



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

**CARACTERIZACIÓN DE LA BARITINA EN LA MINA “EL
PARAÍSO”, PERTENECIENTE A LA PARROQUIA COPAL,
CANTÓN SANTIAGO DE MÉNDEZ – PROVINCIA DE MORONA
SANTIAGO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN MINAS

AUTORES:

FAUSTO ALEXIS HEREDIA HIDALGO

AITIANA NICOLE MARTÍNEZ MORALES

Macas – Ecuador

2023



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

**CARACTERIZACIÓN DE LA BARITINA EN LA MINA “EL
PARAÍSO”, PERTENECIENTE A LA PARROQUIA COPAL,
CANTÓN SANTIAGO DE MÉNDEZ – PROVINCIA DE MORONA
SANTIAGO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN MINAS

AUTORES: FAUSTO ALEXIS HEREDIA HIDALGO

AITIANA NICOLE MARTÍNEZ MORALES

DIRECTOR: ING. JEFFERSON ANDRÉS CARRANCO LÓPEZ MG.

Macas – Ecuador

2023


© 2023, Fausto Alexis Heredia Hidalgo & Aitiana Nicole Martínez Morales

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

Nosotros, Fausto Alexis Heredia Hidalgo & Aitiana Nicole Martínez Morales, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de 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 autores 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, 27 de noviembre de 2023



Fausto Alexis Heredia Hidalgo

060411698-8



Aitiana Nicole Martínez Morales

080450376-1

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **CARACTERIZACIÓN DE LA BARITINA EN LA MINA “EL PARAÍSO”, PERTENECIENTE A LA PARROQUIA COPAL, CANTÓN SANTIAGO DE MÉNDEZ-PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO**, realizado por los señores: **FAUSTO ALEXIS HEREDIA HIDALGO** y **AITIANA NICOLE MARTÍNEZ MORALES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Richard Vicente Calderón Córdova Mg. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-27
Ing. Jefferson Andrés Carranco López Mg. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-27
Ing. Ernesto Reyes Céspedes Mg. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-27

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, mi profunda gratitud por ser mi guía, mi motivación y mi ejemplo a seguir. Su inquebrantable fe en mí y sus palabras alentadoras han sido la fuerza impulsora detrás de mi perseverancia y dedicación, esta tesis no solo representa un esfuerzo individual, sino el resultado de un trabajo en equipo. Gracias por caminar a mi lado en este camino de crecimiento y aprendizaje.

Fausto

A mi mamá Marisol y mi papá William por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, a mi abuelita Margarita y a mi hermano Brandón por ser ese pilar junto con mi madre, a mis tíos Segundo Casierra (+), Carlos Weir y Carlos Morales por ser los primeros en adentrarse en este barco conmigo y ayudarme en este camino, y a cada uno de los miembros de mi familia Morales López ya que muchos de mis logros se los debo a cada uno de ustedes. A mis mejores amigos Jhosimar y Fausto, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas durante la carrera.

A todas aquellas personas que durante este proceso estuvieron a mi lado para apoyarme incondicionalmente para lograr llegar a ser un profesional de éxito.

Aitiana

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios todo poderoso el cual nos ha permitido estudiar y culminar esta competente carrera universitaria, también queremos darle las gracias al apoyo que nos han otorgado nuestros padres puesto que nuestra formación académica es proveniente de ellos y con mucha alegría en nuestro corazón queremos homenajearlos con el presente trabajo.

De igual manera queremos agradecer a nuestra directora la Ing. Mónica Feijoo y a nuestro asesor el Ing. Andrés Carranco por encaminarnos y ayudarnos en la culminación del presente trabajo, así también queremos expresar un abrazo fraterno a las buenas amistades que pudimos cultivar durante el trayecto académico.

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento al compromiso, paciencia, conocimientos y apoyo durante todo este tiempo. La influencia positiva ha dejado una marca significativa en nuestra trayectoria académica y estamos seguros de que llevaremos con orgullo los aprendizajes adquiridos de esta experiencia.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes de investigación	5
2.2 Referencias Teóricas	6
2.2.1 <i>Localización geográfica</i>	6
2.2.2 <i>Accesibilidad</i>	6
2.2.3 <i>Clima</i>	7
2.2.4 <i>Hidrografía</i>	8
2.2.5 <i>Topografía</i>	8

2.2.6	Flora	9
2.2.7	Fauna	10
2.3	Marco geológico	10
2.3.1	Geomorfología	10
2.3.1.1	<i>Tipo de relieve</i>	11
2.3.1.2	<i>Tipos de suelos</i>	12
2.3.1.3	<i>Información climática</i>	12
2.3.2	Geología Regional	13
2.3.2.1	<i>Formación geológica del Cantón Santiago de Méndez</i>	13
2.3.2.2	<i>Formación Chapiza (Jch) (Jurásico – Cretácico Inferior)</i>	14
2.3.2.3	<i>Formación Santiago (Js) (Devónico)</i>	14
2.3.2.4	<i>Unidad Upano (Jsu) (Jurásico)</i>	15
2.3.2.5	<i>Formación Hollín (KH) (Cretacico Inferior: Albinense, Aptiano)</i>	15
2.3.2.6	<i>Formación Napo (KN) (Cretáceo Inferior)</i>	15
2.3.2.7	<i>Formación Tena (KPCT) (Cretácico Superior (Maestrichtiense) Paleoceno Inferior)</i>	16
2.3.2.8	<i>Formación Mera (PLQM) (Cuaternario)</i>	16
2.3.2.9	<i>Formación Pumbuiza (PZp) (Devónico)</i>	16
2.3.2.10	<i>Deposito Coluvial</i>	17
2.4	Realidad Problemática	17
2.4.1	<i>Distritos no metálicos en el Ecuador</i>	17
2.4.2	<i>Actividad minera: Provincia de Morona Santiago</i>	18
2.4.3	<i>Actividad minera: Cantón Santiago de Méndez</i>	20
2.4.4	<i>Actividad minera: Parroquia Copal</i>	21
2.5	Baritina	22
2.5.1	Características Físicas	22
2.5.2	Características Químicas	23
2.5.2.1	<i>Especificaciones</i>	23
2.5.3	Proceso Productivo	24

2.5.3.1	<i>Extracción</i>	24
2.5.3.2	<i>Trituración</i>	25
2.5.3.3	<i>Concentración</i>	25
2.5.3.4	<i>Secado</i>	25
2.5.3.5	<i>Molienda</i>	25
2.5.4	<i>Principales Usos</i>	26
2.5.4.1	<i>Materia prima de lodos de perforación</i>	26
2.5.4.2	<i>Pinturas</i>	26
2.5.4.3	<i>Química</i>	26
2.5.4.4	<i>Medicina</i>	26
2.5.4.5	<i>Vidrio</i>	27
2.5.4.6	<i>Relleno</i>	27
2.5.4.7	<i>Industria Plástica</i>	27
2.5.4.8	<i>Aplicaciones automotrices</i>	27
2.5.4.9	<i>Industria del papel</i>	27
2.5.4.10	<i>Cosméticos</i>	27
2.5.4.11	<i>Construcción</i>	27
2.5.4.12	<i>Metalurgia</i>	28
2.6	<i>Análisis de laboratorio</i>	28
2.6.1	<i>Análisis químico</i>	28
2.6.1.1	<i>Espectrometría de Fluorescencia de rayos X (XRF)</i>	28
2.7	<i>Método de Kriging</i>	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO METOLÓGICO	30
3.1	Diseño de la investigación	30
3.2	Enfoque de la investigación	30
3.3	Población	31

3.4	Muestra	32
3.5	Técnica de recolección de datos	32
3.6	Instrumentos de recolección de datos	34
3.7	Metodología de trabajo	34
3.7.1	<i>Etapa 1: Recuperación de información bibliográfica y cartográfica</i>	34
3.7.2	<i>Etapa 2: Trabajo de campo</i>	35
3.7.2.1	<i>Selección de las muestras de estudio</i>	35
3.7.2.2	<i>Procedimiento para la recolección de muestras</i>	36
3.7.2.3	<i>Descripción de las muestras de Baritina</i>	36
3.7.3	<i>Etapa de laboratorio</i>	37
3.7.3.1	<i>Análisis cualitativo: laboratorio (Espectrofotometría de Fluorescencia)</i>	38
3.7.3.2	<i>Pasos que seguir para análisis de muestras en el equipo FRX</i>	38
3.7.4	<i>Etapa de Gabinete</i>	43
3.7.4.1	<i>Ingresar información a DIPS</i>	43
3.7.4.2	<i>Análisis Geoestadístico</i>	46
3.7.4.3	<i>Preparación de la Información</i>	47
3.7.4.4	<i>Mapas de Predicción</i>	47
3.7.4.5	<i>Modelo Geoestadístico Teórico</i>	52

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	54
4.1	Mapa de Distribución de Muestras	54
4.2	Mapa Geológico-Estructural	54
4.2.1	<i>Descripción de afloramientos para el mapa Geológico-Estructural</i>	54
4.2.2	<i>Descripción de las muestras de Baritina</i>	57
4.2.3	<i>Mapa Geológico-Estructural de la Zona</i>	64
4.2.3.1	<i>Zona de Estudio</i>	64
4.2.4	<i>Litología de la zona de estudio</i>	65

4.2.4.1	<i>Rocas andesitas</i>	65
4.2.4.2	<i>Rocas metamórficas</i>	66
4.2.4.3	<i>Coluviales Copal</i>	69
4.2.4.4	<i>Falla geológica</i>	70
4.2.4.5	<i>Vetas de Baritina</i>	70
4.3	Análisis de datos geológicos mediante el software Dips	71
4.3.1	<i>Análisis de datos geológicos estructurales de las vetas</i>	71
4.3.2	<i>Vinculación de datos geológicos estructurales de las vetas</i>	72
4.4	Análisis cuantitativo mediante Kriging	73
4.4.1	<i>Resultado de laboratorio</i>	73
4.4.2	<i>Resultado de la metodología de campo y laboratorio</i>	74
4.4.3	<i>Análisis geoestadístico</i>	82
4.4.3.1	<i>Análisis exploratorio de datos</i>	82
4.4.3.2	<i>Estimación con Kriging</i>	83
4.5	Mapas de densidad	85
4.5.1	<i>Densidad de Kernel</i>	85
4.5.2	<i>Análisis de Patrones</i>	85
4.5.3	<i>Modelo de distribución</i>	86
4.6	Mapas de Predicción	91
4.6.1	<i>Métodos geoestadísticos</i>	91
5.	CONCLUSIONES	98
6.	RECOMENDACIONES	99

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Puntos de Localización.	6
Tabla 2-2: Tipos de Climas en la provincia de Morona Santiago.	7
Tabla 2-3: Flora existente en el cantón Santiago de Méndez.	9
Tabla 2-4: Fauna del cantón Santiago de Méndez.	10
Tabla 2-5: Unidades geomorfológicas del cantón Santiago de Méndez.	11
Tabla 2-6: Tipos de suelos del cantón Santiago de Méndez.	12
Tabla 2-7: Datos de la Minería en el Cantón Santiago de Méndez.	20
Tabla 2-8: Especificaciones de la Baritina.	23
Tabla 3-1: Ficha para el análisis macroscópico de rocas.	37
Tabla 3-2: Índice de error en la aplicación geoestadística de interpolación.	46
Tabla 3-3: Errores de la validación del modelo teórico del Kriging.	53
Tabla 4-1: Ubicación de afloramientos.	55
Tabla 4-2: Ubicación de las muestras para la realización de las fichas.	57
Tabla 4-3: Ficha de muestra 1.	58
Tabla 4-4: Ficha de muestra 2.	59
Tabla 4-5: Ficha de muestra 3.	60
Tabla 4-6: Ficha de muestra 4.	61
Tabla 4-7: Ficha de muestra 5.	62
Tabla 4-8: Ficha de muestra 6.	63
Tabla 4-9: Datos de ubicación de las muestras tomadas en la zona de estudio.	70
Tabla 4-10: Datos estructurales de la zona de Estudio.	70
Tabla 4-11: Límites de detección para el Ba y S.	73
Tabla 4-12: Resultados de las muestras en porcentaje.	74
Tabla 4-13: Ejercicios de estequiometría para estimación de BaSO ₄ (Baritina).	74
Tabla 4-14: Porcentaje promedio de la Baritina (BaSO ₄).	79
Tabla 4-15: Ubicación de las muestras y porcentaje del promedio de concentración de la Baritina (BaSO ₄).	80
Tabla 4-16: Datos geoestadísticos del porcentaje de bario.	82
Tabla 4-17: Base de datos para Kriging.	84
Tabla 4-18: Resumen promedio del vecino más cercano.	86

