio de muestreo, tomando al menos una fotografía para el registro de muestreo.

En los afloramientos se obtuvo las muestras de forma directa, se realizó la limpieza del mismo, retirando la cobertura vegetal, obteniendo una muestra poco alterada; así mismo en otros sectores de intereses se efectuó calicatas de 1x1x1 (m), para la recolección de la muestra.



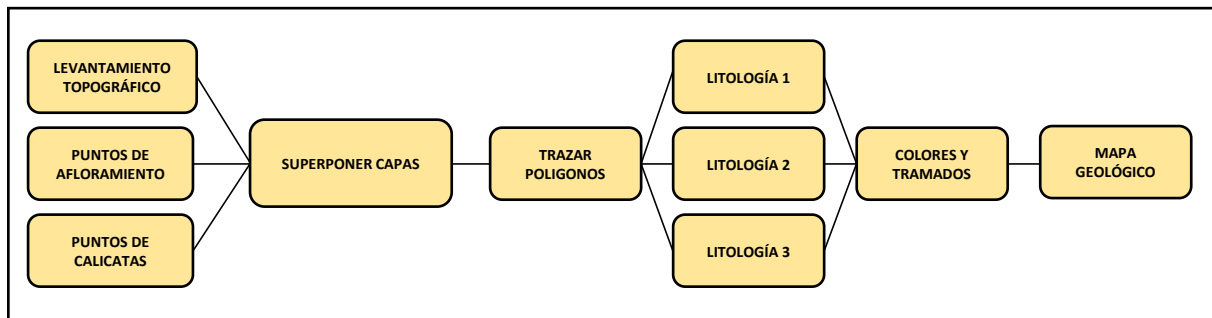
**Figura 18.** Calicata de 1x1x1m, realizada en el área de estudio

*Enfundado de las muestras.* - Con el propósito de prevenir cualquier modificación en la muestra, se empleó doble cubierta hermética.



**Figura 19.** Enfundado de muestras.

Una vez obtenida la información preliminar y de campo, se procedió a realizar el mapa geológico a escala 1:1 000 en formato A3. Además, se elaboró dos cortes geológicos: el perfil A'-A en dirección SE-NW Y el perfil B'-B en sentido SW-NE. Para ello se empleó el software ArcGIS 10.5 trabajando con la información topográfica y los puntos de muestreo de los afloramientos y calicatas, conseguidos con el GPS en un sistema de coordenadas UTM – WGS84.



**Figura 20.** Modelo a seguir para realizar el mapa geológico

### 6.3.2 Metodología para el cumplimiento del segundo objetivo

*“Determinar la calidad de las calizas mediante sus propiedades físicas y químicas en el sector Zambi.”*

En esta etapa de fase de laboratorio, se procedió a caracterizar las propiedades físicas y químicas de las calizas en el área de estudio mediante ensayos destructivos y no destructivos.

#### 6.3.2.1 Peso específico por medio del método del picnómetro

Se desarrolló el análisis del peso específico mediante el método del picnómetro, el mismo que fue realizado en el laboratorio de Química de la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja. El peso específico es la relación entre el peso de un volumen dado de material a cierta temperatura, al peso de un volumen igual de agua a esa misma temperatura, es así que es importante que la temperatura del frasco, líquido y del material se mantengan constante. El procedimiento a seguir fue el siguiente:

- a) El primer paso fue triturar las muestras mediante el porrón con la finalidad de disminuir su tamaño y convertirlas en sedimentos.



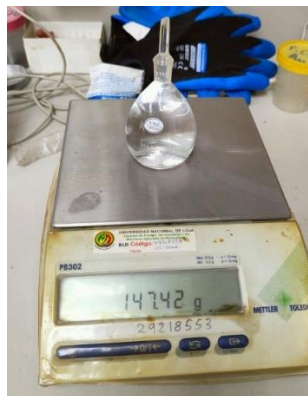
**Figura 21.** Trituración de muestras ensayar.

- b) Una vez pulverizada la muestra se colocó el tamiz # 40, #200 y base con la finalidad de obtener material muy fino.



**Figura 22.** Tamizado de muestras.

- c) Posteriormente se procedió a pesar el picnómetro vacío y el picnómetro añadiendo agua destilada. A este peso se lo conoce como  $W_{pw}$ .



**Figura 23.** Obtención del peso en gr. del picnómetro más agua destilada.

- d) Se retiró del picnómetro el 50% aproximadamente de agua destilada y se colocó la muestra pulverizada mediante un embudo.



**Figura 24.** Introducción de muestra pulverizada en el picnómetro.

- e) Una vez el material sedimentado, con ayuda de la bomba se vació se succionó los espacios vacíos que se crean entre el agua y sedimento.



**Figura 25.** Succión de vacíos mediante bomba.

- f) Finalmente se añadió agua destilada en su totalidad y se pesó el picnómetro + agua destilada + muestra en la balanza digital obteniendo el resultado final ( $P_e$ ) con lo cual se completó el ensayo. Todos estos datos fueron procesados en una tabla Excel para la obtención del resultado requerido.



**Figura 26.** Picnómetro con muestra pulverizada y agua al 100%.

### 6.3.2.2 Cálculo del peso aparente y porosidad, por el método de absorción

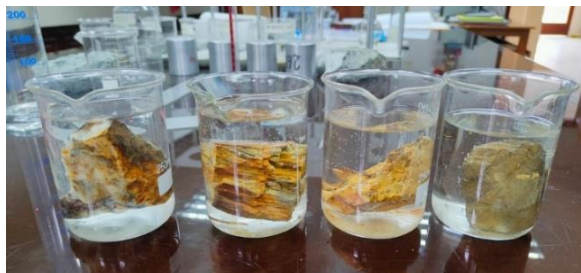
La absorción de agua de la roca por capilaridad se cuantificó con el coeficiente de absorción capilar. La medida de este coeficiente es sencilla, para ello se midió en una balanza la masa de agua absorbida, en función del tiempo. El procedimiento experimental consistió en:

a) Mediante la balanza analítica se pesó las muestras en su estado natural.



**Figura 27.** Peso de muestras en estado natural.

b) En vasos de precipitación se colocó las muestras a ensayar sumergiéndolas en agua destilada.



**Figura 28.** Muestras sumergidas en vasos de precipitación con agua destilada.

c) Se tomó el peso de la muestra sumergida en agua destilada.



**Figura 29.** Peso de la muestra saturada.

- d) Se colocó la balanza analítica sobre una base de madera y en su parte inferior se amarró un hilo nylon. Seguidamente se apoyó la muestra sobre el hilo nylon y se sumergió en el vaso de precipitación con agua destilada.



**Figura 30.** Peso de la muestra sumergida.

- e) Mediante fórmulas se obtuvo los resultados deseados, en donde se calculó del peso aparente:

$$Pa = \frac{W_{seco}}{W_{saturado} - W_{sumergido}} \times Pw$$

Donde:

W seco: Peso seco de la muestra luego de haber pasado el horno

W saturado: Peso saturado

W sumergido: Peso sumergido

Pw: Peso específico del agua considerando una temperatura de 18°C

- f) Para el cálculo de la porosidad se utilizó la siguiente expresión:

$$n = \left( 1 - \frac{Pa}{Pr} \right) \times 100$$

- g) Finalmente se comparó los resultados obtenidos en relación a la tabla de “Valores típicos del peso específico y porosidad de las rocas” propuesta en el Libro de Ingeniería Geológica por Luis González de Vallejo en el año 2002.



**Tabla 7.** Valores típicos del peso específico y porosidad de las rocas.

Valores típicos del peso específico y porosidad de las rocas		
Roca	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
Andesita	2,2-2,35	10,0-15
Anfibolita	2,9-3,0	-
Arenisca	2,3-2,6	5-25 (16,0)
Basalto	2,7-2,9	0,1-2
Caliza	2,3-2,6	5-20 (11,0)
Carbón	1,0-2,0	10
Cuarcita	2,6-2,7	0,1-0,5
Diorita	2,7-2,85	-
Dolomía	2,5-2,6	0,5-10
Esquisto	2,5-2,8	3
Granito	2,6-2,7	0,5-1,5 (0,9)
Mármol	2,6-2,8	0,3-2 (0,6)
Lutita	2,2-2,6	2,0-15
Pizarra	2,5-2,7	0,1-1
Riolita	2,4-2,6	4,0-6
Sal	2,1-2,2	5
Toba	1,9-2,3	14-40
Yeso	2,3	5

**Nota.** Vallejo (2002). Adaptado por el autor (2023)

### 6.3.2.3 Fluorescencia de rayos X

Para determinar la composición química de las rocas carbonatadas, se acudió al Laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Universidad Técnica Particular de Loja; donde se realizó el ensayo de Florescencia de Rayos X utilizando el método Mining Light Elements con ayuda del equipo Pistola Brukker Turbo S1. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Secado de las muestras. - Las muestras de roca extraídas fueron llevadas a un horno de secado y puestas a secar a una temperatura constante de 105 °C durante un tiempo de 2 horas.
- Trituración de las muestras. - Posteriormente fueron colocadas en el triturador de mandíbulas reduciendo a un diámetro máximo de 10mm.
- Cuarteo de las muestras. - La muestra triturada se ubicó en una lona y se cuarteó utilizando el método del roleo para finalmente tomar una muestra representativa de 100 gramos.
- Pulverización de las muestras. - Las muestras fueron pulverizadas a una velocidad de 750 rev/min mediante el pulverizador de anillos Retch.

e) Fluorescencia de Rayos X.- Una vez preparadas las muestras, se procedió con la Pistola Bruker Turbo S1 para determinar su composición química mediante el método de Mining Light Elements con lo cual se obtuvo la composición química de las muestras, los valores obtenidos se muestran en los resultados.



**Figura 31.** Pistola Bruker Turbo S1.

f) Una vez realizado el ensayo de fluorescencia de rayos X se ubicó los valores obtenidos en la siguiente tabla:

**Tabla 8.** Porcentajes de óxidos obtenidos en FRX por muestra.

<b>Muestra</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<b>S (%)</b>	<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	<b>CaO (%)</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>
<b>1</b>							
<b>2</b>							
<b>3</b>							

**Nota.** UTPL (2023)

#### **6.3.2.4 Difracción de rayos X**

Debido a que la identificación completa de los minerales resulta imposible por medio de un solo ensayo, se procedió a realizar el ensayo de difracción de rayos X, permitiendo determinar cuantitativamente las formas cristalinas de los minerales, su porcentaje de concentración en una muestra y su calidad. Para ello primeramente se prepararon las muestras y posterior fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja para realizar el ensayo correspondiente.

Con esta técnica, fue posible identificar los minerales por su estructura cristalina y evaluar la proporción de cada elemento dentro de la muestra.

El equipo encargado de realizar este ensayo es conocido como difractor, donde se pueden utilizar muestras sólidas y muestras preparadas mediante molienda, las mismas que poseerán un tamaño de 53 micras. Estas muestras pulverizadas son ubicadas en el porta muestras y se procede a colocar en el equipo. La metodología utilizada por la Universidad Técnica Particular de Loja para realizar este ensayo es el siguiente:

- a) Trituración y pulverización de las muestras mediante un molino de discos y trituradora de mandíbulas marca Retsch.



**Figura 32.** Molino de discos y trituradora de mandíbulas

- b) Se colocó en un recipiente 30 gr de material y posteriormente se procedió a ubicar en el equipo de DRX marca, Bruker, modelo D8 ADVANCE



**Figura 33.** Equipo DRX, marca Bruker D8 Advance

- c) Se examinó los difractogramas obtenidos mediante el software EVA DifracPlus para la identificación de los minerales presentes en las distintas muestras y para la cuantificación de los mismos se utilizó el Software Topas.

d) Una vez realizado el ensayo de difracción de rayos X se ubicó los valores obtenidos en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Resultados de DRX

<b>Muestra</b>	<b>Fases Minerales</b>	<b>Semicuantificación (%)</b>
<b>1</b>	_____	_____
	_____	_____
	_____	_____
<b>2</b>	_____	_____
	_____	_____
	_____	_____
<b>3</b>	_____	_____
	_____	_____
	_____	_____

**Nota.** UTPL (2023)

### **6.3.2.5 Ensayo de pureza de carbonatos**

El ensayo consistió en determinar la pureza de carbonato de calcio en la roca, por medio de una reacción entre el HCl y la caliza; se procedió por volumetría a conocer medidas de temperatura, volumen, presión y altura, para luego realizar los cálculos correspondientes y obtener como resultado la concentración de  $\text{CaCO}_3$  en la muestra.

El procedimiento a seguir para conocer la pureza del carbonato de calcio en las muestras de interés, planteado por el Laboratorio de Química de la Universidad Técnica de Loja comprendió lo siguiente:

- Se llenó la probeta y la cuba con agua.
- Se colocó la probeta boca abajo en la cuba de agua sin dejar que el agua se derrame.



