



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA PIEDRA CALIZA Y
POTENCIAL DE CARBONATO DE CALCIO EN EL SECTOR
CHIGUAZA EN CANTÓN HUAMBOYA PROVINCIA DE
MORONA SANTIAGO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MINAS

AUTORAS:

NANCY VIVIANA ZABALA ALARCÓN
GLADYS VALERIA MOLINA CABRERA

Macas - Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

**ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA PIEDRA CALIZA Y
POTENCIAL DE CARBONATO DE CALCIO EN EL SECTOR
CHIGUAZA EN CANTÓN HUAMBOYA PROVINCIA DE
MORONA SANTIAGO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MINAS

AUTORAS: NANCY VIVIANA ZABALA ALARCÓN
GLADYS VALERIA MOLINA CABRERA

DIRECTOR: Ing. JULIO CESAR LÓPEZ AYALA Mgs.

Macas – Ecuador

2022

© 2022, Nancy Viviana Zabala Alarcón & Gladys Valeria Molina Cabrera

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, Nancy Viviana Zabala Alarcón y Gladys Valeria Molina Cabrera, declaramos que el presente trabajo de Integración Curricular es nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 20 de mayo del 2022



Nancy Viviana Zabala Alarcón
140056253-2



Gladys Valeria Molina Cabrera
140116471-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA MINAS

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA PIEDRA CALIZA Y POTENCIAL DE CARBONATO DE CALCIO EN EL SECTOR CHIGUAZA, CANTÓN HUAMBOYA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO**, realizado por las señoritas **NANCY VIVIANA ZABALA ALARCÓN Y GLADYS VALERIA MOLINA CABRERA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

MIEMBROS	Fecha	Firma
Ing. Mónica Patricia Feijoo Álvarez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-05-20
Ing. Julio Cesar López Ayala Mgs. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-05-20
Ing. Jefferson Andrés Carranco López MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-05-20

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a mi hermano Christian Alexander Zavala Alarcón, por ser el motor y darme fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados por los dos. A mis padres Washington Zabala y Aida Alarcón, a mi hijo Jhoswa Crespo y a mis hermanos Diego y Andrés quienes han estado siempre presentes acompañándome, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

Viviana

El presente trabajo se lo dedico con mucho cariño a mis padres Alfonso Molina y Raquel Cabrera, por todo la confianza y apoyo que me supieron dar no solo en esta etapa tan importante de mi vida profesional, sino en todo momento. Agradezco todo el sacrificio y esfuerzo que han dedicado en mi educación, porque con su ejemplo me han inculcado valores y enseñanzas que hoy en día definen quien soy. También se la dedico a Alexis por apoyarme para culminar con mis estudios y siempre impulsarme a creer en mis capacidades, a mi hijo Johan quien ha sido mi mayor motivación para no rendirme a pesar de las dificultades.

Valeria

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, quien con su bendición me ha brindado paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas. A mi madre e hijo quienes siempre me dieron su apoyo incondicional, y a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudaron a trazar mi camino. Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades, y personal docente de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo Sede Morona Santiago de la misma manera a los Ingenieros Julio López, Andrés Carranco y Fabián Ojeda por brindarme su tiempo, apoyo constante, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta etapa. Agradezco también al Ingeniero Fabián Medina quien me ha guiado con sus sabios conocimientos y siempre alentarme a seguir para cumplir mi meta. Finalmente, mi agradecimiento a todos, mi familia, mis amigos que de una u otra manera me brindaron su colaboración y se involucraron en este proceso.

Viviana

El principal agradecimiento es a Dios por haberme dado la vida, sabiduría y fortaleza para seguir adelante. A mi hijo, mis padres y especialmente a hermanos, quienes han sido un pilar fundamental para terminar esta etapa con éxito, han estado conmigo incluso en los momentos más difíciles, motivándome y ayudándome a superarme. Un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, sede Morona Santiago por abrirme sus puertas y permitirme ser un profesional de calidad, a todos los profesores que a lo largo de la carrera supieron compartir sus conocimientos y experiencia no solo en el ámbito académico, sino también personal y se que en el transcurso del tiempo se convertirán en habilidades para conseguir cualquier objetivo que me proponga. Al Ingeniero Julio López, quien me brindo el apoyo necesario para culminar con éxito este proceso. A los Ingenieros Andrés Carranco y Fabián Ojeda por los conocimientos brindados y el tiempo dedicado a revisar y corregir el presente trabajo. Un agradecimiento especial a mis amigos y compañeros por apoyarme en todo momento, me siento muy afortunada por tenerlos. Infinita gratitud a todos ustedes por siempre creer en mí.

Valeria

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1.	Generalidades	4
1.1.1.	<i>Localización geográfica.....</i>	<i>4</i>
1.1.2.	<i>Accesibilidad</i>	<i>4</i>
1.1.3.	<i>Clima</i>	<i>5</i>
1.1.4.	<i>Hidrografía.....</i>	<i>6</i>
1.1.5.	<i>Topografía.....</i>	<i>6</i>
1.1.6.	<i>Flora.....</i>	<i>7</i>
1.1.7.	<i>Fauna</i>	<i>8</i>
1.2.	Marco geológico	8
1.2.1.	Geomorfología.....	8
1.2.1.1.	<i>Chevrones.....</i>	<i>10</i>
1.2.1.2.	<i>Colinas altas.....</i>	<i>10</i>
1.2.1.3.	<i>Mesetas.....</i>	<i>10</i>
1.2.1.4.	<i>Terrazas</i>	<i>10</i>
1.2.1.5.	<i>Vertientes.....</i>	<i>10</i>
1.2.2.	Geología Regional	10
1.2.2.1.	<i>Formación Napo (KN).....</i>	<i>11</i>
1.2.2.2.	<i>Formación Mera (QM).....</i>	<i>12</i>
1.2.2.3.	<i>Formación Mesa (Ms) (Baldock, 1982).....</i>	<i>13</i>
1.2.2.4.	<i>Formación Hollín (KHc).....</i>	<i>13</i>
1.2.3.	Geología Local.....	13
1.2.3.1.	<i>Litología de la zona de estudio.....</i>	<i>14</i>

1.3.	Realidad problemática	16
1.3.1.	<i>Distritos no metálicos en el Ecuador</i>	16
1.3.2.	<i>Actividad minera: Provincia de Morona Santiago</i>	17
1.3.3.	<i>Actividad minera: Cantón Huamboya</i>	18
1.3.4.	<i>Actividad minera: Sector Chiguaza</i>	18
1.4.	Calizas: Generalidades	18
1.4.1.	<i>Definición</i>	19
1.4.2.	<i>Características petrográficas</i>	19
1.4.3.	<i>Clasificación de las rocas carbonatadas</i>	19
1.4.3.1.	<i>Rocas carbonatadas detríticas</i>	19
1.4.3.2.	<i>Rocas carbonatadas química</i>	20
1.4.3.3.	<i>Rocas carbonatadas bioquímicas</i>	20
1.4.3.4.	<i>Carbonatitas</i>	20
1.4.4.	<i>Tipos de las calizas</i>	21
1.4.4.1.	<i>Calizas</i>	21
1.4.4.2.	<i>Dolomía</i>	22
1.4.4.3.	<i>Margas</i>	22
1.4.4.4.	<i>Travertino</i>	22
1.4.5.	<i>Principales derivados de las calizas</i>	22
1.4.5.1.	<i>Cal</i>	22
1.4.5.2.	<i>Cal viva</i>	23
1.4.5.3.	<i>Cal apagada</i>	23
1.4.5.4.	<i>Cal hidratada</i>	23
1.4.5.5.	<i>Cal hidráulica</i>	23
1.4.5.6.	<i>Carbonato cálcico</i>	23
1.4.6.	<i>Propiedades de las calizas.</i>	23
1.4.6.1.	<i>Color</i>	23
1.4.6.2.	<i>Resistencia</i>	24
1.4.6.3.	<i>Densidad</i>	24
1.4.7.	<i>Aplicaciones y ventajas</i>	24
1.4.7.1.	<i>Construcción</i>	24
1.4.7.2.	<i>Metalurgia</i>	24
1.4.7.3.	<i>Procesos químicos</i>	25
1.4.7.4.	<i>Agricultura</i>	25
1.4.7.5.	<i>Manufactura</i>	25
1.4.8	<i>Calizas en el Ecuador</i>	25

1.4.9.	<i>Plantas cementeras en el Ecuador</i>	26
1.4.9.1.	<i>Holcim Ecuador S.A.</i>	26
1.4.9.2.	<i>Lafarge Cementos S.A. (Unión Andina de Cementos S.A.A. UNACEM)</i>	27
1.4.9.3.	<i>Unión Cementera Nacional UCEM, C.E.M.</i>	27
1.4.9.4.	<i>Unión Cementera Nacional UCEM, S.A.</i>	27
1.5.	Proceso de fabricación del cemento	28
1.5.1.	<i>Extracción</i>	28
1.5.2.	<i>Triturado</i>	28
1.5.3.	<i>Prehomogenización</i>	28
1.5.4.	<i>Molienda</i>	28
1.5.5.	<i>Homogenización</i>	29
1.5.6.	<i>Calcinación</i>	29
1.5.7.	<i>Almacenamiento de clínker</i>	29
1.5.8.	<i>Molienda Final</i>	29
1.5.9.	<i>Envase y embarque</i>	29
1.6.	Análisis de laboratorio	30
1.6.1.	<i>Análisis químico</i>	30
1.6.1.1.	<i>Espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF)</i>	30
1.7.	Análisis microscópico	31
1.7.1.	<i>Láminas delgadas</i>	31
1.8.	Método de Kriging	31

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	33
2.1.	Tipo de investigación	33
2.2.	Población y muestra	33
2.3.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	33
2.3.1.	<i>Observación</i>	33
2.3.2.	<i>Análisis documental</i>	33
2.3.3.	<i>Instrumento</i>	33
2.3.1.	<i>Análisis de datos</i>	34
2.4.	Metodología de trabajo	34
2.4.1.	<i>Etapa de recuperación de información bibliográfica y cartográfica</i>	34
2.4.2.	<i>Etapa de campo</i>	34
2.4.2.1.	<i>Selección de las muestras de estudio</i>	35

2.4.2.2.	<i>Procedimiento para la toma de muestras</i>	35
2.4.3.	<i>Etapa de laboratorio</i>	37
2.4.3.1.	<i>Análisis macroscópico de las muestras</i>	37
2.4.3.2.	<i>Análisis microscópico</i>	38
2.4.3.3.	<i>Secado de las muestras de caliza</i>	43
2.4.3.4.	<i>Análisis cuantitativo: laboratorio UCEM S.A</i>	46
2.4.4.	<i>Etapa de gabinete</i>	48

CAPÍTULO III

3.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	49
3.1.	Análisis macroscópico de las calizas	49
3.2.	Análisis microscópico de las calizas	50
3.3.	Cálculo de la humedad	51
3.4.	Análisis cuantitativo mediante Kriging	52
3.4.1.	<i>Resultado de laboratorio</i>	52
3.4.2.	<i>Resultados de la metodología de campo y laboratorio</i>	54
3.4.3.	<i>Análisis geoestadístico</i>	54
3.4.3.1.	<i>Análisis exploratorio de datos</i>	54
3.4.3.2.	<i>Estimación con Kriging</i>	55
3.4.4.	<i>Modelo geoestadístico teórico</i>	60
3.4.5.	<i>Análisis e interpretación de los datos.</i>	64

CONCLUSIÓN.....	66
-----------------	----

RECOMENDACIONES	67
-----------------------	----

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Coordenadas geográficas de los puntos del área de estudio	4
Tabla 2-1:	Tipos de climas en la provincia de Morona Santiago	5
Tabla 3-1:	Fauna del cantón Huamboya.....	8
Tabla 4-1:	Descripción de Zonas Geomorfológicas de la parroquia Chiguaza	9
Tabla 5-1:	Descripción geológica según eras, litologías y formaciones	11
Tabla 6-1:	Clasificación porcentual de calizas	21
Tabla 7-1:	Empresas Partícipes del Sector Cemento en Ecuador	26
Tabla 1-2:	Ficha para el análisis macroscópico de rocas sedimentarias.....	37
Tabla 1-3:	Análisis macroscópico de las muestras de caliza.....	38
Tabla 2-3:	Análisis microscópico de las muestras de caliza.....	49
Tabla 3-3:	Datos del laboratorio para el cálculo de la humedad a 105 °.....	50
Tabla 4-3:	Ecuación para el cálculo de humedad.....	50
Tabla 5-3:	Cálculo de la humedad de las muestras.....	51
Tabla 6-3:	Resultados de la concentración del carbonato de calcio en porcentaje.....	51
Tabla 7-3:	Ubicación de las muestras y porcentaje de Carbonato de calcio.....	52
Tabla 8-3:	Datos geoestadísticos del carbonato de calcio.....	53
Tabla 9-3:	Errores de la validación del modelo teórico del Kriging.....	59
Tabla 10-3:	Resultados del análisis cualitativos y cuantitativos.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Ubicación geográfica del área de estudio.....	5
Figura 2-1:	Mapa topográfico de la parroquia Chiguaza.....	6
Figura 3-1:	Mapa geomorfológico de la parroquia Chiguaza	9
Figura 4-1:	Mapa geológico de la parroquia Chiguaza.....	14
Figura 5-1:	Formaciones, miembros y ciclos sedimentarios del Cretácico de la Cuenca Oriente, y sus relaciones con la curva estática de Haq el al. (1987).....	15
Figura 6-1:	Tipo de minería en Morona Santiago.....	17
Figura 7-1:	Diagrama de flujo del proceso del cementos UCEM S.A, Planta Chimborazo	30
Figura 1-2:	Afloramiento de calizas.....	35
Figura 2-2:	Muestras de caliza.....	35
Figura 3-2:	Etiquetado y selección de las muestras.....	36
Figura 4-2:	Preparación de las muestras.....	38
Figura 5-2:	Obtención de la planitud de las muestras de roca.....	39
Figura 6-2:	Muestra con resina epoxi.....	39
Figura 7-2:	Láminas delgadas de caliza.....	40
Figura 8-2:	Análisis de las muestras en el microscopio petrográfico	41
Figura 9-2:	Muestras observadas en la computador a través de una cámara CB10	42
Figura 10-2:	Láminas delgadas de caliza observadas en luz natural.....	42
Figura 11-2:	Láminas delgadas de caliza observadas en luz polarizada	43
Figura 12-2:	Conminución de las muestras de caliza	44
Figura 13-2:	Crisoles de porcelana.....	44
Figura 14-2:	Balanza analítica utilizadas para el secado de las muestras de caliza	45
Figura 15-2:	Estufa temporizada a 105 C.....	45
Figura 16-2:	POLAB PLM	46
Figura 17-2:	POLAB APM.....	47
Figura 18-2:	Analizado de rayos XRF	47
Figura 1-3:	Mapa de concentración del carbonato de calcio.....	54
Figura 2-3:	Histograma carbonato de calcio transformación: Log.....	55
Figura 3-3:	Histograma carbonato de calcio transformación: Ninguna.....	55
Figura 4-3:	Histograma carbonato de calcio transformación: Box-Cox.....	55
Figura 5-3:	Normal QQPlot.....	56
Figura 6-3:	Diagrama de Veronoi de la concentración de carbonato de calcio.....	56
Figura 7-3:	Análisis de tendencia de la concentración de carbonato de calcio.....	57

Figura 8-3:	Semivariograma de la concentración de carbonato de calcio.....	57
Figura 9-3:	Validación circular de las muestras.....	58
Figura 10-3:	Validación esférica de las muestras.....	58
Figura 11-3:	Validación Gaussiano de las muestras.....	58
Figura 12-3:	Mapa de estimación mediante Kriging modelo esférico.....	59
Figura 13-3:	Mapa de estimación mediante Kriging modelo gaussiano.....	60
Figura 14-3:	Mapa de estimación mediante Kriging.....	61
Figura 15-3:	Mapa de error de predicción de la estimación mediante Kriging.....	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Concentraciones del carbonato de calcio por el código de muestras.....	55
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** MAPA DE ACCESIBILIDAD A LA ZONA DE ESTUDIO
- ANEXO B:** MAPA TOPOGRÁFICO DE LA PARROQUIA CHIGUAZA
- ANEXO C:** MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA PARROQUIA CHIGUAZA
- ANEXO D:** MAPA GEOLÓGICO DE LA PARROQUIA CHIGUAZA
- ANEXO E:** MAPA DEL CATASTRO MINERO MORONA SANTIAGO
- ANEXO F:** MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO ESFÉRICO
- ANEXO G:** MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO GAUSSIANO
- ANEXO H:** MAPA DE LA ESTIMACIÓN MEDIANTE IDW
- ANEXO I:** MAPA DE ERROR DE LA PREDICCIÓN DE LA ESTIMACIÓN MEDIANTE KRIGING
- ANEXO J:** INFORME DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD UCEM S.A
- ANEXO K:** FICHAS MACROSCÓPICAS PETROGRÁFICA DE LAS MUESTRAS
- ANEXO L:** FICHAS MICROSCÓPICAS DE LAS MUESTRAS
- ANEXO M:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE CALIZA
- ANEXO N:** ANÁLISIS MICROSCÓPICO EN EL LABORATORIO DE MINAS
- ANEXO O:** CÁLCULO DE HUMEDAD

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo realizar la caracterización cualitativa y cuantitativa de la piedra caliza, en la parroquia Chiguaza, cantón Huamboya. Para este análisis se utilizó las instalaciones del laboratorio de hidráulica, mineralogía, cristalografía y petrografía de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo Sede Morona Santiago y el laboratorio del Departamento de Control de Calidad de la Unión Cementera Nacional S.A. planta Chimborazo. La recolección de las muestras fue efectuada de manera aleatoria, cada veinte metros de distancia, en un rango de cuatrocientos metros. Se envió cuatro muestras de caliza al laboratorio de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental (FIGEMPA) con la finalidad de elaborar láminas delgadas para el análisis cualitativo, utilizando el microscópico petrográfico, y seis muestras fueron descritas visualmente mediante el uso de fichas macroscópicas. Se escogieron cinco muestras para completar el análisis cuantitativo bajo el ensayo de fluorescencia de Rayos X en las instalaciones de la UCEM S.A. Bajo el proceso de interpolación geoestadística de *Kriging* se analizó el potencial de CaCO_3 y los resultados fueron comparados con la herramienta de interpolación Distancia Inversa Ponderada (IDW). Como resultado se obtuvo un valor mínimo del 87,27% y un valor máximo del 98.75%. En conclusión, gran parte del área de estudio está constituida por un alto potencial de carbonato de calcio. Se recomienda extender la zona de estudio para continuar explorando y levantando información, con la finalidad de establecer un posible proyecto para la extracción del mineral.

Palabras clave: <FLUORESCENCIA DE RAYOS X>, <LÁMINAS DELGADAS>, <ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO>, <KRIGING>, <CARBONATO DE CALCIO>

1187-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

This study aimed to carry out the qualitative and quantitative characterization of limestone in the Chiguaza parish, Huamboya canton. The facilities of the laboratory of hydraulics, mineralogy, crystallography and petrography from Escuela Superior Politécnica del Chimborazo -Morona Santiago campus and the laboratory of the Quality Control Department of Unión Cementera Nacional S.A. Chimborazo (UCEM S.A) site were used for this analysis. Samples were collected randomly every twenty meters, within a range of four hundred meters. Four limestone samples were sent to the laboratory of the Engineering School in Geology, Mines, Petroleum and Environmental (FIGEMPA in Spanish) in order to elaborate thin films for qualitative analysis, using petrographic microscopy, and six samples were visually described using macroscopic cards. Five samples were chosen to complete the quantitative analysis under X-Ray fluorescence assay at UCEM S.A. facilities. Under the Kriging geostatistical interpolation process, the CaCO₃ potential was analyzed and the results were compared with the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation tool. As a result, a minimum value of 87.27% and a maximum value of 98.75% were obtained. In conclusion, a large part of the study area is constituted by a high calcium carbonate potential. It is recommended to extend the study area to continue exploring and collecting information in order to establish a possible project for the extraction of the mineral.

Keywords: <X-RAY FLUORESCENCE>, <THIN FILMS>, <GEOSTATISTIC ANALYSIS>, <KRIGING>, <CALCIUM CARBONATE>.

INTRODUCCIÓN

Las rocas carbonatas son rocas sedimentarias y están formadas esencialmente por minerales de carbonato de calcio (CaCO_3), las más importantes son calizas, dolomias y margas. Se toma como referencia para el análisis a las rocas calizas ya que estas contienen más del 50% de carbonato de calcio.

La caliza es una roca cuyo valor mineralógico es demasiado alto, esta es una de las razones por la cual constituye la principal materia prima para la fabricación de diferentes materiales utilizados en varias industrias de la construcción, como agregado o producción de cal y cemento. La caliza alta pureza contiene una composición química de CaCO_3 del 97,0 al 98,5 (Alfaro et al., 2011, pp. 4-5).

En estudios realizados anteriormente la caliza que se encuentra en el sector Chiguaza, cantón Huamboya está constituida por carbonato de calcio, con mínimas cantidades de óxido de sílice, óxido de aluminio, óxido de hierro, óxidos de magnesio, óxido de sodio; es por esta razón que se requiere conocer la titulación de CaCO_3 , como parámetro importante necesario para la etapa de extracción y producción de este material (Ortiz, 2016, p. 39).

Castillo y Chunque (2016, p. 8) en su investigación sobre la concesión minera “Tres pirámides” para la explotación de roca caliza con intereses industriales se basan en examinar la concentración de CaCO_3 en la roca caliza tomando las características petrográficas y al análisis químico. Cuando una roca caliza es de tipo Mudstone, Packstone y Wackestone indican que son de calidad buena ya que se caracterizan por contener carbonatos de calcio óptimos, cuando la roca caliza en el análisis químico refleje un valor mínimo de 94.43% y un valor máximo de 97.11% de carbonato de calcio indica que la roca es de buena calidad. Lo cual quiere decir que el potencial de carbonato de calcio en una roca caliza tiene que ser relativamente alto para la explotación.

El proyecto de titulación a ser presentado es la caracterización de la caliza mediante métodos petrográficos, con el objetivo de informar los resultados obtenidos para el posible diseño de un sistema de explotación, mismos que servirá para la creación de nuevas concesiones mineras a cargo de UCEM S.A. en base a los resultados de estudios de reservas que actualmente existen en el lugar, con referencia de la topografía, la geología, los parámetros técnicos y económicos, el rendimiento operacional de los equipos que se considera, del control de calidad, a los cuales se han agregado medidas de seguridad y control ambiental.

En la presente investigación, se busca elaborar un estudio para comprobar el potencial de carbonato de calcio existente en las zonas aledañas al puente del Río Pastaza en la parroquia Chiguaza, con el propósito que el reconocimiento de la geología (características geológicas, caracterización

petrográfica y análisis químico), faciliten datos necesarios para determinar si potencial de carbonato de calcio es óptimo, ya que la empresa interesada en el análisis y posible extracción del mineral no metálico que existe en la zona de estudio, desconoce cuál es la calidad de carbonato de calcio de la caliza.

Antecedentes

A nivel nacional existe una gran demanda de materia prima en la industria y comercialización del cemento siendo la Unión Cementera Nacional UCEM S.A. una de las empresas líder en el mercado con las marcas Guapán y Chimborazo, cuyas plantas están ubicadas en dos sectores estratégicos del país (Azogues y Riobamba), por lo que se requiere realizar un análisis del potencial de carbonato de calcio de las calizas de la parroquia Chiguaza, debido a que este parámetro es necesario para establecer si la calidad del material es óptimo y realizar la extracción del mismo.

Acevedo, Hernán & Guerra, Rocío (2005, p. 7-8, 110) en su tesis “Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana”, de la Universidad de Chile; tiene por objetivo demostrar la conveniencia o inconveniencia económica de asignar recursos escasos de inversión a la explotación de un yacimiento de caliza localizado en la Región Metropolitana, aplicando para ello las técnicas de preparación de proyectos. Y cuyos resultados a través del análisis de ensayos de calcinación dejaron en manifiesto que el contenido de CaCO_3 en la caliza analizada se encuentra entre 94,3% y 96,3%, siendo un valor óptimo para la extracción del material.

Planteamiento del problema

La Unión Nacional Cementera Nacional UCEM S.A. requiere satisfacer la demanda de materia prima para la elaboración de sus cementos siempre y cuando cumplan con los estándares de calidad y producción exigidos para la competitividad en el mercado, siendo la parroquia Chiguaza una de las alternativas para la explotación debido a su fácil accesibilidad desde la planta Chimborazo. Por tal razón surge la necesidad de realizar un estudio cualitativo (análisis petrográfico) y cuantitativo (análisis químico) para determinar la calidad del carbonato de calcio (concentraciones del 97%) en el posible yacimiento de calizas ubicado en el sector Chiguaza, cantón Huamboya, cuyo objeto es encontrar depósitos que subministren de manera directa de este elemento a la empresa.

Justificación

En la presente investigación, se busca realizar un estudio cualitativo y cuantitativo para determinar el potencial de carbonato de calcio presente en el posible yacimiento ubicado en el sector de Chiguaza, con la finalidad de que el reconocimiento geológico (caracterización petrográfica, características geológicas y análisis químico), proporcione datos necesarios para determinar si dicho porcentaje de calidad es óptimo.

Considerando que actualmente la empresa Unión cementera Nacional UCEM S.A. tiene necesidades de abastecimiento de materia prima y busca nuevas concesiones para extraer el mineral no metálico conforme a la calidad de carbonato de calcio de la piedra caliza, indispensable para la elaboración del cemento, teniendo en cuenta las exigencias ambientales y técnicas de extracción, de tal manera que se mantenga bajo los estándares de calidad conforme a lo que disponga la normativa vigente.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar las características cualitativas y cuantitativas de la piedra caliza, ubicada en la parroquia Chiguaza, cantón Huamboya, provincia de Morona Santiago para determinar el potencial de carbonato de calcio.

Objetivos específicos

- Realizar la caracterización petrográfica de las calizas e interpretación de su génesis mediante el análisis de láminas delgadas en el laboratorio de hidráulica, mineralogía, cristalografía y petrografía de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, sede Morona Santiago.
- Analizar cuantitativamente las muestras de caliza en los laboratorios de la Unión Cementera Nacional S.A. planta Chimborazo, para la determinación del contenido de carbonato de calcio.
- Realizar el análisis geoestadístico de las muestras de caliza utilizando *Kriging* en el *software* ArcGis, para la estimación de la distribución de las concentraciones del contenido de carbonato de calcio.

Hipótesis

¿Con el estudio del análisis cualitativo y cuantitativo se podrá determinar el potencial de concentraciones con más de un 97% de carbonato de calcio de la caliza, en sector de Chiguaza provincia Morona Santiago?

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Generalidades

1.1.1. Localización geográfica

La zona de estudio se encuentra ubicado en la provincia de Morona Santiago, cantón Huamboya, parroquia Chiguaza en zonas cercanas al río Pastaza, en una longitud de 400 m. A continuación, en la tabla 1-1, se muestran las coordenadas de la zona de estudio:

Tabla 1-1: Coordenadas geográficas de los puntos del área de estudio

DATUM WGS 84 ZONA 18		
PUNTOS	X	Y
P inicial	185760	9787075
P final	186140	9786543

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

1.1.2. Accesibilidad

El acceso hacia la zona de estudio se realiza por la conexión vial Macas - Huamboya, la jurisdicción cantonal del Cantón Huamboya se encuentra atravesado de norte a sur por la vía E45 más conocida como la Troncal Amazónica, las vías se encuentran asfaltadas y en buen estado, el punto donde se tomaron las muestras es adyacente al puente sobre el río Pastaza.

