

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

## Geological prospecting of limestone in the Zambí sector, located in the Zambí parish, Catamayo canton, province of Loja

Oscar Estrella <sup>1,\*</sup>, Hernan Luis Castillo Garcia <sup>1</sup>, Fernando Javier Rengel Jiménez <sup>1</sup> y Junior Alejandro Cobos Ramírez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería en Minas, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

\* Autor para correspondencia: oaestrellal@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 25/04/2024    Fecha de aceptación del manuscrito: 14/05/2024    Fecha de publicación: 30/06/2024

**Resumen**—El presente trabajo de investigación refiere a la “Prospección geológica para calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja”, abarcando una extensión de 40 hectáreas consideradas como prioritarias y necesarias para la investigación, 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 a escala 1:1000, curvas principales cada 5 metros y curvas secundarias cada 1 metro, el mismo que se utilizó de base para realizar el levantamiento geológico a la misma escala, 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 CaCo<sub>3</sub> que existe en las calizas, siendo este compuesto el de mayor importancia con un valor promedio de 77,56% CaCo<sub>3</sub> clasificándola como una caliza impura margosa; así mismo se identificó elementos como el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>, S, KO, CaO y FeO, 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.

**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 had 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 CaCo<sub>3</sub> that exist in the limestones, thus compound being the most important with an average value of 77.56% CaCo<sub>3</sub>, classifying it as an impure marly limestone; likewise, elements such as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>, S, KO, CaO y FeO 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.

**Keywords**—Geology, Prospecting, Limestone, Industrial use.

## INTRODUCCIÓN

Una razón de la escasez de industrias cementeras en la región sur del país se atribuye a la ausencia de infor-

mación sobre depósitos con características viables que permitan 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 con base en 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 GADS Parroquiales dificulta realizar estudios geológicos a escalas a detalle, así como el desconocimiento de la roca caliza en el ámbito industrial, esto ha provocado un desaprovechamiento de este recurso 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 Zambi, en donde se presentan indicios de roca caliza, mineral calcita; así como localizar las anomalías geológicas donde posiblemente existen concentraciones minerales. La presente investigación abarca un conocimiento general geológico 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. Esta investigación tiene como objetivo general estimar, mediante prospección geológica, a las calizas en el sector Zambi, parroquia Zambi, cantón Catamayo, provincia de Loja; y como objetivos específicos desarrollar un levantamiento geológico a detalle direccionado a la delimitación de calizas, sobre la base topográfica a escala 1:1000; determinar la calidad de las calizas mediante sus propiedades físicas y químicas en el sector Zambi y finalmente analizar el uso industrial de las calizas según su concentración de carbonato de calcio en el área de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Metodología

Para cumplir con los requisitos de este proyecto, se llevó a cabo una exhaustiva recopilación de información preliminar, que sirvió como base para adquirir un conocimiento general del área de estudio. Posteriormente, se realizaron actividades de campo para recopilar datos reales y estudiarlos en su estado natural, mediante observaciones directas y la obtención de información relevante. Asimismo, se recogieron muestras de suelo y rocas que fueron sometidas a un análisis detallado en el laboratorio. Por último, se llevó a cabo un análisis minucioso de los resultados obtenidos en el campo y en el laboratorio, junto con la elaboración de mapas en el entorno de trabajo. A continuación, se detallan las fases realizadas en relación con los objetivos planteados.

### Descripción del área de estudio

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

El área de estudio, comprendida en el sector Zambi, 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. La ubicación administrativa del área de estudio se observa en la figura 1.



Fig. 1: Ubicación del área de estudio

### Metodología para el primer objetivo

En esta etapa se realizó la investigación bibliográfica acerca de la zona de estudio, tomando como referencia la carta geológica de Zaruma a escala 1:100.000 CT-NVI-E hoja 38, que cuenta con información de las principales estructuras geológicas y litologías presentes en la zona de estudio, y la carta topográfica de Chaguarpamba Escala 1:50.000 NVI-E4,3682 – II.

**Levantamiento topográfico:** La topografía se generó mediante un 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. 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 Zambi.