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Mapa de Accesibilidad desde el Cantón Santiago de Méndez a la zona de Estudio.	7
Ilustración 2-2: Topografía de la zona de estudio y de la parroquia Copal.	9
Ilustración 2-3: Mapa de Geología Regional del Cantón Santiago de Méndez.	13
Ilustración 2-4: Mapa del Catastro Minero en Morona Santiago.	19
Ilustración 2-5: Mapa del Catastro Minero del Cantón Santiago de Méndez.	20
Ilustración 2-6: Mapa del Catastro Minero en la parroquia Copal.	22
Ilustración 3-1: Recolección de Muestras.	35
Ilustración 3-2: Muestras de Baritina.	36
Ilustración 3-3: Roca cuarcita con mineral de baritina.	38
Ilustración 3-4: Trituradora de mandíbulas Retsch-BB200.	39
Ilustración 3-5: Molino de discos Vibratorio Retsch-RS200.	39
Ilustración 3-6: Molino de discos con la muestra triturada.	40
Ilustración 3-7: Tamizador Ro-Tap RX-29-16 de 8" de diámetro.	40
Ilustración 3-8: Muestra colocada en la probeta para análisis.	41
Ilustración 3-9: Equipo de análisis FRX.	42
Ilustración 3-10: Resultados obtenidos de la muestra.	42
Ilustración 3-11: Ingresar información en el Software DIPS.	43
Ilustración 3-12: Datos geológicos representados estereográficamente.	44
Ilustración 3-13: Puntos polares medios y concentraciones.	45
Ilustración 3-14: Puntos polares medios y concentraciones.	45
Ilustración 3-15: Procesamiento de la información en el Software ArcGIS.	47
Ilustración 3-16: Primer paso para la estimación del Kriging.	48
Ilustración 3-17: Segundo paso para la estimación del Kriging.	48
Ilustración 3-18: Tercer paso de la estimación del Kriging.	49
Ilustración 3-19: Cuarto paso de la estimación del Kriging.	50
Ilustración 3-20: Quinto paso de la estimación del Kriging.	50
Ilustración 3-21: Sexto paso de la estimación del Kriging del Modelo Circular.	51
Ilustración 3-22: Sexto paso de la estimación del Kriging del Modelo Esférico.	51
Ilustración 3-23: Sexto paso de la estimación del Kriging del Modelo Gaussiano.	52
Ilustración 3-24: Sexto paso de la estimación del Kriging del Modelo Exponencial.	52
Ilustración 4-1: Mapa de Distribución de las Muestras.	54
Ilustración 4-2: Mapa de la Geología de la Zona de Estudio.	65

Ilustración 4-3: Roca andesita.	66
Ilustración 4-4: Cuarcita.	67
Ilustración 4-5: Esquisto verde.	68
Ilustración 4-6: Esquisto rojo.	68
Ilustración 4-7: Filita.	69
Ilustración 4-8: Análisis de datos geológicos estructurales de las vetas.	72
Ilustración 4-9: Análisis de datos geológicos estructurales de las vetas.	72
Ilustración 4-10: Concentración de Baritina (%) por el código de las muestras.	83
Ilustración 4-11: Mapa de Densidad de Kernel.	85
Ilustración 4-12: Resumen promedio del vecino más cercano.	86
Ilustración 4-13: Histograma concentración de baritina transformación: Ninguna.	87
Ilustración 4-14: Histograma concentración de baritina transformación: Log.	87
Ilustración 4-15: Histograma concentración de baritina transformación: Box-Cox.	88
Ilustración 4-16: Gráfico Q-Q Normal Transformación: Ninguna.	88
Ilustración 4-17: Gráfico Q-Q Normal Transformación: Log.	89
Ilustración 4-18: Gráfico Q-Q Normal Transformación: Box-Cox.	89
Ilustración 4-19: Diagrama de Veronoi de la concentración del % de Baritina.	90
Ilustración 4-20: Análisis de tendencia de la concentración del % de baritina.	90
Ilustración 4-21: Semivariograma de la concentración del % de baritina.	91
Ilustración 4-22: Mapa de estimación mediante Kriging modelo Exponencial.	92
Ilustración 4-23: Mapa de estimación mediante Kriging modelo Esférico.	93
Ilustración 4-24: Mapa de estimación mediante Kriging modelo Circular.	93
Ilustración 4-25: Mapa de estimación mediante Kriging modelo Gaussiano.	94
Ilustración 4-26: Estimación Geoestadística mediante el Modelo Circular.	95
Ilustración 4-27: Concentraciones de % SiO ₂ vs Ba.	96
Ilustración 4-28: Mapa de error de predicción de la estimación mediante Kriging.	97

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: LICENCIA DE ARCGIS PRO

ANEXO B: MAPA DE ACCESIBILIDAD A LA MINA

ANEXO C: TOPOGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO Y DE LA PARROQUIA COPAL

ANEXO D: MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DE SANTIAGO DE MÉNDEZ

ANEXO E: MAPA DEL CATRASTO MINERO EN MORONA SANTIAGO

ANEXO F: MAPA DEL CATRASTO MINERO DEL CANTÓN SANTIAGO DE MÉNDEZ

ANEXO G: MAPA DEL CATRASTO MINERO EN LA PARROQUIA COPAL

ANEXO H: MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

ANEXO I: MAPA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

ANEXO J: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

ANEXO K: INFORME DE LABORATORIO DEL ANÁLISIS QUÍMICO REALIZADO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

ANEXO L: MAPA DE DENSIDAD DE KERNEL

ANEXO M: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO EXPONENCIAL

ANEXO N: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO ESFÉRICO

ANEXO O: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO CIRCULAR

ANEXO P: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO GAUSSIANO

ANEXO Q: MAPA DE ERROR DE PREDICCIÓN DE LA ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING

ANEXO R: MAPA CIRCULAR GEOGRÁFICO, REPRESENTACIÓN DE SET DE FAMILIAS Y CONCENTRACIONES (DIPS)

ANEXO S: MAPA CIRCULAR GEOGRÁFICO, REPRESENTACIÓN DE ORIENTACION DE VETAS

RESUMEN

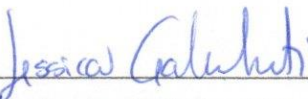
En este proyecto técnico llevó a cabo la caracterización del mineral “baritina” en la mina «El Paraíso» parroquia Copal, cantón Santiago de Méndez, Provincia de Morona Santiago, siendo el objetivo proporcionar información del mineral que se encuentra emplazado en las vetas identificadas en el sector. La investigación se fundamentó en la información recolectada en campo para la realización de un mapa geológico estructural, se recolectó 15 muestras, seguido de un análisis de laboratorio utilizando la técnica analítica Fluorescencia de rayos X para determinar la composición química y poder obtener una estimación representativa del mineral baritina. Mediante el software ArcGIS se realizó cuatro modelos geoestadísticos: modelo circular, esférico, gaussiano y exponencial, para generar una comparativa de manera cuantitativa y cualitativa, eligiendo así el más adecuado, cuantitativamente el modelo exponencial para la predicción de las concentraciones, y cualitativamente el modelo circular posee mejor visualización de los datos y los valores son aceptables. Por lo cual el mapa de estimación geoestadística que se utilizó para el análisis de los datos fue mediante el modelo circular ya que presenta mejores resultados para trabajar. En conclusión, se identificaron dos zonas con alto potencial de concentración de Baritina que cubren áreas menores al 0.1 km² con valores que varían entre el 70% y el 90% de BaSO₄; por este motivo, la diferencia de concentración de baritina se pudo atribuir a la dirección de las vetas presentes en la zona (noroeste-sureste); de acuerdo con el análisis estequiométrico se observó valores que sobreestiman el porcentaje de BaSO₄ calculado a partir de los resultados de Bario. Sin embargo, al considerar los valores de S se infraestima el potencial de BaSO₄. Por tal motivo, se trabajó con un promedio entre ambos resultados obteniendo una aparente concentración máxima de 85.89% en la HM-010 y mínima en la HM-002 de 0.59%.

Palabras clave: <MINERÍA NO METÁLICA>, <CARACTERIZACIÓN BARITINA>, <SULFATO DE BARIO>, <FLUORESCENCIA DE RAYOS X>, <COPAL (PARROQUIA)>, <MÉTODO DE KRIGING>, <ANÁLISIS GEOMECÁNICO>.

ABSTRACT

This technical project carried out the characterization of the mineral “baryte” in the mine «El Paraiso» located in Copal civil parish, Santiago de Méndez canton, Morona Santiago province. It aimed to provide information on the mineral of the veins identified in the sector. The research was based on the data collected in the field to design a structural geological map; 15 samples were collected; then, laboratory analysis was carried out, using the analytical technique X-ray fluorescence to determine the chemical composition and to obtain a representative estimate of the baryte mineral. By using ArcGIS software, four geostatistical models were carried out: circular, spherical, gaussian and exponential models, to generate a quantitative and qualitative comparison, thus choosing the most appropriate one: quantitatively, the exponential model for the concentrations' prediction; and qualitatively, the circular model for its better visualization of the data and the acceptable values. Therefore, the geostatistical estimation map that was used for the analysis of the data was through the circular model since it presents better results to work on. In conclusion, two areas with high potential of baryte concentration were identified and it states that they cover areas less than 0.1 km² based values ranging between 70% and 90% of BaSO₄. For this reason, the difference in baryte concentration could be attributed to the direction of the veins present in the area (northwest-southeast). According to the stoichiometric analysis, it was observed that values overestimate the percentage of BaSO₄ calculated based on the Barium results. However, when considering the values of S, the potential of BaSO₄ is underestimated. For this reason, the research was based on the average between both results and finally it showed an apparent maximum concentration of 85.89% in HM-010 and minimum in HM-002 of 0.59%.

Keywords: <NON-METALLIC MINING>, <BARYTE CHARACTERIZATION>, <BARIUM SULPHATE>, <X-RAY FLUORESCENCE>, <COPAL (CIVIL PARISH)>, <KRIGING METHOD>, <GEOMECHANICAL ANALYSIS>.



Lic. Jessica Galimberti Mg.

CI. 1756468482

INTRODUCCIÓN

El Gobierno Nacional apoya el desarrollo del país a través de la industria minera, con el objetivo de atraer inversiones hacia este sector. El Ecuador cuenta con un gran potencial minero, incluyendo reservas de oro, plata y cobre, así como una amplia variedad de productos mineros. Con este propósito, se estableció el Ministerio de Minería en febrero de 2015, el cual tiene como responsabilidad principal la implementación de políticas mineras en el país, basadas en los principios de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia. Además, el sector minero se considera estratégico para el país. (BCE. 2016).

En Ecuador, particularmente en la región sur del país, se encuentran minas de oro, plata, cobre y otros minerales no metálicos. Además, hay una abundancia de recursos para la construcción y la industria cerámica, especialmente en el área del austro ecuatoriano. (BCE. 2016).

Para la explotación de los minerales preciosos se utilizaba mano de obra indígena con conocimiento empírico y métodos rudimentarios, que trataban de aprovechar las riquezas del subsuelo de una manera abrupta, todo ello debido a la falta de avances científicos que ayuden para la extracción de dichos minerales. (Chang, 2013).

A mediados de los siglos XVII las actividades dedicadas a la explotación del oro fueron tomando fuerza, se descubrieron nuevos yacimientos, como los de Zaruma, Portovelo, Quijos, Santa Barbara y Logroño Tierra de los Caballeros, pero lo que no avanzaba eran los métodos para su extracción, pues carecían de una adecuada técnica. (Chang, 2013).

En la actualidad en la provincia de Morona Santiago el principal lugar dedicado a la extracción de minerales no metálicos se ha centrado en el cantón Limón Indanza, donde se extrae sílice, caolín y feldespatos desde los años 1990. Todos ellos de manera desordenada, aprovechando únicamente lo que está visible de quien extrae el mineral de su interés y tratando de disminuir los costos y tiempos para su aprovechamiento. (Revista Politécnica, 2015).

La presente investigación se centrará en el estudio de la baritina, su caracterización en base a la información que se recopile con los estudios in situ y de laboratorio, además se prevé realizar una delimitación de la zona, y a la vez representarla en un software de georreferenciación como lo es ArcGIS (con licencia de prueba y de paga).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

A nivel nacional se sabe que existen yacimientos de baritina, estos se pueden encontrar en las tres regiones del Ecuador empezando por la región Costa en la zona del Guayas, la región Sierra en la zona del Azuay y en la región Amazónica en la zona de Morona Santiago, las características del mineral están diferenciados por la composición química, el color, exfoliación (planos cristalográficos) y fractura dependiendo de la zona en la que esta se encuentre, mismo que fue tomado en cuenta del repositorio de Escuela Politécnica Nacional. (Morales, Karla 2016).

De igual manera se tiene conocimiento que la Baritina o Sulfato de Bario se contempla en el arancel ecuatoriano con el código 25.11, el cual puede ser consultado dentro de la plataforma de aduanas del Ecuador, información que se obtuvo del enlace “aduana.gob.ec/arancel-nacional/”.

La minería en la región amazónica es de gran afluencia en base a los datos del catastro minero, la región cuenta con explotación de metales, no metálicos y materiales de construcción, comúnmente en esta región del Ecuador existe una gran cantidad de concesiones registradas como metálicos, una cantidad moderada de concesiones no metálicas y una baja afluencia de concesiones de materiales pétreos, de esta manera se registra un rubro porcentual de; 62,45% de metálicos, 30,48% de no metálicos y un 7,06% de materiales pétreos. (Páez M. 2021).

1.2 Planteamiento del problema

El cantón Santiago de Méndez, cuenta con reservas de minerales no metálicos que son usados en la industria, varias reservas aún no han sido concesionadas y unas pocas han realizado el proceso legal para su concesión, las mismas cuentan con un estudio empírico y algunas de estas no tienen un estudio técnico que realice un seguimiento de estos minerales, para ello se pretende realizar un estudio característico especialmente del mineral “baritina” en una de las concesiones mineras que se encuentra dentro de este cantón, por lo cual se recopilará datos, se procederá a realizar un muestreo de la zona y posteriormente el análisis del suelo y de laboratorio, para comprobar las principales características que posee este mineral.