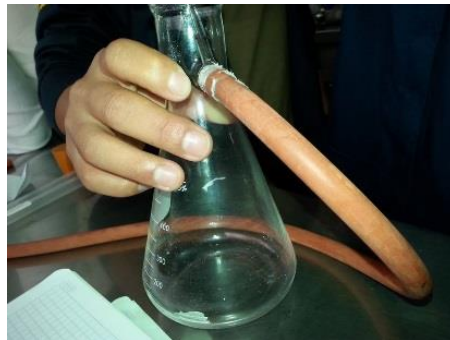
**Figura 34.** Colocación de probeta en la cuba.

- c) Con ayuda de un termómetro se obtuvo la temperatura del agua.
- d) Se pesó la cantidad de muestra necesaria a ensayar.



**Figura 35.** Peso de la muestra pulverizada.

- e) Posteriormente se colocó la muestra en el kitasato y se agregó 1ml de HCl teniendo cuidado que la muestra y el ácido clorhídrico aun no tengan contacto.



**Figura 36.** Kitasato con ácido clorhídrico.

- f) Un extremo de la manguera se colocó dentro de la probeta y dejamos que reaccionen la muestra con el HCl.



**Figura 37.** Reacción de la muestra con el ácido clorhídrico.

- g) Con ayuda de una regla se midió el desplazamiento del agua al entrar el gas en la probeta.



**Figura 38.** Desplazamiento del agua en la probeta.

- h) Mediante fórmulas de estequiometría se realizó los cálculos correspondientes para obtener el porcentaje pureza de carbonato de calcio en la roca.

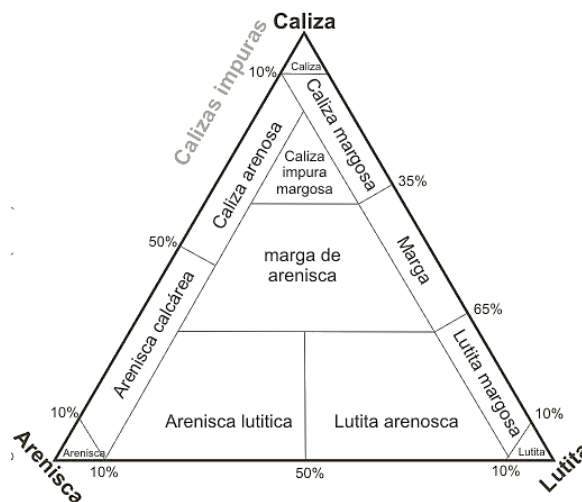
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

- i) Finalmente se elaboró en el software Excel tablas detalladas sobre información de los resultados.

### 6.3.1 Metodología para el cumplimiento del tercer objetivo

“Analizar el uso industrial de las calizas según su concentración de carbonato de calcio en el área de estudio”

En esta etapa se nombró la roca según su composición química y mineralógica, teniendo como referencia la clasificación simplificada de Correns (1967), en donde según porcentajes de concentración mineral, propone una catalogación.



**Figura 39.** Triángulo de nomenclatura Caliza-arenisca-lutita  
**Nota.** Correns (1967)

Posteriormente con los resultados obtenidos, se estableció un valor de concentración de las calizas según el contenido de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), basado en tablas de clasificación creadas por el Grupo de Petrología y Mineralogía del Servicio Geológico Británico en 1988, donde se comparó, la calidad obtenida con la calidad que utilizan diferentes industrias para la elaboración de materias primas según los resultados obtenidos en el ensayo de pureza de carbonatos.

**Tabla 10.** Clasificación química de las calizas.

<b>Categoría</b>	<b>Porcentaje de <math>\text{CaCO}_3</math> (%)</b>
Muy alta pureza	> 98.5
Alta pureza	97.0 – 98.5
Media pureza	93.5 – 97.0
Baja pureza	85.0 – 93.5
Impureza	< 85

**Nota.** Grupo de Petrología y Mineralogía del Servicio Geológico Británico (1988).

Para clasificar la roca obtenida en cal aérea, cal hidráulica o cemento portland se necesitó calcular el índice hidráulico y se categorizó según el resultado obtenido.

$$\text{Índice hidráulico} = \frac{\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}{\%CaO + \%MgO}$$

**Tabla 11.** Clasificación de las cales según el índice de hidraulicidad.

	<b>Índice hidráulico</b>
<b>Cales aéreas</b>	0,00 a 0.10
<b>Cales hidráulicas</b>	0,10 a 0,50
<b>Cemento Portland</b>	> 0,50

**Nota.** (Vázquez et al. 1993).

Finalmente se obtuvo el uso industrial de la caliza según la concentración mineral que se presenta en el polígono de estudio; posterior a ello se procedió a la redacción final del informe.

## 7. Resultados

### 7.1 Resultados para el primer objetivo

#### 7.1.1 Geología Local

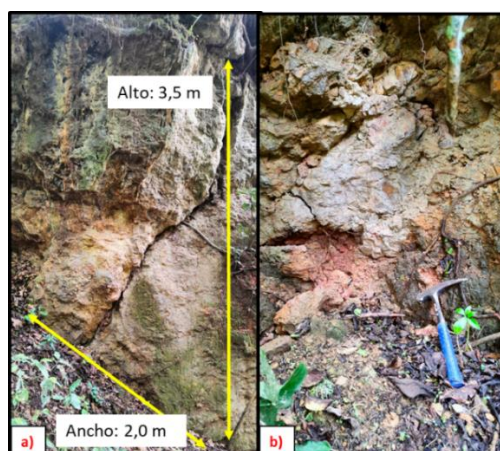
Relacionando las muestras obtenidas con la geología regional que se asienta sobre el sector, existen ciertas similitudes con la Unidad Chaguarpamba, mientras que la Unidad Zambino no presenta relación alguna con las rocas encontradas en el sitio; en este caso se hará referencia a la Unidad Yunguilla debido a sus similitudes. Aunque en algunos sitios la roca se encuentra en proceso de diagénesis, litificación y compactación, se evidencia rocas ya consolidadas como lutitas que fueron identificadas mediante la lupa geológica y el ácido clorhídrico, todas aquellas presentan grandes cantidades de calcita.

Además, se evidenció rocas metamórficas, las cuales fueron relacionadas con la Unidad Tigre, que a pesar de no encontrarse dentro de la geología regional del polígono de estudio, se evidencia similitudes con la unidad mencionada.

A continuación, se describe los afloramientos más representativos levantados en el área de estudio, teniendo como base la Carta geológica de Zaruma NVI-E 38 (2017):

#### *Afloramiento 1*

La muestra Nro.1 obtenida en las coordenadas X: 663028; Y: 9567615 y Z:1438 msnm, perteneciente la Unidad Yunguilla, se encuentra un afloramiento calcáreo, el cual se encuentra poco alterado y con un bajo grado de meteorización, la estructura está dispuesta en forma masiva, con un tamaño de grano de fino a muy fino. Se evidencia disolución de calcita en la parte superficial del afloramiento, dando origen a estalactitas.



**Figura 40.** La imagen a) muestra el afloramiento en su totalidad en donde la parte superficial de la roca se encuentra erosionada; mientras que en la imagen b) se observa parte del afloramiento con una capa de calcita la cual se ha originado por escurrimiento.



#### ***Afloramiento 4***

La muestra Nro.4 obtenida en las coordenadas X: 663019 m; Y: 9567830 m y Z:1200 msnm, perteneciente según la geología regional a la Unidad Chaguarpamba, se encuentra un afloramiento de lutita, el cual se encuentra muy alterado y con un grado de meteorización media, la estructura está dispuesta en forma laminar, con un tamaño de grano de fino a muy fino.



**Figura 41.** Muestra de lutitas con una superficie erosionada por la cobertura vegetal.

#### ***Afloramiento 6***

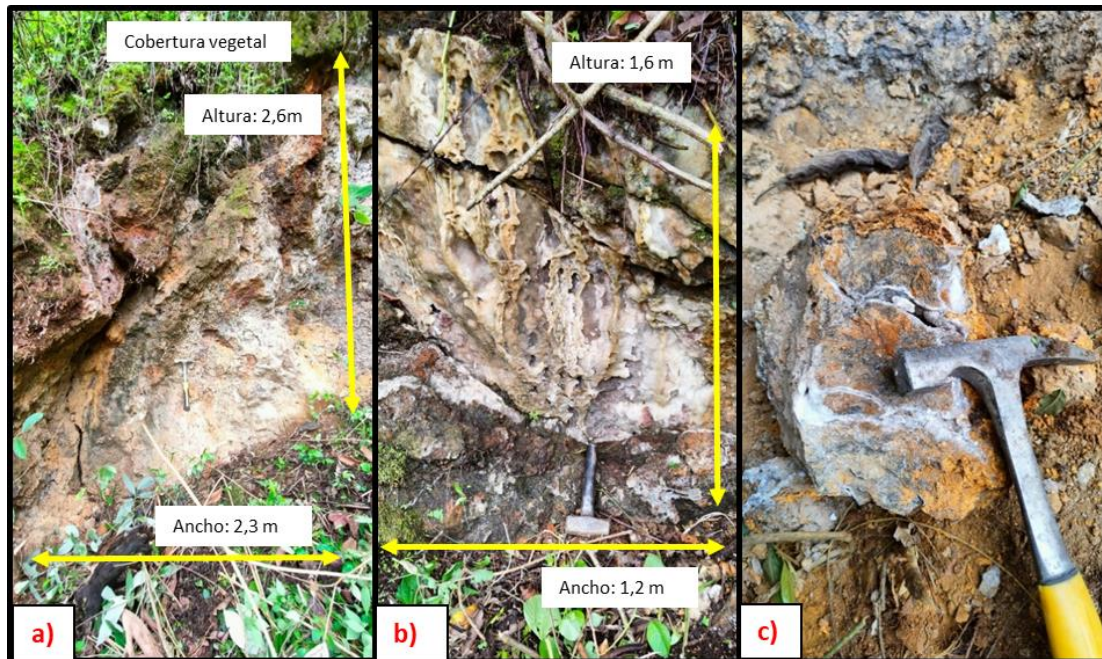
La muestra Nro.6 obtenida en las coordenadas X: 662828 m; Y: 9567507 m y Z:1378 msnm, perteneciente Unidad Chaguarpamba, se encuentra un afloramiento de lutita, su alteración y grado de meteorización es bajo, la estructura está dispuesta en forma laminar, con un tamaño de grano de fino a muy fino. Sus elementos de yacencia indican un rumbo de 175 y buzamiento de 55 SW.



**Figura 42.** Estratos de lutita con fuerte buzamiento.

### ***Afloramiento 8***

La muestra Nro.8 ubicada en las coordenadas X: 662933 m; Y: 9567524 m y Z:1337 msnm, se encuentra un afloramiento de caliza, en donde evidencia alteración física con un grado de meteorización media, la estructura está dispuesta en forma masiva, con un tamaño de grano de fino a muy fino. En este punto de muestreo se presenta anomalías, en las que se identifica grandes cantidades de calcita entre las fracturas que presenta la roca de caja, está dispuesta en forma masiva y cristalina; así mismo se evidencia el inicio de formación de estalactitas.



**Figura 43.** La figura a), muestra el afloramiento natural, en donde se evidencia presencia de limolita y vetillas de calcita masiva y cristalizada. En la figura b) se evidencia formación de estalactitas, debido al escurrimiento de agua con alta presencia de carbonato de calcio. La figura c) es una muestra de caliza, con grado de meteorización medio y vetillas de calcita.

### ***Afloramiento 12***

La muestra Nro.12 obtenida en las coordenadas X: 662786 m; Y: 9567801 m y Z:1197 msnm, perteneciente según la geología regional a la Unidad Chaguarpamba, se encuentra un afloramiento de lutita, el cual se encuentra muy alterado y con un grado de meteorización media, la estructura está dispuesta en forma laminar, con un tamaño de grano de fino a muy fino, sin reacción al ácido clorhídrico.



**Figura 44.** La figura a) muestra un afloramiento de lutita con grado de alteración media y la figura b) indica una fracción de roca del mismo punto de muestreo

#### ***Afloramiento 14***

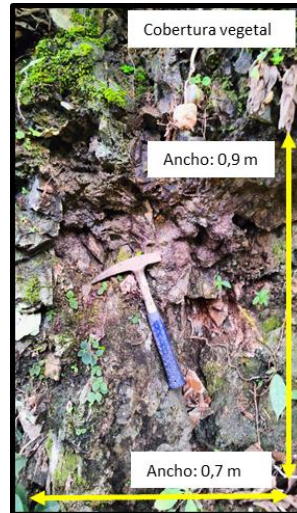
La muestra Nro.14 ubicada en las coordenadas X: 663162 m; Y: 9567955 m y Z:1111 msnm, se encuentra un afloramiento metamórfico, relacionado con la Unidad Tigre en donde se evidencia alteración física con un grado de meteorización alta, la estructura está dispuesta en forma masiva, con un tamaño de grano de fino a muy fino. La muestra es considerada una cuarcita y contiene vetillas de cuarzo.