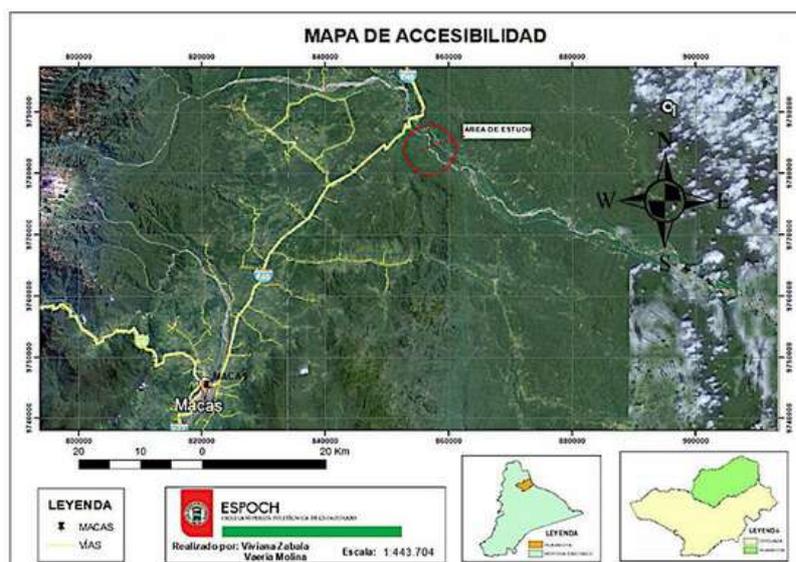


Figura 1-1. Ubicación geográfica del área de estudio

Fuente: Google Earth, 2021.

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

1.1.3. Clima

El relieve es un factor predeterminante en la configuración de los diferentes climas del planeta, influenciado sobre las temperaturas, las precipitaciones y los vientos. En la provincia de Morona Santiago hay climas que parten desde fríos en las estribaciones andinas, atravesando por subtropicales y tropicales en la zona más baja. Las temperaturas oscilan entre -4 °C en el Parque Nacional Sangay y 28 °C en el cantón Taisha-Ilanura Amazónica. Según INAMHI 2017 se determinan 4 tipos de clima en el territorio provincial (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, pp. 46-48).

Tabla 2-1: Tipos de climas en la provincia de Morona Santiago

Tipo de clima	Altura (msnm)	Temperatura (°c)	Precipitación anual (msnm)	Área (ha)	Área (%)
Súper húmedo sin déficit de agua mega térmica o Cálido	200-900	18-28	3000-4000	1055.411,35	44.5
Húmedo con pequeño déficit de agua mesotérmica templado o Cálido	900-2000	12-24	2000-3000	1140.880,64	47.2
Sub húmedo con pequeño déficit de agua mesotérmica templado frío	2000-3000	0-12	1000-2000	180.197,79	7.5
Súper húmedo sin déficit de agua mesotérmico templado cálido	800-1200	20-22	3000-6000	19.226,36	0.80
TOTAL				2395.716,14	100

Fuente: Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019.

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

1.1.4. Hidrografía

En la provincia de Morona Santiago se encuentran ubicadas las cuencas hidrográficas de los ríos Pastaza en un porcentaje superficial provincial de 24.77%, Morona 26.07% y Santiago en un 49.16% siendo el más largo, aportando aproximadamente con un caudal de 1155.80 m³/s. La cuenca hidrográfica del río Pastaza abarca 82 microcuencas adoptando importantes aportes a través de los ríos Chuya Llushín, Palora y Chiguaza mientras que la cuenca hidrográfica del Morona y Santiago reciben 102 y 119 microcuencas respectivamente. La cuenca del río Pastaza en su curso superior corresponde a los cantones de Palora y Huamboya donde presenta un régimen torrencial, pero en el recorrido hacia el cantón Taisha que tiene características hidrográficas de un río de llanura, permite la navegabilidad en cualquier época del año. (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, pp. 35-36). El sistema hidrográfico principal que atraviesan el cantón Huamboya son los ríos Pastaza, Palora, Chulla Llushin, Alao, Daldal, Tunachiguaza, Amundalo y sus afluentes, con orientación la mayor parte a la vertiente amazónica.

1.1.5. Topografía

Los datos topográficos ayudan a obtener las características más representativas de un área de interés, las cuales pueden proyectarse o registrarse en un mapa, plano o carta, que sirven para la recopilación e interpretación de datos geológicos y estructurales. La parroquia Chiguaza está conformada por diversas formas en su relieve, las cuales se representan en la figura 2-1 correspondiente al mapa topográfico de Chiguaza, el cual se realizó con información de la base de datos de La Secretaría Nacional de Planificación (SENPLADES).

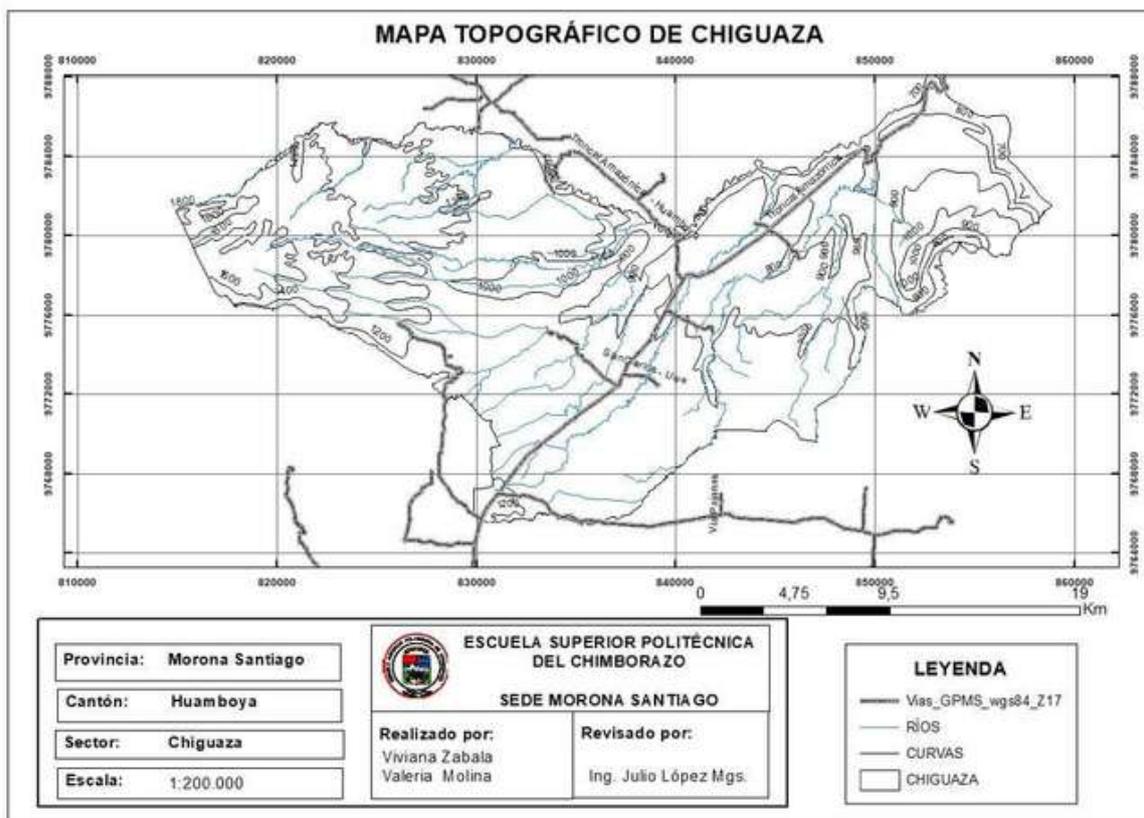


Figura 2-1. Mapa topográfico de la parroquia Chiguaza

Fuente: SENPLADES, 2018.

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

1.1.6. Flora

El Bosque Protector Kutukú-Shaime fue fundado por medio de acuerdo Ministerial No 0402 el 3 julio de 1990, con una superficie de 311 500 ha y se encuentra localizado dentro de las parroquias Sevilla Don Bosco, Chiguaza, Huambi, Logroño, Yaupi, Tayusa, Patuca y Santiago; cantones Sucúa, Morona, Taisha y Santiago Méndez. En el centro cantonal y varias comunidades del cantón Huamboya se ha impulsado el cultivo de arroz, caña de azúcar y banano, es así como inicia una etapa de deforestación a grandes cantidades, sin dar una valoración al bosque, a pesar que se derribaron grandes árboles de caoba, cedro, laurel, alcanfor, guaduas y otros que se perdieron en el mismo lugar, además del cultivo extensivo de pastos para el ganado. En la actualidad existe un promedio de 1 hectárea de bosque por finquero en estado degradado con muy pocas especies útiles para la construcción; en el sector no se realiza ninguna técnica de recuperación y mantenimiento de plantas nativas de utilidad.

1.1.7. Fauna

Dentro de la fauna del cantón Huamboya, existe gran cantidad de animales silvestres, los mismos que han sido explotados en grandes proporciones por medio de la cacería, por lo que ciertas especies están en peligro de extinción (GAD Municipal de Huamboya, 2019-2023). En la siguiente tabla se refleja especies de animales existentes en la zona.

Tabla 3-1: Fauna del cantón Huamboya

GRUPO	ESPECIES
Mamíferos:	Tigres, osos, tigrillos, dantas, ardillas, ratones, ratas, venados, monos, zorros, armadillos, guantas, guatusas, conejos, lobo de agua, cuchuchos, puercos espín.
Aves:	Loros, pavos de monte, perdices, gallinazos, tucanes, golondrinas, garzas, gavilanes, águilas, trompeteros, guacamayos.
Reptiles:	Boa, coral, lagartijas, iguanas terrestres, equis, mataballo, ciega.
Insectos:	Grillos, correderas, mosca común, zancudos, escarabajos, mariposas, mosquitos, tábanos, hormigas, termitas (comején), avispas, abejas.
Arácnidos:	Arañas, garrapatas, coloradillas, ácaros rojos.
Peces:	Boca chicos, bagres, carachas, chuwi, anguilas, sardinas, tilapias, carpas.

Fuente: GAD Municipal de Huamboya, 2019-2023.

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021

1.2. Marco geológico

1.2.1. Geomorfología

La geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la corteza terrestre, desde el origen y su evolución en el transcurso del tiempo, en la figura 3-1 se representa el mapa geomorfológico del cantón Huamboya cuyos relieves son: Chevrones, cordones litolares, cuerpos de agua, mesas disectadas, relieve montañoso, terraza baja y terraza indiferenciada.

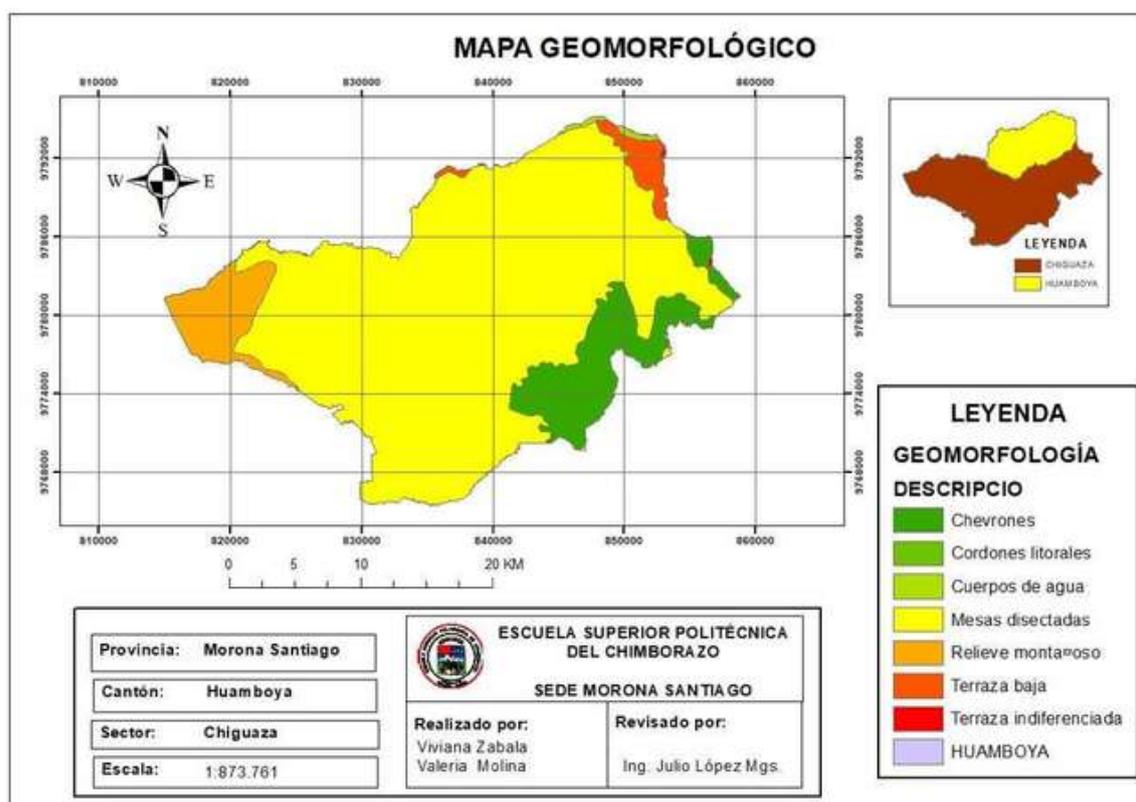


Figura 3-1. Mapa geomorfológico de la parroquia Chiguaza

Fuente: SENPLADES, 2018

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021

La forma de relieve que sobresale en la parroquia Chiguaza, son meso relieves de tipo mesetas que figura el 92.83% del territorio, ocupando un área de 44.541,73 ha, continuando con el relieve con el prototipo vertientes que cubre 3.79% y constituye 1818,61 ha, mientras que las terrazas conforman el 2.46% con un área total de 1181,06 ha del territorio parroquial. Finalmente se presenta el Relieve Chevrone, con un porcentaje de 0.64% que representa un área de 306.68 ha del total parroquial (Equipo de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Chiguaza, 2015, p. 23). A continuación, se describe cada una de las geoformas presentes en la parroquia Chiguaza.

Tabla 4-1: Descripción de Zonas Geomorfológicas de la parroquia Chiguaza

FORMAS MESORELIEVE	ÁREAS (ha)	PORCENTAJES (%)
CHEVRONES	306.68	0.64
COLINAS ALTAS	82.29	0.17
MESETAS	44541.73	92.93
TERRAZAS	1181.06	2.46
VERTIENTES	1818.61	3.79
TOTAL	47930.37	100.00

Fuente: Información Cartográfica PDOT 2014 y Simpladas citado en Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019.

1.2.1.1. Chevrone

Son unidades geomorfológicas las cuales son parte de grandes extensiones estructurales disectadas, con pendientes entre 40-70%, y también frentes de chevrones con pendientes >70%. Presentan desniveles relativos de 100-200 m (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, p. 87).

1.2.1.2. Colinas altas

Son unidades geomorfológicas con un aspecto de colinada arrugada, la altura relativa oscila entre los 75-200 m y la pendiente está entre el 14-20 % (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, p 87).

1.2.1.3. Mesetas

Son elevaciones naturales extensas, que supone determinada altura sobre el nivel del mar; por lo general se encuentran rodeadas por abruptos acantilados y de terrenos más bajos. Presenta un desnivel de 5-15 m y una pendiente de 5-12% (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, p 89).

1.2.1.4. Terrazas

Consiste en zonas planas, bajas y estrechas, las cuales están formadas por deposición aluvial de arenas, ubicadas en ambos lados del plano inundable, cuyo origen es por una disminución frecuente de las bases de erosión. Con pendiente suave de >2-5% y pendiente relativa de 50-100 m (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, p. 95).

1.2.1.5. Vertientes

Son laderas de estructura mixta o irregular cuya pendiente presenta un rango muy extenso (del 12 al 70%), con alturas relativas importantes (en el contexto morfológico en el que se dan con frecuencia, a menudo superan los 200 m). Como la mayoría de las laderas marcadas, se encuentra depositado sobre una gran variedad de sustratos (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, p. 64).

1.2.2. Geología Regional

La parte Norte de la Cuenca Oriental Ecuatoriana se encuentra constituida por secuencias sedimentarias y volcánicas, y su origen va desde el Paleozoico hasta el Cuaternario, se encuentran depositados sobre un sustrato Precámbrico. El sustrato Precámbrico está constituido por rocas

ígneas y metamórficas, las cuales están enlazadas con el escudo Guayano-Brasileño. Cabe señalar que son las rocas más antiguas encontradas en la Cuenca Oriental (Baby et al., 1997, p. 7).

En la zona de estudio afloran rocas sedimentarias que han tenido diferente origen y evolución a través de la historia geológica; sus edades se remontan a partir del jurásico hasta el cuaternario, las principales formaciones que se encuentran son: Napo, Mera, Mesa y Hollín. En la parroquia Chiguaza el 79.58% corresponde a la era geológica el Cuaternario, con un total de 34.926,66 ha. El 19.82% corresponde a la era del Cretáceo con un área de 133.71 ha y en menor cantidad la era Jurásica con 127.41 ha que corresponden al 0.29% del total del territorio.

Tabla 5-1: Descripción geológica según eras, litologías y formaciones

Era	Litologías	Formaciones	Áreas (ha)	Porcentajes (%)
Cuaternario	terrazas, conglomerados, arenas, lutitas	Mera	34926.66	79.58
Cretáceo	Lutitas negras, calizas y areniscas	Napo	8699.81	19.82
Cretáceo	areniscas y cuarcitas	Hollín	133.71	0.30
Jurásico	capas rojas, lutitas, rocas volcánicas	Unidad Chapiza	127.41	0.29
TOTAL			43887.59	100

Fuente: Información Cartográfica PDOTT 2014 y Senplades

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

1.2.2.1. Formación Napo (KN)

De acuerdo con Tschopp, 1953; Fauchere lal. 1971; Bristow & Hoffstetter, 1977; Canfield et al., 1982 citando en (Baby et al., 2004, p. 46-47) La formación Napo ha sido típicamente subdividida en tres diferentes miembros:

- Napo Inferior (Albiano Superior-Cenornaniano Inferior)
- Napo medio (Turoniano)
- Napo superior (Coniaciano-Carnpaniano)

Mientras que Jaillard et al., (1997, Baby et al., 2004, p. 49) propone una nueva subdivisión, dando como resultado el Grupo Napo, constituido por cuatro miembros:

- Napo Basal (Albiano Inferior-Superior)
- Napo Inferior (Albiano Superior-Cenornaniano o Superior)
- Napo Medio (Turoniano Inferior-Superior)
- Napo Superior (Coniaciano-Carnpaniano)

Napo Basal (Albiano Inferior-Superior)

De base a tope se constituye con areniscas basales, glauconíticas, intercaladas con limolitas y calizas delgadas (conocidas tradicionalmente como Hollín superior). Las Calizas “C”, de tipo masivo, las lutitas Napo Basal, de color negro, las Calizas “T”, fosilíferas intercaladas con niveles margosos glauconíticos; y las areniscas “T” masivas, a menudo muy glauconíticas (base y tope), frecuentemente separadas en dos segmentos (Baby et al., 1997, p. 9).

Napo Inferior (Albiano Superior-Cenornanian o Superior)

Constituido por Calizas “B” que son margosas de medio anóxico alternadas con lutitas negras sobre las que se desarrollan las Lutitas “U”, las Calizas “U” y las Areniscas “U”, que son areniscas glauconíticas masivas, a menudo divididas en dos y tres miembros por niveles lutáceos, localmente con calizas. Hacia al Subandino cambian a facies de arenas muy finas y lima-arcillosas (Baby et al., 1997, p. 9).

Napo Medio (Turonia no Inferior-Superior)

Es una unidad calcárea marina compuesta por las Calizas “A” de color gris oscuras a negras, ocasionalmente con cherts culminando con margas y calizas claras; las Calizas “M-2” compuestas por secuencias de margas y calizas; en cuya base ocasionalmente se desarrollan depósitos arenosos, conocidos como arenisca M2 (Baby et al., 1997, p. 9).

Napo Superior (Coniaciano-Carnpaniano)

Según E. Jaillard (1995) es una discordancia regional corroborada con lo observado en sismica de base a tope, comprende una secuencia de lutitas con intercalaciones de bancos calcáreos; Caliza “M-1” integrada por calizas y lutitas oscuras, caracterizada por un nivel radioactivo equivalente a las fosforitas del Norte de la Zona Subandino; la Arenisca “M-1 inferior” con lutitas con intercalaciones delgadas y lenticulares de areniscas; la Arenisca “M-1 masiva” que es una secuencia grano decreciente de areniscas discordantes, cubiertas por un delgado nivel lutáceo (Baby et al., 1997, p. 9).

1.2.2.2. Formación Mera (QM)

Es la formación geológica que cubre la mayor parte de la provincia de Morona Santiago, abarcando una superficie de 621.696,03 hectáreas, la misma que representa el 25,90 % de todo el territorio. Se localiza en los cantones Taisha en mayor porcentaje y en Tiwintza, Palora, Morona y Huamboya en menor porcentaje. La Formación Mera está constituida por depósitos de terrazas jóvenes compuestos de conglomerados de distintos tamaños, predominando los gruesos, areniscas y lentes de tobas y arcillas, provenientes de abanicos de pie de monte. La base de la formación es posiblemente Plioceno superior o Pleistoceno inferior, con depósitos en todo el Cuaternario. Las litofacies que se hallan son

de tipo Gp, Gt, Gmm et Gmt y también Sp y Sh, las mismas que están colocadas en lentes en los conglomerados (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, pp. 58-59).

1.2.2.3. Formación Mesa (Ms) (Baldock, 1982)

La formación Mesa es de la edad Plio – Pleistoceno y está constituida por una serie de terrazas compuestas principalmente de depósitos clásticos de medios a gruesos muy potentes hacia el oeste, ocasionado por la erosión de la Sierra, las terrazas contienen indicios de fallamientos y levantamientos; además se encuentran de manera parcial cubiertas por depósitos cuaternarios posteriores (Baby et al., 1997, p. 12).

1.2.2.4. Formación Hollín (KHc)

Constituida por areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, incluye además lutitas fracturadas cuyo espesor es de 80 a 240 m. Las cuarcitas de la Hollín surgen prolongadamente en la zona subandina, y están situadas en la parte exterior de algunas partes del levantamiento Napo. La Formación Hollín se ubica en discordancia sobre el substrato Pre cretácico o en concordancia por encima de la Formación Yaupi, pero no se depositó en el borde Oriental de la Cuenca. Las areniscas gruesas de la parte inferior son continentales, depositadas principalmente por ríos tipo braided, en tanto que la parte más superior de grano más fino es depositada en medio marino litoral (Baby et al., 1997, p. 8).

1.2.3. Geología Local

La geología es la ciencia que estudia desde el origen, composición, dinámica hasta la evolución de la Tierra, abarcando todos los recursos naturales, así como los procesos que afectan la superficie y, por ende, el medio ambiente.

Realizada la exploración de campo en varios sectores de la parroquia, se estableció una zona de interés para el muestreo, las calizas del área de estudio poseen características particulares, debido a que en su mayoría son de color blanco y la mayor parte de la roca tiene fósiles.

La principal formación dentro de la parroquia Chiguaza y la zona de estudio es Napo debido a que en su litología se puede apreciar diferentes tipos de material y el de interés son las calizas (Equipo de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Chiguaza, 2015, p. 12). Cabe resaltar que las calizas estudiadas se encuentran continuas en el subsuelo bajo de la formación Mera como se observa en la figura 4-1, la cual representa el mapa geológico de la parroquia Chiguaza, y para su elaboración se utilizó la información cartográfica proporcionada por SENPLADES a escala 1:250.000.

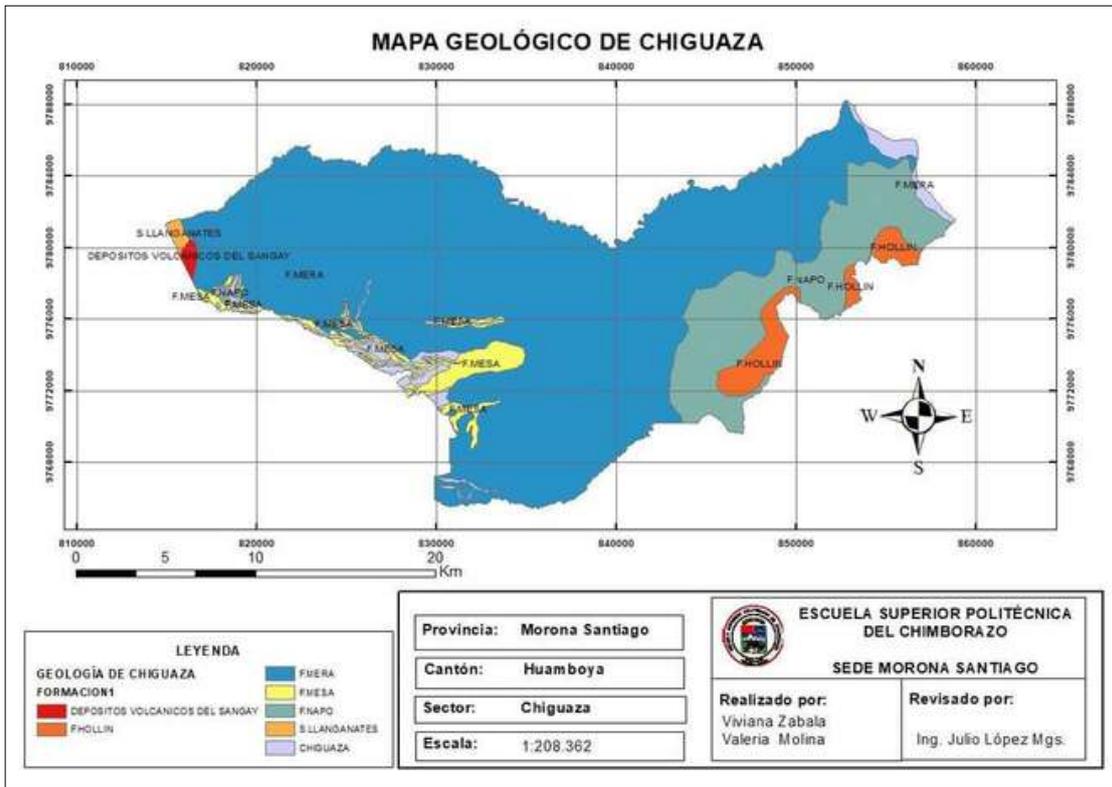


Figura 4-1. Mapa geológico de la parroquia Chiguaza

Fuente: SENPLADES, 2018.

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

1.2.3.1. Litología de la zona de estudio

Se realizó el análisis de los aspectos geológicos y litológicos de la parroquia Chiguaza, en el recorrido se observaron afloramientos de caliza en las cercanías al puente del río Pastaza, las mismas que podrían corresponder a la formación Napo debido a la geología del lugar y a sus características litológicas, la finalidad del estudio es determinar en qué miembro de la formación se depositan las calizas recolectadas.

La formación Napo se subdivide en cuatro miembros con calizas de diferentes características como se puede observar en la figura 5-1.