1.3 Justificación

La caracterización geomorfológica considera formas del relieve vinculadas a procesos geológicos y erosivos que se dieron lugar, dentro del cantón, se caracterizan los principales procesos de formación del relieve la acción geológica y tectónica que generó la elevación de la cordillera de los andes, la elevación de la cordillera del Cutucú, los procesos que han generado la depositación de los diferentes tipos de litologías y la acción tectónica que movió las estructuras geológicas, en el panorama inicial, es que actúa el proceso de meteorización ya que las rocas experimentan una transformación debido a la interacción entre el clima y el agua de lluvia que fluye sobre la superficie. (GADMCS 2014, p. 3).

Este panorama puede visualizarse en las concesiones mineras de nuestra provincia, que dentro del desarrollo de sus actividades de explotación no están considerando criterios técnicos que permitan el aprovechamiento de los recursos de una manera sostenible.

Bajo este contexto la presente investigación tiene como fin caracterizar un mineral de uso industrial no metálico denominado “Baritina” el cual se utiliza en el proceso de perforación de pozos petroleros, usado como lodo de perforación, que evita la adherencia del petróleo en las varillas de perforación, mediante este aspecto se pretende identificar los componentes que posee este mineral localmente en la provincia de Morona Santiago perteneciente a la región Amazónica de Ecuador.

La presente investigación, se realizará en la concesión denominada “EL PARAÍSO”, código 990397, destinado a la explotación de minerales no metálicos, basada en una explotación a cielo abierto, con un área de 4 hectáreas mineras, ubicada en la provincia de Morona Santiago, cantón Santiago de Méndez, parroquia Copal.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Caracterizar la baritina que se encuentra en la mina “El Paraíso” y sus alrededores pertenecientes a la parroquia Copal, cantón Santiago de Méndez, estableciendo parámetros geológicos y mineralógicos de la zona.

1.4.2 Objetivos específicos

- ❖ Evaluar mediante un mapeo geológico-estructural la zona de estudio.
- ❖ Determinar la concentración mineralógica de la baritina mediante ensayos de laboratorio.
- ❖ Representar cartográficamente la distribución de la baritina y elementos asociados utilizando la herramienta Kriging en el software ArcGIS.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

En base a una primera investigación de Prado (2008 pág. 07), hace uso de la baritina para el concentrado de mayor plasticidad y resistente a la compresión, a su vez hace una referencia de la disminución del uso de agua para mayor eficiencia lo cual mejora la densidad del concreto, tomando en cuenta que esto se realiza con el estudio de los ensayos de compresión, calidad y aditivos.

Esta primera investigación relacionada con el trabajo de caracterización nos da cierto detalle de lo que el mineral en cuestión puede tener adicionado en su estructura.

Una segunda investigación de Álvarez A. (2013, pp. 04–05), amplia su estudio en el área de medicina, construcción y la química, pone énfasis en el uso de la baritina para erradicar la radiación de los instrumentos usados en medicina y de las características que la baritina ofrece para poder usarla como relleno para el yeso. (pp. 37–38).

En esta segunda investigación nos da una perspectiva de que la baritina en polvo tiene algunos usos característicos dentro de la industria del vidrio, el metal e indumentaria médica.

Una tercera investigación de parte de Robles G. y Soto J. (1993, p. 10), comentan acerca de los beneficios del uso de la baritina en labores de perforación de pozos petroleros, mismos que son usados en forma de polvo lo cual ayuda como densificador de los lodos de perforación, esto hace que la baritina se adhiera al pozo y cierre los agujeros que se hayan producido durante la perforación.

En esta tercera investigación la baritina puede ser usada una vez pulverizada y que este pase por el tamiz 325, para los lodos de perforación de pozos petroleros.

2.2 Referencias Teóricas

2.2.1 Localización geográfica

La zona de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Morona Santiago, cantón Santiago de Méndez, parroquia Copal, en una altura de 1156 msnm. A continuación, la Tabla 2-1 muestra las coordenadas de la zona de estudio:

Tabla 2-1: Puntos de Localización.

DATUM WSG 84 ZONA 17		
PUNTOS	X	Y
P. Inicial	787854.97	9697693.22
2	787400.35	9697806.58
3	786815.12	9698041.60
4	786837.87	9697654.60
5	786879.37	9697287.31
6	787761.74	9697111.87

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.2.2 Accesibilidad

El acceso hacia la zona de estudio se realiza por la conexión vial de la ciudad de Macas hacia el Cantón Santiago de Méndez donde se encuentra atravesado por la vía E45 más conocida como la Troncal Amazónica, las vías hasta ese tramo se encuentran totalmente asfaltadas y en buen estado (Ilustración 2-1).

Se toma una desviación vial para poder ingresar a la parroquia Copal es desde el cantón Santiago de Méndez siguiendo la calzada vial que se encuentra en la vía Méndez – Guarumales tomando una ruta de segundo orden que llega hasta el punto de estudio, estas vías se localizan en mal estado y sin asfaltado, por lo cual se hace complicado su ingreso hacia la parroquia.

Posteriormente para poder llegar a la zona de estudio se avanza a pie entre 2 a 3 km desde la parroquia Copal hacia la mina “El Paraíso”.

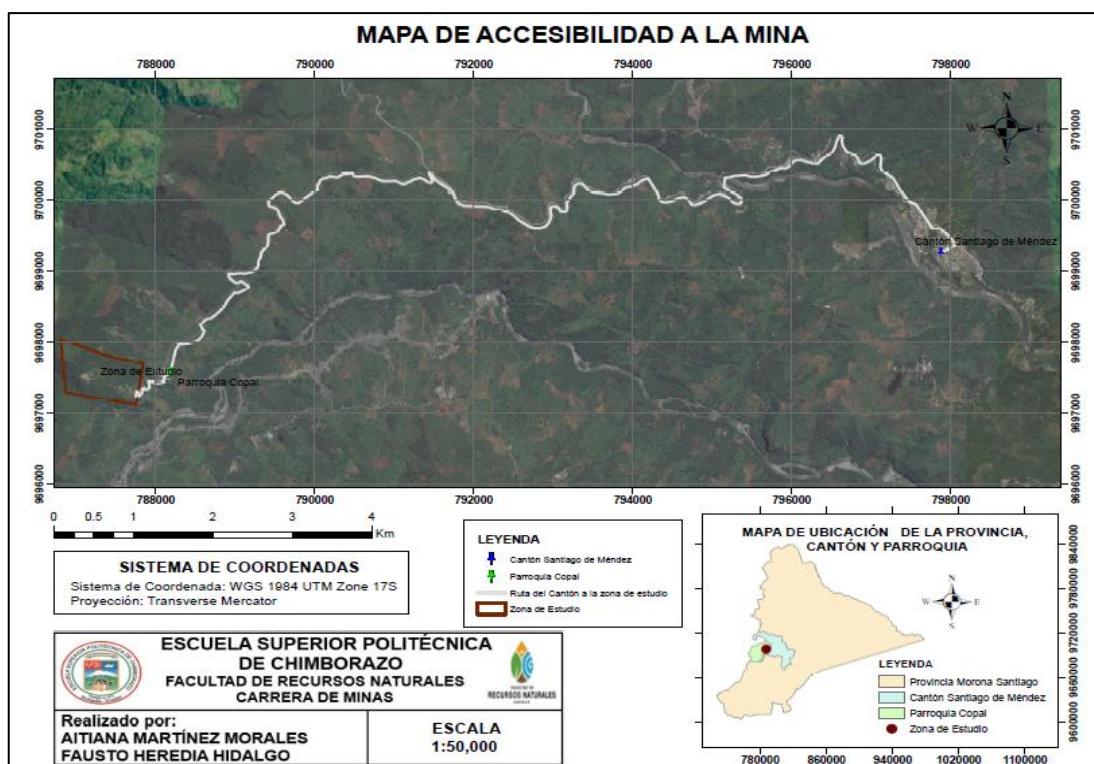


Ilustración 2-1: Mapa de Accesibilidad desde el Cantón Santiago de Méndez a la zona de Estudio.

Fuente: Google Earth, 2021.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.2.3 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 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el Parque Nacional Sangay y $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el cantón Taisha-Ilanura Amazónica. Según INAMHI 2017 se determinan 4 tipos de clima en el territorio provincial. Según INAMHI 2017 se determinan 4 tipos de clima en el territorio provincial (Tabla 2-2). (GADMCS 2014, p. 2).

Tabla 2-2: Tipos de Climas en la provincia de Morona Santiago.

Tipo de clima	Altura (msnm)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	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

Subhúmedo 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 GADMS, 2019.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.2.4 Hidrografía

Las cuencas hidrográficas de los ríos Pastaza se ubican en la provincia de Morona Santiago en un porcentaje superficial provincial de 24.77%, Morona 26.07% y Santiago en un 49.16% siendo el caudal más largo de aproximadamente 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.

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. (GADMPS, 2019-2023, pp. 35-36).

2.2.5 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 Copal está conformada por diversas formas en su relieve, las cuales se representan en la Ilustración 2-3 correspondiente al mapa topográfico de Copal, el cual se realizó con información de la base de datos de La Secretaría Nacional de Planificación (SENPLADES).

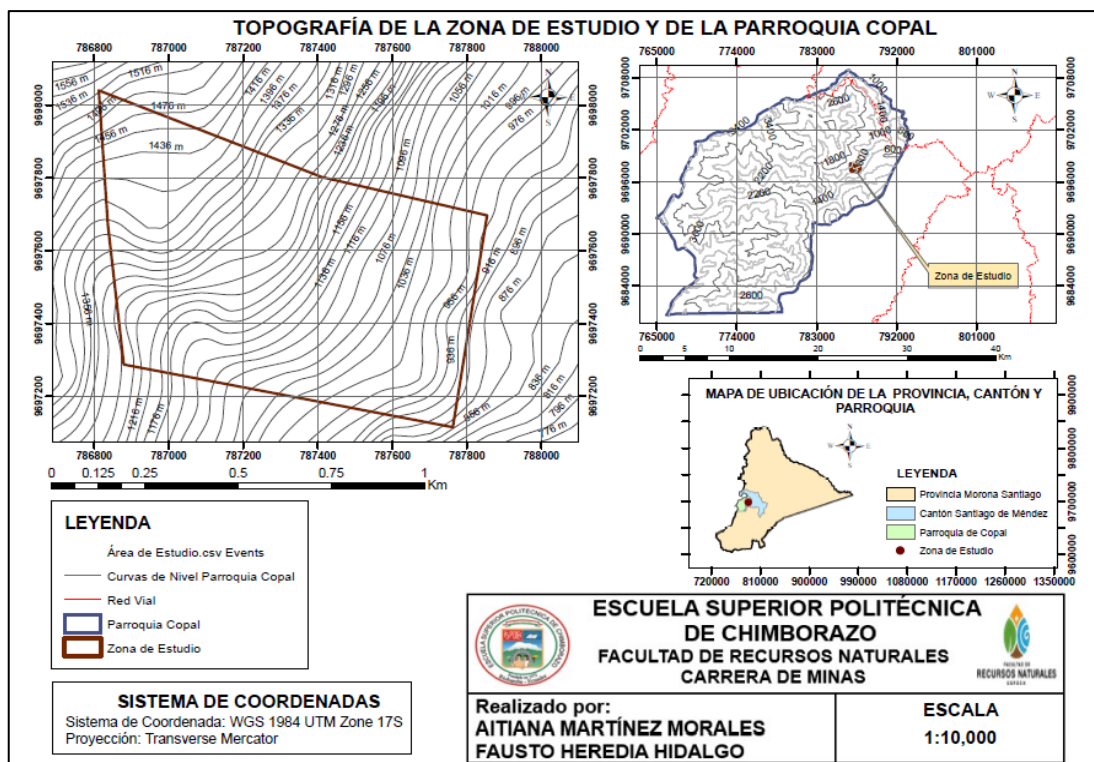


Ilustración 2-2: Topografía de la zona de estudio y de la parroquia Copal.

Fuente: Secretaria Nacional de Planificación (SENPLADES).

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.2.6 Flora

La extensión de bosque y vegetación que posee el cantón Méndez es amplia, y la información acerca de estos es escasa por ende con la información que ha recopilado la institución del CREA y grupos de trabajo privado, se ha podido señalar que la vegetación está dividida en 3 secciones las cuales corresponden a la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Flora existente en el cantón Santiago de Méndez.

FLORA DEL CANTÓN SANTIAGO DE MÉNDEZ	
SECCIÓN	VEGETACIÓN
CAPA ALTA Arboles	El Acho, Poma Rosa, Pindo marañón, Pechiche, Laurel, Almendro, Guarumbo, Chonta, Balsa, Nacedero, Palma, Sauce, Mango, Zapote, Guanábana, mandarina, Guabo Machete, Guabo Bejuco, Toronja, Cacao, Naranja.
CAPA MEDIA Arbustos y Flores	Flor amarilla, Árbol morado, Tamarindo, Flor de novia, Caimito, Guabo de río, Membrillo, Peregrino, Flor de algodón, Pequillo, Barba de viejo, Tuna y Anturio, Papelillo, Croto, Café, Chilco, Papaya, Achiote.
CAPA BAJA	Hoja de araña, Terciopelina, Totorá, Millonaria, Helecho de lechuga, Crisantemo, Geranio, Rosa, Helecho ala de ángel, Lengua de suegra, Escancel amarillo,

Plantas ornamentales	Corazón herido, Campanilla morada, Cabeza de abuelo, Amansa marido, Amor constante doble, Amor constante simple, Corazón de Jesús, Gramalote, Elefante, Espadaña.
-----------------------------	---

Fuente: Equipo técnico CREA y Suarez H., 2008.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.2.7 Fauna

La fauna localizada dentro del cantón Santiago de Méndez está conformado por alrededor de 54 especies y 66 géneros que están conformados por especies de mamíferos, y existen unas 14 especies de anfibios, además se pueden encontrar reptiles e insectos, a continuación, se presenta un pequeño listado de las especies que radican en la zona, tal como se muestra en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Fauna del cantón Santiago de Méndez.