**Figura 45.** La figura a) indica el afloramiento de forma natural, con un grado de meteorización medio y en la figura b) se evidencia una muestra de roca metamórfica tomada en el mismo punto de muestreo, cerca de la rivera de la quebrada Inguna.

### ***Afloramiento 21***

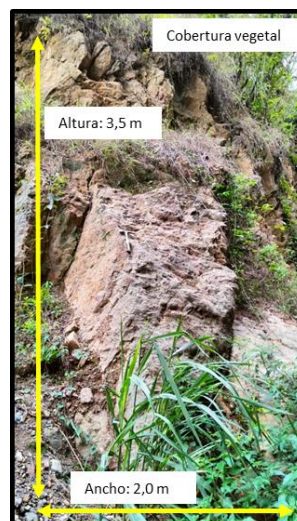
La muestra Nro.21 obtenida en las coordenadas X: 662693 m; Y: 9567515 m y Z:1322 msnm, perteneciente Unidad Yunguilla, se encuentra un afloramiento de caliza, su alteración y grado de meteorización es medio, la estructura está dispuesta en forma laminar, con un tamaño de grano de fino a muy fino. La muestra obtenida presenta vetillas de calcita.



**Figura 46.** Afloramiento de caliza con presencia de varias fracturas en donde hay filtración de agua.

### ***Afloramiento 27***

La muestra Nro.27 obtenida en las coordenadas X: 662831 m; Y: 9567905 m y Z:1150 msnm, en donde se encuentran características muy similares a la Unidad Tigre; se evidencia un afloramiento rocas metamórficas, con alteración y grado de meteorización es medio, la estructura es masiva, con un tamaño de grano de fino a muy fino. La muestra obtenida presenta ciertas vetillas de cuarzo, minerales accesorios como muscovita, ortosa y silicatos; además una apariencia de bandas debido a la estratificación ocurrida antes de su transformación.



**Figura 47.** Afloramiento metamórfico con presencia de vetillas de cuarzo.

### Afloramiento 32

La muestra Nro.32 obtenida en las coordenadas X: 663117 m; Y: 9567839 m y Z:1175 msnm, en donde se encuentran características muy similares a la Unidad Tigre; se encuentra un afloramiento rocas metamórficas, con alteración y grado de meteorización es alto, la estructura es masiva, con un tamaño de grano de fino. La muestra obtenida presenta ciertas vetillas de cuarzo, minerales accesorios como muscovita, ortosa y silicatos; además una apariencia de bandas debido a su proceso de transformación de roca sedimentario a metamórfica.



**Figura 48.** Afloramiento metamórfico con presencia de vetillas de cuarzo.

Para corroborar y obtener mayor información a detalle se elaboró 5 calicatas en la zona de interés donde se identificó lo siguiente:

#### Calicata 1

La calicata 1 (Anexo 2) con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.1 m.

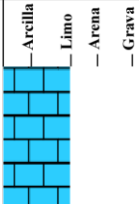
**Tabla 12.** Perfil estratigráfico 1

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1428	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 2px;">— Arella</div> <div style="margin-bottom: 2px;">— Limo</div> <div style="margin-bottom: 2px;">— Arena</div> <div style="margin-bottom: 2px;">— Grava</div> </div>	Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

### **Calicata 2**

La calicata 2 (Anexo 2) con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.1 m.

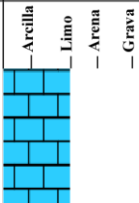
**Tabla 13.** Perfil estratigráfico 2

<b>Era</b>	<b>Sistema</b>	<b>Serie</b>	<b>Unidad Litoestrigráfica</b>	<b>Altura (msnm)</b>	<b>Columna</b>	<b>Descripción litológica</b>
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1415		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

### **Calicata 3**

La calicata 3 (Anexo 2) con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.1 m.

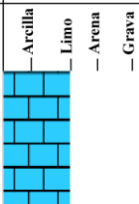
**Tabla 14.** Perfil estratigráfico 3

<b>Era</b>	<b>Sistema</b>	<b>Serie</b>	<b>Unidad Litoestrigráfica</b>	<b>Altura (msnm)</b>	<b>Columna</b>	<b>Descripción litológica</b>
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1365		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

### **Calicata 4**

La calicata 4 (Anexo 2) con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.2 m.

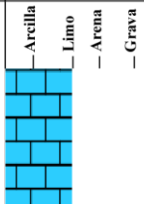
**Tabla 15.** Perfil estratigráfico 4

<b>Era</b>	<b>Sistema</b>	<b>Serie</b>	<b>Unidad Litoestrigráfica</b>	<b>Altura (msnm)</b>	<b>Columna</b>	<b>Descripción litológica</b>
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1323		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

**Calicata 5**

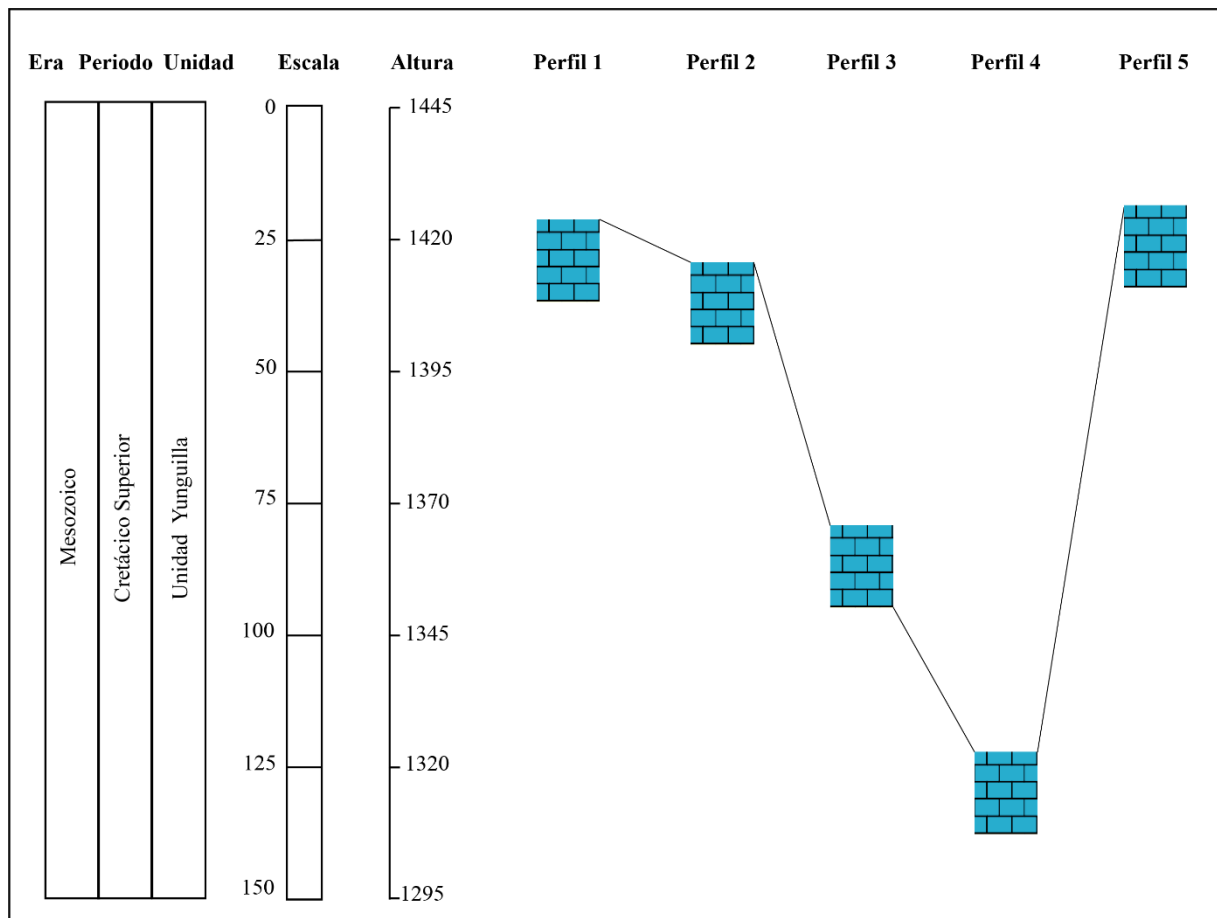
La calicata 5 (Anexo 2) con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.2 m.

**Tabla 16.** Perfil estratigráfico 5

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1430		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

**Correlación de perfiles estratigráficos**

La correlación estratigráfica se elaboró considerando el tipo de roca encontrada en cada una de las calicatas con relación a la altura.



**Figura 49.** Correlación estratigráfica de los perfiles 1,2,3,4 y 5

La correlación estratigráfica evidencia que todas las calicatas están conformadas por el mismo tipo de material, siendo las calizas pertenecientes a la Unidad Yunguilla. Estas se caracterizan por su textura afanítica, color café amarillento y alto grado de efervescencia al colocar ácido clorhídrico al 10%. Además, se estima la potencia del estrato de caliza siendo aproximadamente de 107 metros.

El mapa geológico local de la zona de estudio (Fig. 50) demuestra la presencia de 3 litologías diferentes. En la zona sur, aparecen las calizas correspondientes a la Unidad Yunguilla con una extensión de 25 Ha, representadas en el mapa geológico local de color celeste. Las calizas fueron reconocidas a través de descripción macroscópica, lupa geológica y aplicación de ácido clorhídrico al 10% en donde se observó alta efervescencia, así mismo la zona presenta grandes concentraciones de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) en forma masiva y cristalina, lo cual es un indicio de presencia mineral en esta roca. Además, al evidenciar pequeñas estalactitas se deduce que su formación se debe principalmente por precipitación química, siendo su origen continental-lacustre, esto correlacionando con la información obtenida mediante la Carta geológica de Zaruma NVI-E 38. (Fig. 43)

La segunda litología corresponde a lutitas (Fig. 44), las cuales pertenecen a la Unidad Chaguarpamba, debido a que está formada por rocas sedimentarias. Cuenta con una extensión de 9 Ha. catalogadas mediante la descripción de fichas macroscópicas de rocas y representadas en el mapa geológico local con tonalidad gris clara; y por último se identificó material metamórfico comprendido en la Unidad Tigre (Fig. 45), que a pesar de no encontrarse dentro de la geología regional del polígono de estudio, se la relaciona debido a las rocas encontradas en campo y al desfase existente entre la Carta geológica regional de Zaruma NVI-E 38 y la Carta geológica regional de Loja NVI-E 56. En esta litología se encuentran cuarcitas con una extensión de 6 Ha, representado en el mapa geológico local con coloración lila.