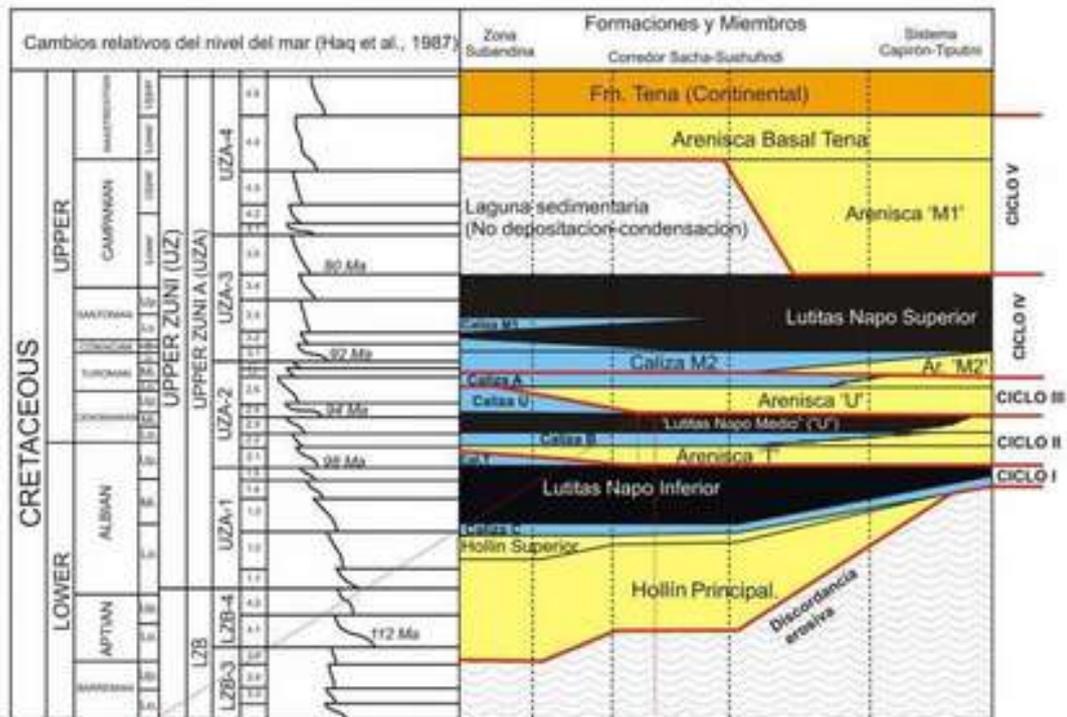


Figura 5-1. Formaciones, miembros y ciclos sedimentarios del Cretácico de la Cuenca Oriente, y sus relaciones con la curva estática de Haq et al. (1987)

Fuente: Haq et al. (1987), citado en Babys, 2004.

Arenisca "T" Basal: Se encuentra constituida por alternaciones de margas y calizas arenosas glauconíticas, fosilíferas y bioturbadas.

Caliza "B" (Albiano Tardío): Corresponde a un medio anóxico que en la parte inferior comienza con una secuencia de calizas, lutitas y limolitas negras, en el centro está conformado por calizas densas fosilíferas y glauconíticas, y la parte superior por lutitas negras intercaladas con bancos delgados de caliza margosa (Jaillard et al., 1997, citado en Babys, 2004, p. 282).

Lutitas "U" (Cenomaniano Temprano, Jaillard et al., 1997): se ubican en la zona subandina y en la parte central de la Cuenca Oriente, es de ambiente marino anóxico de baja (Babys, 2004, p. 54). Son un intervalo lutítico-calcáreo, en su parte inferior está conformada por lutitas y la parte superior de calizas masivas gris oscuras y arenas calcáreas.

Caliza "A" (Turoniano Temprano Terminal-Turoniano Medio, Jaillard et al., 1997): está depositada al tope del ciclo U, es la expresión final del evento transgresivo y del cambio al sistema de prisma de alto nivel en la plataforma marina abierta de la Cuenca Oriente (Babys, 2004, p. 55). Es parte de un depósito de plataforma carbonatada abierta somera de poca energía y se ha subdividido en: Miembro Inferior, el cual consiste de calizas micríticas, areniscas calcáreas claras y oscuras, masivas y laminadas, muy poco bioturbadas, con cuantiosas cherts negros y restos de peces, insuficientes bivalvos y amonites localmente abundantes. Parte media que se conforma de calizas arenosas interestratificada con lutitas y Miembro Superior cuyas calizas son masivas con bancos

delgados de margas a la base y la diferencia con el miembro medio es la abundancia de bioturbaciones y alto contenido de amonites y bivalvos.

Caliza "M2" (Turoniano Tardío, Jaillard et al, 1997): está conformada por calizas fosilíferas interestratificadas con lutitas, en la parte superior contiene calizas margosas fosilíferas bioturbadas, y en el tope está constituido por una superficie ferruginosa irregular de erosión.

Caliza "M1" (Coniaciano Temprano, Jaillard et al., 1997): en su parte inferior esta conformada por un cuerpo homogéneo lutítico, abundante en materia orgánica de un medio anóxico, mientras que parte superior está constituida por calizas *mudstones* y *packstones* intercalados con estratos finos de lutita gris y negra, calcárea de plataforma carbonatada externa de medio abierto.

1.3. Realidad problemática.

Las rocas y minerales industriales (RMI) están conformados por todos los no metálicos, se caracterizan por ser sustancias minerales muy comunes en la naturaleza, generalmente cubren grandes áreas de la corteza terrestre, las propiedades físicas de los RMI a diferencia de los minerales metálicos no cambian hasta su etapa final. Existen minerales como mica, asbesto, diatomita y caolín que mantienen sus mismas propiedades desde la cantera hasta la aplicación final. La principal característica de los minerales no metálicos es la demanda, la producción de arena y grava en algunos países desarrollados como Estados Unidos y Japón iguala al oro y supera al cobre. Asimismo, la producción de arcilla en la mayoría de los países, tanto desarrollados como en desarrollo, supera al hierro (Cornejo, 2016, p. 5).

1.3.1. Distritos no metálicos en el Ecuador

Ecuador tiene muchos recursos minerales no metálicos, de los cuales los más importantes son la piedra caliza, el mármol, la arcilla, el yeso, la piedra pómez, la barita y la bentonita. La extracción de caliza y puzolana utilizadas en la industria del cemento como producto básico, son la producción minera no metálica más valiosa del país. En la versión actualizada del Mapa de Minerales No Metálicos e Hidrocarburos del Ecuador a escala 1:1 000 000 se distinguen cerca de 300 índices entre yacimientos, depósitos, prospectos e indicios de minerales no metálicos.

La división de los yacimientos de RMI de acuerdo a su tamaño y calidad se concentra principalmente en las regiones de la Costa y el Austro, mientras que la región Interandina contiene patrimonios como aguas minerales, termales y naturales de montaña. En el Austro Ecuatoriano existe un importante desarrollo en la industria de minerales no metálicos de cerámica, abrasivos, derivados del vidrio plano, materiales refractarios, rocas ornamentales y materiales de construcción. La explotación de yeso ubicado en Malacatos y Bramaderos en la provincia de Loja satisfacen en parte las necesidades

de la industria del cemento y de la construcción, mientras que el yacimiento más grande del país para la explotación de piedra pómez se encuentra en la provincia de Cotopaxi.

Las rocas industriales de aplicación como materiales áridos: andesita, basalto, granito, pizarra, puzolana, arena y grava útiles para la industria de la construcción están disponibles en todo el país. Sin embargo, a lo largo de la Cordillera Real existe un gran potencial inexplorado de granitos y pegmatitas.

En la zona subandina y región Oriental cuentan con importantes yacimientos minerales industriales de arena sílicea, materias primas minerales para la producción de diversos tipos de vidrio, cemento, cerámica, fertilizantes tipo abonos. Las demandas de estos materiales industriales siempre se han evidenciado en la economía del país, presentando altas toneladas de importaciones de estos materiales y minerales en especial yeso (Cornejo, 2016, p. 5).

1.3.2. Actividad minera: Provincia de Morona Santiago

Se denominan recursos no renovables a un recurso natural que no puede ser producido, regenerado o reutilizado a una escala tal que pueda sostener su tasa de consumo. Estos recursos comúnmente se presentan en cantidades fijas o son usados mucho más rápido de lo que la naturaleza puede recrearlos. En la provincia de Morona Santiago, al igual que en todo el país se realiza actividad minera para exploración y explotación de minerales metálicos, no metálicos y materiales industriales en un total de 820 concesiones en todos los cantones (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, p. 79).

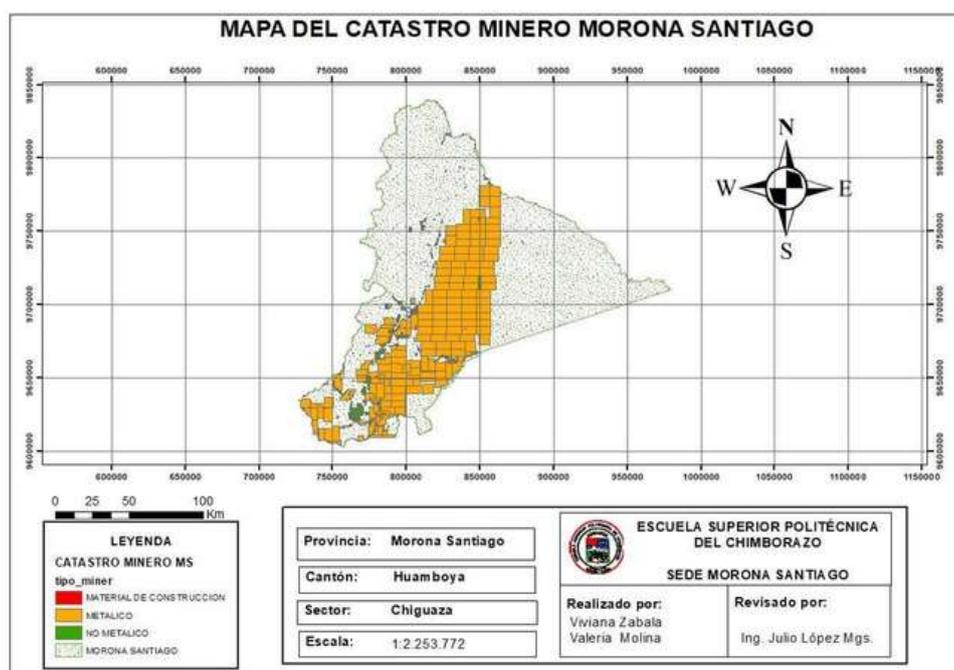


Figura 6-1. Tipo de minería en Morona Santiago

Fuente: Senplades, 2018

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021

Las 820 concesiones mineras son de diferente tipo y están en diferentes etapas en un total de 489754,53 ha, un dato relevante es que sobre el bosque protector Kutuku Shaime existen 45 concesiones mineras de las cuales 41 se encuentran inscritas y 4 en trámite, todas estas áreas mineras son de propiedad de Ecuasolidus S.A. que se encuentran en la etapa de exploración inicial, estas concesiones mineras abarcan 197041,20 ha (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, p. 79).

“El territorio de la provincia actualmente se encuentra bajo conservación y/o protección en un total de 40.98 %, distribuido por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) que ocupa un 422560,17 ha, equivalente al 18 %, y otras formas de conservación como son los bosques protectores que ocupan un 391625 ha equivalente al 16 %, el proyecto socio bosque un 6.99 % equivalente al 167718,72 ha” (Equipo Técnico de Planificación del GADPMS, 2019, p. 79).

1.3.3. Actividad minera: Cantón Huamboya

En cantón Huamboya se realizan diferentes actividades mineras dentro del régimen de libre aprovechamiento y minería artesanal para la extracción de materias industriales tales como: arenas, ripios, áridos y pétreos, en diferentes áreas del cantón; los cuales son ampliamente en el sector de la construcción para la elaboración de hormigón para edificios y carreteras.

1.3.4. Actividad minera: Sector Chiguaza

Según el Equipo de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Chiguaza (2015, p. 15). La minería que se encuentra localizada en la parroquia es identificada como no metálica, localizándose en las comunidades Shangaime y Katan (San Luis). La minería artesanal sobresale en la parroquia rural Chiguaza, situando el recurso minero en las comunidades Shangaime, en una extensión de 1130.07ha y ocupando el 45.80% del territorio parroquial. Al igual que la actividad minera artesanal Tamara D ocupando un área de 89.75ha.

Actualmente se encuentran inscritas concesiones de libres aprovechamientos para materias de construcción cuyos titulares mineros son el GAD Municipal del cantón Huamboya, además existe una concesión inscrita como régimen de pequeña minería la cual está enfocada la exploración y explotación de minerales no metálicos sedimentarios (calizas) utilizados como materia prima para la producción de cemento.

1.4. Calizas: Generalidades

La caliza es una roca industrial no metálica más abundante explotada a nivel mundial y en nuestro país no es la excepción, debido a su amplia y generalizada utilidad como materia prima en la industria

de la construcción. En los últimos años la producción nacional de caliza ha experimentado un aumento sostenido debido a su gran demanda, puesto que es considerada como materia prima básica para la fabricación de cemento, hormigón y agregados. La caliza cuando tiene un alto potencial y su dureza es de un alto título, su exposición a la descomposición es escasa, debido a que las anteriores características la hacen invulnerable a la acción del agua carbonatada.

1.4.1. Definición

Según Trinidad (2019, p. 6) define a los carbonatos como sustancias formadas por dos o más elementos, en una proporción fija por peso. Contiene los 8 elementos de carbono (C) y oxígeno (O) en su forma de CO₃, conteniendo un átomo de carbono y tres átomos de oxígeno. De acuerdo a la clasificación de Struz, los carbonatos se dividen en anhidros, hidratados y con o sin aniones extraños. Las especies minerales establecen dos grupos; en el primero están la calcita y dolomita y en el segundo el aragonito. La calcita y la dolomita se ubican dentro de los más relevantes gracias a su abundancia y usos, ya que forman parte de muchas rocas y minerales. Las calizas pertenecen a las rocas sedimentarias, cuya composición es mayormente por calcita (CaCO₃) y dolomitas (MgCa(CO₃)₂). Otras rocas carbonatos asociados con calizas y dolomías en menor cantidad, son el aragonito (CaCO₃), la siderita (FeCO₃), la ankerita (Ca₂MgFe(CO₃)₄) y la magnesita (MgCO₃).

1.4.2. Características petrográficas

Según Méndez (1995, citado en Avelino, 2019, p. 8) la caliza se clasifica en química y orgánica, los carbonatos de origen químico se crearon por precipitación de disoluciones bicarbonatadas o carbonatadas junto con el dióxido de carbono y agua, a la clasificación química pertenecen las pisolitas, calizas litográficas, calizas fibrosas y tobas calcáreas. Los carbonatos orgánicos formados a partir de caparazones de animales acuáticos y las oolitas por pequeños granos esféricos en donde su núcleo son los restos de conchas o granitos de arena.

1.4.3. Clasificación de las rocas carbonatadas

1.4.3.1. Rocas carbonatadas detríticas

Originadas por la erosión y el transporte de calizas antes existentes, son similares a los conglomerados, areniscas o arcillas, pero combinadas por clastos y cemento calcáreo. Las calizas de tipo oolíticas son esféricas y están compuestas por pequeños depósitos de carbonato denominadas oolitos y están cementadas por el mismo carbonato. Cuando las concreciones son mayores (pisolitos) se denominan calizas pisolíticas. Entre las calizas litográficas, muy compactas. En ellas se han

conservado impresiones de fósiles, como la del *Archaeopteryx lithographica*, primera ave fósil conocida (Avelino, 2019, p. 12).

1.4.3.2. Rocas carbonatadas química

Se forman por precipitación del carbonato insoluble al separarse del CO₂, son los travertinos y las tobas calizas. De la misma manera, la coquina constituida por 13 fragmentos calcáreos poco consolidados formados por caparazones de moluscos que están unidas por arena y carbonatos. Los caliches son costras calcáreas formadas sobre el suelo, en las regiones secas, cuando el agua asciende por capilaridad y precipita el carbonato en la superficie (Avelino, 2019, pp. 12-13).

1.4.3.3. Rocas carbonatadas bioquímicas

Su origen es producto de la precipitación del carbonato de calcio debido a la actividad de algas y bacterias. En conjunto son de relativa importancia los esqueletos u otras partes duras de diversos grupos de animales: moluscos, corales, esponjas, equinodermos, etc. La creta es un tipo de caliza consolidada, constituida fundamentalmente por microorganismos (Avelino, 2019, p. 13).

1.4.3.4. Carbonatitas

Son rocas ígneas de origen volcánico del tipo ultra básico que se forma por procesos químicos de concentración de carbonatos a temperaturas de 700 a 500°C a altas presiones. Las rocas carbonatitas, hacen relación junto con las kimberlitas y se conocen centenares de ellas en diferentes lugares del mundo. Varios de estos son de forma cilíndrica, pero de sección muy irregular, de forma de chimenea, con zoneamiento concéntrico muy bien desarrollado; otras son irregulares y no presentan ningún tipo de zoneamiento. Todas las rocas carbonatitas están constituidas por carbonatos de calcio, entre las principales son la calcita, la dolomita y la siderita, a pesar de ser de origen ígneo. La nomenclatura de las carbonatitas es muy compleja, ya que parte de su composición química y no solo del carbonato predominante, sino también de los elementos accesorios que contenga y de sus asociaciones. Algunas carbonatitas están conformadas de grandes cantidades de magnetita, apatito, otras en tierras raras, flúor y bario.

La explotación de las carbonititas se realiza con el fin de obtener minerales metálicos y no metálicos, incluyendo a las valiosas tierras raras, niobio, tantalio, zirconio, apatito, hafnio, hierro, titanio, vanadio, uranio, torio, vermiculita y barita. Algunas veces las concentraciones de cobre encontradas en las carbonatitas son imponentes, considerándose casi como pórfidos cupríferos; algunas carbonatitas se asocian a sienitas y rocas alcalinas. Las más jóvenes se relacionan a rifts en el interior

de zonas cratónicas, lo que sugiere procesos corticales profundos o del manto superior (Avelino, 2019, p. 13-14).

1.4.4. Tipos de las calizas

La caliza es parte del grupo II de minerales no metálicos, en este grupo están los productos derivados de recursos de buenas perspectivas geológicas y abundantes en el país. Se caracterizan por su bajo valor unitario y altos volúmenes de producción, preferentemente integrada a una industria consumidora (Acevedo & Guerra, 2005, p.10). Dentro de la clasificación de los carbonatos se encuentran:

1.4.4.1. Calizas

De acuerdo a la clasificación de Peltijohn las rocas calizas se dividen en autóctonas y alóctonas. Las calizas autóctonas como su nombre lo indica se originan in situ debido a la acumulación de calizas orgánicas no transportadas y se subdividen en bioermales si son de extensión restringida y bioestromales si son de carácter extendido. Las calizas alóctonas están conformadas por materiales formados en otros sitios y depositados en el lugar.

La caliza se clasifica de dos maneras: La primera es la clasificación de Folk (1959) que denomina a los constituyentes esenciales de las calizas como aloquímicos y ortoquímicos y la de Dunham (1962) que a la textura considera la depositación sobre la base de la presencia o ausencia de todo carbonatado y signos de ligadura o unión entre las estructuras orgánicas.

El uso de las rocas calizas está relacionado esencialmente por el contenido de carbonato, principalmente de grado químico, como se muestra en la tabla siguiente. La pureza química suele ser simple además usada para formar la distribución de la pureza de la caliza y permite los datos químicos de diferentes calizas (Avelino, 2019, p. 9).

Tabla 6-1: Clasificación porcentual de calizas

Categoría	CaCO3 (%)
Muy alta pureza	>98,5
Alta pureza	97,0 – 98,5
Media pureza	93,5 – 97,0
Baja pureza	85,0 – 93,5
Impura	<85,0

Fuente: Mineralogy and Petrology Group, British Geological Survey citado en Avelino, 2019.

Realizado por: Zabala Viviana; Molina Valeria, 2021.

1.4.4.2. Dolomía

Al momento que sobresale la mineral dolomita a la roca se nombra dolomía, en donde la fracción carbonato contiene 90% o más de la dolomita, lo cual representa un poco más del 50% de la roca. Comúnmente las dolomitas reflejan mejor uniformidad de granos que las calizas, y se encuentran estrechamente junto a las calizas, pudiendo estar interestratificada e incluso puede pasar gradualmente a caliza. Gran parte de ella son calizas sustituidas debido a la contaminación de aguas saturadas de sales magnesianas (Avelino, 2019, p. 11).

1.4.4.3. Margas

Estas rocas son mezcladas semifriables de materiales arcillosos y carbonato de calcio, tienen de 35% a 65% de carbonato y un contenido complementario, cuando contienen aproximadamente similar cantidad de las dos sustancias conforman la materia prima para la elaboración del cemento portland (Avelino, 2019, pp. 11-12).

1.4.4.4. Travertino

El travertino proviene de rocas carbonatadas que son disueltas y redepositados por las aguas. A menudo estas rocas son transparentes, con tonos blancos, grises o ligeramente amarillos, el porcentaje de calcio en los travertinos permite utilizarlo en diferentes industrias, también se utiliza como roca ornamental (Avelino, 2019, p. 12).

1.4.5. Principales derivados de las calizas

La cal es el principal derivado de la roca caliza, ya que es el producto de la calcinación la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio.

1.4.5.1. Cal

Es un producto que se obtiene calcinando las calizas por debajo de 903°C, descomponiéndose en $\text{CaO} + \text{CO}_2$. Denominándose cal viva y si se añade agua se convierte en hidróxido de calcio, llamándose cal apagada. Con referencia de los pesos atómicos, 100 kilos de caliza pura producen 56 kilos de cal viva (Avelino, 2019, p. 15).

1.4.5.2. Cal viva

Es el material que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza que al separar anhídrido carbónico se transforma en óxido de calcio. La cal viva es capaz de combinarse con el agua, para a partir de este proceso formar el óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada) se aplique en la construcción, principalmente en la elaboración del mortero de albañilería (Avelino, 2019, pp. 15-16).

1.4.5.3. Cal apagada

Su nombre comercial es cal hidratada, es la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio (Avelino, 2019, p. 16).

1.4.5.4. Cal hidratada

Es el hidróxido de calcio, resultado de la adición de agua denominada la cal viva (Avelino, 2019, p. 16).

1.4.5.5. Cal hidráulica

Cal que se forma por hidróxido de calcio, sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3) o mezclas sintéticas de composición semejante. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua (Avelino, 2019, p. 16).

1.4.5.6. Carbonato cálcico

El carbonato de calcio, CaCO_3 existe en grandes cantidades en la naturaleza actualmente. Su presentación es en forma de roca caliza, fácilmente erosionable debido a la acción del viento y la lluvia. El carbonato de calcio puro se le conoce como calcita (trigonal) y aragonito (rómbo) ya que son formas habitualmente puras. Este compuesto posee numerosas aplicaciones en la industria (Avelino, 2019, p. 16).

1.4.6. Propiedades de las calizas.

1.4.6.1. Color

La coloración que suelen tener las calizas cuando poseen gran cantidad de calcio y de las calizas dolomíticas es blanco cuando presentan pureza, y cambia su color entre el gris y el negro producto de la presencia de las impurezas carbonosas que contienen.

Es por esta razón que el óxido férrico le proporciona un color amarillento, rojo, pardo; los sulfuros como la pirita, la marcasita y la siderita alteran el color superficial de la roca al oxidarse bajo la influencia de los agentes atmosféricos, dando un color rojizo (Avelino, 2019, pp. 16-17).

1.4.6.2. Resistencia

La resistencia de la roca caliza es una característica relevante a la compresión, al aplastamiento que se ubica aproximadamente entre 98,4 y 583,5 Kg/cm².

La resistencia a la tracción no es tan importante además es más complejo al momento de comprobar, su variación es de aproximadamente 26 a 63 kg/cm² (Avelino, 2019, p. 17).

1.4.6.3. Densidad

La densidad en bruto de la caliza es el peso de un decímetro cúbico, que cambia de acuerdo al contenido de humedad, la textura y la porosidad de la roca. La caliza productiva secada al aire en condiciones naturales tiene una densidad de 1,922 kg/dm³. En condiciones de humedad, la densidad en bruto puede ser de 2,242 kg/dm³.

La densidad real despreciando los poros llenos de aire oscila entre 2,2 y 2,9 kg/dm³. La caliza con alto porcentaje de calcio tiene una densidad de 2,65 a 2,75 kg/dm³, y las calizas dolomíticas de 2,8 a 2,9 kg/dm³ (Avelino, 2019, p. 17).

1.4.7. Aplicaciones y ventajas

1.4.7.1. Construcción

Se utiliza para agregado pétreo en asfaltos, fabricación de concretos y estucos, en hidráulica en mezclas con agua, para producir materiales plásticos a bajo costo (Acevedo & Guerra, 2005, p.10).

1.4.7.2. Metalurgia

Los minerales calcáreos como las calizas y dolomitas normalmente se usan para técnicas metalúrgicas en forma directa o también como cal, en esta industria se consume más del 30% del total de la producción de caliza, además se utiliza con fundente, regulador del pH y en la refinación de bauxita para producir alúmina y posteriormente aluminio (Acevedo & Guerra, 2005, pp. 10-11).

1.4.7.3. Procesos químicos

Fabricación de ceniza de soda a través del proceso Solvay, en la fabricación de carburo de calcio, el carburo de calcio también se utiliza en la aplicación de cianurida cálcica, que se utiliza como fertilizante nitrogenado y como agente blanqueador (Acevedo & Guerra, 2005, p.11).

1.4.7.4. Agricultura

Se usa para el tratamiento de suelos ácidos, agregando nutrientes, además como relleno en fertilizantes y componentes de pesticidas, donde la cal es mezclada con arsénico y azufre (Acevedo & Guerra, 2005, pp 11-12).

1.4.7.5. Manufactura

Debido a sus propiedades la caliza es ampliamente utilizada como relleno en la fabricación de papel, plásticos, pinturas, para el propósito para dar volumen y consistencia, es considerada como un material fácil de moler, no tóxica y su color es generalmente blanco.

En la industria azucarera la caliza se consume para la obtención de cal viva, necesaria para el proceso de refinación además de su uso en otros procesos de manufactura como cerámica, grasas lubricantes y refinación de petróleo (Acevedo & Guerra, 2005, p.12).

1.4.8. Calizas en el Ecuador

En Ecuador existen 112 ocurrencias de rocas carbonatadas entre estas se puede nombrar: calizas, mármoles y travertinos.

Las calizas y travertinos son explotados a gran escala para la producción de cemento y cerámica, así como artesanal para producir cal y carbonato para alimento balanceado; los mármoles y travertinos se extraen a pequeña escala con minería artesanal y se emplean como roca ornamental en la industria de la construcción, o simplemente para elaborar pequeñas piezas de adorno.

Por la ubicación y accesibilidad son tres zonas del país en donde prioritariamente se realiza la exploración y explotación de calizas con fines industriales: en el trayecto del levantamiento Napo en la Zona Subandina Oriental, sobresalen las calizas de la Formación Napo en cantidades prácticamente interminables.

En la localidad de Misahuallí, la Cemento Chimborazo C.A., realizó un análisis del “Proyecto Amazonas”, estableciendo la existencia de 300 M Ton de reservas probadas de caliza, con una media de 85% de CaCO_3 , valor que propone la producción de 3000 Ton diarias de cemento por 150 años.

Otra zona de interés se ubica a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Occidental, en donde a lo largo de una franja, de norte a sur existen muchos yacimientos de caliza con un origen biogénico de edad Eocénica; las mismas que son utilizadas como materia prima para elaborar cemento en Selva Alegre, así como para la explotación de mármol en Gualchán.

A pesar de esta situación, el área más importante se sitúa en la Provincia de Cotopaxi; en esta área en el sitio de Unacota, han sido evaluadas 300 M Ton de reservas ensayadas de caliza con gran potencial, valor que justifica una producción de 4000 Ton diarias durante 100 años, además muy cerca de esta área, alrededor de la ciudad de Latacunga, existen enormes depósitos de piedra pómez, los cuales forman verdaderas colinas de este material (Cornejo, 2016, p.14).

1.4.9. Plantas cementeras en el Ecuador

En el 2015, el mercado ecuatoriano de cemento está constituido por tres empresas:

Tabla 7-1: Empresas Partícipes del Sector Cemento en Ecuador

Nº	Razón Social
1	Unión Cementera Nacional UCEM C.E.M
2	Holcim Ecuador S.A
3	Unión Andina de Cementos S.A.A (UNACEM)

Fuente: Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón (INECYC), 2017 citado en Cisneros 2017.

Elaboración: Zabala, Viviana; Molina, Valeria, 2021.