FAUNA DEL CANTON SANTIAGO DE MENDEZ	
GRUPO	ESPECIES
MAMÍFEROS	Dantas, Osos anteojos, Tigrillos, Jaguares, Nutria gigante, “sacha cuy”, venados, Sahinos, Guatusas, Armadillos, etc.
AVES	Papagayos, Tucanes, Loros, Pavas silvestres, Paujil, Pericos, Gallo de monte, Colibrí, Colibrí andino, Cóndores, Gallo de la peña, Bombonera, Colibrí gigante, pato Zumbador, Gallinazo rey, Guacamayos, etc.
PECES	Bocachico, Barbudo, Trucha arcoíris, Bagres entre otros.
OTROS	Ranas, Reptiles, Insectos

Fuente: Suarez H., 2008.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.3 Marco geológico

2.3.1 Geomorfología

El cantón Santiago de Méndez, se localiza en la provincia de Morona Santiago, geográficamente está dentro de la Región Amazónica ecuatoriana, ubicada al Este de la Cordillera Real presenta una variación en altitud que va desde los 400 msnm en el río Namangoza, hasta los 4800 msnm., en el sector de cerro Negro, Sevilla de Oro. (MTOPI 2015).

La caracterización geomorfológica se refiere al estudio de las formas del relieve del terreno, teniendo en cuenta los procesos geológicos y de erosión que han contribuido a su formación. Dentro del cantón, los principales factores responsables de la configuración del relieve son la actividad geológica y tectónica que ocasionó el levantamiento de la cordillera de los Andes y del

Cutucú, así como los procesos que han dado lugar a la acumulación de distintos tipos de rocas y las fuerzas tectónicas que han desplazado las estructuras geológicas. En este contexto, también influencia el proceso de meteorización de las rocas, el cual es resultado de la interacción entre el clima y el agua de lluvia que escurre por la superficie del terreno. (MTOPI 2015).

Dentro del cantón se han podido establecer cuatro unidades morfológicas que se detallan en la tabla 2-5:

Tabla 2-5: Unidades geomorfológicas del cantón Santiago de Méndez.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Primera Unidad	Corresponde a la parte de la cordillera Real y sus estribaciones, está caracterizada por un relieve agreste, montañosos con cortes cortados casi a la vertical por donde discurren los ríos formando valles alargados, profundos.
Segunda Unidad	Esta configuración morfológica de colinas y valles amplios corresponde a las partes bajas de los flancos de la cordillera Real y de la cordillera del Kutukú.
Tercera Unidad	Corresponde a la zona de los valles del río Negro, Paute y Upano, en la parte baja de sus cauces, que discurren por una zona p lana donde la indecisión del flujo es evidente marcándose un esquema de flujos divididos.
Cuarta Unidad	La parte del cantón que se encuentra al pie de la cordillera está caracterizada por una fuerte escarpa tectónica que ha desestabilizado las rocas metamórficas del sector por lo que se han generado varias zonas de acumulación de detritus de tipo coluvión que han generado zonas aplanadas en las cuales es posible observar pequeños lagos limitados por la masa coluvial, este panorama es visible en los alrededores de Copal y La Dolorosa, siempre el pie de la roca esquistosa.

Fuente: (GADMCS 2014).

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.3.1.1 Tipo de relieve

El relieve de esta parroquia es principalmente montañoso, debido a su ubicación en la Cordillera de los Andes. En Copal, se pueden encontrar diversas elevaciones que forman parte de la topografía local. Estas incluyen, colinas y montañas, algunas de las cuales alcanzan alturas significativas. El terreno montañoso de Copal se caracteriza por valles estrechos y profundos, así como por pendientes pronunciadas. También es común encontrar ríos y quebradas que atraviesan la zona, lo que contribuye a la belleza y diversidad del paisaje. (GADMCS 2014).

En resumen, el relieve de la parroquia Copal en el cantón Santiago de Méndez, es mayormente montañoso, con presencia de cerros, colinas, montañas y valles.

2.3.1.2 Tipos de suelos

El suelo que forma la parroquia Patuca pertenece al orden entisol, el orden inceptisol conforma las parroquias de San Luis del Acho, Copal, Tayuza y Santiago de Méndez. La parroquia San José de Chinimbimi comprende tanto la cordillera de los Andes como la cordillera del Cutucú, que fueron mencionadas previamente. (GADMCS 2014).

El orden histosol lo encontramos y ubicamos en una pequeña área de la parroquia Copal; al igual que los afloramientos rocosos situados en áreas reducidas de la parroquia Santiago de Méndez (Tabla 2-6). (GADMCS 2014).

Tabla 2-6: Tipos de suelos del cantón Santiago de Méndez.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	DESCRIPCIÓN
Entisol	Son suelos que no evidencian o tienen escaso desarrollo de horizontes pedogénéticos. La mayoría de ellos solamente tiene un horizonte superficial claro, de poco espesor y generalmente pobre en materia orgánica (epipedón ócrico)
Histosol	Son suelos constituidos por material orgánico procedente de una acumulación superficial del mismo, a causa de un proceso de hidromorfia o encharcamiento. No se considera en este caso la acumulación provocada por la formación de complejos órgano- metálicos, son suelos turbosos y pantanosos.
Inceptisol	Suelos de las regiones subhúmedas y húmedas del que no han alcanzado a desarrollar caracteres diagnósticos de otros órdenes, pero poseen evidencias de desarrollo mayores que las de los Entisoles. Debe interpretárselos como suelos inmaduros que tienen débil expresión morfológica de los suelos maduros.
Afloramientos rocosos	Son áreas de relieves abruptos, escarpes y taludes, colinas altas y muy altas cimas agudas y coluviones recientes con pendientes muy fuertes, no ha sido posible la formación de suelos, por tanto, existen afloramientos rocosos de material metamórfico consolidado.

Fuente: (GADMCS 2014).

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.3.1.3 Información climática

El clima de la parroquia Copal, que pertenece a la provincia de Morona Santiago en Ecuador, es tropical. La temperatura promedio varía entre los 20°C y los 25°C durante todo el año. Sin embargo, las temperaturas pueden ser más altas durante la temporada de verano y más frescas durante la temporada de invierno.

El clima es generalmente húmedo debido a la presencia de lluvias durante todo el año, especialmente en los meses de mayo a diciembre. Estos meses constituyen la época lluviosa, mientras que el resto del año es más seco.

2.3.2 Geología Regional

2.3.2.1 Formación geológica del Cantón Santiago de Méndez

Las rocas metamórficas de la cordillera Real se encuentran en contacto con sedimentos cretácicos de la cuenca Amazónica por medio de un sistema de fallas inversas, conocido como frente Subandino. Está compuesto por estructuras de cabalgamiento que colocan al metamórfico jurásico sobre los sedimentos cretácicos, que se extienden paralelo a las montañas. Las formaciones existentes del frente Subandino, con un ancho promedio de entre 10 y 20 km, están experimentando severas deformaciones y metamorfoseadas. Las formaciones geológicas regionales identificadas son las que se presentan a continuación (Ilustración 2-3). (Palacios 2016).

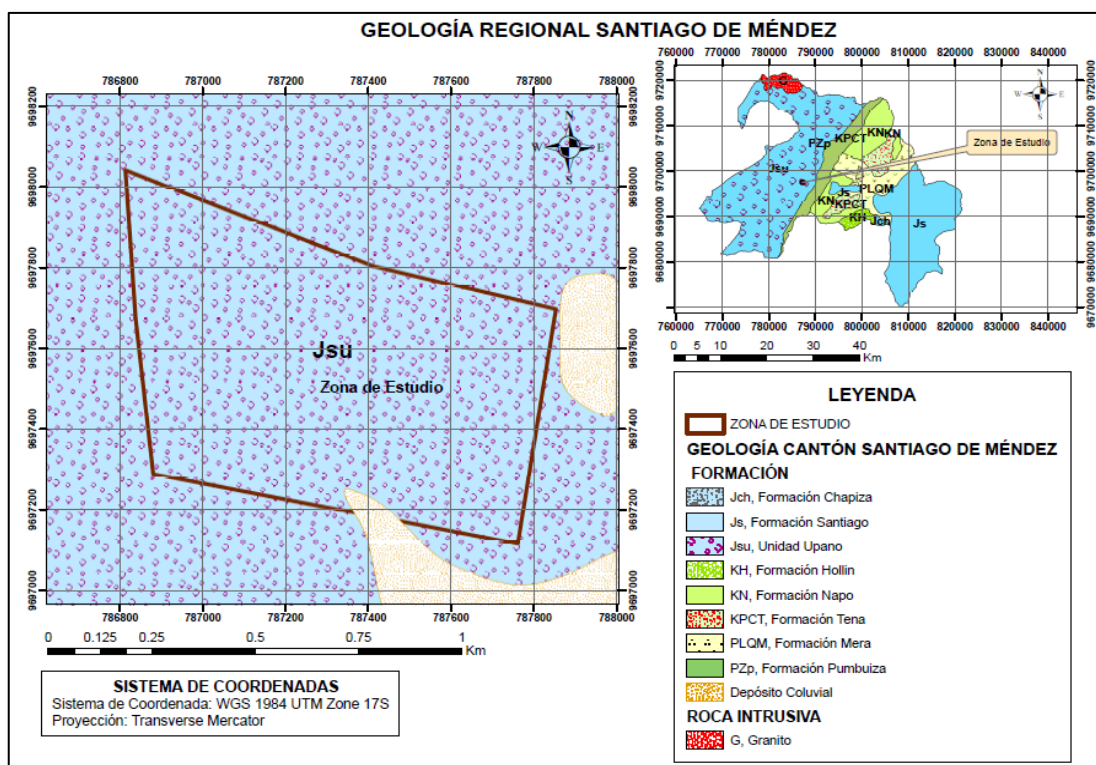


Ilustración 2-3: Mapa de Geología Regional del Cantón Santiago de Méndez.

Fuente: (Egüez, Gaona, Albán 2017).

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.3.2.2 *Formación Chapiza (Jch) (Jurásico – Cretácico Inferior)*

La Formación Chapiza comprende una sucesión de sedimentos clásticos continentales sobrepuestas por depósitos clásticos y piroclásticos. (Baldock 1982, p. 19). Esta formación se subdivide en:

- *Chapiza superior.* - El tope de la formación Chapiza está constituido por rocas volcánicas masivas y gruesas caracterizadas por lavas andesíticas y tobas de la misma composición, que forman parte del potente arco magmático de rift localizado desde el norte peruano al norte colombiano.
- *Chapiza medio.* - Consiste básicamente de lutitas, areniscas, no contiene evaporitas y por su coloración rojiza se la conoce como lechos rojos (red beds).
- *Chapiza inferior roja y gris.* - Formado por lutitas, areniscas y delgados horizontes desde anhidrita, dolomita y yeso.

2.3.2.3 *Formación Santiago (Js) (Devónico)*

Se trata de una estratificación geológica presente en la Cordillera Cutucú, en el sureste de Ecuador, compuesta principalmente por calizas marinas, lutitas, areniscas y rocas volcánicas. Esta formación también se extiende hacia el sur en Perú, pero no se encuentra en las áreas más al norte y al este de Ecuador. Con un espesor de alrededor de 2000 metros, esta formación consiste en una serie de rocas no metamorfizadas con una inclinación suave, incluyendo calizas silíceas grises, areniscas calcáreas y en algunos lugares turbiditas, así como lutitas negras. (Litherland, Aspden, Jemielita 1994, p. 22).

En las áreas occidentales, en exposiciones a lo largo de la nueva vía hacia Santiago, las turbiditas calcáreas de la Formación Santiago transicionan gradualmente hacia una secuencia de aspecto continental. Esta última está compuesta por limolitas tobáceas grises y areniscas, junto con flujos de lava basáltica que a veces se presentan en forma de almohadillas. Esta secuencia litológica corresponde a lo que se conoce como la Formación Chapiza. Por tanto, parece que al menos la base de la Formación Chapiza pudo haber sido el equivalente lateral de la cima de la Formación Santiago. (Litherland, Aspden, Jemielita 1994, p. 22).

2.3.2.4 *Unidad Upano (Jsu) (Jurásico)*

Corresponde a la División Salado. Esta unidad comprende de meta-andesitas, esquistos verdes y esquistos grafitosos. Aflora al Oeste de Baeza a lo largo de la carretera Baeza-Tena. (García, Villavicencio, Viteri 2016).

Está conformada por meta andesitas, metagrauvas y esquistos pelíticos y grafiticos. Esta unidad pertenece a la División Salado de la Cordillera Real, la cual incluye esquistos verdes y rocas meta volcánicas de edad jurásica que estarían relacionadas a las rocas volcánicas de la Formación Misahuallí. (Litherland, Aspden, Jemielita 1994).

2.3.2.5 *Formación Hollín (KH) (Cretacico Inferior: Albinense, Aptiano)*

Las características notables de la Formación Hollín son sus capas relativamente delgadas de areniscas cuarzosas blancas de origen continental. Estas areniscas se encuentran por encima de varias rocas que datan del período Pre-Aptinense en toda la región oriental de Ecuador. Esta formación tiene un grosor que varía entre 80 y 240 metros e incluye capas de lutitas fracturadas. Los sedimentos se depositaron en ambientes acuáticos poco profundos, probablemente en una amplia plataforma que podría haber sido una laguna o un delta. Los materiales detríticos, que componen la formación, se originaron en el este de la región. (Baldock 1982, p. 20).