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. Para la ejecución del vuelo fotogramétrico se realizó una planificación a partir de una resolución fijada en donde se obtuvo una distancia de 10997 metros, en un tiempo estimado de 22 minutos, siendo la extensión cartografiada de 44.3 hectáreas.

En esta fase se usó el programa Agisoft Metashape 1.8.1 en donde se realizaron los siguientes procedimientos:

- Descarga de las 437 fotografías áreas del dron con su correspondiente archivo de posicionamiento georreferencial y altitudinal.
- Generación de orientación de las fotos.
- Importación de los puntos de control.

**Tabla 1:** Materiales empleados

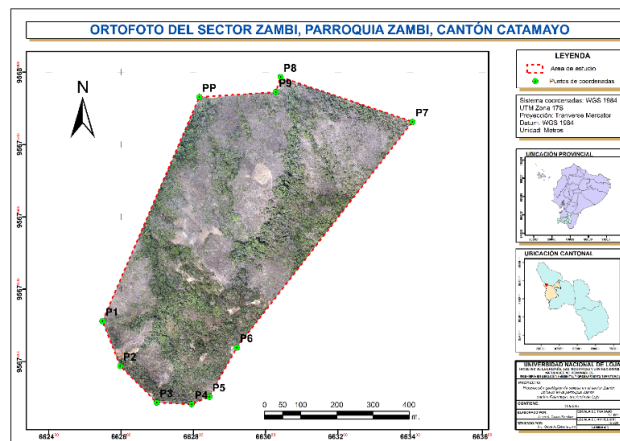
Campo	Laboratorio	Oficina
Hoja geológica Zaruma escala 1:100 000 NVI-E 38	Ensayo del picnómetro Picnómetro Balanza Embudo Espátula Cápsula metálica Agua destilada	Computadora portátil
Carta topográfica Chaguarpamba escala 1:50 000 NVI-E4,3682 – II	Ensayo de Fluorescencia de Rayos X Estufa de secado Pulverizador de anillos <i>Retch</i> Portaobjetos Pistola <i>Brukker</i> Turbo S1.	Software ArcGIS 10.5
Chaleco	Ensayo de Difracción de Rayos X Estufa de secado Molino de discos Trituradora de mandíbulas Difractómetro marca, <i>Brukker</i> , modelo D8 ADVANCE	Ground Station Software (UGCS)
Brújula (Brunton).	Ensayo de pureza de carbonatos Manguera Tapón de caucho Cuba de vidrio Probeta graduada Pera de succión Espátula Termómetro Pipeta graduada	EVA <i>DifracPlus</i>
Martillo de Geólogo.		Programas Office
GPS de precisión Garmin.		
Cinta métrica.		
Libreta de campo.		
Fichas de campo.		
Lápiz, marcador permanente.		
Fundas transparentes (Ziploc).		
Cámara Fotográfica		
Ácido Clorhídrico al 10%.		

- Emparejamiento de los puntos de control en las imágenes procesadas.
- Generación de nube de puntos densa.
- Clasificación supervisada del terreno y depuración de elementos que no son suelo.
- Generación del modelo digital de terreno.
- Generación de curvas de nivel cada metro.

**Generación de ortofoto**

Una vez obtenida la ortofoto (Fig. 2) 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°-55° , 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°-35°, con una extensión de 13355,18 m<sup>2</sup> (1,34 Ha.) equivalente a 3.37%; luego las pendientes fuertemente inclinadas de 5°-15°, ocupan 577,44 m<sup>2</sup> (0,0578 Ha.) equivalente a 0.14%; y finalmente con menor extensión se encuentran las pendientes li-

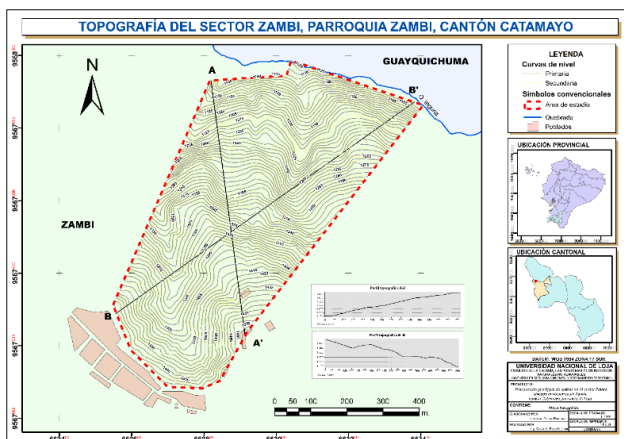


**Fig. 2:** Ortofoto del área de estudio

geramente inclinadas de 0°-5°, 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. 4)