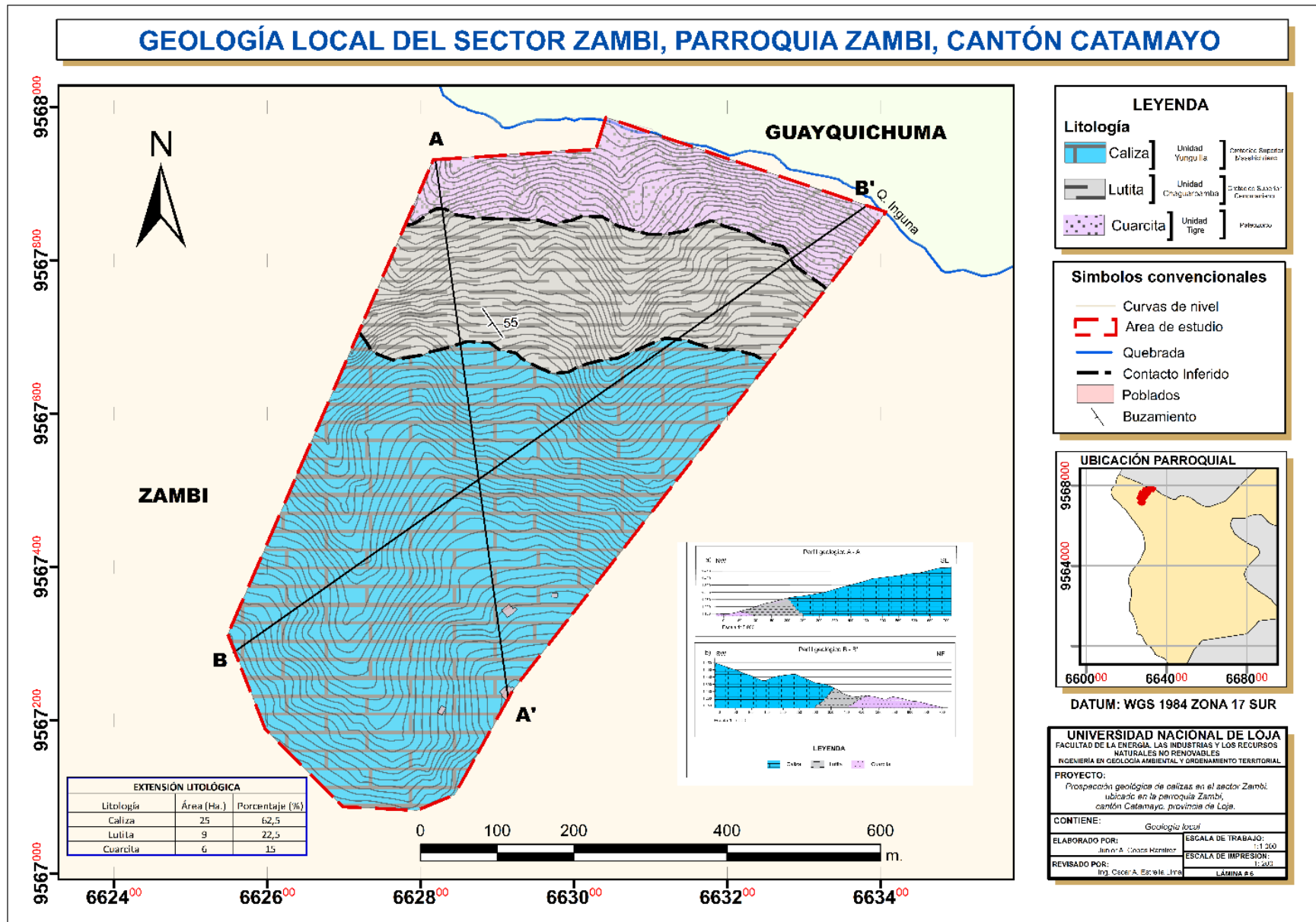
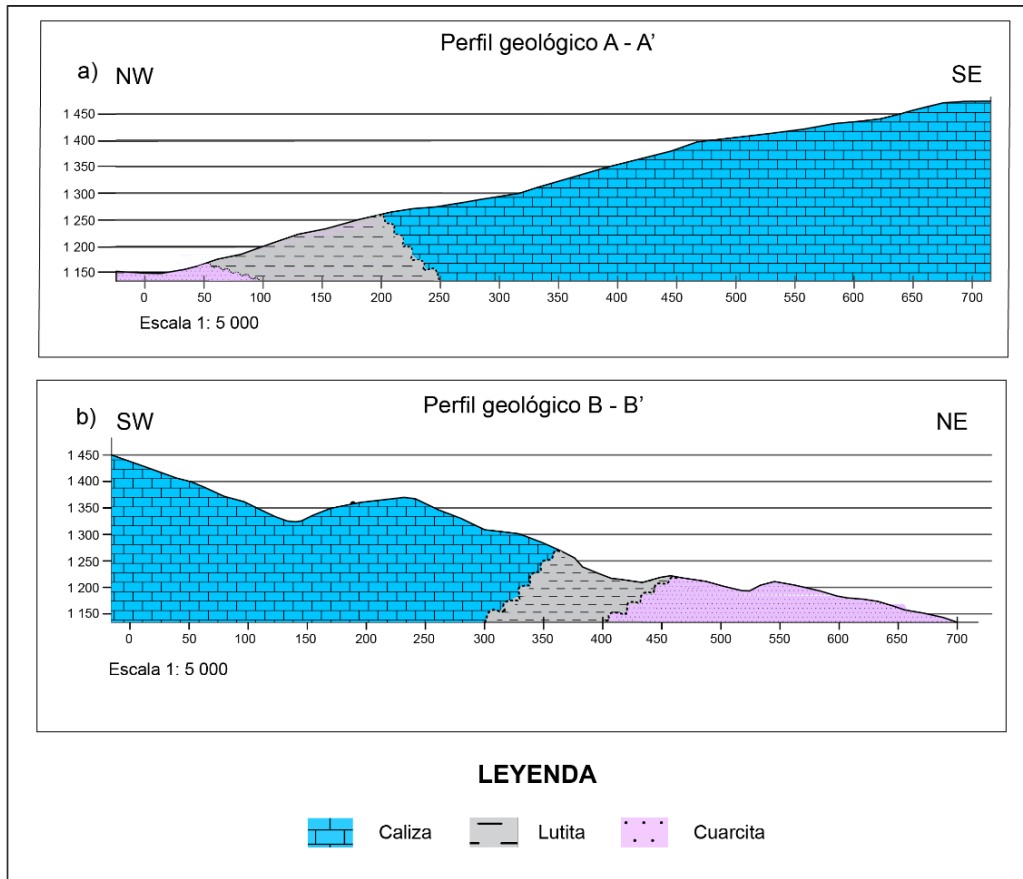


Figura 50. Mapa geológico local del área de estudio

### 7.1.1.1 Perfiles geológicos



**Figura 51.** a) Perfil geológico A-A'; b) Perfil geológico B'-B.

#### 7.1.1.1.1 Perfil geológico A-A'

En la figura 51 a) se representa el perfil geológico A-A', con dirección NW- SE y una longitud topográfica de 1011,57 m. El corte geológico atraviesa las 3 litologías: cuarcitas pertenecientes a la era Paleozoica siendo las más antiguas, basamento para que rocas más jóvenes se depositen; lutitas pertenecientes al periodo Cretácico Superior (Cenomaniano) siendo las primeras rocas sedimentarias en asentarse sobre el basamento, las cuales se han inclinado por procesos tectónicos y finalmente las calizas pertenecientes al periodo Cretácico Superior (Maastrichtiano), siendo las rocas más jóvenes. Los contactos entre las litologías no están definidos, además se presencia una discordancia angular entre las calizas y las lutitas debido a que poseen un ángulo de buzamiento de  $55^\circ$  y una dirección de buzamiento al SW. En el área de estudio no se logró determinar datos estructurales entre el material metamórfico y el sedimentario, sin embargo, se habla de una inconformidad al existir contacto entre las lutitas y cuarcitas.

### 7.1.1.1.2 Perfil geológico B'-B

En la figura 51 b) se representa el perfil geológico B'-B, con dirección SW – NE y una longitud topográfica de 710,23 m. El corte geológico atraviesa las 3 litologías: cuarcitas pertenecientes a la era Paleozoica siendo las más antiguas, basamento para que rocas más jóvenes se depositen; lutitas pertenecientes al periodo Cretácico Superior (Cenomaniano) siendo las primeras rocas sedimentarias en asentarse sobre el basamento, las cuales se han inclinado por procesos tectónicos y finalmente las calizas pertenecientes al periodo Cretácico Superior (Maastrichtiano), siendo las rocas más jóvenes. Los contactos entre las litologías no están definidos, además se presencia una discordancia angular entre las calizas y las lutitas debido a que poseen un ángulo de buzamiento de 55° y una dirección de buzamiento al SW. En el área de estudio no se logró determinar datos estructurales entre el material metamórfico y el sedimentario, sin embargo, se habla de una inconformidad al existir contacto entre las lutitas y cuarcitas.

## 7.2 Resultados para el segundo objetivo

### 7.2.1 Cálculo de peso específico y densidad por medio del método del picnómetro

El peso específico y la densidad de cada una de las muestras seleccionadas se obtuvieron por el método del picnómetro especificado en la metodología. Dentro del análisis se realizó una codificación a los diferentes pesos, teniendo la siguiente leyenda.

#### Simbología

Wp= Peso del picnómetro.

Waf= Peso de la muestra.

Wpw= Peso del picnómetro + agua.

Wpwaf = Peso del picnómetro + muestra + agua.

#### 7.2.1.1 Muestra M-1

**Tabla 17.** Ensayo del picnómetro en la muestra M-1.

Nro. Muestra	<b>M-1</b>
Wp (gr)	31,44
Wpw (gr)	147,42
Waf (gr)	30
Wpwaf (gr)	166,12
Agua (20°C)	0,997
Pe	2,655
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2,647

En la muestra M-1 por medio del ensayo del picnómetro se obtuvo un peso específico de 2,655 y densidad de 2,647 gr/cm<sup>3</sup>.

### 7.2.1.2 Muestra M-6

**Tabla 18.** Ensayo del picnómetro en la muestra M-6.

Nro. Muestra	<b>M-6</b>
Wpw (gr)	147,42
Waf (gr)	30
Wpwaf (gr)	166,07
Agua (20°C)	0,997
Pe	2,643
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2,635

En la muestra M-6 por medio del ensayo del picnómetro se obtuvo un peso específico de 2,643 y densidad de 2,635 gr/cm<sup>3</sup>.

### 7.2.1.3 Muestra M-11

**Tabla 19.** Ensayo del picnómetro en la muestra M-11.

Nro. Muestra	<b>M-11</b>
Wpw (gr)	147,42
Waf (gr)	50
Wpwaf (gr)	178,7
Agua (20°C)	0,997
Pe	2,671
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2,663

En la muestra M-6 por medio del ensayo del picnómetro se obtuvo un peso específico de 2,671 y densidad de 2,663 gr/cm<sup>3</sup>.

### 7.2.1.4 Muestra M-14

**Tabla 20.** Ensayo del picnómetro en la muestra M-14.

<b>Ensayo de picnómetro M-14</b>	
Nro. Muestra	M-14
Wpw (gr)	147,42
Waf (gr)	50
Wpwaf (gr)	178,66
Agua (20°C)	0,997
Pe	2,665
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2,657

En la muestra M-14 por medio del ensayo del picnómetro se obtuvo un peso específico de 2,665 y densidad de 2,657 gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 21.** Resultados del ensayo por el método del picnómetro.

Nro. de muestra	Litología	Peso específico	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
M-1	Caliza	2,655	2,647
M-6	Caliza	2,643	2,635
M-11	Caliza	2,671	2,663
M-14	Cuarcita	2,665	2,657

En las muestras M-1, M-6 y M-11 pertenecientes a la litología de calizas, se obtiene valores de 2,643 gr/cm<sup>3</sup>, 2,655 gr/cm<sup>3</sup> y 2,671 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente. Estos valores se encuentran relativamente cerca del rango que establece la Tabla 7, donde indica que los valores de la caliza promedian entre 2,3-2,6 gr/cm<sup>3</sup>. En el caso de la muestra M-14 el valor de peso específico es de 2,657 gr/cm<sup>3</sup>, cumpliendo los rangos establecidos en la Tabla 7, en donde indica que los valores de la cuarcita promedian entre 2,6-2,7 gr/cm<sup>3</sup>

### 7.2.2 Cálculo de peso aparente y porosidad por el método de absorción

Mediante la aplicación de fórmulas de peso aparente y porosidad se obtiene los siguientes resultados:

#### 7.2.2.1 Muestra M-1

**Tabla 22.** Peso aparente y porosidad de la muestra M-1.

Peso aparente Muestra M-1	
Wseco	106,859
Wsaturoado	111,374
Wsumergido	67,812
Pw	0,9986
Pa	2,450
Porosidad Muestra M-1	
Pa	2,450
Pr	2,655
n	7,731

En la muestra M-1 se obtiene un peso aparente (Pa) de 2,450 y una porosidad (n) de 7,73%.

### 7.2.2.2 Muestra M-6

**Tabla 23.** Peso aparente y porosidad de la muestra M-6.

<b>Peso aparente Muestra M-6</b>	
Wseco	97,431
Wsaturoado	103,103
Wsumergido	61,075
Pw	0,9986
Pa	2,315
<b>Porosidad Muestra M-6</b>	
Pa	2,315
Pr	2,643
n	12,416

En la muestra M-6 se obtiene un peso aparente (Pa) de 2,315 y una porosidad (n) de 12,416%.

### 7.2.2.3 Muestra M-11

**Tabla 24.** Peso aparente y porosidad de la muestra M-11.

<b>Peso aparente Muestra M-11</b>	
Wseco	134,846
Wsaturoado	139,873
Wsumergido	84,613
Pw	0,9986
Pa	2,437
<b>Porosidad Muestra M-11</b>	
Pa	2,437
Pr	2,671
n	8,766

En la muestra M-6 se obtiene un peso aparente (Pa) de 2,437 y una porosidad (n) de 8,766%.

### 7.2.2.4 Muestra M-14

**Tabla 25.** Peso aparente y porosidad de la muestra M-14.

<b>Peso aparente Muestra M-14</b>	
Wseco	144,955
Wsaturoado	145,545
Wsumergido	90,006
Pw	0,9986
Pa	2,606

<b>Porosidad Muestra M-14</b>	
Pa	2,606
Pr	2,665
n	2,211

En la muestra M-6 se obtiene un peso aparente (Pa) de 2,606 y una porosidad (n) de 2,211%.

**Tabla 26.** Resultado del ensayo por el método de absorción.

<b>Nro. Muestra</b>	<b>M-1</b>	<b>M-6</b>	<b>M-11</b>	<b>M-14</b>
Pa	2,45	2,643	2,437	2,606
Porosidad (%)	7,731	12,416	8,766	2,211

Los valores obtenidos de porosidad en la M-1, M-6 y M-11 son de, 7,731%, 12,416% y 8,766% respectivamente. Esto valores tienen relación con la porosidad de la caliza, ya que en la Tabla 7, indica que esta roca tiene un rango de 5-20% de porosidad.