En la zona subandina de Ecuador, las cuarcitas de la Formación Hollín son prominentes en sus afloramientos, especialmente en áreas donde el levantamiento Napo es más notable. Estas cuarcitas subyacen en gran parte del este de la región y desempeñan un papel crucial como reservorio de rocas en los campos petroleros del nororiente ecuatoriano. (Baldock 1982, p. 20).

2.3.2.6 *Formación Napo (KN) (Cretáceo Inferior)*

La Formación Napo quizás es la secuencia más importante en el Oriente Ecuatoriano, consiste en una serie de lutitas negras, calizas de color gris a negro y areniscas calcáreas. El espesor de la formación varía desde menos de 200 metros hasta más de 700 metros; sobreyace concordante a la formación Hollín por todo el Oriente, además está cubierta por capas rojas de la formación Tena con ligera discordancia erosional. (Baldock 1982, p. 20).

Esta formación fue depositada en un ambiente marino en una cuenca de orientación Norte – Sur, está dividida originalmente en tres unidades:

- *Napo inferior*. - Comprende areniscas, lutitas, margas y pocas calizas; tiene un espesor de 60 a 250 metros.
- *Napo medio*. - Contiene calizas grises de masivas a muy estratificadas; tiene un espesor de 75 a 90 metros.
- *Napo superior*. - Es una secuencia de argilitas negras duras, lutitas verdosas y grises, con intercalaciones de calizas y areniscas; tiene un espesor de 0 a 320 metros.

2.3.2.7 *Formación Tena (KPCT) (Cretácico Superior (Maestrichtiense) Paleoceno Inferior)*

Sobreyacen a la Napo con aparente concordancia, pero el repentino cambio de facies y el tope erodado de la secuencia Napo indican un importante Hiato en la sedimentación durante gran parte del campanionense. En contraste con la Napo, los sedimentos de la Tena se tornan más finos y delgados hacia el Este (de 1000 a >300 metros), indicando una procedencia occidental para el material clástico. Al sur del Río Pastaza, la misma sucesión fue originalmente atribuida como la Panguí, pero este nombre es superfluo. Es predominantemente lutitas, con numerosas intercalaciones de areniscas y escasos conglomerados particularmente en los 200 metros inferiores y en los 150 metros superiores. Margas y calizas arenáceas aparecen en menor cantidad. El color característico de los ampliamente dispersos afloramientos es café – rojizo, variando de pálido a ladrillo rojizo y púrpura, pero esta coloración se debe en gran parte a la meteorización; los sedimentos son negros, grises o verdosos cuando están bastante frescos. Los fósiles (*Spiroplectammina*, *Buliminella*, *Porochara* y *Ambioyachara*) son más bien escasos, pero indican una sedimentación en agua dulce a salobre, con delgados horizontes marinos. (Baldock 1982, p. 21).

2.3.2.8 *Formación Mera (PLQM) (Cuaternario)*

Consiste en terrazas más jóvenes (topográficamente inferiores) depósitos compuestos por abanicos de piedemonte del Cuaternario areniscas tobáceas y arcillas, las que postdatan el último periodo importante de fallamiento y levantamiento, están menos disectadas que las terrazas remanentes de la Formación Mesa (Rotuno). Hacia el Este los sedimentos de las terrazas disminuyen en espesor, tamaño del grano y altitud, eventualmente gradan transicionalmente hacia el aluvión del cuaternario parcialmente retrabajado de las cuencas de drenajes actuales. (Baldock 1982, p. 25).

2.3.2.9 *Formación Pumbuiza (PZp) (Devónico)*

La formación Pumbuiza de ambiente marino de plataforma, consiste en pizarras grises a negras en algunos lugares graníticas, areniscas cuarcíticas duras de grano fino y conglomerados con clastos subangulares a subredondeados muy compactos. Estas rocas están sometidas a fuertes

plegamientos y fallamientos, y a un cierto grado de metamorfismo anterior a la sedimentación de la formación Macuma. No se conoce el espesor ni la base de la formación. (Blázquez 2016).

2.3.2.10 Deposito Coluvial

Son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño, generalmente de litología homogénea, englobados o no en una matriz de arena o limo que se distribuye irregularmente al pie de los terrenos montañoso, se forman por la caída por efecto de la gravedad de las rocas desde las laderas y forma acumulaciones al pie de un talud. Se caracterizan por contener elementos de granulometría variada entre bloques y gravas, los cuerpos son angulosos a sub angulosas, no presentan ningún tipo de clasificación por tamaños y no presentan estratificación. (Sarmiento 2021, p. 13).

En resumen, el cantón Santiago de Méndez posee una litología regional constituida por una variedad de rocas volcánicas, sedimentarias y metamórficas, nuestra zona de estudio se encuentra dentro de la Unidad Upano (Ilustración 2-3) la cual contiene una amplia variedad de rocas metamórficas y volcánicas.

2.4 Realidad Problemática

Las rocas y minerales industriales (RMI); se caracterizan por ser sustancias minerales no metálicas 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: micas, 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, 2021)(p.5).

2.4.1 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. Las extracciones 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 (2020) 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 con su tamaño y calidad se concentran 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 silíceo, 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, 2021)(p.5).

2.4.2 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. (GADMPS, 2019-2023, p. 79).

Las 820 concesiones mineras (Ilustración 2-4) 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 Cutucú Shaimé 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. (GADMPS, 2019-2023)(p.79).

Las 820 concesiones mineras (Ilustración 2-4) 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 Cutucú Shaimé 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 (GADMPS, 2019-2023)(pag.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”. (GADMPS, 2019-2023)(p.79).

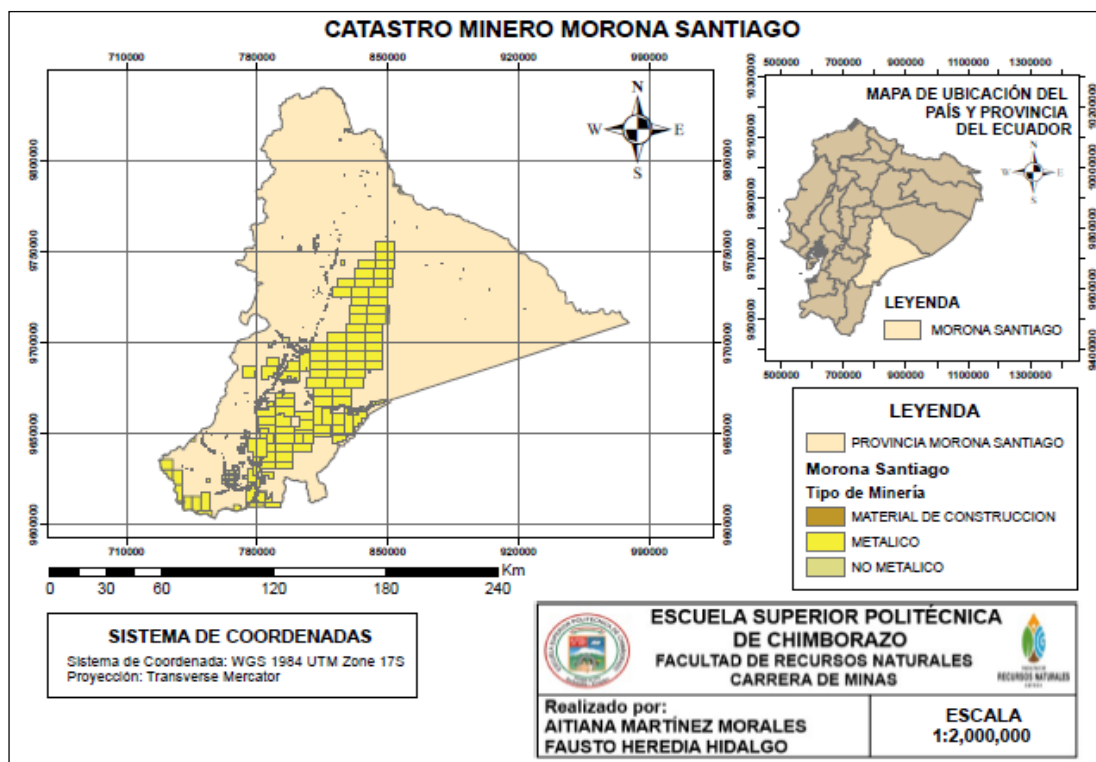


Ilustración 2-4: Mapa del Catastro Minero en Morona Santiago.

Fuente: SENPLADES, 2018.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.4.3 Actividad minera: Cantón Santiago de Méndez

El territorio nacional es rico en recursos minerales como: oro, plata, cobre y zinc, además de materias primas que sirven para la producción de cemento, vidrio plano y derivados, mármol, yeso, caolines, arenas silíceas, entre otros minerales.

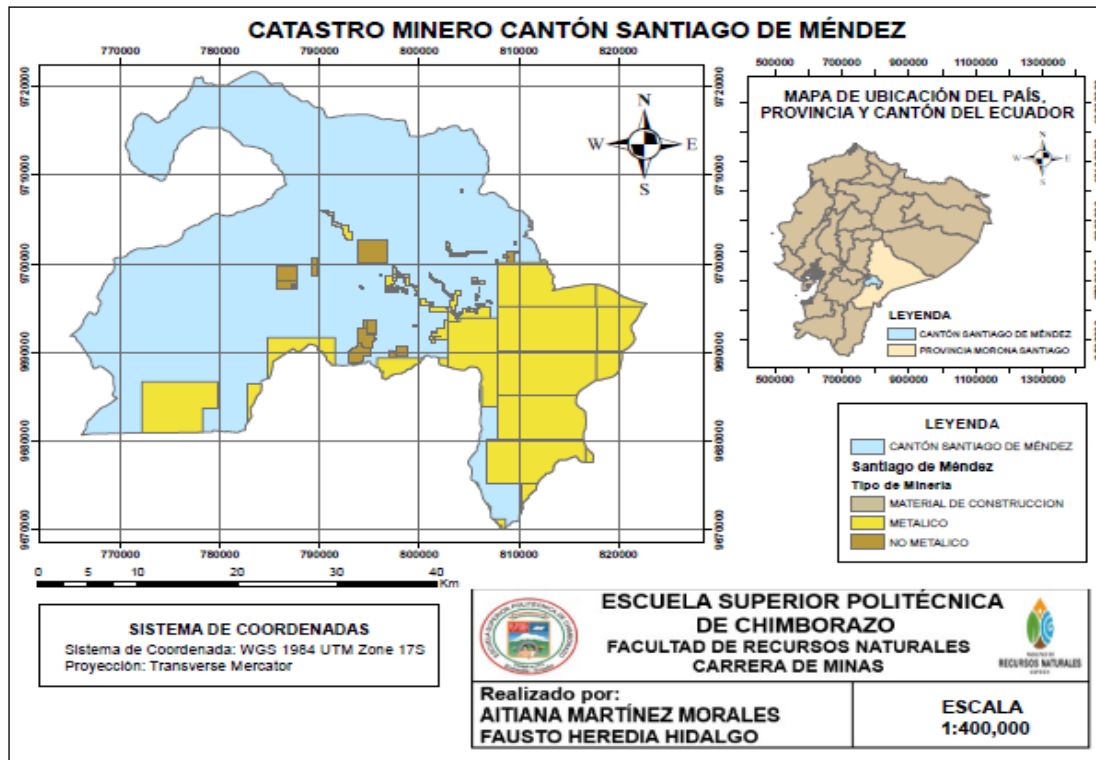


Ilustración 2-5: Mapa del Catastro Minero del Cantón Santiago de Méndez.

Fuente: SENPLADES, 2018.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

En el cantón Santiago, existen 87 concesiones mineras metálicas y no metálicas dentro de las cuales constan también los mineros artesanales, según el catastro minero proporcionado por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), la distribución de las concesiones se visualiza en la tabla 2-7.

Tabla 2-7: Datos de la Minería en el Cantón Santiago de Méndez.

Recurso	Descripción	Número de Concesiones	Superficie ocupada	Observaciones
Mineral	Metálico	62	348 ha	Minería artesanal
Mineral	No metálico	3	11 ha	Minería artesanal
No metálico	No metálico	4	968 ha	Concesión minera

Metálico	Metálico	5	10857.7	Exploración, concesión minera
Materiales de construcción	Materiales de construcción	11	448 ha	Concesión minera, libre aprovechamiento y artesanal.

Fuente: (GADMCS 2014).

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.4.4 Actividad minera: Parroquia Copal

En la parroquia Copal, existen 7 concesiones mineras entre metálicas, no metálicas y materiales de construcción, según el catastro minero proporcionado por la Agencia de Regulación y Control Minero. (GADPR Copal 2022).

La minería que se realiza en la parroquia Copal está enmarcada en la minería artesanal de sustento y la minería de pequeña escala, si bien la minería artesanal carece de equipos adecuados, se vale de bombas a baja presión accionadas por motores a gasolina, canalones de madera, herramientas manuales como martillos, picos, palas, mangueras y maquinaria permitida, manipuladas por personal no especializado. Sin embargo, uno de los grandes problemas que aquejan a la parroquia es la minería ilegal que se realiza en espacios prohibidos como las riberas de ríos, lagunas, cabeceras de cuenca y las zonas de amortiguamiento de áreas naturales protegidas. (GADPR Copal 2022).

Uno de los principales minerales explotados en esta área es la denominada “Baritina” la cual se emplea como fachaletas de viviendas, también para realizar esculturas entre otro tipo de artesanías así mismo se realiza la comercialización. También otra extracción que se realiza es de piedra pizarra de colores verdes, negra, oxidada, azul, habana, etc. y en todos lados de copal se encuentra el cuarzo además existe el oro, donde aproximadamente el 30% de la población de copal se dedica a esta actividad de extracción de piedra pizarra. (GADPR Copal 2022).