Como acotación para una mejor visualización de la topografía del sector se procedió a realizar 2 perfiles topográficos en el software ArcGIS 10.5

**Geología local:** 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



**Fig. 3:** Topografía del área de estudio, con curvas de nivel principales a 5 m. y curvas de nivel secundarias a 1m de distancia.

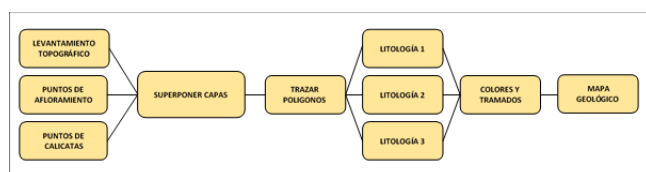
se levantó mediante la descripción de rocas con ayuda de herramientas y fichas de campo

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.

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

- Actividades previas
- Actividades durante el muestreo de rocas
- Extracción de muestras tipo chips o por puntos
- Enfundado de las 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.



**Fig. 4:** Modelo a seguir para realizar el mapa geológico

### Metodología para el segundo objetivo

**Peso específico por medio del método del picnómetro:** Este ensayo fue realizado en el laboratorio de Química de la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja, el cual consistió en triturar y pulverizar las muestras con la finalidad de obtener material muy fino, para ello se utilizó el tamiz # 40, #200 y base. Posteriormente se procedió a pesar el picnómetro vacío y el picnómetro añadiendo agua destilada. Se retiró del picnómetro el 50% aproximadamente de agua destilada y se colocó la muestra pulverizada mediante un embudo. 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. Finalmente se añadió agua destilada en su totalidad y se pesó el picnómetro + agua destilada + muestra en la balanza digital obteniendo el resultado final (Pe) con lo cual se completó el ensayo. Todos estos datos fueron procesados en una tabla Excel para la obtención del resultado requerido.

**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.

Mediante la balanza analítica se pesó las muestras en su estado natural y en vasos de precipitación se colocó las muestras a ensayar sumergiéndolas en agua destilada. Posteriormente se tomó el peso de la muestra sumergida en agua destilada y se colocó la balanza analítica sobre una base de madera amarrando un hilo nylon en la parte inferior. Seguidamente se apoyó la muestra sobre el hilo nylon y se sumergió en el vaso de precipitación con agua destilada.

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

$$P_a = \frac{W_{seco}}{W_{saturado} - W_{sumergido}} \times P_w$$

donde:

- $W_{seco}$ : Peso seco de la muestra luego de haber pasado por el horno.
- $W_{saturado}$ : Peso saturado.
- $W_{sumergido}$ : Peso sumergido.
- $P_w$ : Peso específico del agua a una temperatura de 18°C.

Para el cálculo de la porosidad se utilizó la siguiente expresión:

$$n = \left( 1 - \frac{P_a}{P_r} \right) \times 100$$

Finalmente se comparó los resultados obtenidos mediante 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. **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 Bruker Turbo S1. El procedimiento a seguir es el siguiente:

**Tabla 2:** Valores típicos del peso específico y porosidad de las rocas

Roca	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
Andesita	2.2-3.5	1-5
Anfibolita	2.9-3.0	<0.5
Arenisca	2.6-2.7	10-20
Basalto	2.7-2.9	0.1-2
Caliza	2.3-2.6	5-20
Carbón	1.0-2.0	10
Cuarcita	2.6-2.7	0.1-0.5
Diorita	2.7-2.85	0.5-10
Dolomía	2.5-2.6	0.5-10
Esquisto	2.5-2.8	3
Granito	2.6-2.7	0.5-1.5
Mármol	2.6-2.8	0.3-2
Lutita	2.2-2.6	2-15
Pizarra	2.5-2.7	0.1-1
Riolita	2.4-2.6	4-6
Sal	2.1-2.2	5
Toba	1.9-2.3	14-40
Yeso	2.3	5

Fuente: Vallejo (2002). Adaptado por el autor (2023).