### 7.2.3 Fluorescencia de rayos X

En la siguiente tabla se presentan los valores de composición química de las muestras ensayadas mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX), empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil marca Bruker S 1 Turbo SD. (Anexo 3)

**Tabla 27.** Resultados de ensayo de FRX.

<b>Muestra</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>	<b>S (%)</b>	<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	<b>CaO (%)</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>
M-1	8,68	42,6	1,12	0,29	0,41	43,7	1,81
M-6	10,2	20,8	1,22	0,30	0,54	57,9	3,37
M-11	14,1	24,9	1,09	0,27	ND	52,6	5,65

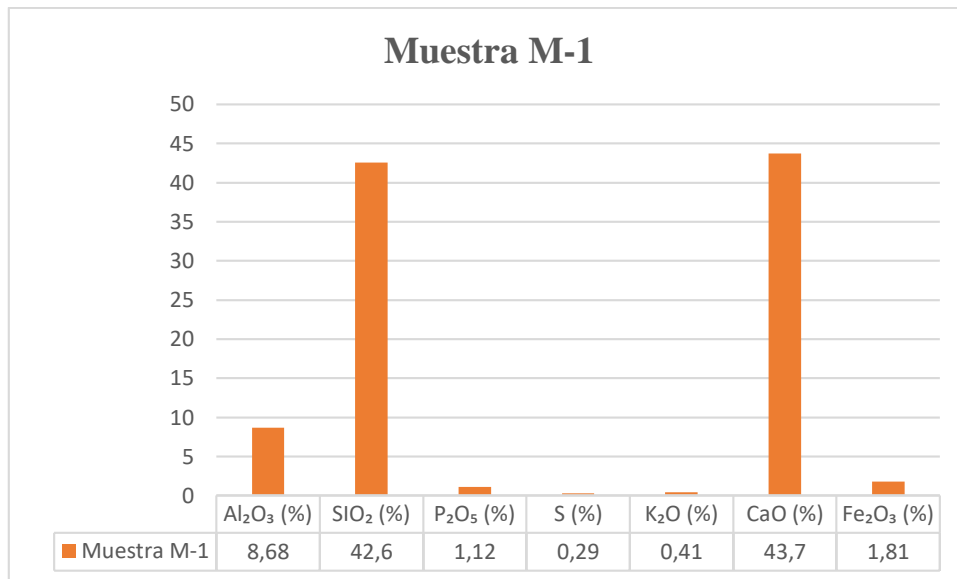
**Nota:** UTPL (2023)

Estos resultados corresponden a la composición química de la muestra expresada en elementos mayoritarios (> 1 %), minoritarios (< 1 a 0, 1 %) y trazas (ppm).

#### 7.2.3.1 Muestra M-1

La muestra recolectada en las coordenadas X: 663028 m; Y: 9567615 m, se constituye de una roca calcárea, con una tonalidad café claro.

En la tabla expuesta, se evidencia que los dos óxidos que predominan en la muestra hacen referencia a SiO<sub>2</sub> con un porcentaje 42,6% y el CaO con un porcentaje de 43,7%.

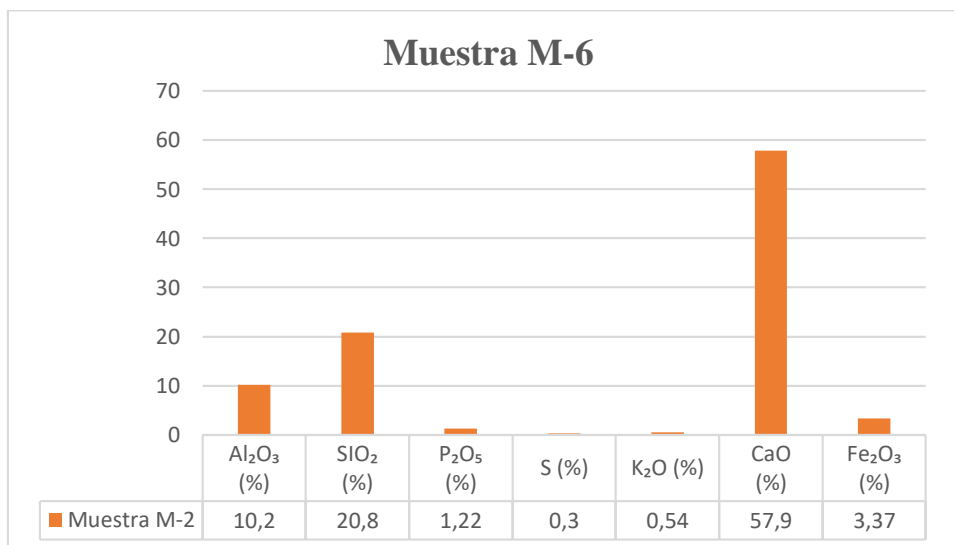


**Figura 52.** Resultados de fluorescencia de rayos X en la muestra M-1.

### 7.2.3.2 Muestra M-6

La muestra recolectada en las coordenadas X: 662828 m; Y: 9567507 m, se constituye de una caliza arcillosa, con una tonalidad grisácea.

En la tabla expuesta, se evidencia que los dos óxidos que predominan en la muestra hacen referencia a SiO<sub>2</sub> con un porcentaje 20,8% y el CaO con un porcentaje de 57,9%.



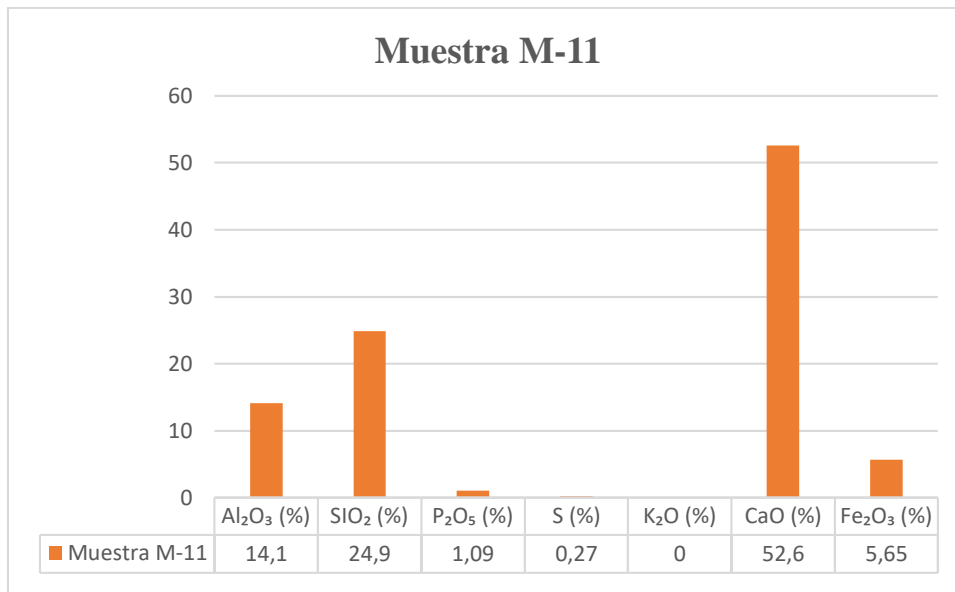
**Figura 53.** Resultados de fluorescencia de rayos X en la muestra M-6.

### 7.2.3.3 Muestra M-11

La muestra recolectada en las coordenadas X: 662845 m; Y: 9567773 m, se constituye de una caliza arcillosa, con una tonalidad grisácea.

En la tabla expuesta, se evidencia que los dos óxidos que predominan en la muestra hacen referencia a SiO<sub>2</sub> con un porcentaje 24,9% y el CaO con un porcentaje de 52,6%.





**Figura 54.** Resultados de fluorescencia de rayos X en la muestra M-11.

#### 7.2.4 Difracción de rayos X

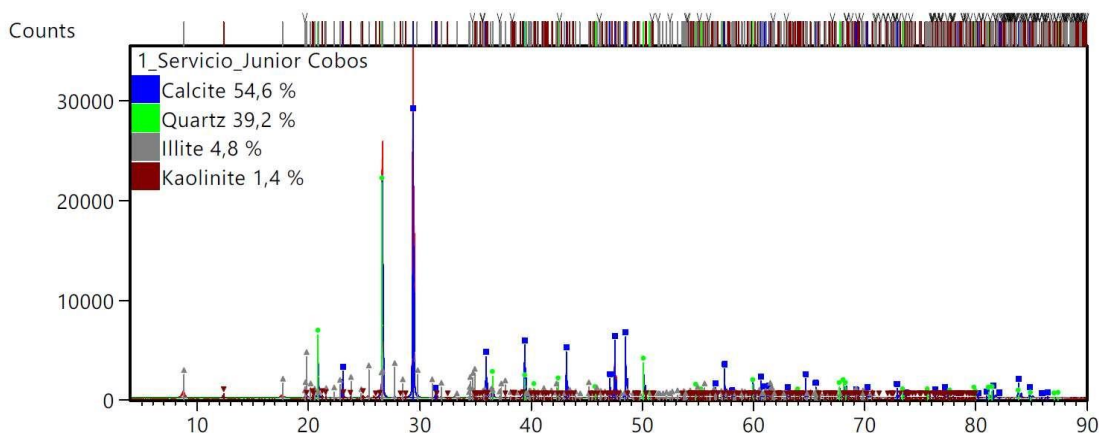
En la (Tabla 28) se indica el análisis mineralógico de Difracción de Rayos X de las muestras: M-1, M-6 y M-11, empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, y los programas para la determinación cualitativa y semicuantitativa DIFFRAC.EVA y TOPAS. Este análisis mineralógico refleja la composición de la parte cristalina de la muestra. (Anexo 4)

**Tabla 28.** Resultados de ensayo de DRX muestra M-1, M-6 y M-11.

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
M-1	Calcita	54,6
	Cuarzo	39,2
	Illita	4,8
	Caolinita	1,4
M-6	Calcita	71,8
	Cuarzo	16,3
	Illita	9,7
	Caolinita	2,2
M-11	Calcita	69,1
	Cuarzo	11,2
	Caolinita	19,7

##### 7.2.4.1 Muestra M-1

La figura representa el difractograma de la muestra M1 localizada en las coordenadas X: 663028; Y: 9567615, la cual determina la presencia de fases mineralógicas de las calizas, constituida por calcita en un 54,6%, cuarzo en un 39,2%, illita en un 4.8% y caolinita en 1,4%.



**Figura 55.** Difractograma correspondiente a la muestra M-1.

**Nota.** UTPL (2023)

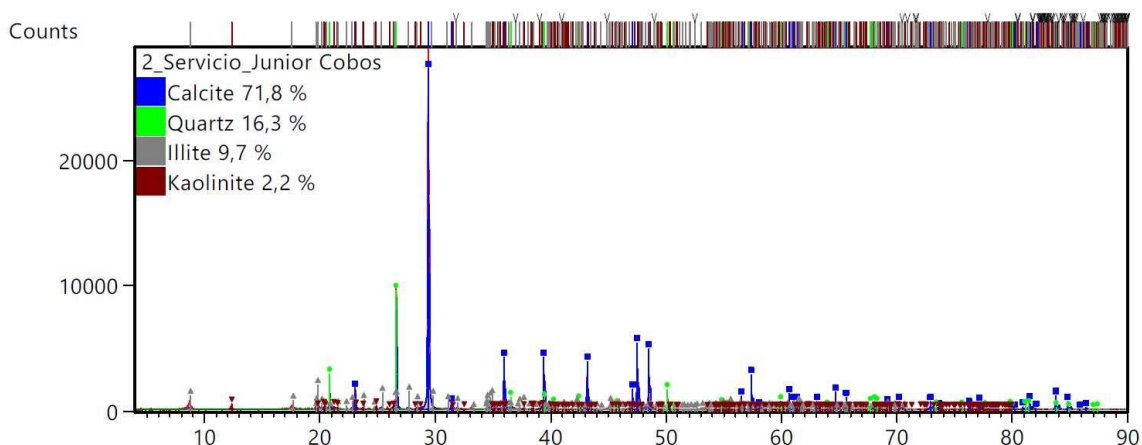
**Tabla 29.** Minerales encontrados mediante DRX en la muestra M-1.

Nombre del componente	Formula química	Porcentaje (%)
Calcita	$\text{CaCO}_3$	54,6
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	39,2
Illita	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	4,8
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	1,4

**Nota.** UTPL (2023). Adaptado por el autor (2023).

#### 7.2.4.2 Muestra M-6

La figura representa el difractograma de la muestra M-6 localizada en las coordenadas X: 662828 m; Y: 9567507 m, la cual determina la presencia de fases mineralógicas de las calizas, constituida por calcita en un 71,8%, cuarzo en un 16,3%, illita en un 9,7% y caolinita en 2,2%.