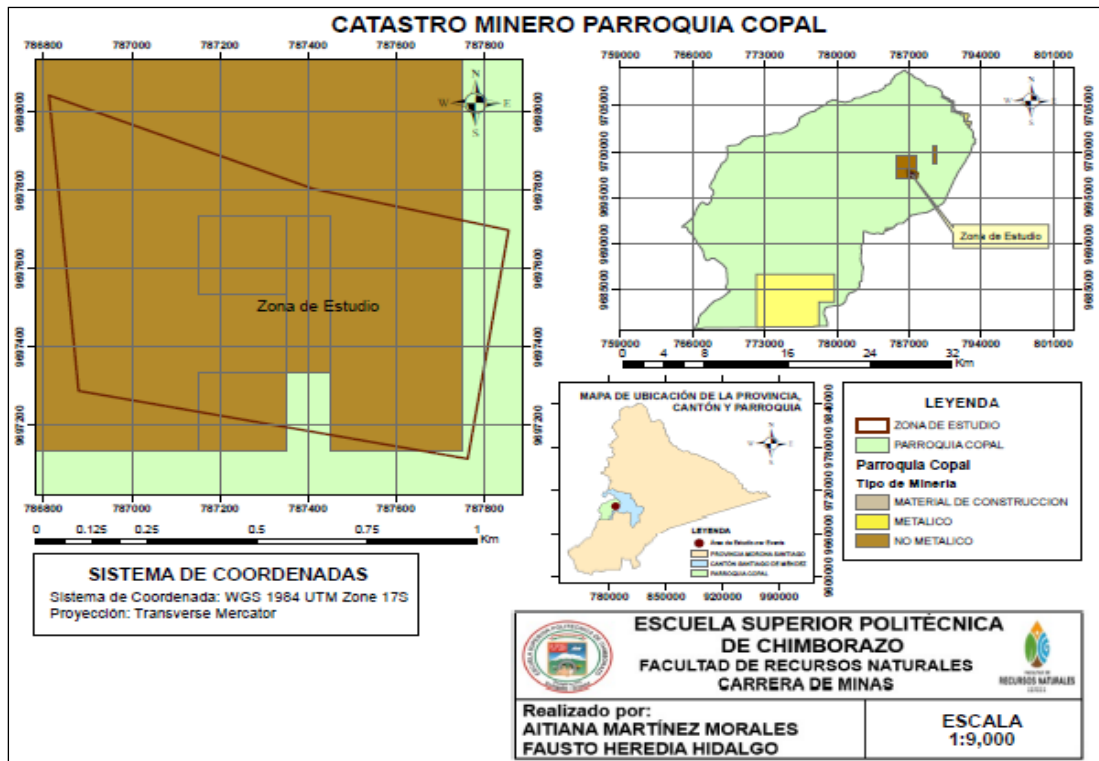


Ilustración 2-6: Mapa del Catastro Minero en la parroquia Copal.

Fuente: SENPLADES, 2018.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.5 Baritina

La baritina es un mineral no metálico, cuya fórmula química es $BaSO_4$, siendo el más común de los minerales que contienen bario; ocurre a veces en grandes cantidades como vetas o capas; también como mineral de ganga en varias vetas minerales; o en cristales y grupos de cristales, las especificaciones más relevantes se pueden apreciar en la Tabla 2-8.

Es un mineral económico, dúctil y constituye aproximadamente el 40% de los constituyentes del lodo de perforación. Posee un color claro y alto brillo (90%). La baja absorción de aceite y la capacidad de humedad por aceites le permiten ser usada como relleno y agente pesado en componentes acústicos, adhesivos y artículos deportivos. (SECRETARIA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

2.5.1 Características Físicas

La baritina se encuentra en la naturaleza como masas cristalinas de colores: blanquecino, verdoso, grisáceo o rojizo, cristales comúnmente tabulares, en forma globular, fibrosa o laminar. El lustre es vítreo, la dureza de 2.5 a 3.5 en la escala de Mohs; alto peso específico (4.3 a 4.6 gr/cm³); con raya blanca. Está asociada generalmente con minerales de plomo, cobre, fierro, zinc, plata, níquel,

cobalto, manganeso, entre otros. Otros minerales asociados son la fluorita, el cuarzo, la calcita, la dolomita, y la siderita. (SECRETARIA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

Además, una prueba a la flama puede distinguirlos: al exponer el polvo de los cristales al fuego, el color de la llama confirmará la identidad del cristal, si ésta es verde pálido es baritina, si es roja es celestita. (SECRETARIA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

2.5.2 Características Químicas

Las relaciones entre los compuestos de bario (indicados en la Tabla 2-8) están estrechamente relacionadas con los compuestos de otros metales alcalinotérreos, como el calcio y el estroncio. A medida que aumenta el peso atómico desde el calcio hasta el bario, aumenta el peso específico del metal y las solubilidades de los hidróxidos, mientras que disminuyen en los haluros, nitratos y sulfatos. Las solubilidades de las sales que contienen bario siguen patrones típicos del grupo alcalinotérreo: son generalmente solubles en acetato, cloruro, bromuro, yoduro y nitrato, pero insolubles en carbonato, cromato, fluoruro, oxalato, fosfato y sulfato. En condiciones ácidas, las sales de bario tienden a ser más solubles, en mayor o menor grado. A excepción del sulfato de bario, se disuelven parcialmente en ácido carbónico y completamente en ácido clorhídrico o nítrico. El sulfato de bario es excepcionalmente insoluble y se utiliza en la detección del ion bario. La diferencia en solubilidad entre el sulfato y el carbonato es fundamental para el amplio uso de este último en la industria cerámica. Los compuestos más comunes y útiles de bario son el sulfato (barita) y el carbonato (witherita), ya que estos compuestos son la base de toda la metalurgia del Bario. (SECRETARIA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

2.5.2.1 Especificaciones

Tabla 2-8: Especificaciones de la Baritina.

ESPECIFICACIONES	
Grado de Lodo de Perforación (barita pesada)	
Densidad	4.2 g/cm ³ mín.
Ca	250 ppm máx.
Residuo>75µ	3% en peso, % máx
Residuo>45µ	No especificado.
Partículas>6µ en diámetro esférico equivalente	30% en peso, % máx
Grado Relleno para Pintura	
BaSO ₄	95% mín
Fe ₂ O ₃	0.05% máx.

Material extraño	2.0%
Humedad	0.5%
Compuestos solubles en agua	0.2%
Tamaño de partícula	99.98% -37µm (malla 400) o Hegman 6.5
Brillo	80% +
Absorción de aceite	5kg/45 kg.
pH	6.4
Barita en polvo grado químico	
BaSO4 96% mín	
SrSO4 0.7% máx.	
CaSO4 0.6% máx.	
SiO2 3.5% máx.	
Rango de blancura: 88% mín.	
Tamaño del polvo: malla 325	
Barita en trozo grado químico	
BaSO4 96% mín.	
SrSO4 0.7% máx	
CaSO4 0.6% máx	
SiO2 3.5% máx	
Rango de blancura: 80% mín.	
Barita cruda grado perforación	
Gravedad específica	4.23 mín.
Calcio	250 ppm máx
Mercurio (Hg)	1.0 ppm máx
Cadmio (Cd)	3.0 ppm máx
Carbonatos	2500 mg/l máx
Sulfuros	50 mg/l máx
Humedad	1.0% máx
Tamaño del trozo:	(0-150mm): 95% mín

Fuente: (SECRETARÍA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

2.5.3 *Proceso Productivo*

2.5.3.1 *Extracción*

La explotación se realiza mediante técnicas de minería subterránea utilizando el método de tumbes sobre carga. La extracción del mineral se lleva a cabo a través de pozos contrapuestos ubicados en niveles de transporte. Una vez en el interior de la mina, el mineral extraído se dirige a tolvas y

luego se transporta en carros mineros hasta el punto de extracción general en la superficie. De la porción de mineral que ha sido fracturada o extraída mediante tumbe, solo se retira aproximadamente un tercio, dejando el resto para ser recogido en etapas posteriores del proceso de tumbe. El mineral que aún permanece en su lugar se extrae gradualmente hasta que los frentes de explotación alcancen el nivel superior. (SECRETARIA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

Cabe recalcar y señalar que cada mina está a la disposición del proceso de extracción que le vaya a dar al mineral dependiendo del yacimiento donde este se encuentre.

2.5.3.2 Trituración

El proceso implica el uso de trituradoras de mandíbulas y/o conos, y típicamente se incorporan cribas vibratorias en el sistema. Esto se hace en parte para optimizar la eficacia del proceso de trituración y para minimizar la producción de partículas extremadamente pequeñas. Además, se establece un circuito adicional de trituración secundaria con el objetivo de uniformizar los tamaños de partícula antes de llevar a cabo la separación basada en la gravedad. (SECRETARIA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

2.5.3.3 Concentración

El mineral triturado se clasifica en mesas concentradoras donde se diferencian concentrados, medios y colas, el cual puede ser repetido hasta tres veces. Los concentrados pasarán a un secador rotatorio; los medios por las mesas concentradoras y al final también al secador rotatorio y las colas a la presa de jales y posteriormente al área de terreros.

2.5.3.4 Secado

Se realiza mediante secador rotatorio, en el cual se introducen tanto los medios como los concentrados con el objeto de reducir la humedad y asegurar el libre flujo de material en los pasos subsecuentes.

2.5.3.5 Molienda

La molienda del mineral se realiza mediante molino de martillos, para tener un mejor control del tamaño de la partícula. Por otra parte, la molienda también es útil para ajustar el tamaño a las necesidades y especificaciones del cliente.

2.5.4 Principales Usos

2.5.4.1 Materia prima de lodos de perforación

Se introduce sulfato de bario como un material sólido en los fluidos de perforación con el propósito de aumentar su densidad. Esto se hace para prevenir la infiltración de gas, aceite o agua que pueda estar en las formaciones permeables, evitando así que entren en el pozo. Además de esta función, también actúa para mantener la integridad de las paredes del pozo, ya que se controla la presión hidrostática de las columnas de fluido. Esta presión se ajusta dependiendo de la densidad de la barita añadida y de la longitud de la columna de líquido. (SECRETARÍA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

2.5.4.2 Pinturas

Finamente molida, se utiliza en la fabricación pigmentos blancos y como carga mineral en pinturas para dar cuerpo al pigmento. Controla la viscosidad de la pintura para hacer productos de color brillante y da buena estabilidad.

2.5.4.3 Química

Los usos del carbonato de bario se clasifican como:

- Materia prima para la producción de otros compuestos de bario.
- Medio de purificación para la eliminación de todos los sulfatos de soluciones acuosas.
- Fundente en los trabajos cerámicos.
- Ingrediente en la fabricación de vidrios ópticos y cristalería fina.

2.5.4.4 Medicina

Se usa como sustancia opaca en los estudios de rayos X del tracto gastrointestinal, con el propósito de resaltar los contornos de los intestinos y el estómago mediante la reflexión de los rayos X. También se emplea como material de relleno en la producción de yeso ortopédico. Además, se encuentra en la fabricación de agua oxigenada y en ciertos medicamentos para prolongar su periodo de validez. (SECRETARÍA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

2.5.4.5 *Vidrio*

Parcialmente triturada, se emplea en los hornos para reducir el punto de fusión del vidrio.

2.5.4.6 *Relleno*

Como relleno en las industrias del hule, cuero, caucho, textil y papel.

2.5.4.7 *Industria Plástica*

Se utiliza como relleno en plásticos para la creación de productos con colores brillantes. Además, puede mejorar la firmeza, la rigidez y la resistencia al desgaste. El sulfato de bario sintético es beneficioso para reforzar polímeros y controlar la viscosidad y la reología de adhesivos. También se emplea en la nucleación de polímeros termoplásticos cristalinos. Su característica de ser un material inerte, resistente a altas temperaturas, transparente y de buena dispersión, le permite influir en la velocidad y el grado de cristalización de manera controlada. (SECRETARÍA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

2.5.4.8 *Aplicaciones automotrices*

Para sellar el interior de un vehículo (bajo alfombra) evitando ruidos del motor, así como el revestimiento de frenos: cojines, discos y balatas.

2.5.4.9 *Industria del papel*

Se utiliza como relleno de la cartulina blanca y el papel de recubrimiento, mejora la blancura y el porcentaje de cobertura.

2.5.4.10 *Cosméticos*

Se utiliza por su blancura y trato suave e inofensivo a la piel, por lo anterior puede ser un sustituto del dióxido de titanio.

2.5.4.11 *Construcción*

Para la elaboración de concretos pesados.

2.5.4.12 *Metalurgia*

Los compuestos de bario se obtienen a partir de la materia prima química de la barita, aunque la witherita es la de mayor relevancia entre las dos. Debido a la escasa solubilidad de la barita, el punto de partida para la producción de compuestos de bario es la transformación del mineral de sulfato en sulfuro de bario (BaS) o ceniza negra, que es soluble. A través de la adición de otros reactivos, esta ceniza negra se convierte en diversos productos, como el litopón (una mezcla de sulfato de bario y sulfuro de zinc, que actúa como un pigmento blanco brillante), el blanco fijo (BaSO₄), el cloruro de bario (BaCl₂), el nitrato de bario (Ba (NO₃)₂), el carbonato de bario (BaCO₃), el óxido de bario (BaO), el dióxido de bario (BaO₂) y, finalmente, el hidróxido de bario hidratado (Ba (OH)₂ · 8H₂O). (SECRETARIA DE ECONOMÍA (SE), 2020).