- **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.
- **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.

**Difracción de rayos X:** El equipo encargado de realizar este ensayo es conocido como difractómetro, 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:

- **Trituración y pulverización de las muestras.** Mediante un molino de discos y trituradora de mandíbulas marca Retsch.
- **Preparación para DRX.** 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.

- **Examinación de difractogramas.** Se examinaron 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.
- **Registro de resultados.** Una vez realizado el ensayo de difracción de rayos X, se ubicaron los valores obtenidos en la tabla correspondiente.

**Pureza de carbonatos:** El ensayo y la metodología fue realizado por el Laboratorio de Química de la Universidad Técnica de Loja, el cual 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 CaCO<sub>3</sub> en la muestra.

#### Metodología para el tercer objetivo

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.

Posteriormente con los resultados obtenidos, se estableció un valor de concentración de las calizas según el contenido de Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>), 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. Para clasificar la roca obtenida en cal aérea, cal hidráulica o

**Tabla 3:** Clasificación química de las calizas

Categoría	Porcentaje de CaCO <sub>3</sub> (%)
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

Fuente: Mineralogy and Petrology Group, British Geological Survey.

cemento portland se necesitó calcular el índice hidráulico y se categorizó según el resultado obtenido.

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

**Tabla 4:** Clasificación de las cales según el índice de hidraulicidad

	Índice hidráulico
Cales aéreas	0,00 a 0,10
Cales hidráulicas	0,10 a 0,50
Cemento Portland	>0,50

Fuente: (Vázquez et al. 1993).

## RESULTADOS

### Resultados del primer objetivo

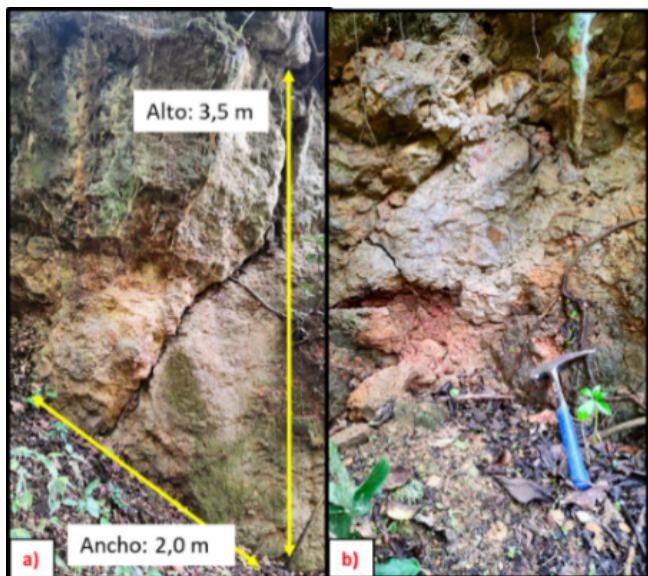
#### Geología Local.

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 Zambí 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 a 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 (ver Fig 5).



**Fig. 5:** 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 (ver Fig 6).



**Fig. 6:** Muestra de lutitas con una superficie erosionada por la cobertura vegetal.

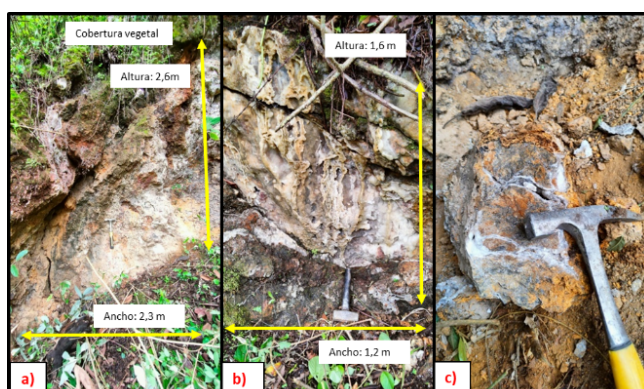
*Afloramiento 6:* La muestra Nro.6 obtenida en las coordenadas X: 662828 m; Y: 9567507 m y Z:1378 msnm, perteneciente a la Unidad Yunguilla, se encuentra un afloramiento de lutita, su alteración y grado de meteorización es bajo, la estructura está dispuesta en forma laminar, con un tamaño de grano de fino a muy fino. Sus elementos de yacencia indican un rumbo de 175 y buzamiento de 55 SW (ver Fig 7).