**Figura 56.** Difractograma correspondiente a la muestra M-6

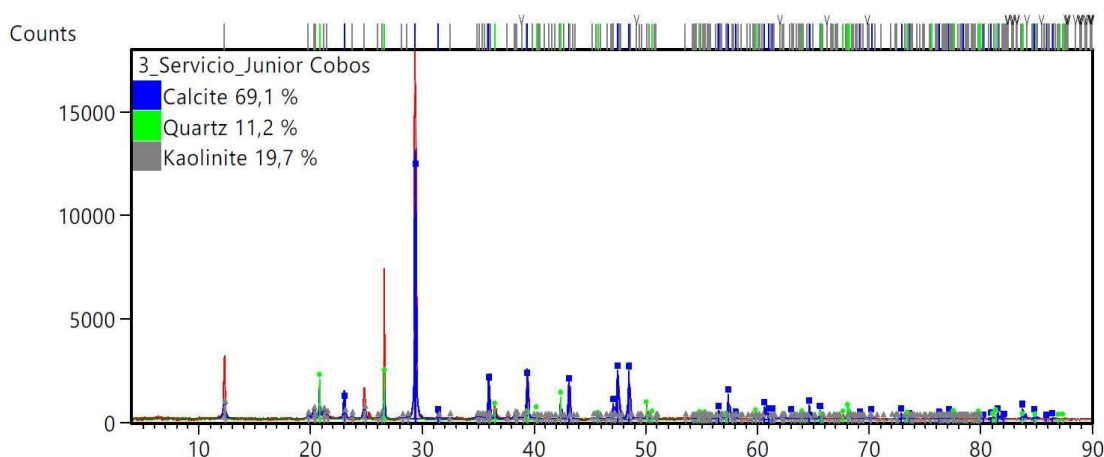
**Nota.** UTPL (2023)

**Tabla 30:** Minerales encontrados mediante DRX en la muestra M-6.

Nombre del componente	Formula química	Porcentaje (%)
Calcita	$\text{CaCO}_3$	71,8
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	16,3
Illita	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$	9,7
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	2,2

### 7.2.4.3 Muestra M-11

La figura representa el difractograma de la muestra M-11 localizada en las coordenadas X: 662845 m; Y: 9567773 m, la cual determina la presencia de fases mineralógicas de las calizas, constituida por calcita en un 69,1%, cuarzo en un 11,2% y caolinita en 19,7%.



**Figura 57.** Difractograma correspondiente a la muestra M-11.

**Nota.** UTPL (2023)

**Tabla 31:** Minerales encontrados mediante DRX en la muestra M-11

Nombre del componente	Formula química	Porcentaje (%)
Calcita	$\text{CaCO}_3$	69,1
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	11,2
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	19,7

### 7.2.5 Ensayo de pureza de carbonatos

Mediante el ensayo de pureza de carbonato de calcio se identificó la concentración mineral en varias muestras seleccionadas. (Anexo 5)

**Tabla 32.** Concentración de carbonato de calcio en las muestras seleccionadas.

Muestra	Pureza (%)
C-4	89,58
MC3-1	61,22
C-1	60,04
M-10	7,41
M11	49,78
M-6	59,05
M-12	26,97
M9	2,04
M-7	49,29
M-8	69,45

**Nota.** UTPL (2023)

La (Tabla 32) indica que las muestras C-4, MC3-1, C-1, M-6, M-8 y M11 poseen valores mayores a 50% de concentración de carbonato de calcio, corroborando la información en el mapa geológico local ya que estas muestras pertenecen a la litología denominada calizas; mientras que las muestras M-9 M-10 y M-12 corresponden a la litología de lutitas según la descripción macroscópica de las rocas, ya que poseen valores menores al 50% de carbonato de calcio.

### 7.3 Resultados para el tercer objetivo

La roca encontrada dentro del área de estudio es identificada como una caliza impura margosa según el diagrama de carbonatos propuesto por Correns (1967). En las muestras ensayadas se constató un valor promedio de 77.56% de pureza de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), en consecuencia, estas muestras se clasifican como calizas impuras conforme a la categorización propuesta por el Grupo de Petrología y Mineralogía del Servicio Geológico Británico.

**Tabla 33.** Valor de calizas en el área de estudio.

Valor de las calizas en el área de estudio según su concentración de $\text{CaCO}_3$									
Nomenclatura: Caliza impura margosa									
Calidad						Índice hidráulico			
Valor obtenido $\text{CaCO}_3$ (%)	Valores establecidos					Valor obtenido	Valores establecidos		
	Muy alta pureza	Alta pureza	Media pureza	Baja pureza	Impureza		Cal aérea	Cal hidráulica	Cemento Portland
77.56	> 98.5	97.0 – 98.5	93.5 – 97.0	85.0 – 93.5	< 85	0.61	0-0.1	0.1-0.5	>0.5

En la Tabla 33 se resalta con color gris la calidad y el índice hidráulico al que pertenece la caliza impura margosa según los resultados obtenidos en los ensayos químicos y físicos.

### 7.3.1 Industria de la construcción

Las características que presenta la caliza impura margosa, con un valor de 0,61 en su índice hidráulico, indica que su uso industrial, es directamente para matriz de cemento Portland, derivando múltiples utilidades en la construcción, ya que es un material versátil y resistente.

**Tabla 34:** Módulos e índices para determinar el uso de las calizas.

<b>Determinación de uso de calizas mediante índices</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Índice hidráulico</b>	<b>Módulo hidráulico</b>	<b>Estándar de cal</b>	<b>Modulo silíceo</b>	<b>Módulo de fundentes</b>
<b>M1</b>	0,86	1,16	46,33	4,89	3,43
<b>M6</b>	0,44	2,27	117,53	1,07	3,53
<b>M11</b>	0,53	1,90	122,14	0,44	3,49
<b>Promedio</b>	0,61	1,78	95,33	2,13	3,48

Además de ello se obtuvo datos promedio de modulo hidráulico (1.78), estándar de cal (95.33), módulo silíceo (2.13) y módulo de fundentes (3.48), indicando que los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos.

Los usos del cemento portland según los resultados obtenidos son los siguientes:

- Mezcla de concreto: Aproximadamente 10% a 15% de cemento Portland en relación con el volumen total de la mezcla.
- Mezcla de mortero: Alrededor de 15% a 20% de cemento Portland en relación con el volumen total de la mezcla.
- Mezcla de concreto asfáltico: Cerca del 5% al 10% de cemento Portland en relación con el peso total de la mezcla.
- Revestimientos de túneles: Aproximadamente 10% a 15% de cemento Portland en relación con el volumen total de la mezcla.
- Mezclas de suelo y cemento para estabilización: Usualmente alrededor del 2% al 8% de cemento Portland en relación con el peso total de la mezcla.

## 8. Discusión

El presente trabajo de titulación se realizó con la finalidad de prospeccionar geológicamente las calizas en el área de estudio, detallando las concentraciones de carbonato de calcio en su composición y a partir de ello establecer usos industriales.

El área de estudio se encuentra asentada sobre la Unidad Zambí y Unidad Chaguarpamba según la Hoja geológica de Zaruma NVI-E 38, comprendidas por rocas sedimentarias y metamórficas; mediante la información corroborada en campo con fichas de descripción de afloramientos, descripción macroscópica de muestras y elaboración de calicatas se identifica tres tipos de litologías, en donde la Unidad Zambí no tiene relación con las calizas encontradas en campo, definiendo que estas rocas pertenecen a la Unidad Yunguilla ya que presentan ciertas similitudes; en el caso de la lutitas se verifica que pertenecen a la Unidad Chaguarpamba, mientras que las cuarcitas fueron relacionadas con la Unidad Tigre, que a pesar de no encontrarse dentro de la geología regional del polígono de estudio, se evidencia un vínculo con la unidad mencionada.

Para obtener información más detallada sobre las muestras de interés, se realizó varios ensayos de origen físico como peso específico y porosidad, y ensayos de origen químico como fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X y pureza de carbonatos.

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 152:2012), Anexo B, correspondiente al contenido de caliza en el cemento portland, indica que esta roca debe contener mínimo un porcentaje del 70% de  $\text{CaCO}_3$ . Al contrastar este valor con el obtenido en el proyecto de investigación se determina que el material del área cumple con la especificación para ser utilizado como matriz de cemento portland, ya que su valor de pureza es de 77,56% de  $\text{CaCO}_3$ .

Según el ENAPI EP, en el denominado el Proyecto Minero Isimanchi, ubicado en la provincia de Zamora Ch., las calizas presentan un valor de 84% de pureza de  $\text{CaCO}_3$ , siendo rentable para continuar con investigaciones a mayor detalle y catalogándolo como un proyecto potencial; mientras que el área de estudio presenta un valor de 77,56% de  $\text{CaCO}_3$  en sus muestras ensayadas. Esto indica que ambos resultados son catalogados como calizas de baja pureza o impuras. A pesar de ello estos valores son interesantes para la elaboración de ciertas materias primas por lo que la continuidad de la investigación es necesaria.

Por otra parte, también se comparó la composición química típica del cemento Portland en donde se tiene el 67% de  $\text{CaO}$ , 22% de  $\text{SiO}_2$ , 5% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y 3% de otros componentes. Los resultados obtenidos mediante en el ensayo de fluorescencia de rayos X

demuestran que el material de la zona de estudio está compuesto por el 51,4% de CaO, 10,99% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 24,9% de SiO<sub>2</sub> y 3,61 de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Esto indica que el valor de CaO en las muestras de la zona de estudio es menor a la composición química típica del cemento, mientras que los otros elementos se encuentran relativamente cerca de los valores óptimos.

Así mismo se comparó la composición química del cemento Portland de la empresa Atenas, en donde se refleja valores del 58,9% de CaO, 17,86% de SiO<sub>2</sub>, 3.89% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2.28% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 17,07% de otros componentes minoritarios. De la misma manera el ensayo de FRX demuestra que el porcentaje de CaO es inferior en las muestras prospectadas, mientras que los otros elementos tienen porcentajes superiores. Estos resultados contrastados con los obtenidos en el área de estudio denotan una diferencia de 7,5% en CaO, 7,1% en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y 1,33% en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Finalmente, para corroborar el uso industrial de las calizas impuras margosas se utiliza el criterio del índice hidráulico, el cual considera una relación entre los porcentajes de óxidos ácidos y óxidos básicos obtenidos en el ensayo de fluorescencia de rayos X, clasificando en cal aérea, cal hidráulica o cemento portland. Al obtener como resultado un valor mayor a 0,5 asegura que el único uso posible para este tipo de material es para matriz de cemento Portland.

## 9. Conclusiones

- A partir de los estudios analizados se determina que el polígono de estudio está compuesto por tres tipos de litologías: calizas con una extensión de 25 Ha., que forman parte de la Unidad Yunguilla (Cretácico superior/ Maastrichtiano), lutitas con 9 Ha. pertenecientes a la Unidad Chaguarpamba (Cretácico superior/ Cenomaniano), y cuarcitas con 6 Ha. vinculadas a la Unidad Tigre (Paleozoico).
- El ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX), determinó un promedio de 51,4% de CaO en las muestras ensayadas, lo cual indica que se trata de una roca caliza, debido a que su valor es superior al 50% de CaO.
- La aplicación del ensayo de difracción de rayos X (DRX) determina la composición química de los minerales en las muestras, siendo el más representativo el  $\text{CaCO}_3$ , obteniendo en la M1= 56,6%, M6= 71,8% y M11= 69,1%, lo cual indica que en el área de estudio existe caliza, ya que su componente principal representa valores mayores al 50%.
- De acuerdo al criterio propuesto por el Grupo de Petrología y Mineralogía del Servicio Geológico Británico (1988), las calizas se consideran impuras cuando su contenido de  $\text{CaCO}_3$  es inferior al 85%. Siguiendo este criterio se determina que las muestras del área de estudio pertenecen a este grupo, ya que presentan 77,56% de  $\text{CaCO}_3$ .
- El cálculo del índice hidráulico expuesto por Vicat en el siglo XVII permitió conocer el uso industrial de la caliza impura margosa basado en la relación entre sus óxidos ácidos y óxidos básicos con valor del 0,61, siendo óptima para la elaboración de cemento Portland en la industria de la construcción.



## **10. Recomendaciones**

- Emplear el presente trabajo como base para investigaciones posteriores más exhaustivas en la zona de estudio.
- Realizar convenios entre universidades y GADS municipales y parroquiales con la finalidad de facilitar el acceso al área de estudio con fines investigativos y académicos.
- Aplicar técnicas geofísicas para una exploración geológica con mayor detalle del presentado en este proyecto con la finalidad de definir los contactos litológicos y la potencia del estrato de caliza.
- Realizar la delimitación del cuerpo mineralizado a partir de técnicas geológicas múltiples con la finalidad de estimar reservas potenciales.
- Realizar estudios de pre factibilidad sobre la industrialización de la caliza encontrada en el área de estudio según su composición química.
- Aumentar el interés de las empresas públicas y privadas por la obtención de rocas carbonatadas de uso industrial en la región sur del país, abriendo la posibilidad de explotar zonas de interés y generar empleos.
- Expandir el área de estudio en el resto de la parroquia Zambí sobre la presencia de calizas, tomando en cuenta los datos obtenidos en esta investigación.