1.4.9.1. Holcim Ecuador S.A

Es una sociedad anónima constituida en 1912, de conformidad con las leyes de Suiza y, es la compañía matriz del grupo multinacional Holcim, realiza actividades económicas y comerciales a nivel mundial, a esta empresa se la conoce como un gran productor y proveedor global de cemento, agregados y concreto. Sin embargo, también ofrece otros productos como asfalto, materiales cementantes, productos de concreto y RMX, incluyendo además la prestación de ciertos servicios relacionados al sector. En Ecuador cuenta con su filial directa Holcim Ecuador S.A. que tiene como principal actividad económica la fabricación y producción de Clinker, cemento y hormigones, en general y, cualquier otro producto industrial relacionado con los anteriores, cuenta con varias plantas cementeras en el territorio ecuatoriano, principalmente localizadas en la región Costa y Sierra (Cisneros, 2017, pp. 44-45).

1.4.9.2. Lafarge Cementos S.A. (Unión Andina de Cementos S.A.A. UNACEM)

El Grupo Lafarge en el año 2004 adquirió la empresa Cementos Selva Alegre S.A en Ecuador, para integrarla a su grupo de materiales de construcción a escala mundial. Lafarge Cementos S.A., se dedica a la industrialización del cemento y sus derivados, es una compañía anónima constituida en Francia y catalogada como productor internacional de cemento, agregados y concreto preparado. La compañía está constituida por oficinas centrales en Quito y una planta ubicada en Otavalo Imbabura, que cuenta con dos líneas de producción de cemento, misma que mantiene una capacidad nominal de producción equivalente a 1 millón 600 mil toneladas de cemento al año (Cisneros, 2017, pp. 47).

1.4.9.3. Unión Cementera Nacional UCEM, C.E.M

Unión Cementera Nacional UCEM, C.E.M mediante Escritura Pública suscrita el 18 de noviembre de 2013, se aprobó la fusión de dos compañías: Industrias Guapán S.A. y Cemento Chimborazo C.A en una sociedad económica mixta. UCEM C.E.M., está constituida por dos plantas de producción de cemento situadas en Azogues y Riobamba, además de dos marcas de productos: Cemento Chimborazo y Cemento Guapán, para la comercialización del producto, las mismas que se encuentran posicionadas en sus respectivos mercados (Cisneros, 2017, p. 50).

- Planta Cemento Chimborazo: localizada en la provincia de Chimborazo, parroquia San Juan, cantón Riobamba. Fabrica y distribuye el Cemento Portland Puzolánico IP, en sacos de 50 g. y Cemento Portland Tipo II que comercializa a granel. El mercadeo del producto se realiza en las zonas de las provincias de Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha y el Oriente ecuatoriano, incluso su producción se exporta hacia Perú y Colombia (Cisneros, 2017, p.50).
- Planta Industrias Guapán: localizada en la provincia de Cañar, parroquia Guapán, cantón Azogues. Fabrica y comercializa cemento portland puzolánico Tipo IP, en Sacos de 50kg, Granel y Hormigón. Las zonas a las que se comercializa el producto son principalmente las provincias de Azuay, Cañar, Loja, Zamora Chinchipe y Morona Santiago (Cisneros, 2017, p.50).

1.4.9.4. Unión Cementera Nacional UCEM, S.A

La empresa privada Unión Cementera Nacional UCEM S.A. es líder a nivel nacional en la fabricación y comercialización de cemento, hormigón premezclado y prefabricados.

UCEM S.A. se creó de la fusión de las compañías industrias Guapán S.A. y Cementos Chimborazo C.A., empresas que cuentan con más de 60 años de experiencia en el mercado, tiene como objetivo ser la mejor opción para los clientes del sector de la construcción, manteniéndose competitiva y eficiente en los mercados en los que participa.

Las características principales de la empresa son: ser líder en sus respectivas áreas de influencia, fortalecer la industria cementera del país, mayor capacidad de producción y distribución en el mercado a través de una gestión eficiente de los procesos, y diversos productos de alta calidad que satisfacen las necesidades y demandas del mercado de la construcción a nivel nacional, y así mantener un ambiente de trabajo seguro para el talento humano, respetando al medio ambiente por medio de la innovación constante.

1.5. Proceso de fabricación del cemento

1.5.1. Extracción

Se limpia la capa vegetal del área a trabajar, posteriormente se perfora empleando el plan de minado diseñado, se realiza la carga de explosivos y se procede a la voladura primaria, derrumbe, rezagado, carga y transporte a planta de trituración. Las materias primas para elaborar el Clinker, base para la producción del cemento, son de manera principal la caliza (75%) y las arcillas (20%), además se utilizan minerales de hierro y sílice en cantidades pequeñas para obtener la composición deseada (Acevedo & Guerra, 2005, p. 39).

1.5.2. Triturado

El material arrancado se tritura y se clasifica para alimentar a los molinos, en esta etapa se efectúa la trituración primaria y secundaria, de donde se traslada el material a los respectivos patios de almacenamiento (Acevedo & Guerra, 2005, p. 39).

1.5.3. Prehomogenización

Se realiza mediante un sistema especial de almacenamiento y recuperación de los materiales triturados, de manera que el material resultante sea uniforme su tamaño y composición química (Acevedo & Guerra, 2005, p. 40).

1.5.4. Molienda

Se prepara el tamaño y la mezcla de materias primas para añadir al horno, para que puedan ser elaborados de forma efectiva. En los molinos se hace un muestreo, se verifica la composición química mediante análisis por rayos X y se comprueba la finura del polvo (Acevedo & Guerra, 2005, p. 40).

1.5.5. Homogenización

Luego de la moliendo, el material es llevado a un silo homogeneizador, donde se mezcla para mejorar su uniformidad y después es transportado a silos de almacenamiento (Acevedo & Guerra, 2005, p. 40).

1.5.6. Calcinación

El material es calcinado a temperaturas superiores a 1.350° C, para que las materias primas se dispongan para producir el Clinker, el cual pasará por un enfriador antes de ser recopilado (Acevedo & Guerra, 2005, p. 40).

1.5.7. Almacenamiento de clínker

Luego de enfriar el clínker se traslada con grúas o bandas a los almacenes donde es combinado con otros ingredientes y luego transportado para alimentar a los molinos de clínker (Acevedo & Guerra, 2005, p. 40).

1.5.8. Molienda Final

En esta etapa se ejecuta la separación de los productos de acuerdo a su tamaño, remitiendo los más finos a los almacenes y las partes más gruesas son regresadas a la molienda. En esta etapa se realiza la transformación de clínker en cemento (Acevedo & Guerra, 2005, p. 40).

1.5.9. Envase y embarque

El producto se muestrea y su calidad es comprobada antes de ser cargado para su embarque. De los silos almacenadores de cemento salen ductos para sacarlo y trasladar al terminal de carga para la entrega a granel (Acevedo & Guerra, 2005, p. 40).

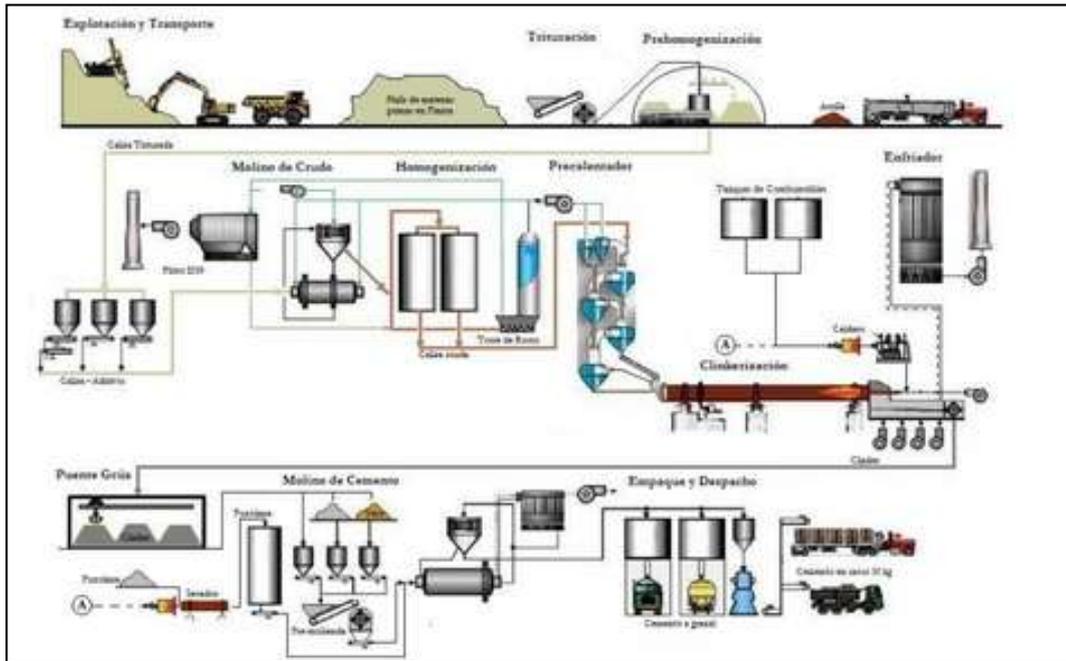


Figura 7-1. Diagrama de flujo del proceso del cemento UCEM S.A, Planta Chimborazo

Fuente: Departamento de Investigación y Desarrollo de la planta Guapán citando en Zhindón, 2015.

1.6. Análisis de laboratorio

1.6.1. Análisis químico

Los análisis químicos tratan de una gran escala de métodos idóneos para la identificación con precisión, la composición, características y calidad de una variedad de materia prima. La implementación de nuevas aleaciones, revestimientos, polímeros y materiales compuestos se está destinando a técnicas innovadoras de diseño y fabricación de productos, lo que hace que la caracterización precisa de los compuestos del material sea primordial en cada fase de la producción (Infinitia Research, 2021). Los laboratorios químicos industriales efectúan pruebas y análisis químicos que contienen análisis de composición, detección de trazas de contaminación, pruebas de metales e identificación de fallos que se utilizan para el control de calidad de la producción y la ingeniería inversa (Infinitia Research, 2021).

1.6.1.1. Espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF)

La espectrometría de fluorescencia de rayos X es un análisis semicuantitativo no destructivo adaptable en una amplia variedad de materia prima, incluyendo metales, polímeros, líquidos y suelos (Infinitia Research, 2021).

Según Liqiang Luo (2009, citado en Marguá, E. et al., 2011, p.274) la fluorescencia de rayos-X (XRF) cumple las características de preparación simple de la muestra (la muestra puede ser analizada en estado sólido), capacidad multielemental, amplio rango lineal de trabajo, elevado rendimiento y baja inversión por análisis. Es por esta razón que, desde su origen, ha tenido bastante demanda en la aplicación de análisis y caracterización de muestras relacionadas con las Ciencias de la Tierra (rocas, minerales, residuos mineros, suelos, etc.).

1.7. Análisis microscópico

1.7.1. Láminas delgadas

En mineralogía óptica y petrografía habitualmente se maneja láminas delgadas, en donde su medida es de aproximadamente de 30 micrómetros de espesor pegada a un porta-muestras de vidrio. La lámina delgada está servirá para ser observada con un microscopio petrográfico. El microscopio petrográfico está equipado de dos polarizadores que da la posibilidad de girar la platina para así observar diferentes características ópticas que poseen los minerales, también están los colores de interferencia o las posiciones de extinción. El prólogo de la manera de uso de las láminas delgadas en estudios mineralógicos es similar al desarrollo del microscopio petrográfico a mediados del siglo XIX. En la actualidad la lámina delgada sigue siendo importante en el ámbito de la geología y la mineralogía y es una elaboración que también se ha introducido en otros ámbitos, como por ejemplo suelos, cerámicas, huesos, metales y otros materiales que, al igual que los minerales, son cristalinos (UABDivulga, 2019, párr.1-2).

1.8. Método de *Kriging*

Las herramientas de interpolación IDW (Distancia inversa ponderada) y Spline son denominados métodos de interpolación determinísticos ya que están fundamentados directamente en los valores medidos circundantes o en ecuaciones matemáticas explícitas que determinan la suavidad de la superficie resultante. Existe un segundo grupo de métodos de interpolación que están constituidos de métodos geoestadísticos, como kriging, mismo que está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación. Es por esto que las técnicas de estadística geográfica no solo tienen la capacidad de promover una superficie de predicción, sino que también aportan una medida de precisión de predicciones. Kriging presupone que las direcciones entre los puntos de muestra revelan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. La herramienta Kriging cumple una función matemática a una cantidad especificada de puntos o también de todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación. Kriging es una herramienta que surge de algunos pasos, entre los que contienen, el análisis estadístico

exploratorio de los datos, el modelado de variograma, la creación de la superficie y la exploración de la superficie de varianza. Este método es más apropiado cuando se sabe que hay un dominio direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos. Se usa a menudo en estudios de suelo y la geología (ArcMap, 2016, párr. 2-3).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de investigación

El tipo de estudio, por el propósito, es investigación pura, porque se entregan datos para las necesidades de la ciencia como tal y no pretende resolver un problema en particular. También es de tipo descriptivo, porque se caracteriza la forma del compartimiento de una o más variables dependientes en una muestra definida. El enfoque de la investigación fue mixto (cuantitativo y cualitativo) ya que se utilizó la recolección de datos numéricos y la descripción para la comprobación de hipótesis.

2.2. Población y muestra

Unidad de estudio: Roca caliza.

Población: Roca caliza de la Formación Napo, presente en la parroquia Chiguaza.

Muestra: 20 muestras de caliza recolectadas, 6 de ellas escogidas para los respectivos análisis.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Observación

Fue el registro visual de lo que sucedió en campo abarcando toda el área de estudio, clasificando y registrando los diferentes eventos de acuerdo a un patrón predeterminado.

2.3.2. Análisis documental

Fueron las actividades intelectuales realizadas en gabinete mediante la recopilación bibliográfica de diversas fuentes oficiales tales como: libros digitales, tesis, proyectos de investigación, artículos científicos y mapas que sirvieron para la ubicación y accesos a los puntos de muestreo.

2.3.3. Instrumento

Los instrumentos utilizados para el estudio fueron: cuaderno de campo y fichas técnicas de observación para el registro de datos y su posterior análisis.

2.3.4. *Análisis de datos*

El análisis de las muestras de mano recolectadas en campo se realizó en gabinete y una vez obtenidos los resultados de laboratorio, mediante el uso de software ArcGis se ejecutó la interpretación de resultados.

2.4. Metodología de trabajo

La metodología de trabajo se llevó a cabo en cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

- Etapa 1: Recuperación de información bibliográfica y cartográfica
- Etapa 2: Trabajo de campo
- Etapa 3: Análisis de laboratorio
- Etapa 4: Trabajo de gabinete (descripciones, análisis, resultados, etc.)

2.4.1. *Etapa de recuperación de información bibliográfica y cartográfica*

Se realizó la primera etapa del trabajo, que cual consistió en la recopilación, análisis y síntesis de información de la zona de estudio, se estudió la geología regional y local, topografía, hidrografía y geomorfología, de la Hoja Geológica Provisional Huamboya, escala 1:100 000. También se realizó la revisión y recopilación bibliográfica de trabajos como libros, tesis de grado, artículos científicos e investigaciones relacionadas con el estudio de la caliza asociados al contenido de carbonato de calcio y su utilización en la fabricación de cemento. El análisis de esta información sirvió para establecer el área de la zona de estudio, la accesibilidad a la zona de muestreo y el plan de trabajo tanto en campo como gabinete.

2.4.2. *Etapa de campo*

En esta etapa de la investigación se llevó a cabo las salidas de campo para identificar las rutas de acceso al área de estudio y los puntos para el muestreo, cabe resaltar que la toma de datos se realizó in situ, mediante un reconocimiento visual de las litologías, registros fotográficos, etc., asimismo las muestras recolectadas fueron llevadas al laboratorio de la Epoch Sede Morona Santiago y de la Unión Cementera Nacional para realizar el respectivo análisis cualitativo. Se comprobó la dureza de la muestra utilizando la escala de Mohs, además se verificó la reacción química de la caliza (entre más intensa y duradera es la efervescencia quiere decir que la roca es más pura en calcita, si es menos intensa significa que tiene impurezas de cuarzo o minerales arcillosos) utilizando ácido clorhídrico, el cual sí causó efervescencia demostrando un alto índice de pureza.

2.4.2.1. Selección de las muestras de estudio

El muestreo que se realizó fue de tipo aleatorio, en intervalos de tiempo o espacio variables y distribuidos al azar de la población; en total se recolectaron 20 muestras debido a que las características petrográficas y estratigráficas de la formación son similares en los afloramientos del área de estudio, de las cuales se escogieron 5 para los distintos análisis.

2.4.2.2. Procedimiento para la toma de muestras

La toma de muestras se realizó abarcando toda el área de estudio, se recolectaron 20 muestras de mano en afloramientos cercanos al Río Pastaza, cada muestra es aproximadamente de 10 cm de diámetro y fueron envasadas herméticamente en fundas Ziploc. Las muestras fueron tomadas a finales del mes de diciembre del 2021, donde las condiciones lluviosas propias de la región no representaron cambios significativos en la materia prima analizada. Para la recolección de las muestras se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

- Machetes.
- Fundas Ziploc para guardar herméticamente las muestras.
- Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Brújula.
- Cámara fotográfica del celular.
- Martillo estwing 24 OZ.
- Cinta métrica.
- Saquillos
- Libreta de campo.
- Marcadores.
- Flexómetro.

Después de ingresar a la zona de estudio con los materiales necesarios, se recolectaron las piedras calizas y lo primero que se hizo fue evaluar el estado del afloramiento, para proceder a extraer la muestra con la ayuda del martillo estwing. Cabe señalar que antes de recolectar la muestra se limpió la capa vegetal para así evitar impurezas al momento del análisis.



Figura 1-2. Afloramiento de calizas

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

Las muestras fueron recolectadas en lugares estratégicos cada 20 metros dentro de una misma área de estudio (afloramiento), cada una tiene aproximadamente de 10 cm de ancho y 1 kg de peso, fueron etiquetadas individualmente con su respectivo código y guardadas en fundas herméticas para su traslado.



Figura 2-2. Muestras de caliza

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

Se enviaron 4 muestras de roca al laboratorio de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental (FIGEMPA) de la Universidad Central del Ecuador, ubicado en Ibarra para la elaboración de láminas delgadas, que posteriormente fueron analizadas bajo el microscopio petrográfico del laboratorio de hidráulica, mineralogía, cristalografía y petrografía de la ESPOCH, Sede Morona Santiago. Además, otras 5 muestras fueron enviadas al laboratorio de la Unión Cementera Nacional (UCEM S.A) planta Chimborazo, para realizar el análisis cuantitativo mediante ensayos químicos.



Figura 3-2. Etiquetado y selección de las muestras

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

2.4.3. Etapa de laboratorio

En esta etapa se analizaron las muestras con la finalidad de determinar el porcentaje de carbonato de calcio y minerales contenidos en la piedra caliza, mediante los análisis cualitativos (láminas delgadas) y cuantitativo (fluorescencia de rayos X). El trabajo de laboratorio consistió en llevar las muestras tomadas en el campo hasta un lugar preparado y equipado para la experimentación, investigación y otras tareas científicas o técnicas. Se utilizaron dos ensayos de laboratorio para analizar y procesar la información de las rocas dando valores cualitativos y cuantitativos.

2.4.3.1. Análisis macroscópico de las muestras

La descripción macroscópica de las muestras consistió en la identificación de minerales contenidos en la roca a través de sus propiedades físicas (color, forma, textura, dureza, brillo, etc.) mediante un análisis visual con la ayuda de algunas herramientas (lupa, martillo, ácido clorhídrico, un trozo de vidrio). Para el control de las muestras se realizaron fichas petrográficas donde se detallaron datos como el código de muestra, número de ficha, lugar de muestreo, tipo de muestreo, fecha, responsable, fotografía de la muestra, descripción de la muestra con los minerales. (ANEXO K)

Tabla 1-2: Ficha para el análisis macroscópico de rocas sedimentarias

FICHA DE ROCAS SEDIMENTARIAS	
Ficha N°	
Responsable	
Tipo de roca	
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
<i>Características</i>	
Color	
Textura	
Estructura	
Tamaño del grano	
Forma de los clastos	
Matriz / Cemento	
% Clastos / % Cemento/ %Matriz	
<i>Rocas/Minerales/Clastos</i>	
Tipo de clastos	
Fósiles	
Sorteo	
Madurez	
Ambiente	
Nombre de la roca	

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2021.

2.4.3.2. *Análisis microscópico*

Láminas delgadas

Las láminas delgadas o también conocidas como secciones delgadas son preparaciones que se realizaron a las rocas para su estudio en el microscopio petrográfico, consistió en pequeñas rodajas con espesor de 3 μm que se adhieren a una lámina de vidrio mediante resina epoxi, para posteriormente ser recubiertas con un cubre objetos. El objetivo de preparar una lámina delgada de 30 μm es permitir el paso de la luz a través de ella.

Pasos para obtener láminas delgadas

Para obtener las láminas delgadas se debe seguir un proceso cuidadoso y con la ayuda de un equipo altamente especializado. Trabajar conjuntamente con el equipo, los consumibles, el proceso de trabajo y el método depende del tipo de muestra. A continuación, se describe un flujo de trabajo para muestras de rocas sedimentarias.

1. Se prepararon las muestras de roca que van a ser utilizadas, se anotó en una libreta las siglas o código que identifiquen individualmente a cada una de ellas.



Figura 4-2. Preparación de las muestras

Elaborado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

2. Para cortar las muestras se utilizó una cortadora de disco adiamantado, obteniendo así un pequeño cuadrado de roca con dimensiones aproximadas de 5x3x2 cm y se sometió al esmerilado o lapeado hasta obtener una planitud completa, del mismo modo la placa de vidrio fue sometida al esmerilado para obtener el grosor definido.

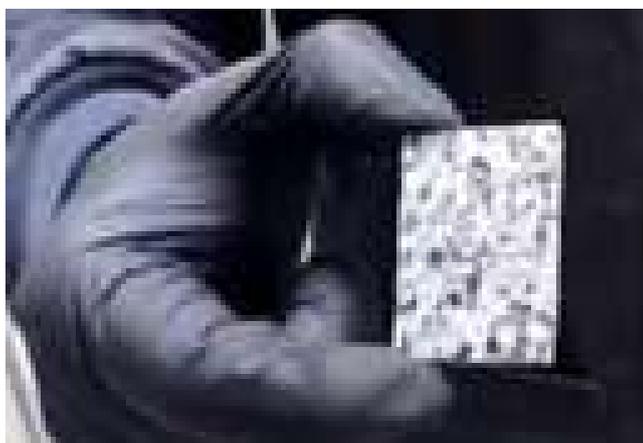


Figura 5-2. Obtención de la planitud de las muestras de roca

Fuente: Laboratorio Químico del IIGE, 2022

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

3. Se procede a pegar la cara pulida del taco a un portaobjetos, utilizando una resina epoxy y haciendo presión para que no queden burbujas que puedan contaminar las muestras, posterior a esto se deja secar durante un día.



Figura 6-2. Muestra con resina epoxy

Fuente: Laboratorio Químico del IIGE, 2022

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

4. Se colocó la muestra en la desbastadora para disminuir el espesor, llegando a las 3 micras, que es lo recomendado. Además, se añadió un abrasivo fino, el cual fue utilizado hasta que las láminas permitan el paso de la luz a través de ella y su superficie este completamente uniforme. El resultado final es una sección fina de la muestra que fue analizada con la ayuda de un microscopio petrográfico en el laboratorio de la Sede.



Figura 2-2. Láminas delgadas de caliza

Fuente: Laboratorio Químico del IIGE, 2022

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022

Una vez obtenidas las láminas delgadas con el espesor requerido, se realizó el análisis macroscópico en el laboratorio de Hidráulica, Mineralogía, Cristalografía y Petrografía de la ESPOCH, Sede Morona Santiago.



Figura 3-2. Análisis de las muestras en el microscopio petrográfico

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

A partir de la observación de las láminas delgadas con y sin analizador, se pudo identificar las distintas propiedades de los minerales y conseguir así su identificación. Se conectó una cámara en el microscopio a través de un cable hasta la computadora, donde debe estar instalado optikapreview que es un software especializado para adquirir imágenes o videos, además se puede realizar mediciones, balance de blancos y balance de negros, entre otras funciones.



Figura 4-2. Muestras observadas en el computador a través de una cámara CB10

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Se pudo analizar las láminas delgadas mediante luz natural y luz polarizada, la segunda es la más efectiva en el estudio de muestras ricas en materiales birrefringentes, de esta manera la calidad de la imagen mejora incomparablemente.

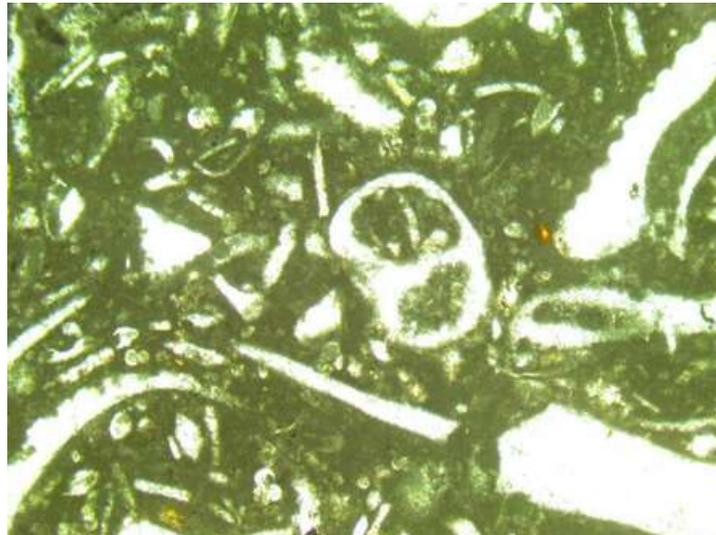


Figura 5-2. Láminas delgadas de caliza observadas en luz natural

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.



Figura 6-2. Láminas delgadas de caliza observadas en luz polarizada

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

2.4.3.3. *Secado de las muestras de caliza*

Para calcular el contenido de humedad se aplicó el método termo gravimétrico, es decir, pérdida por secado, mediante el cual se calentó la muestra y se registró la pérdida de peso debida a la evaporación de la humedad. El contenido de agua de un material ya sea suelo o roca se lo define como la relación expresada en porcentaje, entre la masa que llena los poros (agua libre), en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas del material.

Para realizar el ensayo se utilizó la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 960 para la determinación del contenido de agua con el método de secado al horno y se requiere de los siguientes materiales y equipos:

- Balanza analítica
- Pinzas para crisol
- Crisoles de porcelana
- Mortero
- Recipiente de aluminio
- Fundas herméticas
- Estufa con regulador de temperatura.

Pasos para secar las muestras

1. Para el secado de las muestras de caliza lo primero que se realizó fue la trituración o conminución del material en un mortero metálico, como resultado final se obtuvieron partículas de finas (mm) a gruesas (5 cm).



Figura 7-2. Conminución de las muestras de caliza

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

2. Se utilizaron crisoles de porcelana, para colocar en su interior las muestras que fueron calentadas a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, la función principal de estos crisoles es calentar, fundir, quemar y calcinar sustancias. Además, se utilizó una balanza analítica que sirvió para medir pequeñas masas, cuyo principio de un rango de error es menor del gramo.



Figura 8-2. Crisoles de porcelana

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.



Figura 9-2. Balanza analítica utilizadas para el secado de las muestras de caliza

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

3. Se colocó el temporizador de la estufa en 105 °C, y se tomaron los datos en 3 intervalos de tiempo de 24 horas.



Figura 10-2. Estufa temporizada a 105 C

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

2.4.3.4. Análisis cuantitativo: laboratorio UCEM S.A

Las muestras enviadas al laboratorio de la Unión Cementera Nacional (UCEM S.A) planta Chimborazo, fueron analizadas mediante ensayos de fluorescencia de rayos X (XRF), cumpliendo con las siguientes etapas:

1. Las muestras obtenidas fueron enviadas de forma automática al equipo POLAB PLMO_QG1.QP01.QPW01 que es una estación de recepción manual ubicada en el área de laboratorio.