*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; así mismo se evidencia el inicio de formación de estalactitas (ver Fig 8).

*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 (ver Fig 9).



**Fig. 7:** Estratos de lutita con fuerte buzamiento.



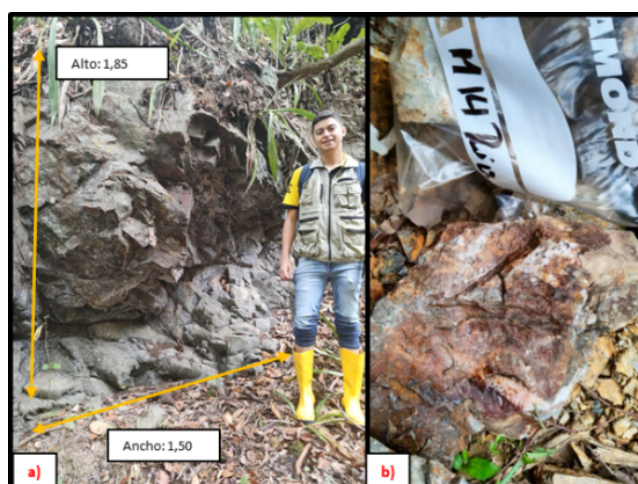
**Fig. 8:** La figura a), muestra el afloramiento natural, en donde se evidencia presencia de limolita y vetillas de calcita masiva y cristalizada. En la figura b) se evidencia formación de estalactitas, debido al escurrimiento de agua con alta presencia de carbonato de calcio. La figura c) es una muestra de caliza, con grado de meteorización medio y vetillas de calcita.

*Afloramiento 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. El afloramiento se presenta masivo y conser-



**Fig. 9:** 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

vado con patinas de oxidación y vetillas de cuarzo frío (ver Fig 10).



**Fig. 10:** La figura a) indica el afloramiento de forma natural, 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 (ver Fig 11).



**Fig. 11:** Afloramiento de caliza con presencia de varias fracturas en donde hay filtración de agua



**Fig. 12:** Afloramiento metamórfico con presencia de vetillas de cuarzo.

*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 (ver Fig 12).

*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 (ver Fig 13).

Para corroborar y obtener mayor información a detalle se elaboró 5 calicatas (ver tabla 5) *Calicata 1:* Sus dimensiones

**Tabla 5:** Ubicación de calicatas

Nº	X	Y	Z
1	662946,1045	9567357,636	1428
2	662644,6822	9567227,472	1415
3	662708,4107	9567365,153	1365
4	662693,3718	9567515,552	1323
5	662824,8987	9567220,344	1430

son de 1.5 m. de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.1 m (ver tabla 6).

*Calicata 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 (ver tabla 7).

*Calicata 3:* con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.5 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura





**Fig. 13:** Afloramiento metamórfico con presencia de vetillas de cuarzo.

vegetal de 0.1 m (ver tabla 8).

**Calicata 4:** 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 (ver tabla 9).

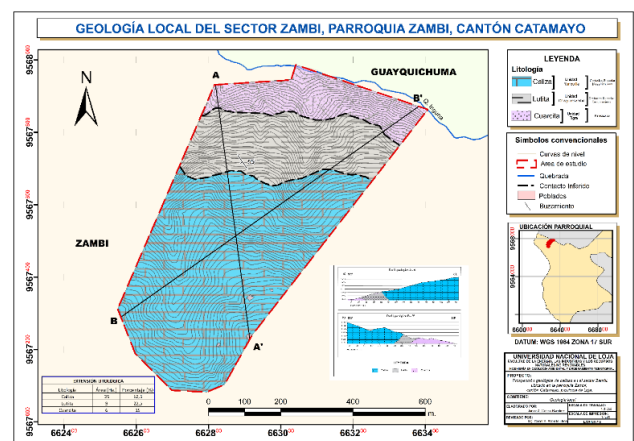
**Calicata 5:** con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.2 m (ver tabla 10). **Correlación de perfiles estratigráficos**

La correlación estratigráfica se elaboró considerando el tipo de roca encontrada en cada una de las calicatas con relación a la altura (Ver Tabla 11). 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. 16) 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. 10)

La segunda litología corresponde a lutitas (Fig. 11), 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. 12), 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 (ver Fig 14).