## 11. Bibliografía

- Araúz, M. d. (s.f.). *Laboratorio de láminas delgadas*. Obtenido de <https://fgp.epn.edu.ec/index.php/lab-geo/186-laboratorio-de-laminas-delgadas>
- Arias Gonzáles, J. L. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Lima: ENFOQUES CONSULTING EIRL.
- Ariosa Iznaga, J., & Vladimirovich, O. (1990). *Busqueda, exploración y evaluación geológico-económica de minerales solidos*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Banco Central del Ecuador. (2016). *Reporte de Minería*. Quito.
- Benavente, D., Bernabéu, A., & Cañaveras, J. (2004). Estudio de propiedades físicas de las rocas. *Enseñanzas de las ciencias de la Tierra*, 62-68.
- Cornejo, P. (Agosto de 2016). *Depósitos minerales no metálicos en el Ecuador*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Paul-Cornejo-2/publication/317613312\\_DEPOSITOS\\_MINERALES\\_NO\\_METALICOS\\_DEL\\_ECUADOR/links/594339ffa6fdccb93ab276a7/DEPOSITOS-MINERALES-NO-METALICOS-DEL-ECUADOR.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Paul-Cornejo-2/publication/317613312_DEPOSITOS_MINERALES_NO_METALICOS_DEL_ECUADOR/links/594339ffa6fdccb93ab276a7/DEPOSITOS-MINERALES-NO-METALICOS-DEL-ECUADOR.pdf)
- Dannemann, V. (11 de Noviembre de 2019). América Latina.: *América Latina: riqueza minera y conflicto social*, pág. 1.
- Duque, E. (2016). *Manual de geología para ingenieros*. Manizales.
- GAD Catamayo. (2021). *Plan de Ordenamiento Territorial de Catamayo*. Obtenido de <https://catamayo.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/BORRADOR-OFICIAL-PDOT-CATAMAYO.pdf>
- Griem Klee, S. (2016). *Exploración y propesción*. Obtenido de <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/01-Introduccion-Exploraciones-Prospeccion.htm>
- Hurlbut, D. (1976). *Manual de Mineralogía*. Barcelona: Reverté S.A.
- INGEMMET. (2021). *Minerales y rocas*. Peru.
- INGEOMINAS. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas*. Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF>
- Lambert, A. (Mayo de 2006). *Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto*. Obtenido de <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2021/07/Muestreo-de-Minerales.pdf>
- Lavandaio, E. (2008). *Elementos de Geología, Mineralogía y Materias Primas Minerales*. Mendoza: Graficas Papiros.
- M. Á., & Chinchón, S. (2004). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland*. San Vicente: Publicaciones de la Universidad de Alicante.

- Mendez Aguirre, J. V. (2020). *Caracterización mineralógica y petrográfica de la arenisca M1, de la Formación Napoen el pozo Johanna Este 45, campo Johanna este bloque Tarapoa*. Quito.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 228.
- Pellant, C. (1993). *Rocas y Minerales*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- Ponce, M. B., & Gambaudo, S. (2005). *Los carbonatos*. Buenos Aires: Argentina.
- Pozo Rodríguez, M., González Yélamos, J., & Yiner Robles, J. (2003). *Geología Práctica*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Prefectura de Loja. (2019). *Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja*. Obtenido de <https://prefecturaloja.gob.ec/documentos/lotaip/2019/PDOT-2019.pdf>
- Rivera Mantilla, H. (2005). *Geología General*. Lima: INGEMMET.
- Sabino, C. (1996). El proceso de investigación. *LUMEN-HUMANITAS*, 62.
- Servicio Geológico Mexicano. (s.f.). *¿Qué es la geología?* Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157537/Que-es-la-Geologia.pdf>
- Soto Godoy, M. (2005). *Texto Universitario de Petrología*. Puno.
- Sureda, R. (2008). *Historia de la mineralogía*. San Miguel de Tucumán: INSUGEO.
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra (Vol. VIII)*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Virtual Pro. (11 de Noviembre de 2021). *Prospección y exploración de yacimientos minerales*. Obtenido de <https://www.virtualpro.co/noticias/prospeccion-y-exploracion-de-yacimientos-minerales>
- Wicander, R., & Monroe, J. (1999). *Fundamentos de geología*. Mexico: International Thomson Editores.

## 12. Anexos

### Anexo 1. Fichas de afloramientos

 <b>FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS</b> 			
Nro. de Afloramiento: 1			
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	663028
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567615
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1438
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	La muestra de mano obtenida, se trata de una roca sedimentaria, presenta bajo grado de alteración y meteorización, la estructura está dispuesta en forma masiva, con un tamaño de grano de fino a muy fino. Se evidencia disolución de calcita en la parte superficial del afloramiento, dando origen a estalactitas	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:			
Tipo de material:	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:	1.4 m	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			
REGISTRO FOTOGRÁFICO			
			



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 2

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	662973
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567602
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1307
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	El afloramiento está compuesto por material sedimentario, con grado de meteorización medio, se evidencia presencia alta de calcita masiva y cristalizada	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:			
Tipo de material:	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:	1.4 m	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO





UNL

Universidad Nacional de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 4

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	663019
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567830
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1200
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	La muestra de mano obtenida, se trata de una roca sedimentaria, con un grado de meteorización bajo, por su tamaño de grano se presume de una lutita. En este afloramiento se denotan los estratos de lutita con potencias muy pequeñas y un buzamiento de 55 SW.	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:			
Tipo de material:	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:	0.6 m	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:	175		
Buzamiento:	55 SW		
REGISTRO FOTOGRÁFICO			





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 5

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	662824
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567492
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1200
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	El afloramiento está compuesto por material sedimentario, con alto grado de meteorización, las rocas presentan gran reacción al colocar ácido clorhídrico.	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:			
Tipo de material:	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:	1.4 m	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 8

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	662933
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567524
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1337
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	El afloramiento está compuesto por material sedimentario, con alto grado de meteorización, por su tamaño de grano se presume de una limolita, la cual se encuentra con presencia alta de calcita masiva y cristalizada	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:	Masiva		
Tipo de material:	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:	2.3	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO







unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 9

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	662885
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567607
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1298
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	La muestra de mano obtenida, se trata de una roca sedimentaria, con alto grado de meteorización, por su tamaño de grano se presume de una limolita, sobre este afloramiento se encuentra una capa de calcita, la cual se ha formado por disolución de minerales y con el paso de tiempo ha dado inicio a la formación de estalactitas.	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:	Masiva		
Tipo de material:	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:		
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 21

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA			COORDENADAS	
Provincia:	Loja		Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo		Coordenadas X:	662693
Parroquia:	Zambi		Coordenadas Y:	9567515
Barrio:	Zambi		Altura (msnm):	1322
CARACTERÍSTICAS			DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural		La muestra de mano obtenida, se trata de una roca sedimentaria, con alto grado de meteorización, en proceso de meteorización en donde evidencia cierta pizarrosidad.	
Unidad:	Zambi			
Estado:	Meteorizado			
Humedad:	Si			
Estructura:	Laminar			
Tipo de material:	Sedimentario			
Dimensiones	Ancho:	0.7		
	Alto:	0.9		
ELEMENTOS DE YACENCIA			OBSERVACIONES	
Rumbo:			Inclinación y vegetación alta	
Buzamiento:				

### REGISTRO FOTOGRÁFICO





unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 20

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	662783
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567424
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1380
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	El afloramiento está compuesto por material sedimentario, el cual reacciona con el ácido clorhídrico, se presume de una caliza; La zona se encuentra un alto grado de meteorización.	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:	Masiva		
Tipo de material:	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:		
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 24

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	662760
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567618
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1320
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	La muestra de mano obtenida, se trata de una roca sedimentaria, su grado de meteorización medio, se presume de caliza, ya que reacciona con ácido clorhídrico	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:	Masiva		
Tipo de material:	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:		
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO





UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 27

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	662831
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567905
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1150
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	La muestra de mano obtenida, se trata de una roca metamórfica, la cual tiene relación directa con la carta geológica regional de la zona de estudio, haciendo mención a la Unidad Tigre, el grado de meteorización es alto	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:	Masiva		
Tipo de material:	Metamórfico		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:		
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO





unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 28

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	662936
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567892
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1170
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	La muestra de mano obtenida, se trata de una roca metamórfica, con un grado de meteorización medio, tiene alta contenido en cuarzo, se presume que la roca es una cuarcita.	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:	Masiva		
Tipo de material:	Metamórfica		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:	2.20	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO





unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 29

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	663025
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567896
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1160
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	El afloramiento presenta grado de meteorización medio, la roca es clasificada como metamórfica y se presume de una pizarra por su textura.	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:	Masiva		
Tipo de material:	Metamórfica		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:	3.5	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO





unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 32

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	662786
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567801
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1206
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	La muestra de mano obtenida, se trata de una roca metamórfica, con un grado de meteorización medio, tiene alta contenido en cuarzo, se presume que la roca es una cuarcita.	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:	Masiva		
Tipo de material:	Metamórfica		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:	2.6	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			

### REGISTRO FOTOGRÁFICO







unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

## FICHA TÉCNICA DE AFLORAMIENTOS



Nro. de Afloramiento: 33


LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		COORDENADAS	
Provincia:	Loja	Datum:	WGS84
Cantón:	Catamayo	Coordenadas X:	663225
Parroquia:	Zambi	Coordenadas Y:	9567901
Barrio:	Zambi	Altura (msnm):	1115
CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
Tipo de afloramiento:	Natural	En el afloramiento se evidencia conglomerados con una matriz areno arcillosa, esto debido a que el punto de muestreo se encuentra cerca a la quebrada Inguna, siendo de origen aluvial.	
Unidad:	Zambi		
Estado:	Meteorizado		
Humedad:	Si		
Estructura:	Masiva		
Tipo de material:	Sedimentario		
Dimensiones	Ancho:		
	Alto:	3.40	
ELEMENTOS DE YACENCIA		OBSERVACIONES	
Rumbo:			
Buzamiento:			


### REGISTRO FOTOGRÁFICO




Anexo 2. Fichas de calicatas

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b>		
<b>INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL</b>		
<b>DATOS</b>	<b>PROYECTO</b>	Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja.
	<b>UBICACIÓN</b>	Sector Zambí
	<b>FECHA</b>	8/3/2023
	<b>NOMBRE DEL ESTUDIANTE</b>	Junior Alejandro Cobos Ramírez
<b>COORDENADAS</b>		<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>X</b>	662946,1045	
<b>Y</b>	9567357,636	
<b>Z</b>	1428	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<b>NRO. CALICATA</b>	1	
<b>PROFUNDIDAD</b>	1,0m	
<b>COBERTURA VEGETAL</b>	0,1m	
<b>NIVEL FREÁTICO</b>		
<b>MATERIAL</b>	Caliza margosa	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Calicata #1 ubicada al sureste de la zona de estudio, con 1,5m de ancho por 1,5m de largo y una profundidad de 1,0m, compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, con nivel freático no encontrado y con una cobertura vegetal café amarillenta	

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b>		
<b>INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL</b>		
<b>DATOS</b>	<b>PROYECTO</b>	Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja.
	<b>UBICACIÓN</b>	Sector Zambí
	<b>FECHA</b>	8/3/2023
	<b>NOMBRE DEL ESTUDIANTE</b>	Junior Alejandro Cobos Ramírez
<b>COORDENADAS</b>		<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>X</b>	662644,6822	
<b>Y</b>	9567227,472	
<b>Z</b>	1415	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<b>NRO. CALICATA</b>	2	
<b>PROFUNDIDAD</b>	1,0m	
<b>COBERTURA VEGETAL</b>	0,1m	
<b>NIVEL FREÁTICO</b>		
<b>MATERIAL</b>	Caliza margosa	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Calicata #2 ubicada al suroeste de la zona de estudio, con 1,5m de ancho por 15,m de largo y una profundidad de 1,0m, compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, con nivel freático no encontrado y con una cobertura vegetal café amarillenta	

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b>		
<b>INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL</b>		
<b>DATOS</b>	<b>PROYECTO</b>	Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja.
	<b>UBICACIÓN</b>	Sector Zambí
	<b>FECHA</b>	8/3/2023
	<b>NOMBRE DEL ESTUDIANTE</b>	Junior Alejandro Cobos Ramírez
<b>COORDENADAS</b>		<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>X</b>	662708,4107	
<b>Y</b>	9567365,153	
<b>Z</b>	1365	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<b>NRO. CALICATA</b>	3	
<b>PROFUNDIDAD</b>	1,0m	
<b>COBERTURA VEGETAL</b>	0,1m	
<b>NIVEL FREÁTICO</b>		
<b>MATERIAL</b>	Caliza margosa	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Calicata #3 ubicada al suroeste de la zona de estudio, con 1,0 m de ancho por 1,0 m de largo y una profundidad de 1,0 m. compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, con nivel freático no encontrado y con una cobertura vegetal café amarillenta	

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b>		
<b>INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL</b>		
<b>DATOS</b>	<b>PROYECTO</b>	Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja.
	<b>UBICACIÓN</b>	Sector Zambí
	<b>FECHA</b>	8/3/2023
	<b>NOMBRE DEL ESTUDIANTE</b>	Junior Alejandro Cobos Ramírez
<b>COORDENADAS</b>		<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>X</b>	662693,3718	
<b>Y</b>	9567515,552	
<b>Z</b>	1323	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<b>NRO. CALICATA</b>	3	
<b>PROFUNDIDAD</b>	1,0m	
<b>COBERTURA VEGETAL</b>	0,2m	
<b>NIVEL FREÁTICO</b>		
<b>MATERIAL</b>	Caliza margosa	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Calicata #3 ubicada al suroeste de la zona de estudio, con 1,5m de ancho por 15,m de largo y una profundidad de 1,0m, compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, con nivel freático no encontrado y con una cobertura vegetal café.	