Figura 11-2. POLAB PLM

Fuente: UCEM, 2019

2. Dicha muestra fue recogida y previa a un pesaje, fue colocada en el equipo POLAB APM QG1.QP02. QPM01 que es un preparador de muestras, y su función principal es moler y prensar la preparación de la muestra para obtener ésta en forma de pastilla.



Figura 12-2. POLAB APM

Fuente: UCEM, 2019

3. La pastilla fue trasladada de manera manual al equipo ANALIZADOR DE RAYOS XRF QG1.QK01. QLP01, el cual analizó la mineralogía presente en la muestra, identificando porcentaje de óxidos y minerales, para obtener resultados en cuanto a valores de saturación y módulos de sílice y alúmina, indicadores que comprueban el análisis de control de calidad de la producción de clínker. Los módulos que analiza dicho equipo corresponden al grado de combinabilidad de los óxidos principales y la cantidad de CaO por exceso o por defecto a obtener en el clínker.



Figura 13-2. Analizado de rayos XRF

Fuente: UCEM, 2019

2.4.4. Etapa de gabinete

Esta etapa consistió en la recopilación, procesamiento e interpretación de los datos obtenidos en los diferentes ensayos y el análisis mediante la clasificación y tabulación de la metodología de campo y laboratorio. Se trabajó con las hojas de cálculo de Excel para la estadística, previa al análisis de estimación que fue ejecutado con el *software* ArcGIS (*Geostatistical Analyst > Explore data, Geostatistical Wizard: Kriging/Cokriging*).

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Análisis macroscópico de las calizas

Las principales características y observaciones macroscópicas de las muestras se realizaron mediante el uso de fichas macroscópicas (ANEXO K), y se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1-3: Análisis macroscópico de las muestras de caliza

ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE LAS MUESTRAS	
Descripción general	Las muestras poseen un gran contenido de fósiles y cristales de mineral de calcita
Parámetros texturales	Granulometría Tamaño de grano muy fino
	Redondez Los clastos tienen forma subangular
	Clasificación Sedimentarias químicas
Textura	No clástica
Diagénesis	Físicos: compactación Químicos: por precipitación Biológico: Bioturbación de seres vivos Posee una matriz de micrita cuyos cristales no pueden ser observados a simple vista, y su cemento son bioclastos cristalizados de calcita.

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Las rocas estudiadas pertenecen a la formación Napo, la cual es considerada como una secuencia sedimentaria marina poco profunda y según Jaillard et al., (1997, Baby et al., 2004, p. 49), está subdividida en cuatro miembros, según el análisis de la litología podemos describir y clasificar a las rocas estudiadas en:

- Miembro Napo Basal: Arenisca “T” Basal, la cual está constituida por una alternancia de margas y calizas arenosas glauconíticas, fosilíferas y bioturbadas.
- Miembro Napo Medio: Caliza “A” del miembro Inferior consisten en calizas micríticas.
- Miembro Napo Medio: Caliza “M2” que está conformada por calizas fosilíferas bioturbadas.

- Miembro Napo Superior: Caliza “M1” constituida en la parte superior por calizas *mudstones* y *packstones*.

3.2. Análisis microscópico de las calizas

El análisis de las cuatro laminas delgadas de las calizas pertenecientes a la formación Napo realizadas en el laboratorio de Minas, se elaboró el siguiente cuadro resumen sobre la composición mineralógica y las características texturales:

Tabla 2-3: Análisis microscópico de las muestras de caliza

CLASIFICACIÓN	Según la clasificación Dunham (1962), la roca tiene una clasificación textural <i>Packstone</i> , además es grano-soportada; es decir están compuestas en partes iguales entre el centro y la matriz (esparita y micrita).
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA	Las muestras tienen composición del 45 % de fósiles rellenos de esparita, cuyos cristales son de cacita y tienen un tamaño mayor a 5 micras, el 50 % de matriz micrítica cuyos granos con menores a las 4 micras, y el 5 % consiste en minerales oxidados de colores oscuros.
TAMAÑO DE LOS GRANOS	Las muestras poseen un tamaño de grano de fino y muy fino (0,008 a 0,004)
MATRIZ	Según la clasificación Folk (1959 y 1962) las muestras presentan una matriz micrítica con agregado de cristales finos.
MATERIAL CEMENTANTE	Fósiles que se encuentran cristalizados con calcita, denominado esparita

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

- De acuerdo con el análisis visual realizado bajo el microscopio petrográfico en el laboratorio de Minas de la EsPOCH sede Morona Santiago, las muestras en su mayoría presenta una matriz micrítica de cristales muy finos, un cemento de bioclastos cristalizados con calcita y una pequeña parte de minerales oxidados de color oscuro.
- Cabe señalar que durante el proceso de identificación de los minerales en varias muestras se visualizaron fósiles con un color particular de tonalidad amarilla, pero esto era debido a la contaminación de la muestra el momento de la elaboración de las láminas delgadas.
- Las muestras contienen gran porcentaje de fósiles y nódulos (45 %) cubiertos de calcita que no intervienen en el proceso de fabricación del cemento.

Realizado el análisis macroscópico y microscópico de las muestras de caliza de la zona de estudio, se deduce que debido a sus características y propiedades visuales pertenecen a la formación Napo, miembro Napo Medio, tipo de Caliza “M2”, porque según su litología está constituida por calizas fosilíferas, con pequeñas cantidades de nódulos y bivalvos. A pesar de que la caliza tipo “A” posee una matriz micrítica una de sus características principales es que las calizas son silificadas con pirita, mientras que la caliza tipo “M1” a pesar de estar constituida en la parte superior por calizas *mudstones* y *packstones* una de sus características es que las calizas negras y cuerpo homogéneo lutiítico.

3.3. Cálculo de la humedad

La medición de los datos para el cálculo de la humedad de las calizas se obtuvo de acuerdo a la técnica desarrollada en el laboratorio para cada variable investigada y se describen en la siguiente tabla:

Tabla 3-3: Datos del laboratorio para el cálculo de la humedad a 105 °C

CÁLCULO DE HUMEDAD / TEMPERATURA 105°C /24 HORAS					
MUESTRA	PESO CRISOL	MASA MUESTRA	M (CRISOL + MUESTRA)	M seco (DÍA 1)	M seca (DÍA 2)
M8 a	69,21	5,445	74,655	74,613	74,606
M8 b	62,238	7,084	69,322	69,23	69,227
M7 a	66,105	5,012	71,117	71,07	71,07
M7 b	65,236	4,993	70,229	70,196	70,186
M6 a	58,811	5,005	63,816	63,757	63,747
M6 b	58,253	4,998	63,251	63,182	63,182

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Para el cálculo de humedad de las muestras de caliza se utilizó la siguiente ecuación propuesta en la norma INEN 960 y descrita en la tabla 4-3:

Tabla 4-3: Ecuación para el cálculo de humedad

ECUACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA		
w	Contenido de agua en porcentaje	$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} * 100$
m ₁	Masa del recipiente, en g	
m ₂	Masa del recipiente y el suelo húmedo, en g	
m ₃	Masa del recipiente y el suelo seco, en g	

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

En la tabla 5-3 se muestra el promedio de la humedad de las muestras a una temperatura de 105 °C en un periodo de tiempo de 24 horas, cuyo valor es del 1,146 % de humedad.

Tabla 5-3: Cálculo de la humedad de las muestras

CÁLCULO DE HUMEDAD / TEMPERATURA 105°C /24 HORAS				
MUESTRA	MASA2	MASA3 (g) (día 1)	MASA3 (g) (día 2)	W 1
M8 a	74,655	74,613	74,606	0,90808
M8 b	69,322	69,23	69,227	1,35928
M7 a	71,117	71,07	71,07	0,94663
M7 b	70,229	70,196	70,186	0,86869
M6 a	63,816	63,757	63,747	1,39789
M6 b	63,251	63,182	63,182	1,39988
			PROMEDIO	1,14674

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

El promedio de la humedad de las muestras es del 1,146% reflejando un valor muy bajo, lo que significa que las calizas no están hidratadas, siendo esto una característica positiva para tratamiento del material, puesto que al momento de realizar el procesamiento del mismo no habrá pérdida en volumen.

3.4. Análisis cuantitativo mediante *Kriging*

3.4.1. Resultado de laboratorio

Los resultados del Laboratorio de Control de Calidad de la UCEM S.A planta en Chimborazo, entregan la concentración del carbonato de calcio en porcentaje (%).

Tabla 6-3: Resultados de la concentración del carbonato de calcio en porcentaje

ANÁLISIS QUÍMICO - XRF			MUESTR A 1	MUESTR A 2	MUESTR A 3	MUESTR A 4	MUESTR A 5
Óxidos		Composició n	M 01	M 03	M 11	M 12	M 13
Dióxido de Silicio	SiO ₂	%	0,00	6,11	0,12	3,47	0,00
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	%	0,00	1,46	0,00	0,83	0,00
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	%	0,20	0,68	0,18	0,61	0,11
Oxido de Calcio	CaO	%	55,21	48,89	54,94	51,74	55,32
Oxido de Magnesio	MgO	%	0,52	0,53	0,59	0,52	0,59
Oxido de Sodio	Na ₂ O	%	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
Oxido de Potasio	K ₂ O	%	0,05	0,34	0,05	0,15	0,04
Anhídrido Sulfúrico	SO ₃	%	0,11	0,10	0,14	0,10	0,12
Oxido de Titanio	TiO ₂	%	0,06	0,14	0,06	0,09	0,06
COMPOSICIÓN MINERALOGICA							
Carbonato de calcio		%	98,55	87,27	98,06	92,35	98,75
Carbonato de magnesio		%	1,10	1,11	1,24	1,10	1,24
Carbonato Total		%	99,65	88,38	99,30	93,45	99,99

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la UCEM S.A, 2022.

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

3.4.2. Resultados de la metodología de campo y laboratorio

En la tabla 7-3, se muestra la ubicación y el resultado de concentraciones de las muestras analizadas en laboratorio.

Tabla 7-3: Ubicación de las muestras y porcentaje de Carbonato de calcio

MUESTRAS	X	Y	CONCENTRACIÓN CaCO ₃
01	185760	9787075	98,55
03	185800	9786915	87,27
11	185960	9786737	98,06
12	185980	9786737	92,35
13	186000	9786723	98,75

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

3.4.3. Análisis geoestadístico

3.4.3.1. Análisis exploratorio de datos

Para el procesamiento de los datos obtenidos en el análisis químico (espectrometría de fluorescencia de rayos X) del laboratorio se utilizó el software Excel, donde se analizó específicamente la concentración del carbonato de calcio expresado en porcentaje, se realizaron los siguientes cálculos estadísticos para el análisis:

Tabla 8-3: Datos geoestadísticos del carbonato de calcio

DATOS ESTADÍSTICOS PREVIOS	
NÚMERO DE DATOS	5
MEDIA ARITMÉTICA	95,00
MEDIANA	98,06
VARIANZA DE LA MUESTRA (s^2)	25,70
DESVIACIÓN ESTANDAR (s)	5,070
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	5%

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Estos datos serán comparados posteriormente con la estimación del *Kriging* y así comprobar si existe o no existe homogeneidad entre los resultados.

En el gráfico 1-3, se representa mediante un histograma las concentraciones de carbonato de calcio por el código de muestras. Se observa que, dentro de los cinco datos analizados, la mayoría (3 de 5) posee un potencial de carbonato de calcio superior al 98 %, y que dos concentraciones poseen un valor debajo de lo estimado, siendo el 87,27% el más bajo.

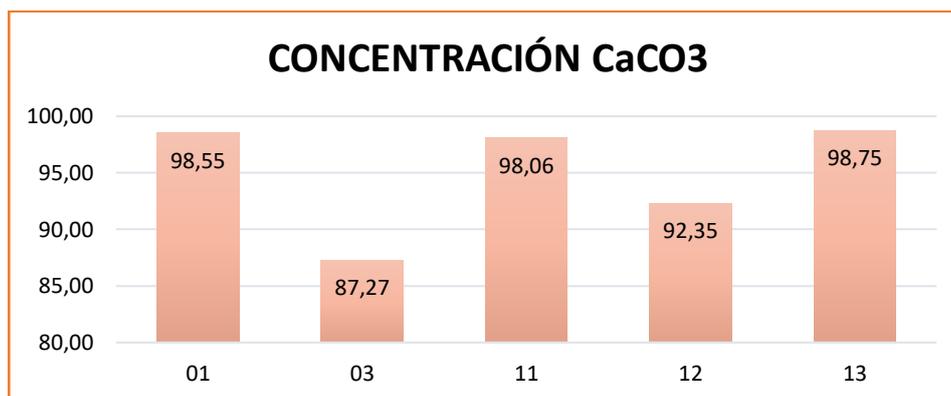


Gráfico 1-3. Concentraciones del carbonato de calcio por el código de muestras

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

3.4.3.2. Estimación con Kriging

En esta etapa se ingresó la tabla de datos del software Excel al programa ArcGIS, el cual sirvió para hacer una comparación de entre los resultados del análisis exploratorio y los valores proporcionados por la herramienta Geostatistical Analyst. Se puede observar que tanto en la parte inicial y final del muestreo se obtiene un alto porcentaje de CaCO₃, mientras que en la parte central (muestra 3) bajan concentración, esto puede ser causado por impurezas de la muestra como se refleja en los análisis de fluorescencia de rayos X. La muestra tres tiene mayor contenido de óxido de aluminio y potasio en comparación con las otras.

La figura 1-3 corresponde al mapa de ubicación de las muestras, según la leyenda se puede observar que el análisis cualitativo es representado de color rojo y verde, mientras que la concentración del carbonato de calcio está de color amarillo.

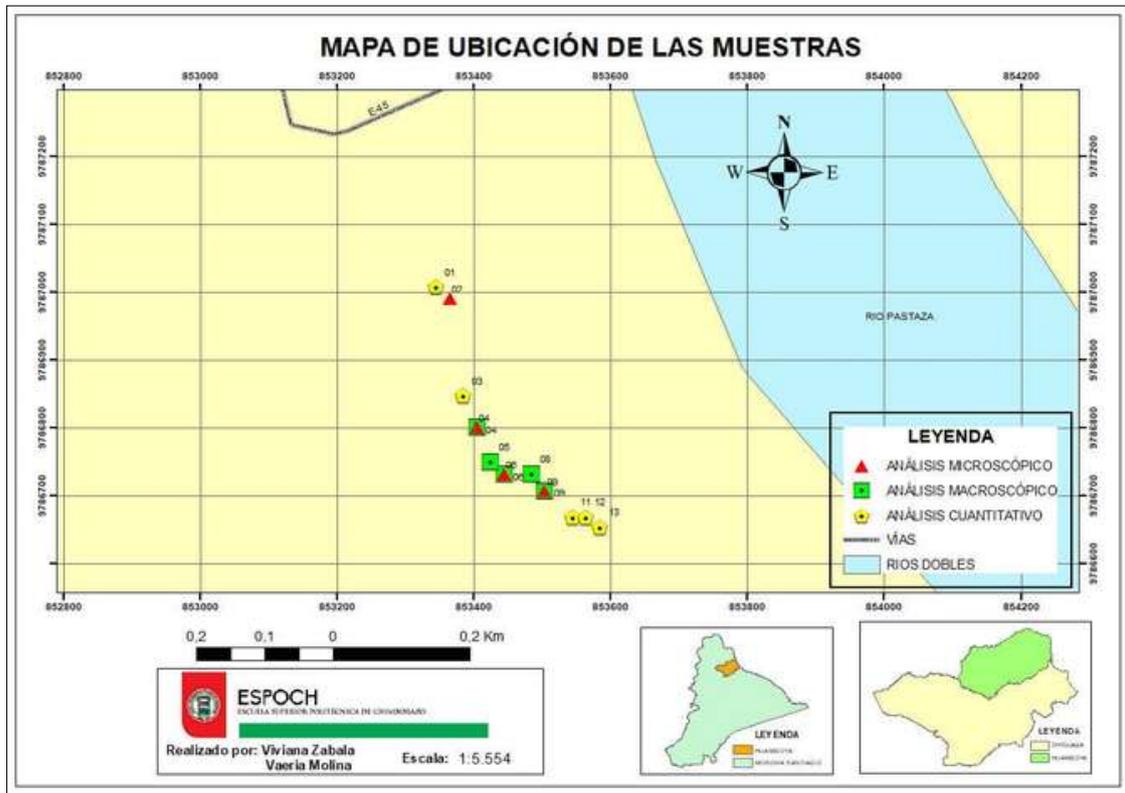


Figura 1-3. Mapa de concentración del carbonato de calcio

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Modelo de distribución

Histograma: Se realizó una comparativa entre la transformación logarítmica, normal y Box-Cox, parameter 40, para determinar qué modelo posee una mejor distribución de los datos.

- Se observa las concentraciones de carbonato de calcio poseen una transformación muy buena a comparación a las demás al momento de aplicar logaritmo.
- Los valores de la media y de la mediana en la transformación logarítmica son semejantes (4,5527 y 4,5856), además de tener una distribución de datos asimétrica negativa.

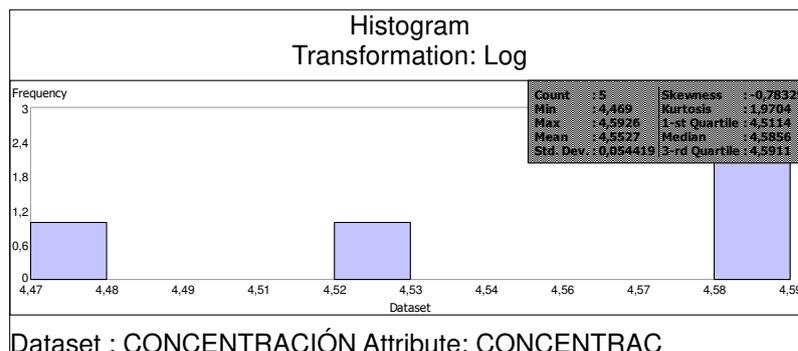


Figura 2-3. Histograma carbonato de calcio transformación: Log

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

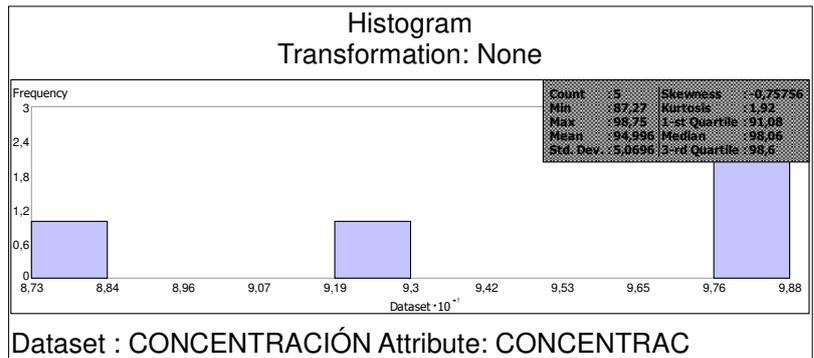


Figura 3-3. Histograma carbonato de calcio transformación: Ninguna

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

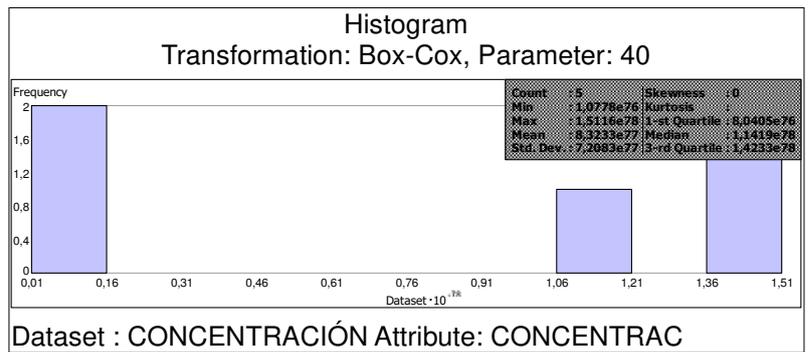


Figura 4-3. Histograma carbonato de calcio transformación: Box-Cox

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Gráfico Q-Q Normal: Los valores QQ-Plot señalan una mejor distribución de los datos al aplicar logaritmo, puesto que los puntos se acercan más a la recta diagonal.

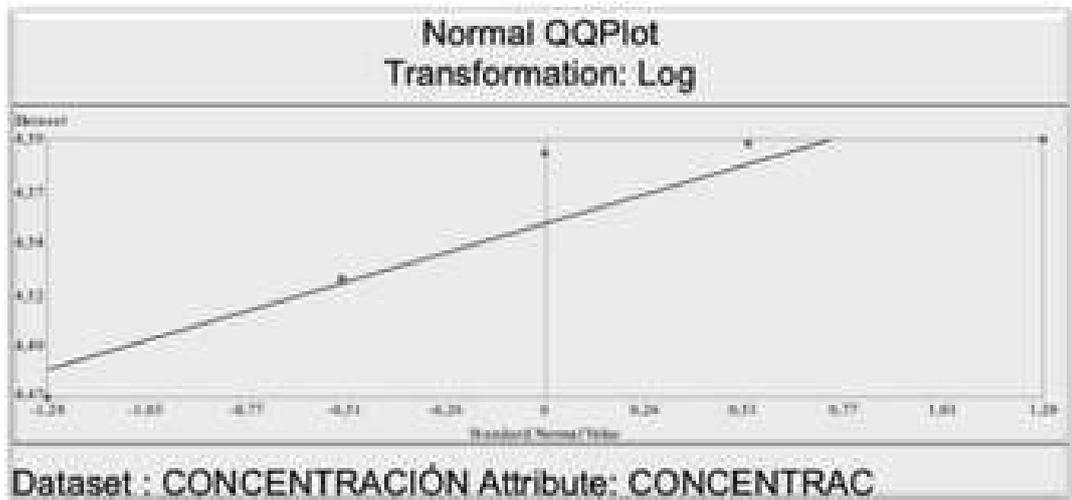


Figura 5-3. Normal Q-QPlot

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Diagrama de Veronoi: Consiste en asignar un polígono de influencia a todas puntos, y se traza en cada una de las muestras, luego una mediatriz para cada línea, y está mediatriz se intercepta con las otras muestras lo que forma un polígono, si se tiene muestras muy cercanas entre sí los polígonos van a ser de un tamaño pequeño en cambio cuando las muestras están separadas, serán más grandes los polígonos, es así que se podrá ver que tan homogéneo es el muestreo y si los polígonos son muy pequeños y diferentes dará a entender que el muestreo es heterogéneo, además nos ayuda a conocer la tendencia en cuanto a un mapa de interpolación con los datos asignados. Realizado este análisis se puede evidenciar que el muestro es homogéneo.

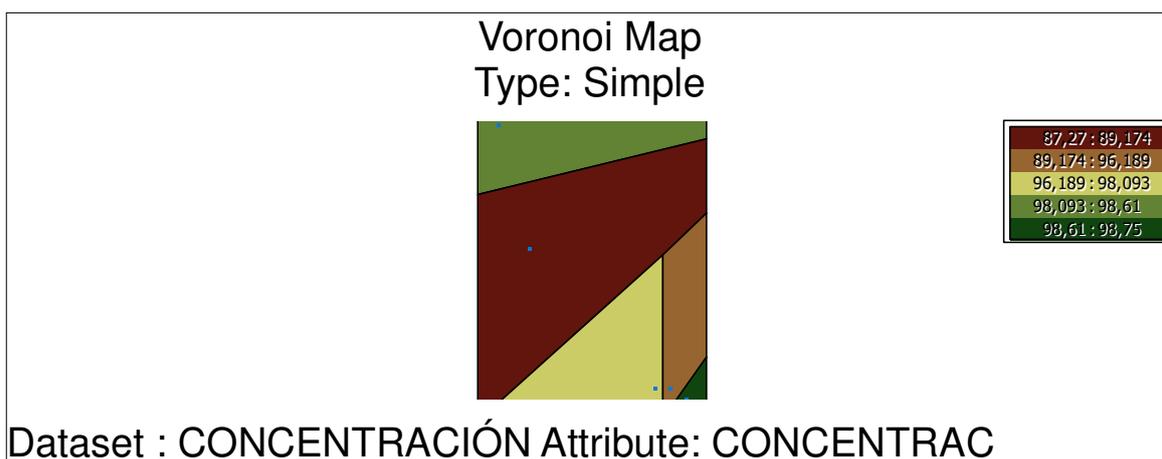


Figura 6-3. Diagrama de Veronoi de la concentración de carbonato de calcio

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Análisis de tendencia: el análisis de tendencia señala que los valores de la concentración del carbonato de calcio están distribuidos en segundo grado formando una parábola. Es importante realizar este análisis antes de la interpolación de los datos, debido a que se debe remover los datos antes de aplicar a kriging, caso contrario no se formará una meseta en el semivariograma.

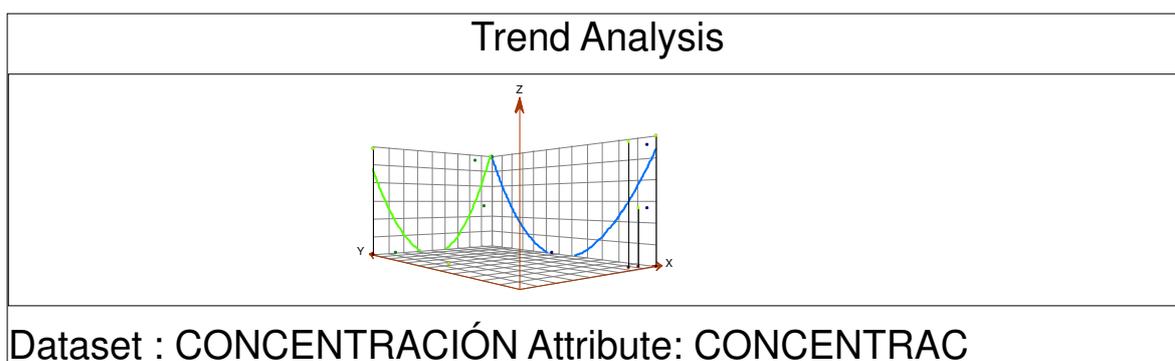


Figura 7-3. Análisis de tendencia de la concentración de carbonato de calcio

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Semivariograma: Una vez aplicada la información de tendencias, observamos que nuestros datos presentan una mejor distribución del semivariograma hacia el suroeste con un ancho de banda más pequeño de 3 tamaño 35,2. Cabe resalta que al modificar el ángulo de dirección los datos no cambian.

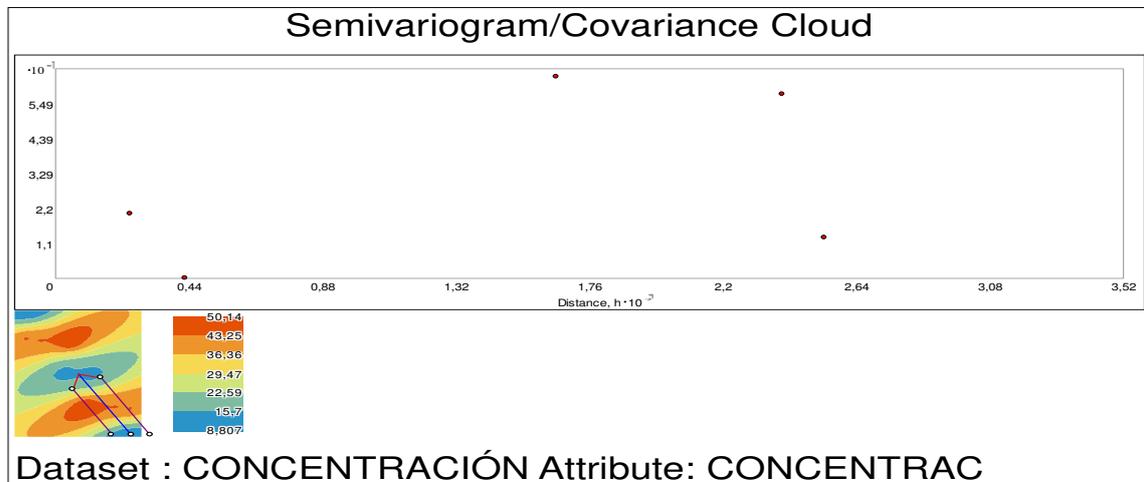


Figura 8-3. Semivariograma de la concentración de carbonato de calcio

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Validación del kriging: La validación del método se realizó mediante la opción de validación circular, esférica y gaussiana. Para el modelo circular se observa que en la parte superior izquierda la línea azul y debajo de la línea gris, la mayoría de los puntos están distribuidos por ambos lados línea gris, demostrando que los valores de las muestras son heterogéneos, al igual que en el modelo esférico. En efecto, se deduce que estos modelos no tienen una buena interpolación (poco confiable) porque el valor estimado difiere mucho del valor real.