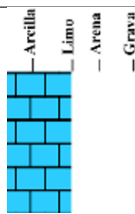


**Fig. 14:** Mapa geológico local del área de estudio

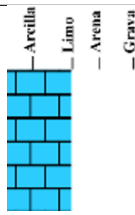
### Perfiles geológicos

**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 en-

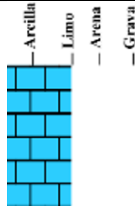
**Tabla 6:** Perfil estratigráfico 1

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1428		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

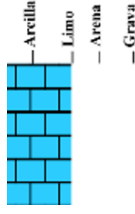
**Tabla 7:** Perfil estratigráfico 2

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
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

**Tabla 8:** Perfil estratigráfico 3

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
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

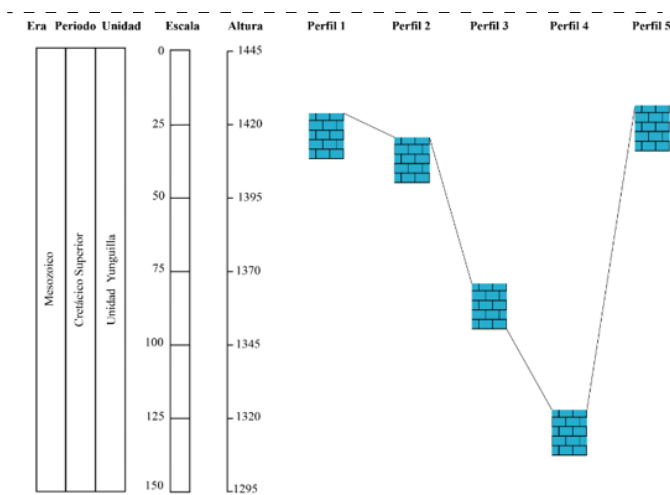
**Tabla 9:** Perfil estratigráfico 4

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
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

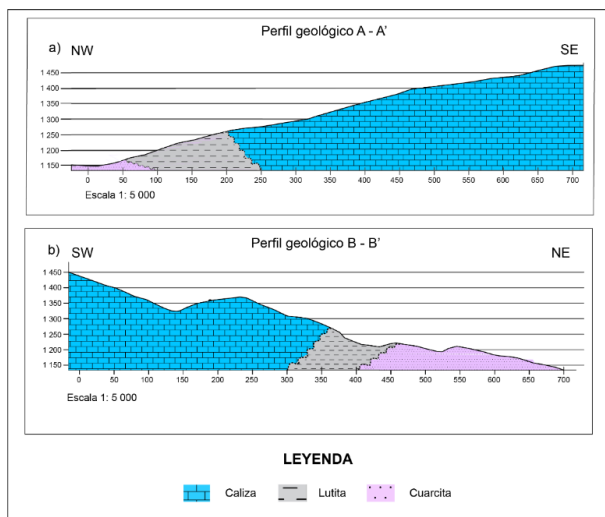
**Tabla 10:** Perfil estratigráfico 5

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	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

**Tabla 11:** Correlación estratigráfica de los perfiles 1, 2, 3, 4 y 5



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.



**Fig. 15:** a) Perfil geológico A'-A; b) Perfil geológico B'-B.

tre 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.

*Perfil geológico B'-B'*: En la figura 17 b) se representa el perfil geológico B'-B, con dirección SW – NE y una longitud

### Resultados del segundo objetivo

Cálculo de peso específico y densidad por medio del método del picnómetro (ver Tabla 12).

**Tabla 12:** 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 2, 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>.