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b>		
<b>INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL</b>		
<b>DATOS</b>	<b>PROYECTO</b>	Prospección geológica de calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja.
	<b>UBICACIÓN</b>	Sector Zambí
	<b>FECHA</b>	8/3/2023
	<b>NOMBRE DEL ESTUDIANTE</b>	Junior Alejandro Cobos Ramírez
<b>COORDENADAS</b>		<b>FOTOGRAFÍA</b>
<b>X</b>	662824,8987	
<b>Y</b>	9567220,344	
<b>Z</b>	1430	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		
<b>NRO. CALICATA</b>	5	
<b>PROFUNDIDAD</b>	1,0m	
<b>COBERTURA VEGETAL</b>	0,1m	
<b>NIVEL FREÁTICO</b>		
<b>MATERIAL</b>	Caliza margosa	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Calicata #5 ubicada al sureste de la zona de estudio, con 1m de ancho por 1m de largo y una profundidad de 1m, compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, con nivel freático no encontrado y con una cobertura vegetal café amarillenta	

### Anexo 3. Ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX)



**DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS  
LABORATORIO DE GEOQUÍMICA ANALÍTICA**

**Asunto:** Informe de Fluorescencia de Rayos X  
**Método:** Mining Light Elements (MLE)  
**Solicitante:** Junior Alejandro Cobos Ramírez  
**Fecha de entrega:** 22 de febrero de 2023

En la siguiente tabla se presentan los valores de composición química, obtenidos mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX) de las muestras correspondientes al PED-0015, empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil marca Bruker S1 Turbo SD.


MUESTRA	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	S (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
M-1	8.68	42.6	1.12	0.29	0.41	43.7	1.81
M-6	10.2	20.8	1.22	0.30	0.54	57.9	3.37
M-11	14.1	24.9	1.09	0.27	ND	52.6	5.65

Estos resultados corresponden a la composición química de la muestra expresada en elementos mayoritarios (>1%), minoritarios (<1 a 0,1%) y trazas (ppm).

**ND:** No detectó.

**Observaciones:** El Na<sub>2</sub>O y Carbono no es analizado por FRX, pero la muestra los puede contener.

Universidad Técnica Particular de Loja (U.T.P.L) y Laboratorio de Geoquímica Analítica se deslindan de toda responsabilidad civil, laboral y penal, derivado del protocolo de muestreo de las alícuotas ingresadas al laboratorio que puedan alterar los resultados del análisis, puesto que en este caso no fueron tomadas por un representante de la U.T.P.L.

  
**Ing. Carlos Roberto Correa J.**  
Técnico de Laboratorio de Geoquímica Analítica



San Cayetano Alto s/n Loja -  
Ecuador  
Tel.: (593 - 7) 3701444  
Fax: (593 - 7) 2584893  
Informacion@utpl.edu.ec Apartado  
Postal: 11 - 01 - 608 www.utpl.edu.ec

## Anexo 4. Difracción de rayos X (DRX)



Universidad Técnica Particular de Loja  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura  
Departamento de Geociencias  
Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X  
Cliente: Junior Alejandro Cobos Ramírez.  
Fecha: 01-03-2023

### INFORME DE DRX

A continuación, se presente el informe sobre el análisis mineralógico de Difracción de Rayos X de las muestras: 1, 2 y 3, expediente PED-0015-2023, empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, y los programa para la determinación cualitativa y semicuantitativa DIFFRAC.EVA y TOPAS.

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
1	Calcita	54,6
	Cuarzo	39,2
	Illita	4,8
	Caolinita	1,4
2	Calcita	71,8
	Cuarzo	16,3
	Illita	9,7
	Caolinita	2,2
3	Calcita	69,1
	Cuarzo	11,2
	Caolinita	19,7

Este análisis mineralógico semicuantitativo refleja la composición de la parte cristalina de la muestra. La misma puede contener fases amorfas. El laboratorio no se hace responsable por el muestreo previo al análisis.

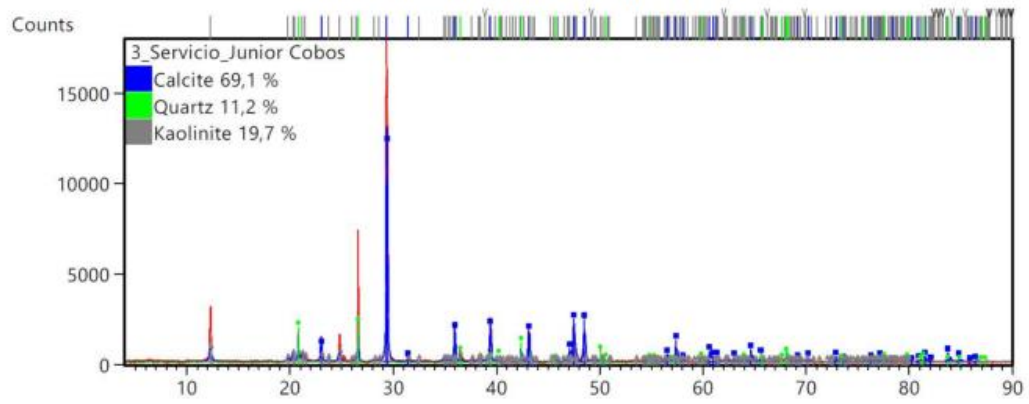
M.Sc. en Geoquímica John Manrique  
**ANALISTA de DRX**

**P. D.:** Se adjunta difractograma

San Cayetano Alto s/n  
Loja-Ecuador  
Telf.: (593-7) 370 1444  
Informacion@utpl.edu.ec  
Apartado Postal: 11-01-608  
www.utpl.edu.ec

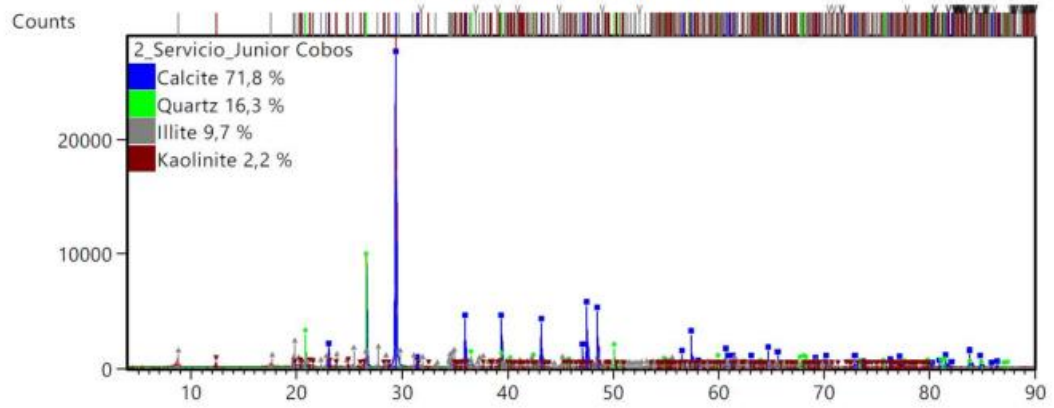


ANEXO 3. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA 3



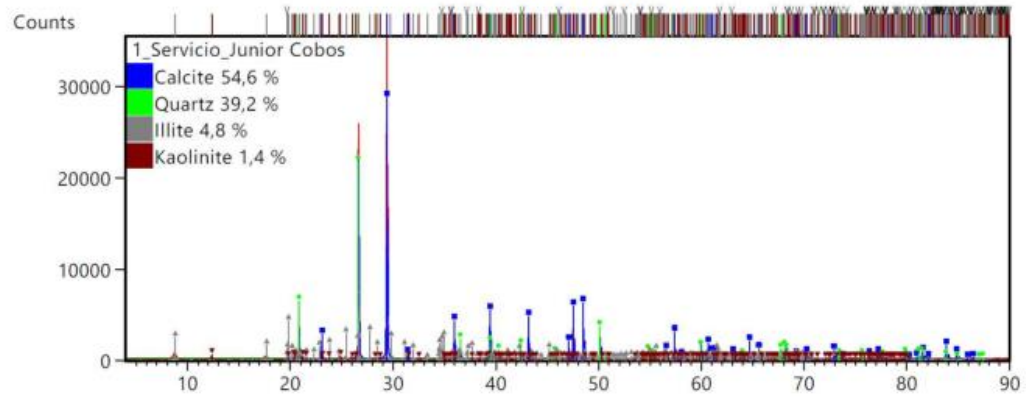
San Cayetano Alto s/n  
Loja-Ecuador  
Telf.: (593-7) 370 1444  
informacion@utpl.edu.ec  
Apartado Postal: 11-01-608  
www.utpl.edu.ec

ANEXO 2. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA 2



San Cayetano Alto s/n  
Loja-Ecuador  
Telf.: (593-7) 370 1444  
informacion@utpl.edu.ec  
Apartado Postal: 11-01-008  
www.utpl.edu.ec

ANEXO 1. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA 1



San Cayetano Alto s/n  
Loja-Ecuador  
Telf.: (093-7) 370 1444  
informacion@utpl.edu.ec  
Apartado Postal: 11-01-608  
www.utpl.edu.ec

## Anexo 5. Pureza de carbonatos



**DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS  
LABORATORIO DE BENEFICIO DE MINERALES  
SALA DE METALURGIA EXTRACTIVA**

**Asunto:** Informe de análisis de pureza de carbonatos.  
**Solicitante:** Junior Alejandro Cobos

**Fecha recepción:** 17-02-2023  
**Fecha de entrega:** 27-02-2023

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos de la determinación de pureza de carbonato de calcio:

Muestra	Pureza (%)
C-4	89.58
MC3-1	61.22
C-1	60.04
M-10	7.41
M-11	49.78
M-6	59.05
M-12	26.97
M-9	2.04
M-7	49.29
M-8	69.45

**NOTA:**

UTPL y Laboratorio de Beneficio de Minerales se deslindan de toda responsabilidad civil, laboral y penal, derivado del protocolo de muestreo de las alícuotas ingresadas al laboratorio que puedan alterar los resultados del análisis, puesto que en este caso no fueron tomadas por un representante de la UTPL.

**Ing. Renato Gonzalez**  
Responsable sala de metalurgia extractiva  
Laboratorio de beneficio de minerales  
Universidad Técnica Particular de Loja



San Cayetano Alto s/n  
Loja - Ecuador  
Telf.: (593 - 7) 3701444  
Informacion@utpl.edu.ec  
www.utpl.edu.ec

**Anexo 6.** Mapa topografico del area de estudio

**Anexo 7.** Mapa de Geologia Regional

**Anexo 8.** Mapa de puntos de muestreo de la zona de estudio

**Anexo 9.** Geología Local

**(Ubicados en archivo)**

## **Anexo 10. Certificado de traducción del resumen**

**Loja, 07 de diciembre del 2023**

Yo, Nohelia Fernanda Paltin Cuenca, con documento de identidad Nro. 0704645878,  
Licenciada en Pedagogía del Idioma Inglés con.Nº de registro 1031-2023-2757744.

### **CERTIFICO:**

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés,  
del resumen del trabajo de titulación, denominado: Prospección geológica de calizas en  
el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja, de  
autoría del estudiante Junior Alejandro Cobos Ramírez con número de cédula  
1150188918, egresado de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de  
la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico en honor a la verdad y a su vez autorizo al interesado hacer uso del presente  
para fines académicos.



Lic. Nohelia Fernanda Paltin Cuenca

**LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCION INGLÉS**

**C.I:** 0704645878

**Numero de registro:** 1031-2023-2757744.