2.6 **Análisis de laboratorio**

2.6.1 *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. 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. (RESEARCH INFINITA, 2021).

2.6.1.1 *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. (RESEARCH INFINITA, 2021).

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.).

2.7 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 por lo 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 dispersión. Este método es más apropiado si se sabe que existe 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).

CAPÍTULO III

3. MARCO METOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

En base al objetivo de estudio respecto a la caracterización de la Baritina en la mina “El Paraíso” se realizó un mapa geológico estructural en donde se mapeo el mineral de estudio “Baritina”, mismo que está dentro de la circunscripción de Copal, se recurrió a un diseño de tipo no experimental que se aplicara de manera transeccional, ya que se consideró que el tema de investigación contiene un considerable sustento teórico, para lo cual se realizó una investigación de tipo descriptivo para conocer con mayor detalle las características del mineral de Baritina de la mina “El Paraíso”.

De acuerdo con Marisela Dzul Escamilla (2018) la investigación de tipo no experimental “Es aquel que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Fundamentalmente se basa en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos” (p.2). El autor indica que el diseño transeccionales o transversales “se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado o bien en cual es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo, se utiliza el diseño transeccional. En este tipo de diseño se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único” (p.5).

3.2 Enfoque de la investigación

El presente trabajo está diseñado en base al planteamiento metodológico del enfoque cualitativo y cuantitativo, ya que este se adapta mejor a las características y planteamiento del problema respecto del trabajo de investigación.

El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recopilación y el análisis de los datos. A menudo, estas actividades ayudaran, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y luego, para perfeccionarlas y responderlas. La acción investigativa se mueve dinámicamente en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, resultando un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no

siempre es la misma, pues varía con cada estudio. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio 2014, p. 7).

Del enfoque cualitativo se tomará la técnica de observación participante para evaluar las zonas donde haya la presencia de veta o vetas de baritina, presentes dentro de la concesión minera “El Paraíso” o en sus alrededores, basándonos en la información que se brinda por parte del GAD de Santiago de Méndez, en la cual menciona la geología local y regional de la parroquia Copal y sus colindantes.

El enfoque cuantitativo (que representa, como dijimos, una serie de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente, por lo que no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, y se revisa la literatura para establecer un marco o una perspectiva teórica. A partir de las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); las variables se miden en un determinado contexto; se examinan las mediciones obtenidas mediante métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio 2014, p. 4).

Del enfoque cuantitativo se tomará la técnica de observación para obtener datos de las zonas donde haya la presencia de veta o vetas de baritina, dentro de la concesión minera “El Paraíso” o a sus alrededores.

3.3 Población

Una población se define como la “totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto N de entidades que participan de una determinada característica, y se le denomina población por constituir la totalidad del fenómeno adscrito a un estudio o investigación.”(Tamayo Tamayo 2003, p. 176).

La población de estudio es la baritina presente en la mina “El Paraíso”, pudiendo dentro de esta concesión encontrar vetas con contenido de este mineral de carácter no metálico.

3.4 Muestra

La muestra se define “a partir de la población cuantificada para una investigación se determina la muestra, cuando no es posible medir cada una de las entidades de población; esta muestra, se considera, es representativa de la población. Es decir, para hacer una generalización precisa a partir de una población es necesaria una muestra totalmente representativa y, por lo tanto, la validez de la generalización depende de la validez y tamaño de la muestra”. (Tamayo Tamayo 2003, p. 176).

En el presente trabajo se utilizará el método no probabilístico, el cual, de acuerdo con (Cuesta, Herrero 2009) “en general se seleccionan a los sujetos siguiendo determinados criterios procurando que la muestra sea representativa”(p. 5), ya que se tomaron muestras en lugares distintos de la concesión minera “El Paraíso”.

De la misma forma se tomaron datos estructurales donde se encontró la veta que contiene el mineral de baritina, en la cual aplica la técnica de bola de nieve según el autor (Cuesta, Herrero 2009) “se localiza a algunos individuos, los cuales conducen a otros, y estos a otros, y así hasta conseguir una muestra suficiente”. (2009, p. 6).

3.5 Técnica de recolección de datos

De acuerdo con (García Cabrero, Cisneros Cohernour, Díaz Camacho 2011) las técnicas de recolección de datos “se refiere a el uso de una amplia variedad de técnicas para recopilar datos relevantes, con el fin de obtener información que será útil para la evaluación y para las preguntas de evaluación que se han identificado. Cabe señalar que las técnicas de recopilación de datos proporcionadas dependerán de la pregunta de evaluación que guíe la investigación. con fines didácticos, se presentan aquí divididos en cuantitativos y cualitativos, pero a la hora de realizar la evaluación las técnicas casi siempre se utilizan indistintamente.”(2011, p. 1).

Las técnicas de recolección de datos que se utilizarán en la presente investigación serán:

(Palella, Martins 2004) **Observación directa y observación indirecta** es:

La observación es directa cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar. Es indirecta cuando el investigador entra en conocimiento del hecho o fenómeno a través de las observaciones realizadas anteriormente por otra persona. Esto

último ocurre cuando se utilizan libros, revistas, informes, grabaciones, fotografías, relacionadas con lo que se está investigando, los cuales han sido obtenidos o elaborados por personas que se ocuparon de lo mismo (p. 118).

Para la presente investigación se realizó un registro visual de lo que sucedió en campo, clasificando y registrando los eventos de acuerdo con un patrón predeterminado en cuanto a la veta del mineral, además de ello se tuvo referencia de la zona desde las plataformas virtuales como Google Maps, documentos que se encuentran reposando en los archivos del GAD de Santiago de Méndez.

(Palella, Martins 2004) **La entrevista** es:

Es una técnica que permite obtener datos mediante un diálogo que se realiza entre dos personas cara a cara: el entrevistador “investigador” y el entrevistado; la intención es obtener información que posea este último (p. 119).

(Palella, Martins 2004) **El fichaje** es:

El fichaje es una técnica de gran importancia en la investigación científica. Consiste en registrar los datos que se van obteniendo en la revisión bibliográfica, en fin, en las diferentes etapas y procesos que se van desarrollando (p. 124).

Dentro de la investigación se realizó una recopilación de información respecto a trabajos similares dentro de la misma circunscripción de estudio, por tanto, se tenía conocimiento de las zonas dentro del margen de estudio que tenían rasgos de hallazgos del mineral de baritina.

(Tamayo, Silva 2010) **Análisis documental** es:

Se recolectan datos de fuentes secundarias. Libros, boletines, revistas, folletos, y periódicos se utilizan como fuentes para recolectar datos sobre las variables de interés, el instrumento que se acostumbra a utilizar es la ficha de registro de datos (p. 6).

Para recolectar datos procedentes de la veta, se necesitaba instrucción para la orientación dentro del campo por tanto se obtuvo una previa retroalimentación para adiestrarnos en el uso de instrumentos como la brújula, posicionamiento geográfico y reconocimiento del macizo rocoso.

3.6 Instrumentos de recolección de datos

De acuerdo con (Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio 2014) “la investigación disponemos de múltiples tipos de instrumentos para medir las variables de interés y en algunos casos llegan a combinarse varias técnicas de recolección de los datos” (p. 4).

Los instrumentos utilizados para el estudio fueron:

- ✓ Libreta de campo
- ✓ Lupa
- ✓ Kit mineralógico
- ✓ Fichas técnicas de observación para el registro de datos
- ✓ Brújula
- ✓ Martillo geológico
- ✓ GPS

3.7 Metodología de trabajo

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

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

3.7.1 Etapa 1: Recuperación de información bibliográfica y cartográfica

Se realizó la primera etapa del trabajo, la 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 Santiago de Méndez, 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 baritina.

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, para el desarrollo posterior de la etapa de gabinete.

3.7.2 *Etapa 2: Trabajo de campo*

En esta etapa de la investigación se llevaron a cabo las salidas de campo, primero se analizaron las rutas de acceso para la parroquia, el área de estudio y cada uno de los puntos para detallar el muestreo, destacando que la toma de datos y muestras fueron realizadas in situ donde se encontraron vetas de baritina, posteriormente se recolectaron las muestras para ser analizadas en el laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).

Para la estimación de la dureza del mineral de estudio “Baritina” se tomó como referencia la escala de medición de dureza de “Mohs”.



Ilustración 3-1: Recolección de Muestras.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

3.7.2.1 *Selección de las muestras de estudio*

El muestreo que se realizó fue de tipo sistemático; como primer paso se halla la veta para poder realizar un seguimiento del rumbo y buzamiento, posteriormente analizando la información obtenida se recolectaron las muestras; dando un total de 15 muestras que se llevaron analizar al laboratorio (Ilustración 3-2).



Ilustración 3-2: Muestras de Baritina.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

3.7.2.2 Procedimiento para la recolección de muestras

El muestreo se realizó en el área de estudio, donde se recolectaron en total 15 muestras de mano correspondientes a vetas de Baritina encontradas en diferentes puntos, mismas que fueron colocadas en fundas herméticas. Las muestras fueron tomadas a finales del mes de noviembre del 2022 Para la recolección de las muestras se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

- ✓ Machetes.
- ✓ Fundas herméticas.
- ✓ Sistema de Posicionamiento Global GPS (Komatsu).
- ✓ Brújula.
- ✓ Cámara fotográfica del celular.
- ✓ Martillo (Warning Wear Safety Goggles Martillo Geológico 22oz)
- ✓ Cinta métrica.
- ✓ Saquillos
- ✓ Marcadores.

3.7.2.3 Descripción de las muestras de Baritina

La descripción macroscópica de las muestras consiste 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. Luego de verificar las muestras, se realizaron registros de campo con datos como código de muestra, número de registro, ubicación de la muestra, tipo de muestra, fecha, responsables, fotografía de la muestra, descripción de la muestra con los minerales, el formato de ficha utilizado para el análisis macroscópico es referente de la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Ficha para el análisis macroscópico de rocas.

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE MORONA SANTIAGO 						
FICHA DE MUESTRA						
Número de Ficha		Fecha		Responsable		
Código de muestra		Coordenadas UTM WGS 84 ZONA 17 M	X		Cota	
Tipo de Muestreo			Y			
Ubicación						
Fotografía			Descripción			

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

3.7.3 *Etapa de laboratorio*

En esta etapa se analizaron las muestras recolectadas para determinar principalmente sulfato de bario entre otros elementos; usando el equipo de espectrofotometría de fluorescencia de rayos x en el laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Este equipo analiza y procesa la información de las rocas dando valores cualitativos y cuantitativos.



Ilustración 3-3: Roca cuarcita con mineral de baritina.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

3.7.3.1 Análisis cualitativo: laboratorio (Espectrofotometría de Fluorescencia)

La Espectrofotometría de Fluorescencia de Rayos X o a su vez también conocido como Método de Elementos Pequeños (MLE) en sus siglas en inglés es un ensayo de laboratorio que es usado para analizar la composición de elementos químicos de las muestras analizadas, para llegar a los resultados se debe seguir una serie de pasos para realizar una correcta interpretación de resultados, mismos que van a ser descritos más adelante.

3.7.3.2 Pasos que seguir para análisis de muestras en el equipo FRX

El equipo usado para el análisis mediante este método será de la marca BRUKER (equipo portátil), de la serie S1 TURBO SD, además de ello se utilizó equipo de molienda, una tamizadora y trituradora de la marca Retsch.

a. Trituración de muestras



Ilustración 3-4: Trituradora de mandíbulas Retsch-BB200.

Fuente: Universidad técnica Particular de Loja (UTPL) y Laboratorio de Beneficio de Minerales, 2023.

El proceso de trituración consistió en reducir el tamaño de la roca a fragmentos más pequeños; el equipo acepta muestras de hasta 90mm de ancho y logra una trituración eficaz de hasta 2mm.

b. Molienda



Ilustración 3-5: Molino de discos Vibratorio Retsch-RS200.

Fuente: Universidad técnica Particular de Loja (UTPL) y Laboratorio de Beneficio de Minerales, 2023.

La muestra previamente triturada se pasa a un molino de discos, el mismo que será llenado hasta su capacidad máxima 100ml, la molienda se realiza a 700rpm con una duración de 3:00 minutos para obtener partículas muy finas, este equipo logra resultados de hasta más de $100\mu\text{m}$.



Ilustración 3-6: Molino de discos con la muestra triturada.

Fuente: Universidad técnica Particular de Loja (UTPL) y Laboratorio de Beneficio de Minerales, 2023.

c. Tamizado de muestras



Ilustración 3-7: Tamizador Ro-Tap RX-29-16 de 8" de diámetro.

Fuente: Universidad técnica Particular de Loja (UTPL) y Laboratorio de Beneficio de Minerales, 2023.

Una vez realizado el proceso de pulverización de la muestra, se procedió a tamizar para obtener el tamaño de partícula adecuado para llevar al equipo de FRX, el tamaño de partícula que se busca es de $203\mu\text{m}$.

d. Análisis



Ilustración 3-8: Muestra colocada en la probeta para análisis.

Fuente: Universidad técnica Particular de Loja (UTPL) y Laboratorio de Beneficio de Minerales, 2023.

A partir de la muestra tamizada se extraen 5gr mismos que serán colocados en el equipo de FRX (Fluorescencia de Rayos X); este proceso se realizó para cada muestra con un tiempo de 2 minutos y un máximo de 5 minutos.



Ilustración 3-9: Equipo de análisis FRX.

Fuente: Universidad técnica Particular de Loja (UTPL) y Laboratorio de Beneficio de Minerales, 2023.