*Cálculo de peso aparente y porosidad por el método de absorción.*

**Tabla 13:** Resultado del ensayo por el método de absorción.

Nro. Muestra	M-1	M-6	M-11	M-14
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. 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. egindocument

**Tabla 14:** Resultados de ensayo de FRX.

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

**Tabla 15:** 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

*Ensayo de pureza de carbonatos*

Mediante el ensayo de pureza de carbonato de calcio se identificó la concentración mineral en varias muestras seleccionadas

**Tabla 16:** 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
M-11	49,78
M-6	59,05
M-12	26,97
M9	2,04
M-7	49,29
M-8	69,45

La Tabla 16 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.

**Resultados del 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 (CaCO<sub>3</sub>), 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 17:** Valor de calizas en el área de estudio

Valor de las calizas en el área de estudio según su concentración de CaCO <sub>3</sub>	
Nomenclatura: Caliza impura margosa	
Calidad	Valores establecidos
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 %
<b>Valor obtenido CaCO<sub>3</sub> (%) 77.56</b>	
Índice hidráulico	Valores establecidos
Cal aérea	<0.1
Cal hidráulica	0.1 - 0.5
Cemento Pórtland	>0.5
<b>Valor obtenido &gt;95</b>	

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

Determinación del uso de la piedra caliza mediante índices				
Muestra	Índice hidráulico	Módulo hidráulico	Módulo resistencial	Módulo síliceo
M1	0.86	1.16	46.33	4.89
M6	0.44	2.27	117.53	1.07
M11	0.53	1.90	122.14	0.44
Average	0.61	1.78	95.22	2.14

Además de ello se obtuvo datos promedio de modulo hidráulico (1.78), estándar de cal (95.33), módulo síliceo (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.

## DISCUSIÓN

El presente trabajo de titulación se realizó con la finalidad de prospectar 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 CaCo. 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 CaCo.

Según el ENAMI EP, en el denominado el Proyecto Mínero Isimanchí, ubicado en la provincia de Zamora Ch. presenta un valor de 84 % de pureza de CaCo, 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 CaCo en sus muestras ensayadas. Esto indica que ambos resultados pertenecen a 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 CaO, 22 % de SiO<sub>2</sub>, 5 % de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 3 % de otros componentes. Los resultados obtenidos mediante 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 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.

## 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 CaCO<sub>3</sub>, 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 Británi-

co (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.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al Sr. Edgar Jara propietario del terreno en estudio, al GAD de Catamayo por el interés en el desarrollo del proyecto y a la UNL específicamente a la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial por permitir el uso de los Laboratorios de Mineralogía y Petrografía.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

“Conceptualización, JCR y OEL; metodología, HCG y OEL; análisis formal, HCG; investigación, JCR y OEL; recursos, JCR; curación de datos, OEL y HCG; redacción — preparación del borrador original, JCR y OEL; redacción — revisión y edición, HCG y FRJ; visualización, FRJ; supervisión, HCG y FRJ; administración de proyectos, OEL; adquisición de financiamiento, JCR. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito”.

Junior Cobos-Ramírez: JCR. Oscar Estrella-Lima: OEL. Hernán Castillo-García: HCG. Fernando Rengel-Jimenez: FRJ

## FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por fondos propios de los autores.

## REFERENCIAS

Araúz, M. d. (s.f.). Laboratorio de láminas delgadas. Recuperado 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). Búsqueda, exploración y evaluación geologo-económica de minerales sólidos. La Habana: Pueblo y Educación.

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. Recuperado 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. Recuperado de <https://catamayo.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/BORRADOR-OFICIAL-PDOT-CATAMAYO.pdf>

Griem Klee, S. (2016). Exploración y prospección. Recuperado de <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/01-Introduccion-Exploraciones-Prospeccion.html>

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. Recuperado de <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF>

Lambert, A. (Mayo de 2006). Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto. Recuperado 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 Napo en 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. Recuperado de <https://prefectura Loja.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? Recuperado 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.

Tarbutck, 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. Recuperado de <https://www.virtualpro.co/noticias/prospeccion-y-exploracion-de-yacimientos-minerales>

Wicander, R., & Monroe, J. (1999). Fundamentos de geología. Mexico: International Thomson Editores.