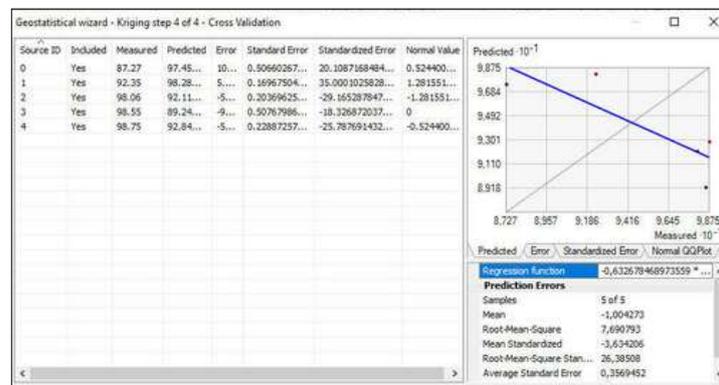


Figura 9-3. Validación circular de las muestras

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

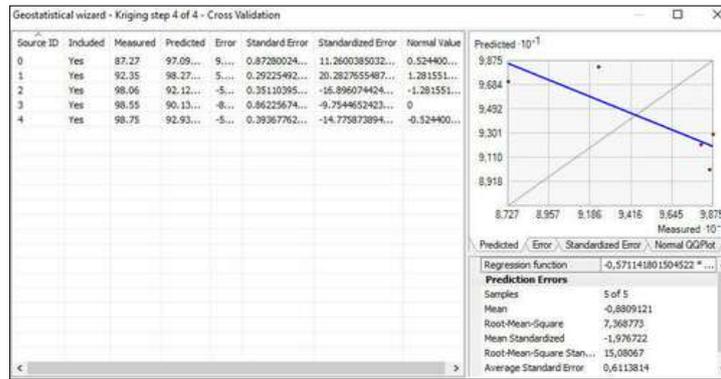


Figura 10-3. Validación esférica de las muestras

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Como se puede observar en la figura 11-3 a diferencia de los dos modelos anteriores, cuando la línea azul está paralela a la línea gris es homogéneo, es decir que los valores de la interpolación se acercan a los valores medidos y por ende es una buena interpolación.

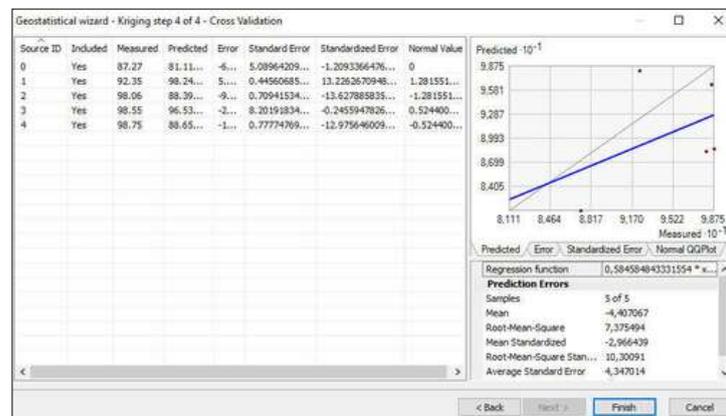


Figura 11-3. Validación Gaussiano de las muestras

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

3.4.4. Modelo geostadístico teórico

Al momento de seleccionar un mejor ajuste de datos y que el mapa de estimación genere un rango de menor error, se emplearon los modelos teóricos circular, esférico y gaussiano, para realizar una comparativa entre sí y elegir el más adecuado, como se observa en la tabla 9-3:

Tabla 9-3: Errores de la validación del modelo teórico del Kriging

MODELO	Mean	RMS	MS	RMSS	ASE
Circular	-1,004273	7,690793	-3,634206	26,38508	0,3569452
Esférico	-0,8809121	7,368773	-1,9767222	15,08067	0,6113814

Gaussiano	-4,407067	7,375494	-2,966439	10,30091	4,347014
-----------	-----------	----------	-----------	-----------------	-----------------

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Después de haber analizado los distintos modelos de la estimación de *kriging* se llegó a la conclusión que el modelo esférico el más favorable cuantitativamente para la predicción de concentraciones del carbonato de calcio, como se muestra en la tabla 9-3.

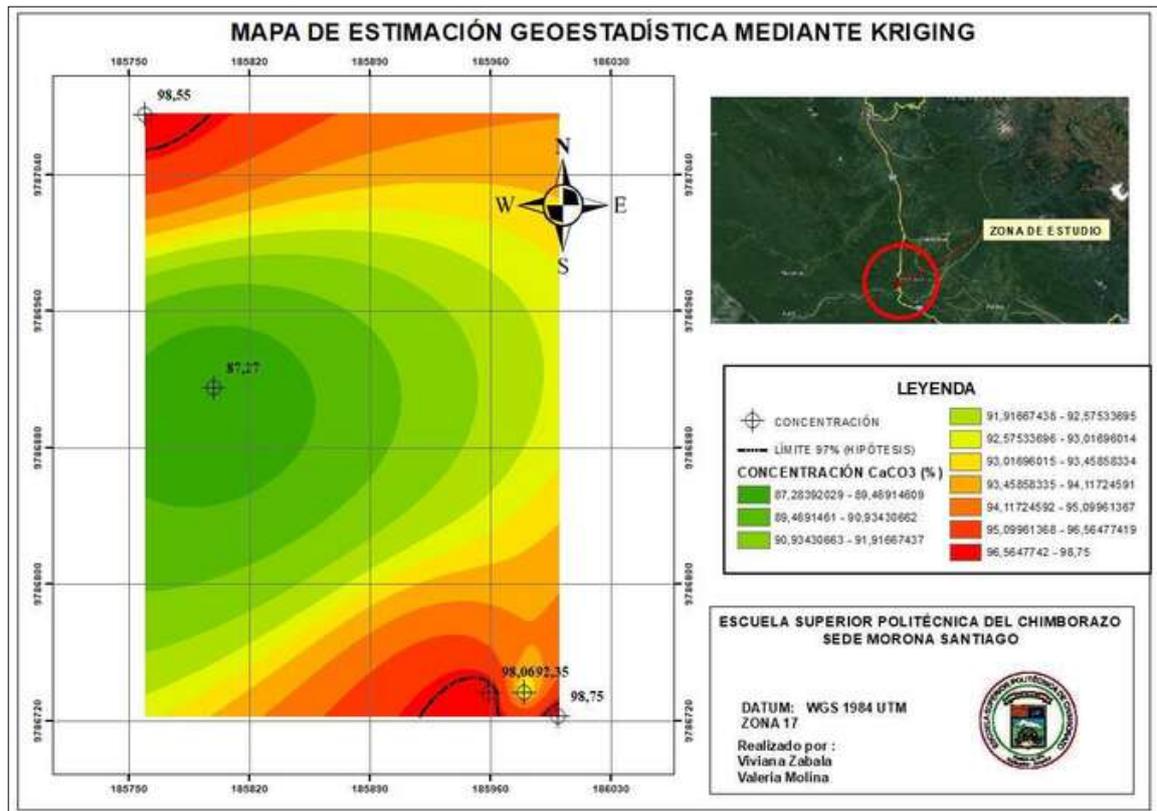


Figura 12-3. Mapa de estimación mediante Kriging modelo esférico

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Cabe señalar que según la figura 11-3 y la tabla 8-3 el modelo gaussiano visualmente posee una mejor validación de los datos y los valores son aceptables. Pese a que a el modelo posee una mejor validación al momento de elaborar el mapa no generó los resultados esperados y necesarios para el estudio.

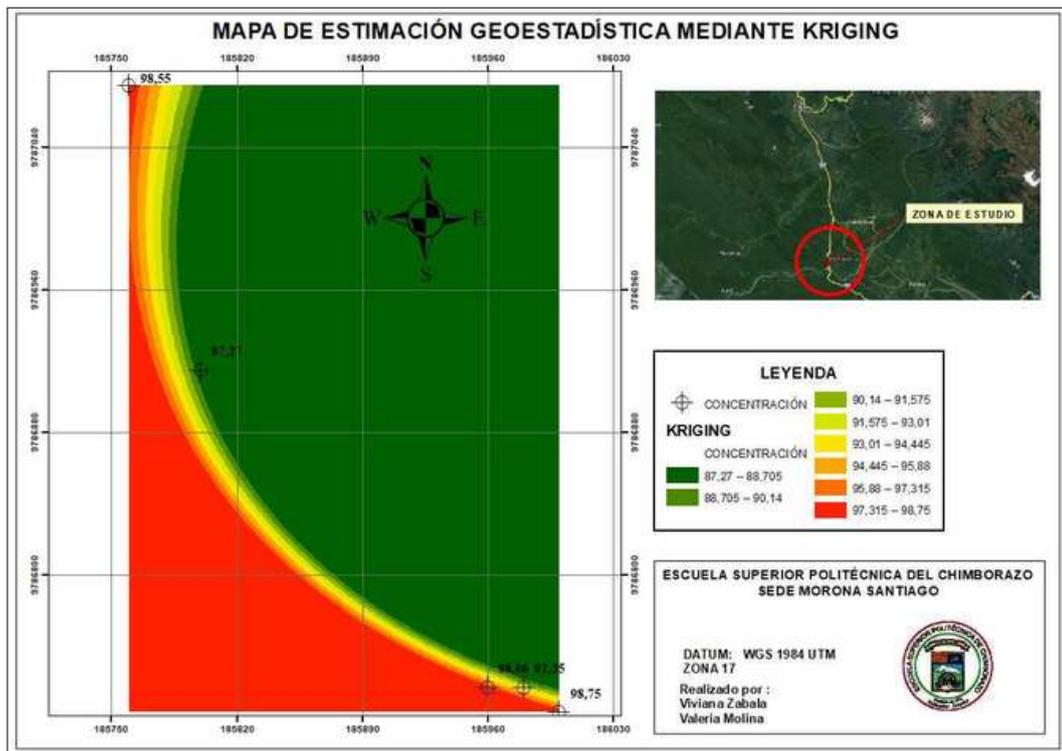


Figura 13-3. Mapa de estimación mediante Kriging modelo gaussiano

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

El mapa de estimación geoestadística que se utilizó para el análisis de los datos fue mediante el modelo esférico como se observa en la figura 12-3, donde que refleja el resultado de la estimación y se determinó que:

- Los valores de la estimación son homogéneos, por lo tanto, el área de estudio tiene un gran potencial de carbonato de calcio.
- Existen porcentajes con un máximo del 98,06 % y mínimo del 87,27 %, que entran en los parámetros de calidad para la fabricación del cemento.
- El valor mínimo del 87,27 %, es debido al porcentaje de impurezas de la muestra, ya que, en el análisis químico a comparación con las demás muestras, existen un mayor porcentaje de óxidos de hierro, aluminio, magnesio y silicio (en pequeñas cantidades). Las impurezas son ocasionadas debido a la meteorización que ha sufrido la muestra en el lugar, por diferentes factores tales como la humedad del ambiente, las raíces de las plantas y materiales orgánicos que están en contacto con la roca del afloramiento.

Se realizó la estimación mediante IDW para comparar los resultados con el proceso del *Kriging*, lo que conlleva a verificar que gran parte del área de estudio tiene un alto contenido de carbonato de calcio, se debe resaltar que en los dos procesos los datos coinciden y los resultados plasmados en los mapas son similares.

Cabe resaltar que con el modelo IDW no se puede elaborar la predicción de error, a diferencia que con el modelo de estimación mediante *Kriging*.

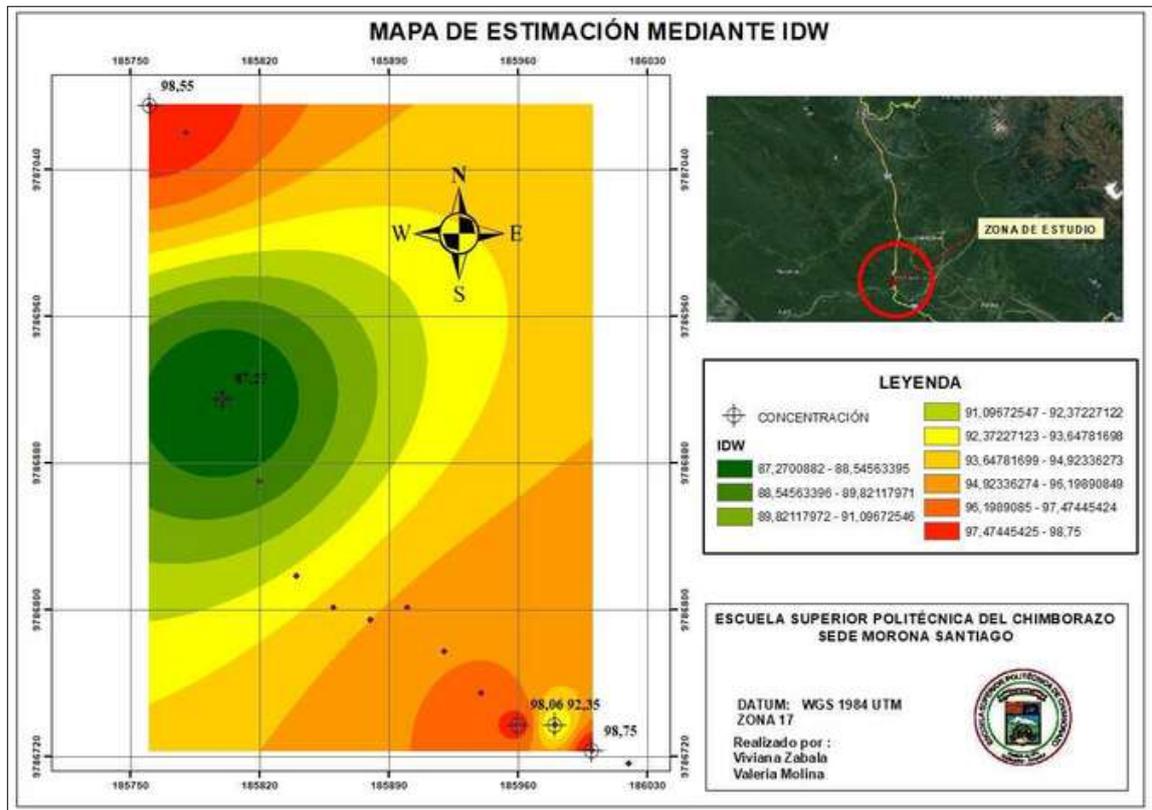


Figura 14-3. Mapa de estimación mediante Kriging

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Finalmente se generó un mapa de error de la predicción de la estimación del *Kriging* simple, donde se evalúa la veracidad relacionada con los valores predichos, estos van desde 0 hasta el 0,9981087067 abarcando toda el área de estudio como se observa en la figura 20-3:

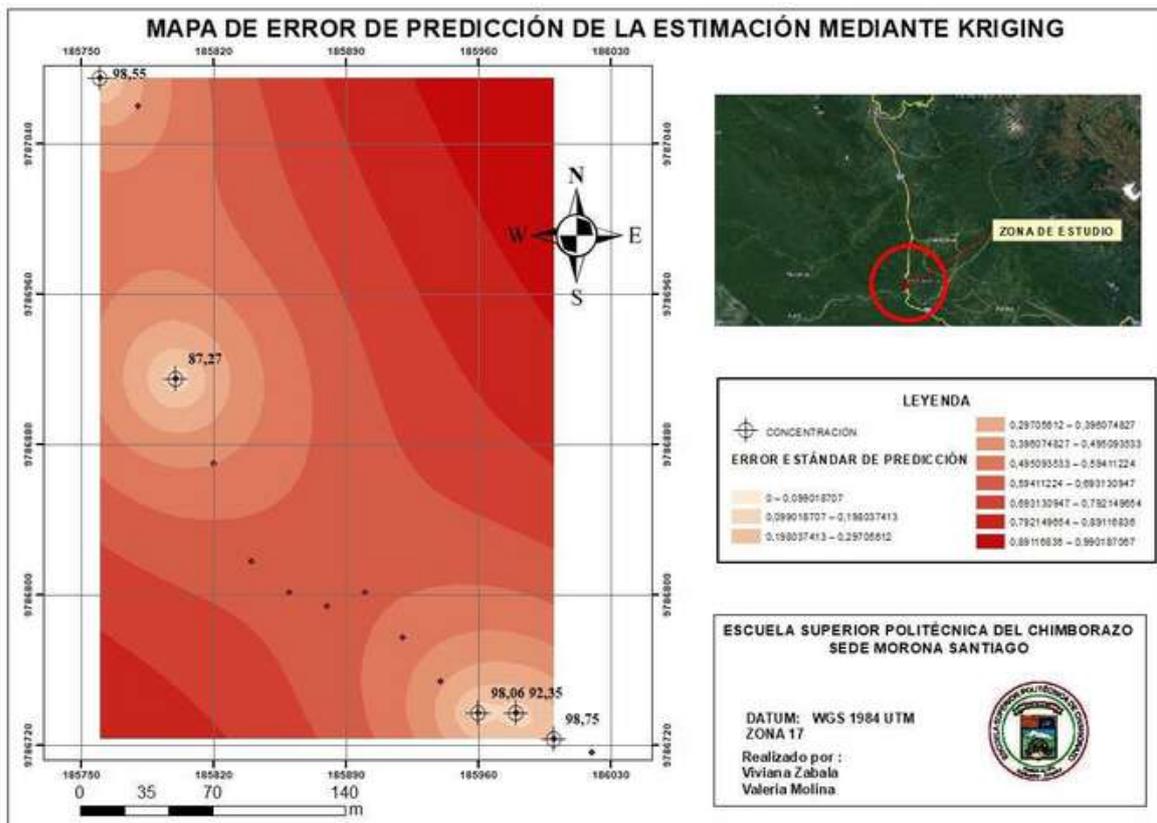


Figura 15-3. Mapa de error de predicción de la estimación mediante *Kriging*

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

Los valores reflejan que existe un mayor rango de error en los lugares donde no se realizó el muestreo, mientras que en los puntos de muestreo existe un error de 0,099018707, siendo favorable debido a que mientras más cercano al cero existe un menor error.

Con lo antes expuesto queda validada y contrarrestada la hipótesis inicial de la investigación, obteniendo un alto potencial de carbonato de calcio en las muestras evaluadas en la zona de estudio.

3.4.5. *Análisis e interpretación de datos*

Una vez realizado el análisis cualitativo de las muestras seleccionadas se deduce que debido a las características litológicas y la tonalidad clara que presentan las rocas fueron depositadas en un ambiente marino somero perteneciente a la formación Napo miembro Napo Basal Medio, caliza tipo “M2”, además poseen abundantes fósiles con nódulos y bivalvos cristalizados de calcita. El contenido mineralógico promedio de las muestras de caliza es el 50% de micrita, 45% de esparita y un 5% óxidos. En la tabla 10-3 se observa que la muestra M03 posee un potencial de carbonato de calcio del 87,27% debido al contenido de impurezas ocasionadas por los óxidos de 1,46% (Al_2O_3); 0,68% (Fe_2O_3) también presenta un alto porcentaje del 6,11% (SiO_2) debido al contenido de silice en la génesis de la roca, disminuyendo así la calidad del carbonato de calcio a diferencia de las demás

muestras; la muestra M03 tiene características de pertenecer a las calizas tipo “A” las cuales poseen una matriz micrítica y son silicificadas con piritita. Las facies carbonatadas micríticas son más ricas en material detrítico, como resultado de la caída del nivel del mar y el inicio del influjo siliciclástico en la cuenca.

Las calizas con un valor mayor al 99% de carbonato de calcio recolectadas de la zona de estudio pertenecen al tipo “M2” y las calizas que contienen el 88,38% y 93,45% de carbonato de calcio pertenecen al tipo “A”, concluyendo que en la zona de estudio existe un cambio de facies entre los dos tipos de caliza.

Se debe desarrollar una investigación más detallada, extendiendo la zona de estudio y realizar el análisis químico a un mayor número de muestras con la finalidad de obtener información significativa del lugar y tabular los datos con mayor precisión en cuanto al tipo de caliza.

Tabla 10-3: Resultados del análisis cualitativos y cuantitativos

MUESTRA	ANÁLISIS MICROSCÓPICO Y MACROSCÓPICO	ANÁLISIS QUÍMICO
M01		La muestra M1 posee 0,20 % (Fe2O3); 52, 21% (CaO); 0,52% (MgO); 0,05% (Na2O); 0,05% (K2O); 0,11% (SO3); 0,06% (TiO2) y el 98,55% CaCO3
M02	La muestra es de color blanco con el análisis de láminas delgadas se deduce un 65 % (esparita) y 35 (micrita). Posee un gran cantidad de fósiles alargados.	
M03	La muestra es de color blanco, posee fósiles que pueden ser apreciados a simple vista, con el análisis de láminas delgadas se deduce un 50% de esparita (gran cantidad de fósiles), 40% de micrita y un 10% de óxidos.	En el análisis químico la muestra M03 refleja un porcentaje de 6,11% (SiO2) que afecta notablemente la calidad del carbonato de calcio, además posee otros óxidos como 1,46% (Al2O3); 0,68% (Fe2O3); 48,89% (CaO); 0,53% (MgO); 0,05% (Na2O); 0,34% (K2O); 0,10% (SO3); 0,06% (TiO2) y el 87,27% CaCO3
M06	En la muestra M06 es de color blanco, con fósiles alargados, en el análisis de láminas delgadas se deduce que el 55% es de esparita, 40% de micrita y el 5% de óxidos.	
M09	En la muestra M09 se observa menor porcentaje de fósiles, en el análisis de láminas delgadas se deduce un 50 % de esparita, 45% de micrita, y el 5 de óxidos.	
M11		La muestra M11 en el ensayo químico reflejó un porcentaje de óxidos del 0,12% (SiO2); 0,18% (Fe2O3); 54,94% (CaO); 0,59% (MgO); 0,05% (Na2O); 0,05% (K2O); 0,14% (SO3); 0,06% (TiO2); y el 98,06% CaCO3
M12		La muestra M12 posee 3,47% (SiO2); 0,83% (Al2O3); 0,61% (Fe2O3); 51,74% (CaO); 0,52% (MgO), 0,06% (Na2O); 0,15% (K2O); 0,10% (SO3); 0,09% (TiO2) y el 92,35% CaCO3
M13		La muestra M12 posee 0,11% (Fe2O3); 55,32% (CaO); 0,59% (MgO); 0,05% (Na2O); 0,4% (K2O); 0,12% (SO3); 0,06% (TiO2); y el 98,75 CaCO3

Realizado por: Zabala, Viviana.; Molina, Valeria.; 2022.

CONCLUSIONES

La caracterización petrográfica de las calizas efectuada en el laboratorio de hidráulica, mineralogía, cristalografía y petrografía de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo Sede Morona Santiago, fue realizada de acuerdo a las fichas macroscópicas y microscópicas observándose una gran cantidad de fósiles producto de la sedimentación a lo largo de los años, además se constató que el área de estudio está constituida por la formación Napo la cual proviene de la era cretácica donde se encuentran lutitas intercaladas con areniscas y carbonatos.

Con el análisis petrográfico mediante el uso del microscopio se logró identificar que las muestras registradas tienen una composición mineralógica del 45% de fósiles cristalizados de calcita (esparita), el 50 % de una matriz de micrita (granos menores a las 4 micras), y finalmente el 5% de óxidos; concluyéndose que de acuerdo a las características físicas por presencia de esparitas y micrita la piedra caliza genera indicios de contener un óptimo CaCO_3 y que sea de alta calidad.

Las calizas estudiadas, conforme a la clasificación de Dunham (1962) la cual se basa en la textura deposicional reconocible, y establece que cuando una roca está compuesta por porcentajes esparita y micrita posee una la textura de *packstone* y estructura de grano soportado, cuyo resultado según Castillo y Chunque (2016, p. 8) en su investigación sobre la concesión minera “Tres pirámides” establece que cuando una roca caliza es de tipo Mudstone, Packstone y Wackestone son de calidad buena y contienen carbonatos de calcio óptimos. La mayor parte de la roca está compuesta por fósiles, los mismos que no alteran el procesamiento este tipo de piedra caliza, además se deberá considerar un porcentaje mínimo de concentración ($> 80\%$) como un estándar al potencial de CaCO_3 en la industria cementera.

El estudio cuantitativo realizado en los laboratorios de la Unión Cementera Nacional S.A. planta Chimborazo proporcionó información útil del potencial de carbonato de calcio, ya que al realizar la caracterización química de la roca caliza muestreada en el área de estudio se presentó como valor mínimo de 87,27% y valor máximo de 98.75%; concluyéndose que los resultados obtenidos mediante el ensayo Fluorescencia de Rayos X indican un gran potencial para el uso y explotación de este tipo de caliza, identificándose la aceptación de la hipótesis planteada en la presente investigación.

Con el análisis geoestadístico realizado mediante *Kriging* con el *software* ArcGis se identificó que la mayor parte del área de estudio está cubierta por un gran potencial de CaCO_3 , asimismo en los lugares donde los valores de concentración son más altos existe una mayor incertidumbre y mayor grado de error debido a que se poseen pocos datos; conforme al diseño efectuado del mapa final de interpolación el muestreo realizado es homogéneo. Los resultados de la estimación mediante *Kriging* fueron comparados con la herramienta de interpolación IDW, en donde se confirma la calidad del CaCO_3 en el área de estudio, dentro del sector Chiguaza, cantón Huamboya.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar los equipos necesarios (devastadora) para realizar láminas delgadas en el laboratorio de hidráulica, mineralogía, cristalografía y petrografía de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo Sede Morona, ya que estos servirán para posteriores análisis que se realicen a nivel institucional, aportando así a la educación y al desarrollo de la carrera de Ingeniería en Minas.

Se sugiere extender la zona de estudio explorando y levantando información, para esto es necesario realizar la recolección de un mayor número de muestras de caliza con el fin de verificar con mayor exactitud el potencial de carbonato de calcio en el sector Chiguaza, cantón Huamboya; y así continuar con el análisis en cuanto al cálculo y estimación de recursos y reservas con la finalidad de determinar la cantidad de mineral que se encuentra en la zona y estimar la factibilidad de realizar la explotación comercial de la piedra caliza.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

RMI: Rocas y Minerales Industriales

SNAP: Sistema Nacional de Áreas Protegidas

UCEM S. A: Unión Cementera Nacional Sociedad Anónima

XRF: Fluorescencia de rayos X

IDW: Distancia Inversa Ponderada

INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización

SENPLADES: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, Hernán & GUERRA, Rocio. Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana. (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea]. Universidad de Chile, Escuela de Economía y Negocios. Santiago-Chile. 2005, pp 7-12; 40-41; 110-111. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111195/tesis%20caliza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ALFARO LEÓN, Washington José; et al. Caliza agrícola fortificada (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea]. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Guayaquil-Ecuador. 2011. pp 4-5. [Consulta: 14 septiembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4481>

APAZA MAMANI, Milko Fay. Proyecto de instalación de una planta de producción de cal viva e hidratada en el distrito de asillo (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea]. Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Facultad de ingeniería geológica e ingeniería metalúrgica. Puno-Perú. 2020. [Consulta: 18 noviembre 2021]. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14031/Apaza_Mamani_Milko_Fay.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ARCMAP. Kriging [En línea]. 2016. [Consulta: 16 febrero 2022]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>

AVELINO ROMUALDO, Jean Carlos. Evaluación de las calizas para el diseño de la planta de calcinación en la concesión Calquipa – Junín – 2018 (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Facultad de Ingeniería. Cerro de Pasco-Perú. 2019, pp. 9-17 [12 noviembre 2021]. Disponible en: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2259/1/T026_72737197_T.pdf

BABY, Patrice; et al. *La Cuenca Oriente: geología y petróleo.* [En línea]. Quito-Ecuador. ISBN 9978 -43-859-9. 2004. [Consulta: 5 noviembre 2021]. Disponible en: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-08/010036207.pdf

BABY, Patrice; et al. *Modelo Estructural de la Parte Norte de la Cuenca Oriente Ecuatoriana. Convenio ORSTOM-PETROPRODUCCIÓN, Informe Interno PETROPRODUCCION.* [En línea].

Quito-Ecuador. 1997. [Consulta: 18 febrero 2022]. Disponible en: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/griseli1/010015385.pdf

CASTILLO RUDAS, Victor Gabriel & CHUNQUE CERQUÍN, Juan Carlos. Evaluación de calidad de las calizas con fines industriales en la concesión minera Tres Pirámides, distrito de Magdalena-Cajamarca 2016 (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea]. Universidad privada del Norte, Facultad de Ingeniería. Cajamarca-Perú. 2016. p 8. [18 febrero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10678>

CISNEROS GÓMEZ, Rita Veronica. Análisis de la industria cementera en Ecuador, concentración versus abuso de poder de mercado en el periodo 2011-2015 (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Economía. Quito-Ecuador. 2017. pp. 47-50. [Consulta: 17 diciembre 2021]. Disponible en: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14238/TSS-00_13112017VFL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CORNEJO AGUIAR, Paúl. *Depósitos minerales no metálicos del Ecuador* [blog]. Quito-Ecuador. 2016. [Consulta: 10 diciembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317613312_DEPOSITOS_MINERALES_NO_METALICOS_DEL_ECUADOR

EQUIPO TÉCNICO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN DEL GADPMS. Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del Gobierno Autónomo Descetralizado Provincial de Morona Santiago 2019 Tomo I al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Morona Santiago 2019 – 2023.

EQUIPO TÉCNICO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN DEL GADPMS. Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del Gobierno Autónomo Descetralizado Provincial de Morona Santiago 2019 Tomo II, III y IV al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Morona Santiago 2019 – 2023.

EQUIPO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA CHIGUAZA. Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Chiguaza 2015.

GAD MUNICIPAL DE HUAMBOYA. Fauna [En línea]. Administración 2019-2023. [Consulta: 28 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.huamboya.gob.ec/index.php/inicio>

INFINITIA RESERACH. El análisis químico de materiales: ¿en qué consiste? 2021. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/el-analisis-quimico-de-materiales/>

MARGUÍ, E. et al., *Aplicación de la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos-X en el estudio de la dispersión de metales en áreas mineras.* Boletín Geológico y Minero. 2011.p 274. [Consulta: 10 enero 2022].

UABDivulga. Láminas delgadas, el pasado al servicio del futuro [En línea]. 2019. [Consulta: 18 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/laminas-delgadas-el-pasado-al-servicio-del-futuro-1345680342040.html?noticiaid=1345786471731>

ORTIZ ORTIZ, Servio Evelio. Estimación de reservas de caliza en el sector Chiwitayo – Chiguaza (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Extensión Morona Santiago, Facultad de Recursos Naturales. Macas-Ecuador. 2016. p 39. [Consulta: 12 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/5415>

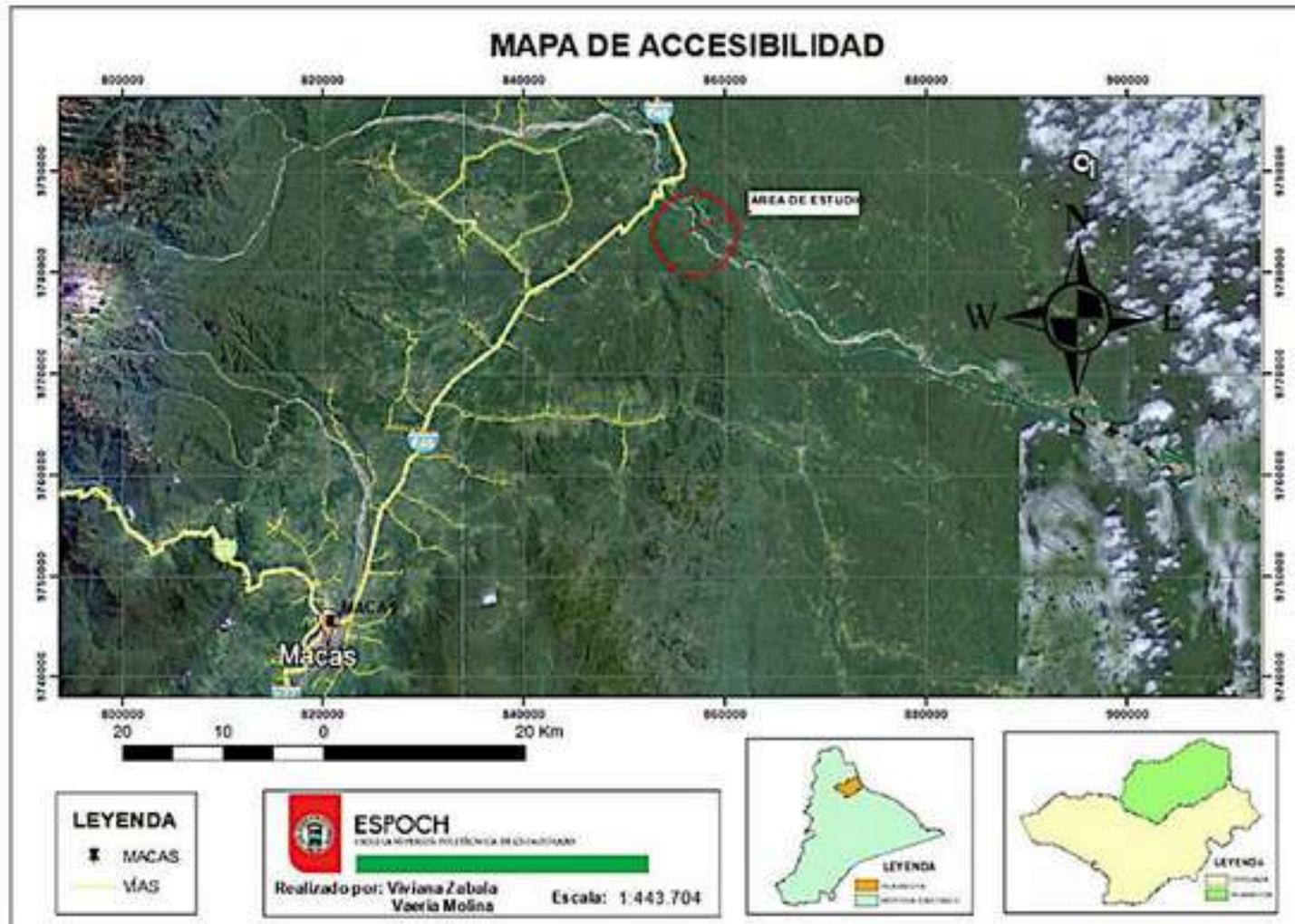
TRINIDAD MENDOZA, Keevin Harold. Geología y Recursos Minerales del Prospecto Minero Tarmatambo (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ingeniería. Cerro de Pasco-Perú. 2019, p. 9. [Consulta: 10 noviembre 2021]. Disponible en: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1424/5/T026_46224202_T.pdf

ZAMBRANO MORENO, Juan Pablo. Tratamiento de drenaje ácido mediante columnas verticales conformado de arena, caliza y biocarbón (Trabajo de titulación) (Grado). [En línea]. Universidad del Azuay. Facultad de Ciencia y Tecnología. Cuenca-Ecuador. 2020. Consulta: 10 febrero de 2022. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9645>

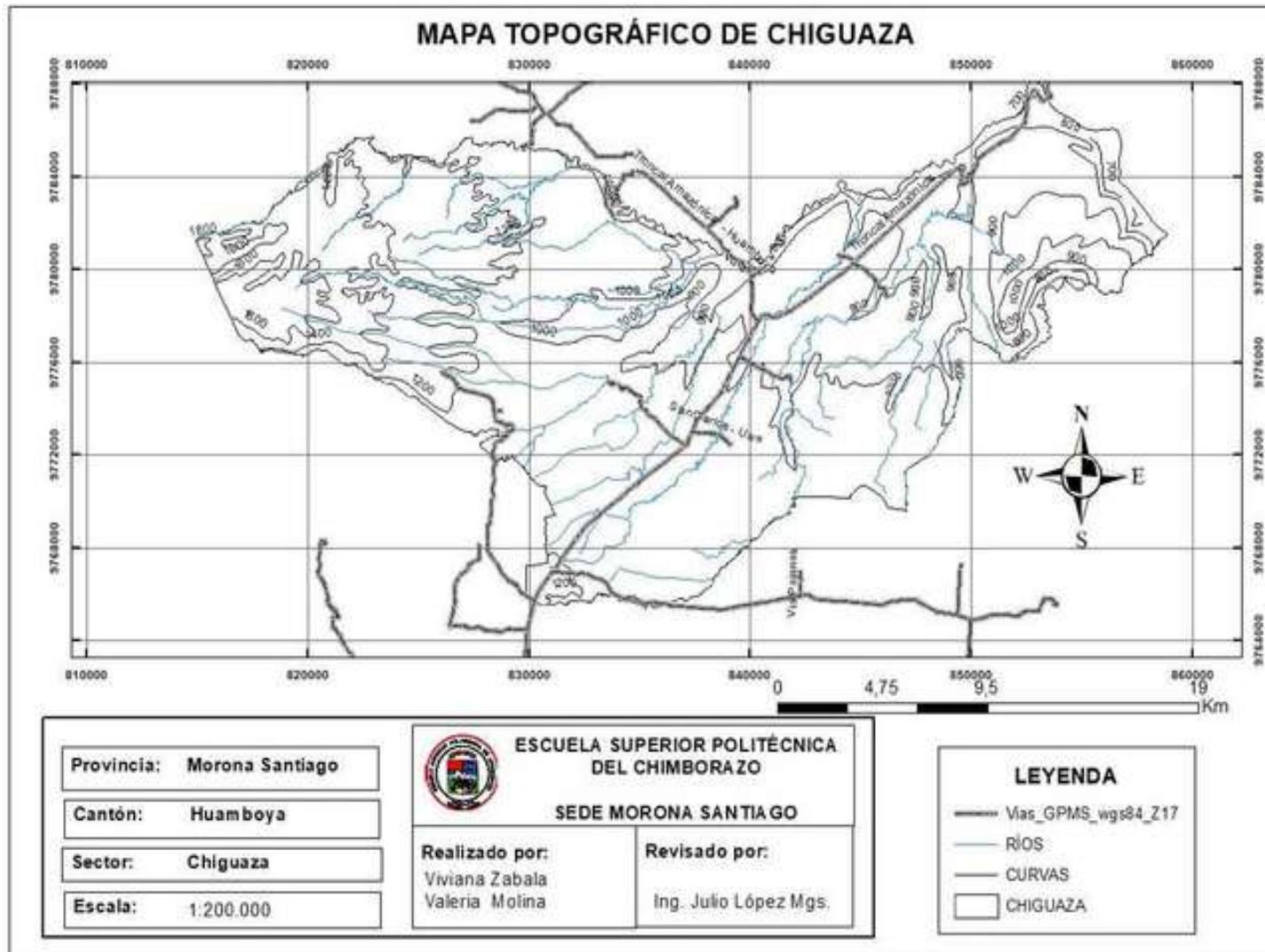
ZHINDÓN MARTINEZ, Pedro David. Desarrollo de una herramienta informática para aplicación en balances de masa y energía en el horno rotativo de la planta Guapán-UCEM” (Trabajo de titulación) (Grado). [Digital]. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas. Cuenca-Ecuador. 2015. p. 3. [Consulta: 19 diciembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21850/1/Tesis.pdf>

ANEXOS

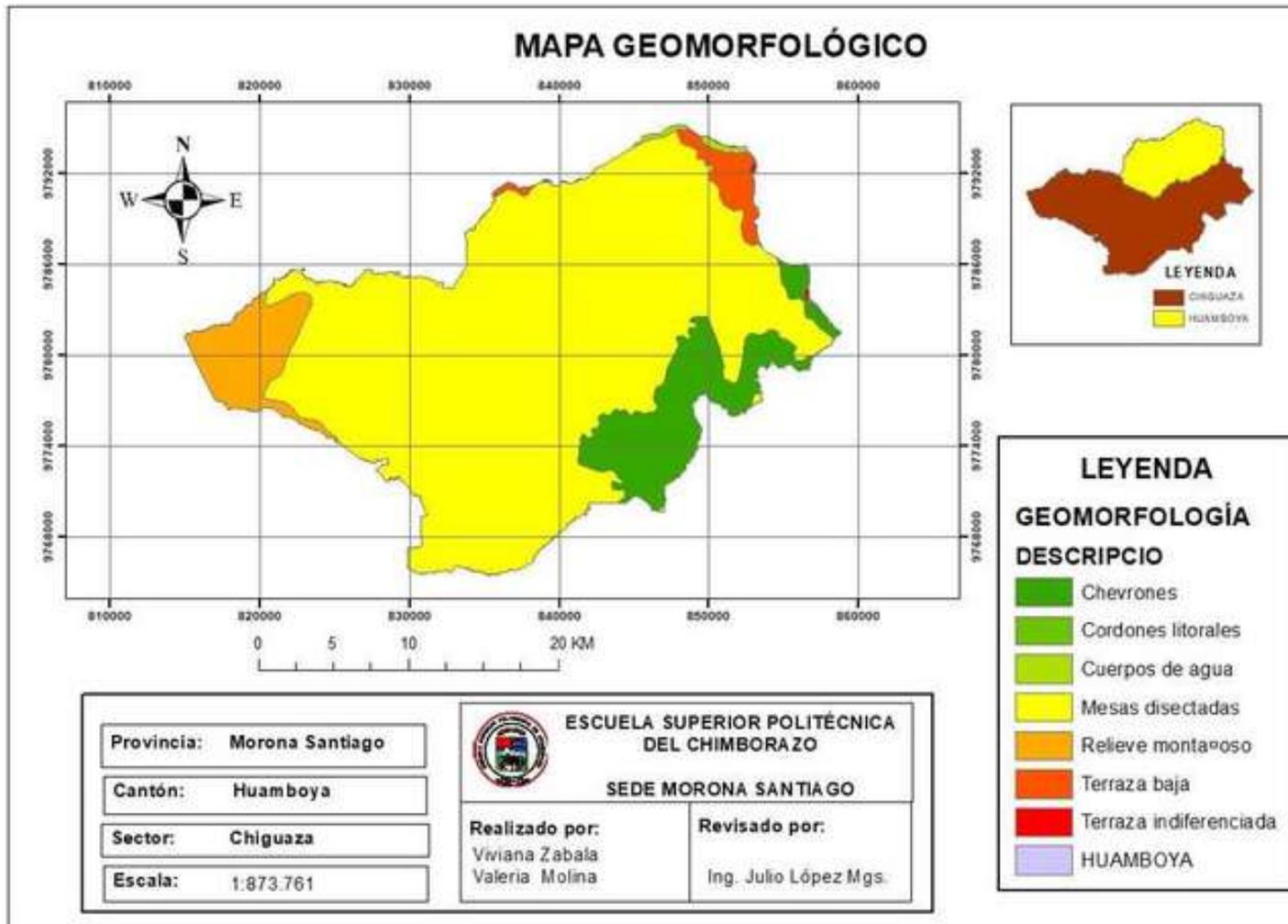
ANEXO A: MAPA DE ACCESIBILIDAD A LA ZONA DE ESTUDIO



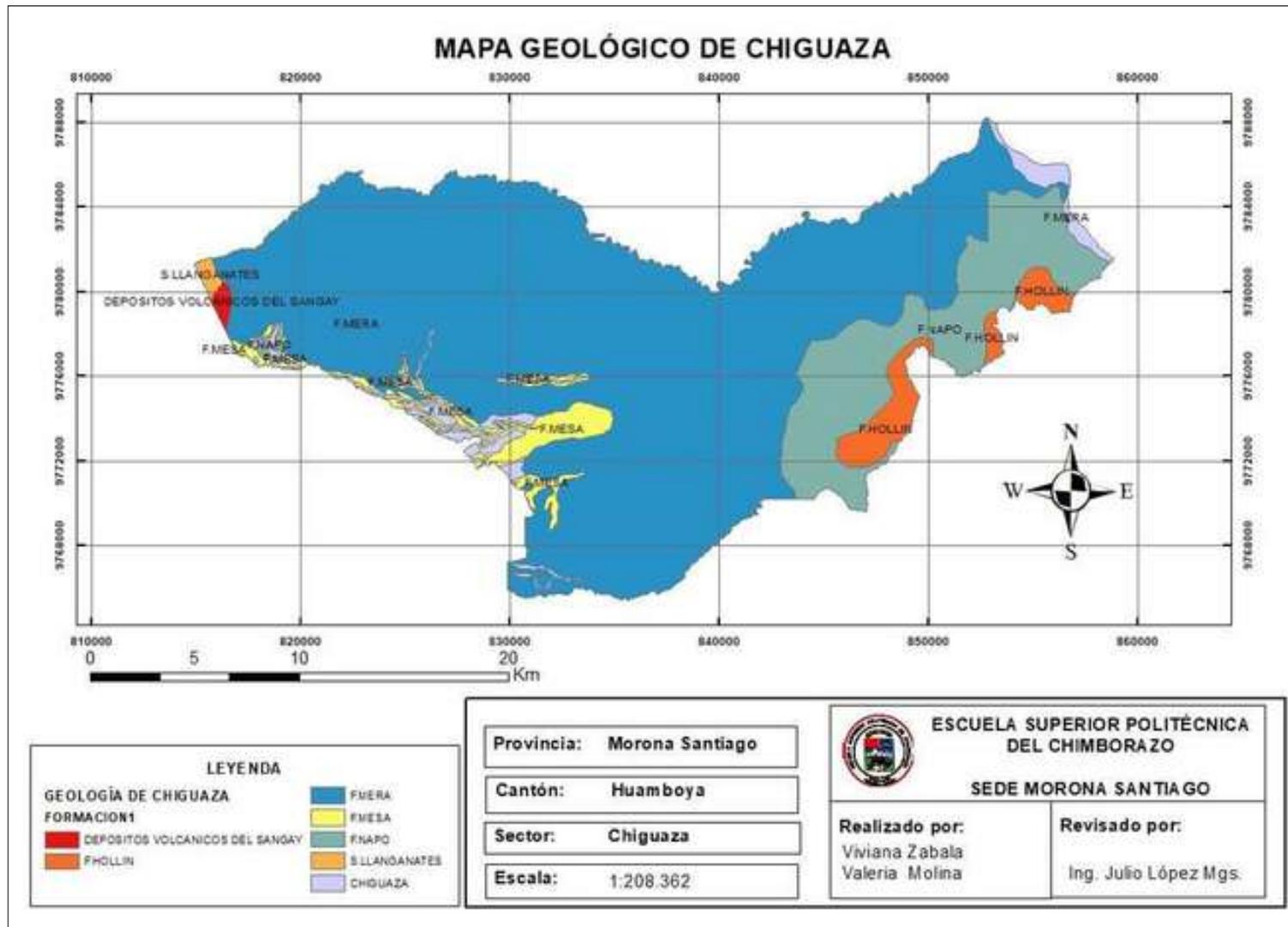
ANEXO B: MAPA TOPOGRÁFICO DE LA PARROQUIA CHIGUAZA



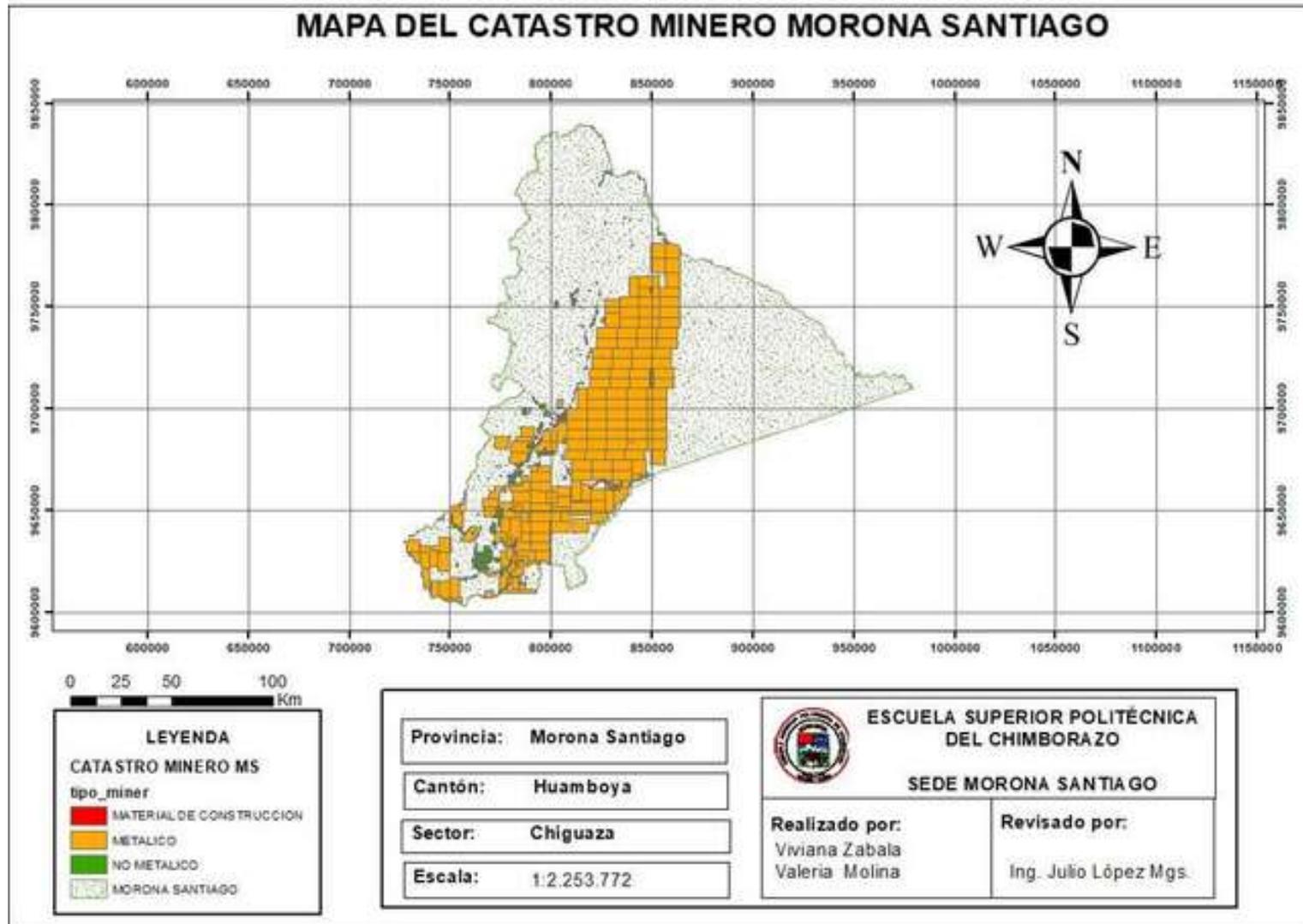
ANEXO C: MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA PARROQUIA CHIGUAZA



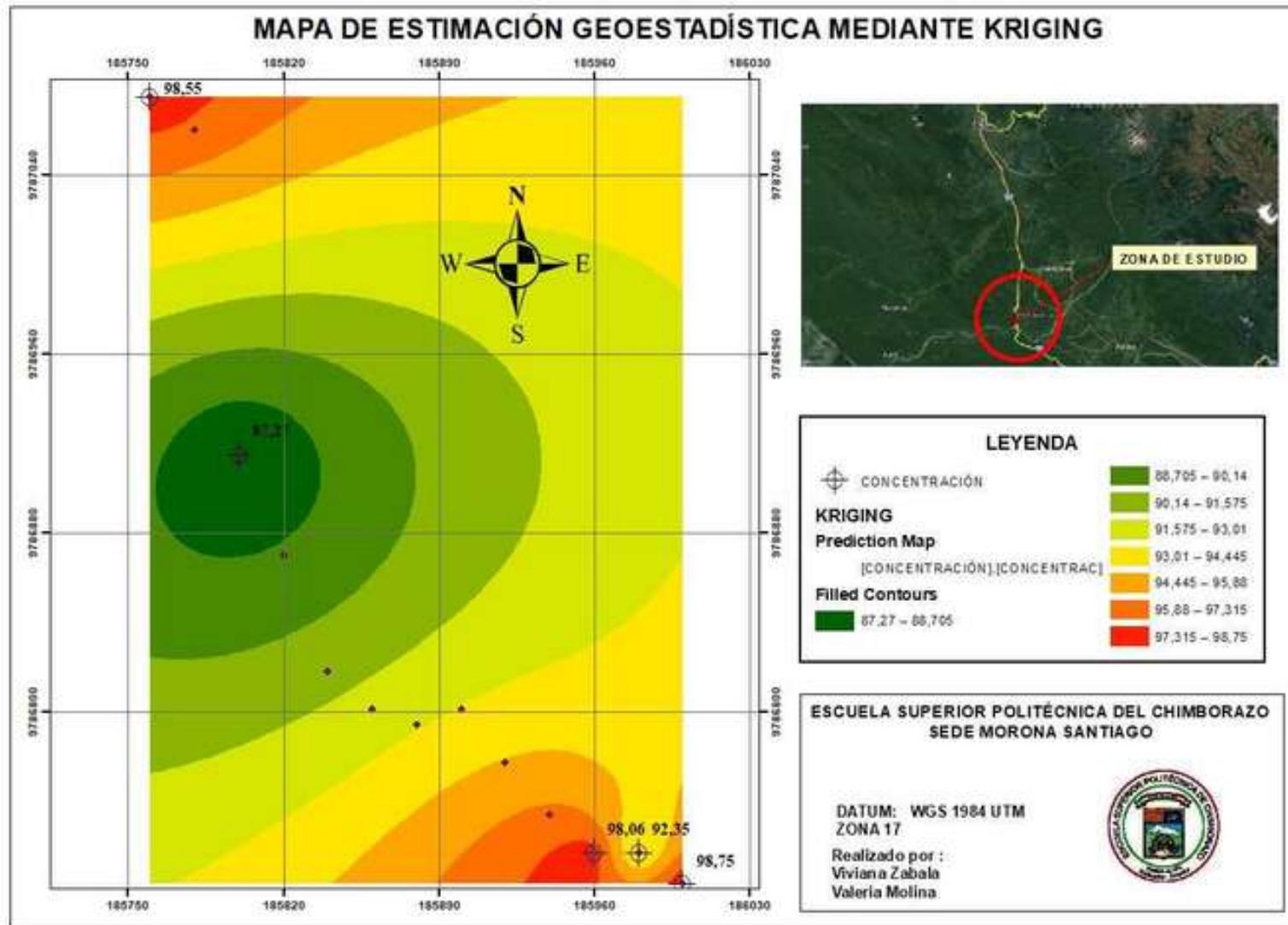
ANEXO D: MAPA GEOLÓGICO DE LA PARROQUIA CHIGUAZA



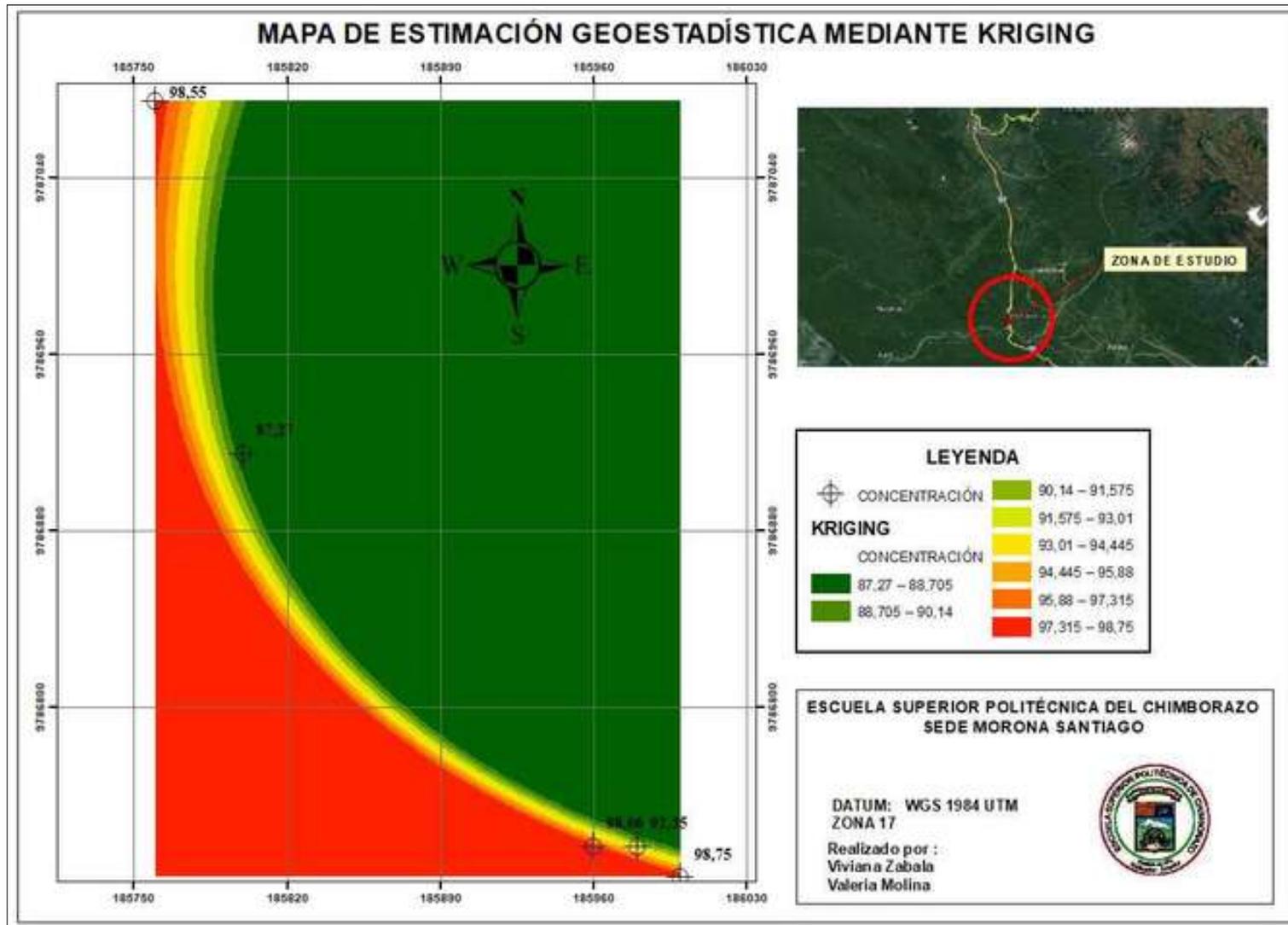
ANEXO E: MAPA DEL CATASTRO MINERO MORONA SANTIAGO



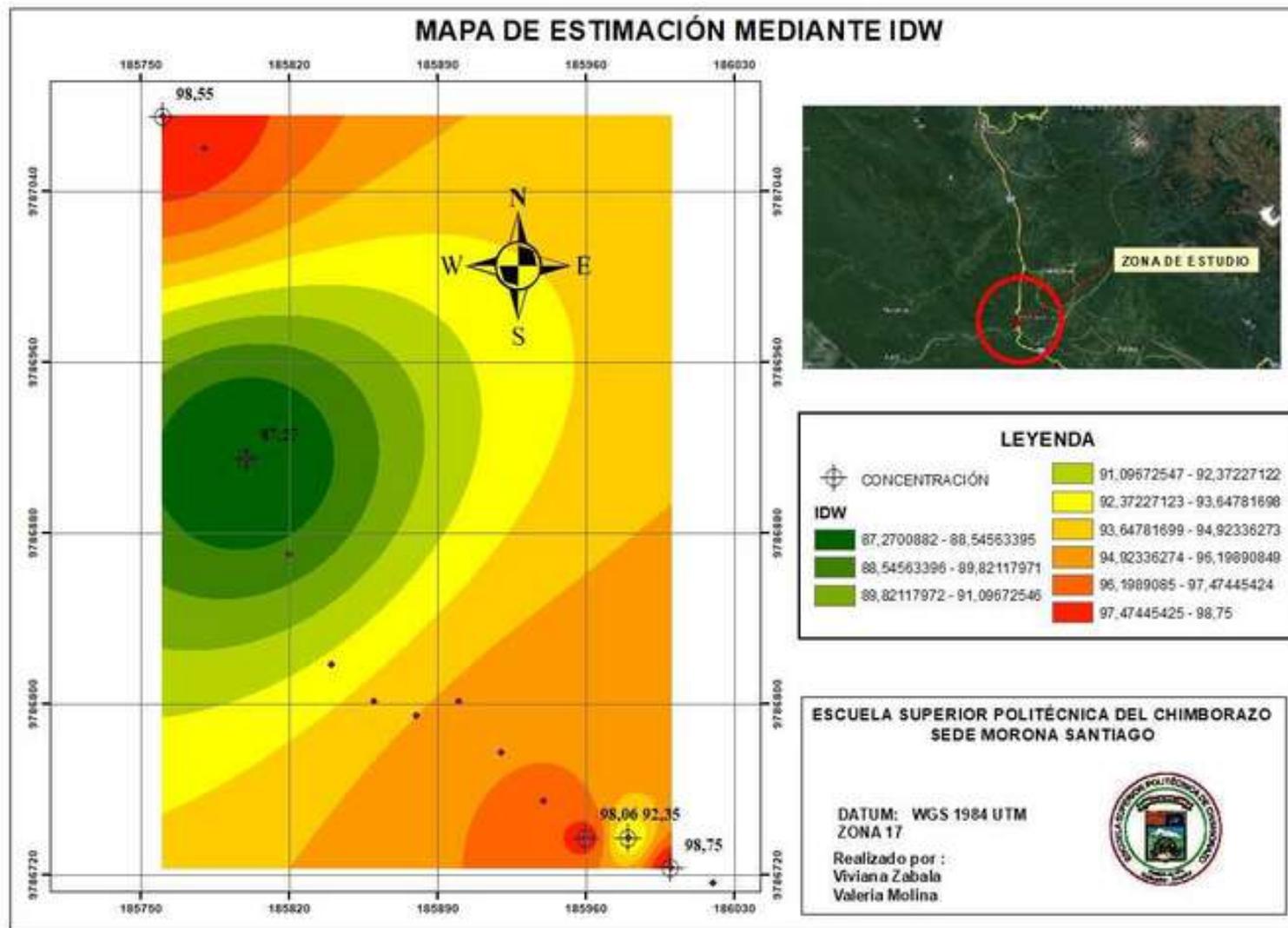
ANEXO F: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO ESFÉRICO



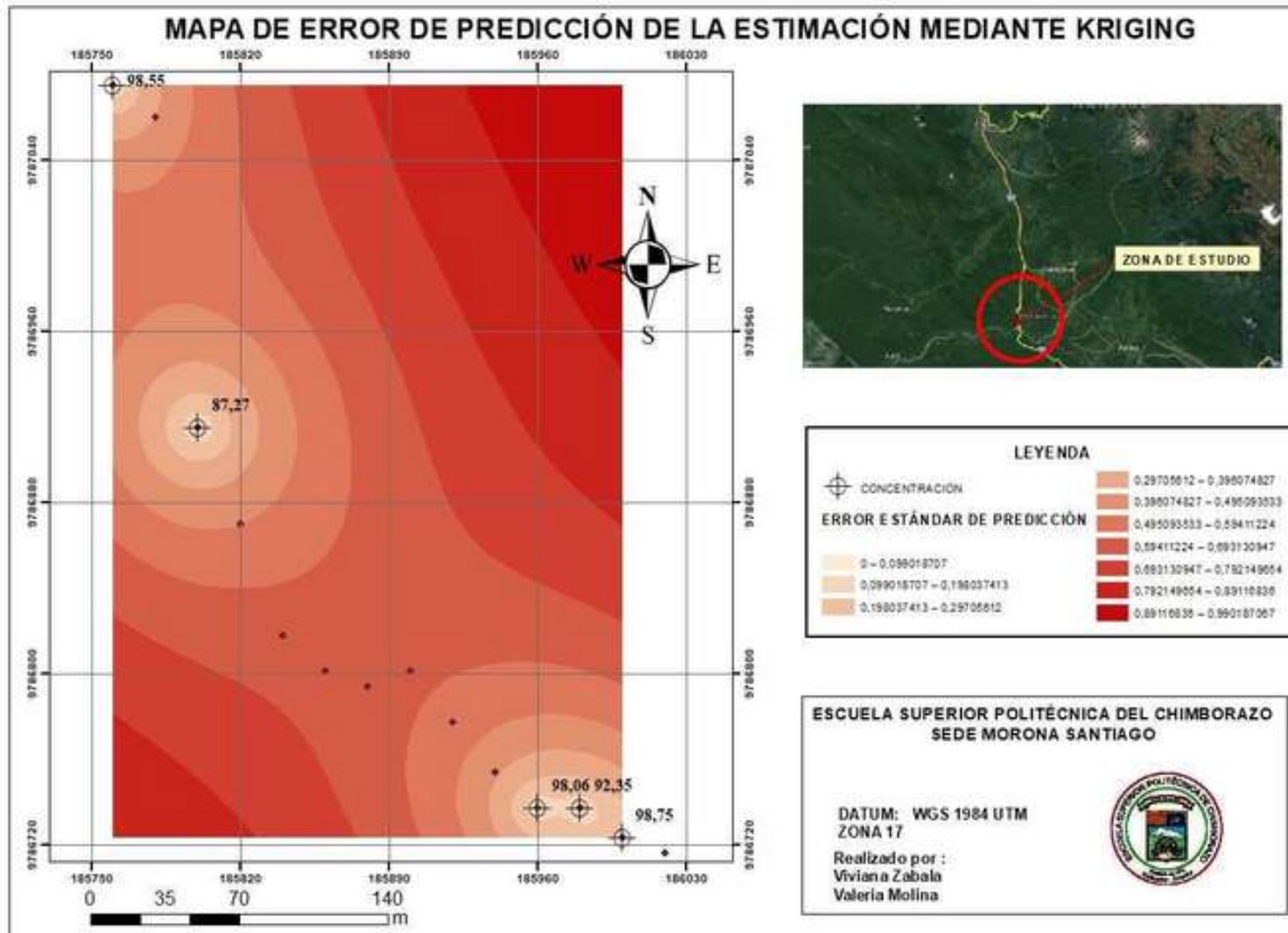
ANEXO G: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO GAUSSIANO



ANEXO H: MAPA DE LA ESTIMACIÓN MEDIANTE IDW



ANEXO I: MAPA DE ERROR DE LA PREDICCIÓN DE LA ESTIMACIÓN MEDIANTE KRIGING



ANEXO J: INFORME DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD UCEM S.A

 UCEM <small>UNIVERSIDAD CECILIA MENDOZA</small>	 CEMENTO CHIMBORAZO	INFORME DE LABORATORIO REPORTE DE ANÁLISIS Y ENSAYOS						
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD - UCEM S.A PLANTA CHIMBORAZO		<small>RCC-LB-008-F-03</small>						
MUESTRA : M 01, M 03, M 11, M 12, M 13		Fecha Muestra: 2/2/2022	Temp. Amb: 20					
PARA: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo		Fecha Reporte: 13/3/2022	Humedad: 17					
ANÁLISIS QUÍMICO - XRF								
Oxidos		Composición		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
	Símbolo	%		M 01	M 03	M 11	M 12	M 13
Dióxido de Silicio	SiO ₂	%		0.00	6.11	0.12	3.47	0.00
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	%		0.00	1.46	0.00	0.83	0.00
Oxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	%		0.20	0.68	0.18	0.61	0.11
Oxido de Calcio	CaO	%		55.21	48.89	54.94	51.74	55.32
Oxido de Magnesio	MgO	%		0.52	0.53	0.59	0.52	0.59
Oxido de Sodio	Na ₂ O	%		0.05	0.05	0.05	0.06	0.05
Oxido de Potasio	K ₂ O	%		0.05	0.34	0.05	0.15	0.04
Anhidrido Sulfúrico	SO ₃	%		0.11	0.10	0.14	0.10	0.12
Oxido de Titanio	TiO ₂	%		0.06	0.14	0.06	0.09	0.06
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA								
Carbonato de calcio		%		98.55	87.27	98.06	92.35	98.75
Carbonato de magnesio		%		1.10	1.11	1.24	1.10	1.24
Carbonato Total		%		99.65	88.38	99.30	93.45	99.99
Observaciones:								
REALIZADO POR : _____ ANDRÉS AROSTEGUI _____ Fecha: 13/2/2022 TÉCNICO DE MATERIAS PRIMAS								
APROBADO POR: _____ DARWIN NÚÑEZ _____ Fecha: 13/2/2022 JEFE DE CONTROL DE CALIDAD								
<small>Nota: no está permitida la reproducción del reporte de análisis y ensayos sin la debida autorización</small>								

ANEXO K: FICHAS MACROSCÓPICAS PETROGRÁFICA DE LAS MUESTRAS

FICHA DE ROCAS SEDIMENTARIAS	
Ficha N°	06-M06
Responsable	Valeria Molina; Viviana Zabala
Tipo de roca	Sedimentaria química
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
<i>Características</i>	
Color	Blanca
Textura	No clástica
Estructura	Bioclástica
Tamaño del grano	Grano muy fino
Forma de los clastos	Subangular
Matriz / Cemento	Micrita / esparita
% Clastos / % Cemento	25%/75%
<i>Rocas/Minerales/Clastos</i>	
Tipo de clastos	Fósiles rellenos de calcita
Fósiles	Si
Sorteo	Mal sorteado
Grado de meteorización	Bajo
Nombre de la roca	Caliza fosilífera
	

FICHA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Ficha N°	04-M04
Responsable	Valeria Molina; Viviana Zabala
Tipo de roca	Sedimentaria química
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
<i>Características</i>	
Color	Blanca
Textura	No clástica
Estructura	Bioclástica
Tamaño del grano	Grano muy fino
Forma de los clastos	Subangular
Matriz / Cemento	Micrita / esparita
% Clastos / % Cemento	15%/85%
<i>Rocas/Minerales/Clastos</i>	
Tipo de clastos	Fósiles rellenos de calcita
Fósiles	Si
Sorteo	Mal sorteado
Grado de meteorización	Bajo
Nombre de la roca	caliza



FICHA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Ficha N°	09-M09
Responsable	Valeria Molina; Viviana Zabala
Tipo de roca	Sedimentaria química

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Características

Color	Gris
Textura	No clástica
Estructura	Bioclástica
Tamaño del grano	Grano muy fino
Forma de los clastos	Subangular
Matriz / Cemento	Micrita / esparita
% Clastos / % Cemento	10%/90%

Rocas/Minerales/Clastos

Tipo de clastos	Fósiles rellenos de calcita
Fósiles	Si
Sorteo	Mal sorteado
Grado de meteorización	Bajo
Nombre de la roca	caliza



FICHA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Ficha N°	05-M05
Responsable	Valeria Molina; Viviana Zabala
Tipo de roca	Sedimentaria química
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
<i>Características</i>	
Color	Gris
Textura	No clástica
Estructura	Bioclástica
Tamaño del grano	Grano muy fino
Forma de los clastos	Angular
Matriz / Cemento	Micrita / esparita
% Clastos / % Cemento	5%/95%
<i>Rocas/Minerales/Clastos</i>	
Tipo de clastos	Calcita, fósiles
Fósiles	Si
Sorteo	Mal sorteado
Grado de meteorización	Bajo
Nombre de la roca	Caliza fosilífera

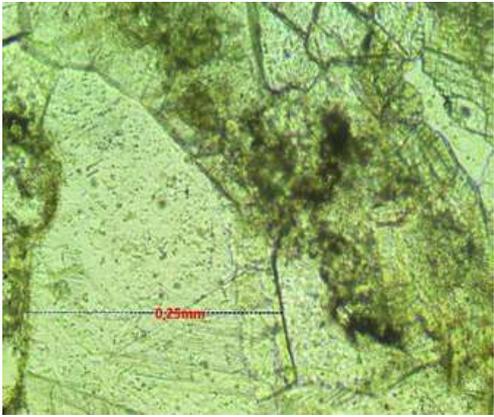
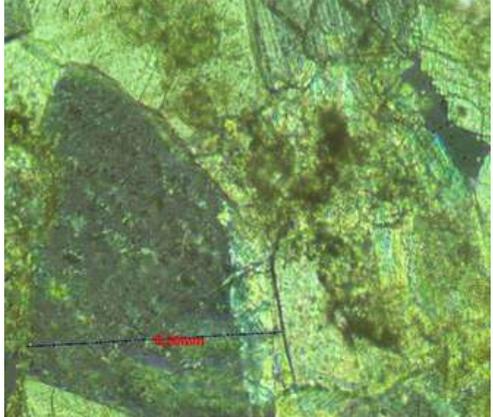


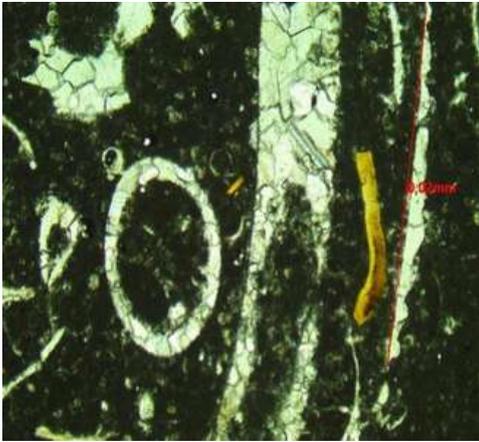
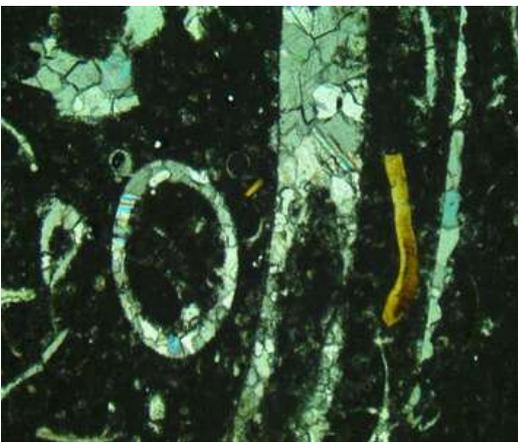
FICHA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

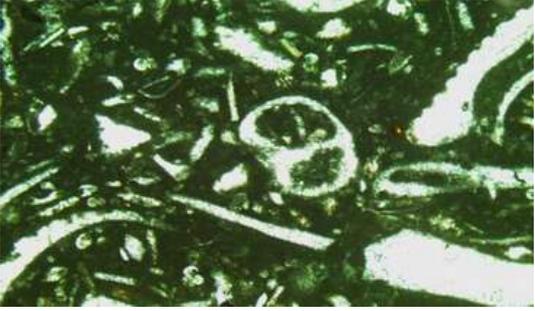
Ficha N°	08-M08
Responsable	Valeria Molina; Viviana Zabala
Tipo de roca	Sedimentaria química
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
<i>Características</i>	
Color	Gris
Textura	Bioclástica
Estructura	No clástica
Tamaño del grano	Grano muy fino
Forma de los clastos	Subangular
Matriz / Cemento	Micrita / esparita
% Clastos / % Cemento/	30%/70%
<i>Rocas/Minerales/Clastos</i>	
Tipo de clastos	Calcita, fósiles
Fósiles	Si
Sorteo	Mal sorteado
Grado de meteorización	Bajo
Nombre de la roca	Caliza fosilífera



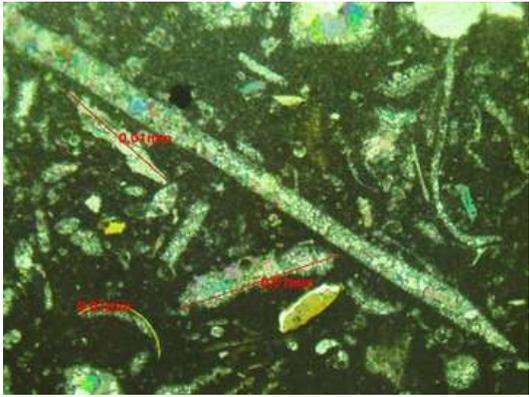
ANEXO L: FICHAS MICROSCÓPICAS DE LAS MUESTRAS

FICHA DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS		
Ficha N°	1	
Muestra	M02	
Responsable	Valeria Molina; Viviana Zabala	
Tipo de roca	Química	
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA		
<i>Características</i>		
Textura(s)	PACKSTONE	
Estructura(s)	Grano soportado	
<i>Contenido de Minerales</i>		
Minerales Principales	%	Características o propiedades ópticas
<i>Cuarzo (Qz)</i>	0%	No presenta
<i>Cemento</i>	65%	Esparita, consiste en granos de cacita cuyo tamaño de grano es mayor a 5 micras
<i>Matriz de arcilla (Arc?)</i>	35%	Micrita, esta formada por cristales finos menores a 4 micras
<i>Fósiles</i>	0%	No presenta
<i>Minerales Accesorios</i>		
<i>No presenta</i>	0%	
<i>Minerales Opacos y/o Secundarios</i>		
<i>Óxido de hierro (Ox)</i>	0%	No presenta
Nombre de la roca	Caliza fosilífera	
Luz Natural	Luz Polarizada	
		
OBSERVACIÓN	Presenta textura Packstone (Dunham 1962), ya que tiene granos que están en contacto entre sí, a manera de granos soportados, además se observa una matriz de micrítica entre los granos.	

FICHA DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS		
Ficha N°	2	
Muestra	M03	
Responsable	Valeria Molina; Viviana Zabala	
Tipo de roca	Química	
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA		
<i>Características</i>		
Textura(s)	PACKSTONE	
Estructura(s)	Grano soportado	
<i>Contenido de Minerales</i>		
Minerales Principales	%	Características o propiedades ópticas
<i>Cuarzo (Qz)</i>	0%	No presenta
<i>Cemento</i>	30%	Esparita, consiste en granos de calcita cuyo tamaño de grano es mayor a 5 micras
<i>Matriz</i>	40%	Micrita, esta formada por cristales finos menores a 4 micras
<i>Fósiles</i>	20%	Presenta gran cantidad de fósiles alargados, además de nódulos rellenos de calcita
<i>Minerales Accesorios</i>		
<i>No presenta</i>		
<i>Minerales Opacos y/o Secundarios</i>		
<i>Óxido de hierro (Ox)</i>	10%	Presenta pequeñas cantidades de oxidos de colos negro
Nombre de la roca		Caliza fosilífera
<i>Imagen</i>		
Luz Natural	Luz Polarizada	
		
OBSERVACIÓN	Presenta textura Packstone (Dunham 1962), contiene fósiles alargados y nódulos rellenos de calcita, cabe resaltar que durante el análisis microscópico se observó un fósil de color amarillo, debido la contaminación al momento preparar las láminas delgadas.	

FICHA DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS		
Ficha N°	3	
Muestra	M06	
Responsable	Valeria Molina; Viviana Zabala	
Tipo de roca	Química	
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA		
<i>Características</i>		
Textura(s)	PACKSTONE	
Estructura(s)	Grano soportado	
<i>Contenido de Minerales</i>		
Minerales Principales	%	Características o propiedades ópticas
<i>Cuarzo (Qz)</i>	0%	No presenta
<i>Cemento</i>	35%	Esparita, consiste en granos de cacita cuyo tamaño de grano es mayor a 5 micras
<i>Matriz de arcilla (Arc?)</i>	40%	Micrita, esta formada por cristales finos menores a 4 micras
<i>Fósiles</i>	20%	En su mayoría los fósiles se presentan de forma alargada y en pequeños nódulos
<i>Minerales Accesorios</i>		
<i>Minerales Opacos y/o Secundarios</i>		
<i>Óxido de hierro (Ox)</i>	5%	Color negro
Nombre de la roca		Caliza fosilífera
<i>Imagen</i>		
Luz Natural	Luz Polarizada	
		
OBSERVACIÓN	Presenta textura Packstone (Dunham 1962), a pesar que los granos están en contanto entre si, se puede observar la matriz micrítica, la muestra contiene fósiles alargados y nódulos rellenos de calcita.	

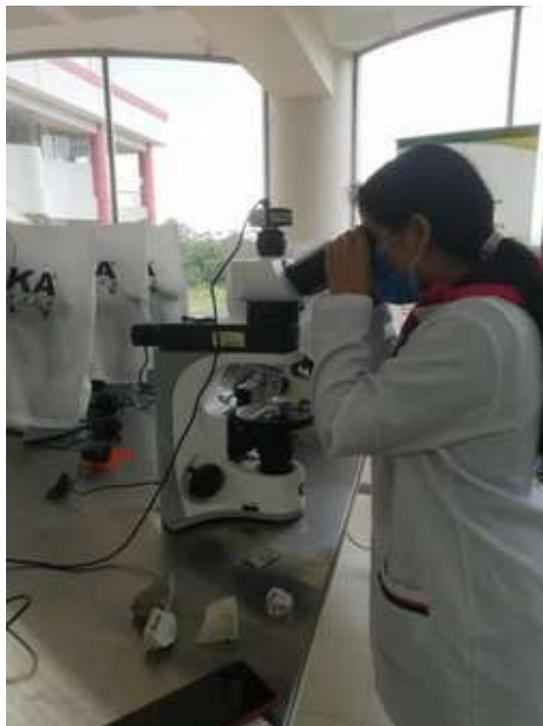
FICHA DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Ficha N°	4	
Muestra	M09	
Responsable	Valeria Molina; Viviana Zabala	
Tipo de roca	Química	
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA		
<i>Características</i>		
Textura(s)	PACKSTONE	
Estructura(s)	Grano soportado	
<i>Contenido de Minerales</i>		
Minerales Principales	%	Características o propiedades ópticas
<i>Cuarzo (Qz)</i>	0%	No presenta
<i>Cemento</i>	30%	Esparita, consiste en granos de cacita cuyo tamaño de grano es mayor a 5 micras
<i>Matriz de arcilla (Arc?)</i>	45%	Micrita, esta formada por cristales finos menores a 4 micras
<i>Fósiles</i>	20%	En su mayoría los fósiles se presentan de forma alargada de varios tamaños
Minerales Accesorios		
Minerales Opacos y/o Secundarios		
<i>Óxido de hierro (Ox)</i>	5%	Color negro
Nombre de la roca	Caliza fosilífera	
<i>Imagen</i>		
Luz Natural	Luz Polarizada	
		
OBSERVACIÓN	Presenta textura Packstone (Dunham 1962), a pesar que los granos están en contanto entre si, se puede observar la matriz micrítica, los fósiles son alargados y tienen cuyas longitudes son de menos 0,01mm. Contiene minerales secundarios de oxidos.	

ANEXO M: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE CALIZA



ANEXO N: ANÁLISIS MICROSCÓPICO EN EL LABORATORIO DE MINAS



ANEXO O: CÁLCULO DE HUMEDAD







UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 21/06/2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Molina Cabrera Gladys Valeria Zabala Alarcón Nancy Viviana
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Ingeniería en Minas
Título a optar: Ingeniera en Minas
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz



DBRA

Ing. Cristhian Castillo



1187-DBRA-UTP-2022