Posteriormente el equipo lanza los resultados de la muestra en la pantalla del dispositivo.



Ilustración 3-10: Resultados obtenidos de la muestra.

Fuente: Universidad técnica Particular de Loja (UTPL) y Laboratorio de Beneficio de Minerales, 2023.

3.7.4 Etapa de Gabinete

En esta fase se recopilaron e interpretaron los datos obtenidos a través del trabajo realizado en campo y análisis de laboratorio, los cuales fueron usados para realizar mapas geológicos, mismos que se obtuvieron mediante el software ArcGIS Pro gratuito con una licencia limitada proporcionada por ESRI, donde se usaron las herramientas “Kriging/Cokriging”.

También se utilizó el software DIPS mismo que se utiliza para análisis geológico estructural de los puntos que se tomen anexados a rumbo y buzamiento, el programa permite organizar los puntos, mostrar donde hay una mayor concentración de los datos recolectados y generar planos estereográficos (ilustración 4-8) que en nuestro caso ha servido para representar la dirección de las vetas y la tendencia de la falla encontrada (ilustración 4-9).

3.7.4.1 Ingresar información a DIPS

La forma correcta en la que se ingresa datos en DIPS es únicamente tomando en cuenta el Azimut de buzamiento y buzamiento de todos los datos que se hayan recolectado (ilustración 3-11), una vez hayamos ingresado los datos se generaran los polos estereográficos.

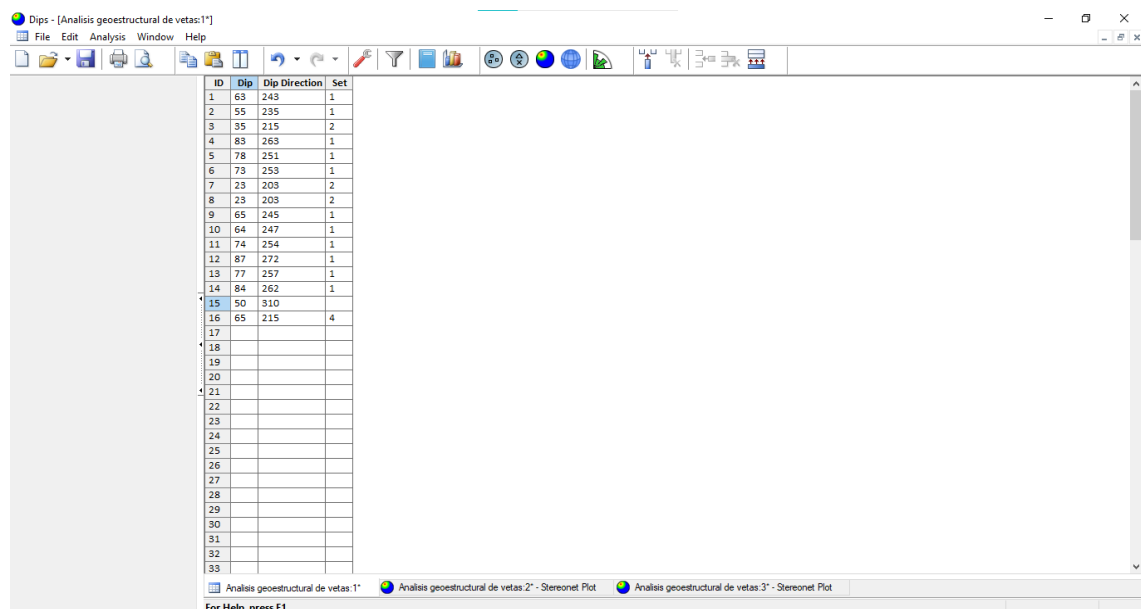


Ilustración 3-11: Ingresar información en el Software DIPS.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Con los polos estereográficos podemos obtener los sets de familias que están conformados por más de dos puntos, con estos sets de familia podemos hallar la concentración que existe en dichos puntos relativamente (ilustración 3-12).

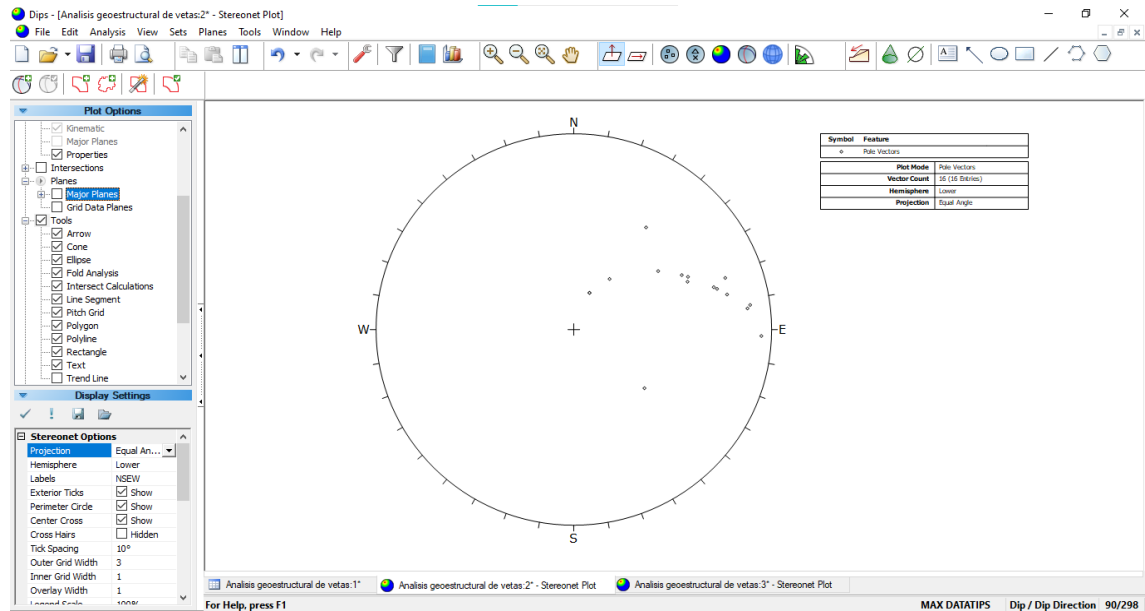



Ilustración 3-12: Datos geológicos representados estereográficamente.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Para hallar la concentración que existe entre puntos únicamente debemos dar clic en la opción de  (Contour Preset), y con esta opción nos aparecerá las concentraciones que existen con referencia a los datos geológicos ingresados, además de ello podemos encontrar el promedio polar de los datos contorneados de un set de familia, para esto solo debemos contornear los sets de familia y automáticamente nos aparece el promedio de los ejes polares del set de familia seleccionado (ilustración 3-13).

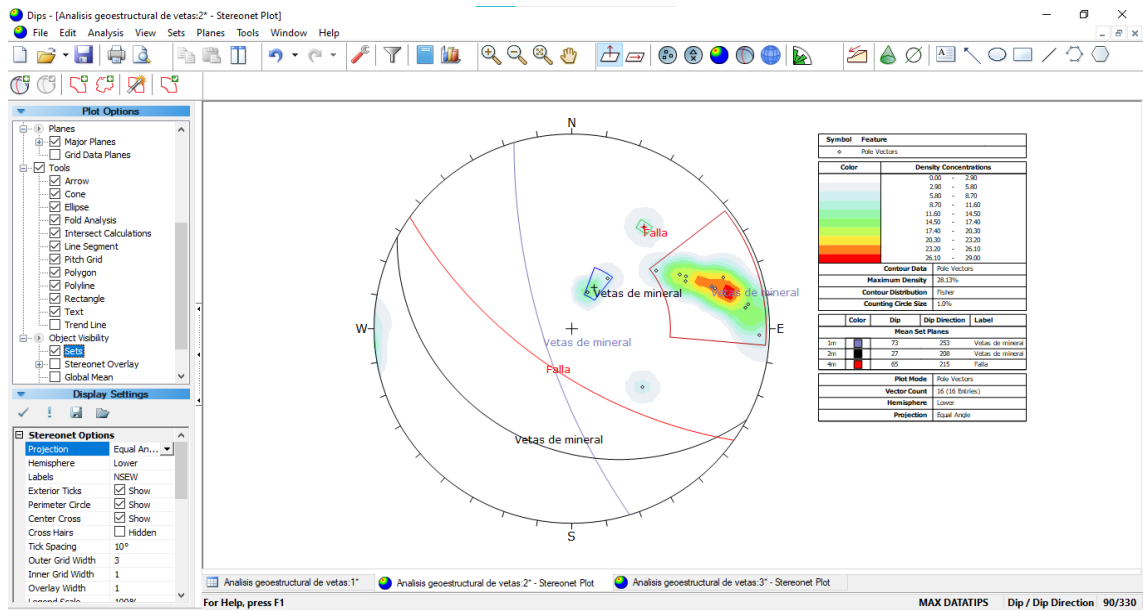



Ilustración 3-13: Puntos polares medios y concentraciones.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Ingresado los datos podemos de igual manera obtener la  Roseta (Rosette Preset), esta herramienta nos permite ubicar nuestros datos geológicos en un plano circular geográfico, con esto obtenemos la dirección de cada uno de nuestros datos.

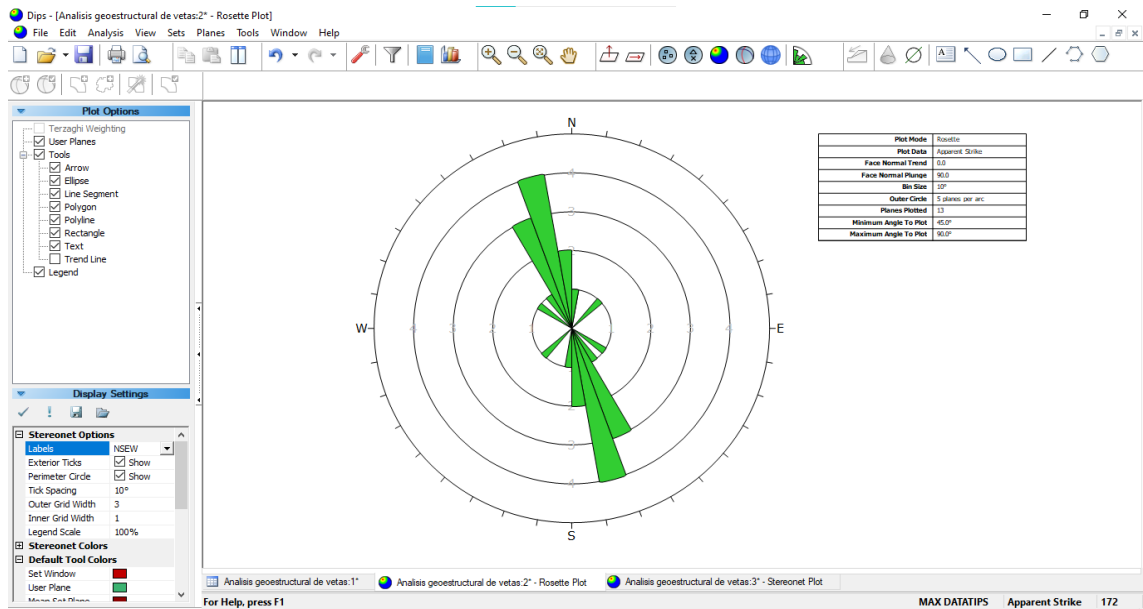


Ilustración 3-14: Puntos polares medios y concentraciones.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Asimismo, referente a la caracterización de las muestras recolectadas, en el ANEXO K se puede apreciar los resultados que fueron entregados por parte del laboratorio perteneciente a la UTPL (Universidad Técnica Particular de Loja) área de procesamiento de minerales.

Así como la distribución de muestras en la zona de estudio que se puede apreciar en la ilustración 4-1.

3.7.4.2 Análisis Geoestadístico

En esta etapa se realizó el análisis geoestadístico que es el procesamiento de los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio, utilizando el software Excel y ArcGIS, en el cual se utilizaron diferentes modelos geoestadísticos con el propósito de obtener un modelo aceptable que permita obtener los pronósticos más precisos según la tasa de error al aplicar métodos de interpolación geoestadística según la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Índice de error en la aplicación geoestadística de interpolación.

Error	Objetivo	Descripción
Error Medio (Mean)	Próximo a 0	Diferencia promedio de los valores medidos y los predichos.
Error Medio Cuadrático (Root-Mean-Square)	Mínimo posible	Indica hasta qué punto el modelo predice los valores medidos.
Error Medio Estandarizado (Mean Standardized)	Próximo a 0	
Error Medio Cuadrático Estandarizado (Root-Mean-Square Standardized, RMSS)	Próximo a 1	Evaluación de la variabilidad en la predicción: - Subestimación de la variabilidad de las predicciones cuando $RMSS > 1$ (Error Medio Estándar < Error Medio Cuadrático) - Sobreestimación de la variabilidad de las predicciones cuando $RMSS < 1$ (Error Medio Estándar > Error Medio Cuadrático)
Error Medio Estándar (Average Standard Error)	Lo más próximo al Error Medio Cuadrático	Promedio de los errores estándar de predicción.

Fuente: GEASIG, 2015.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

3.7.4.3 Preparación de la Información

Se efectuó el debido procesamiento de datos obtenidos de análisis de laboratorio y datos recopilados en el campo (Ilustración 3-15). Especialmente, se estimó el porcentaje promedio de la concentración de Baritina (BaSO_4) mediante estequiometría, a partir de los porcentajes obtenidos del Bario (Ba) y Azufre (S). Luego, los datos se importaron al software ArcGIS proyectándolos en la zona de coordenadas 17S UTM-WGS84.

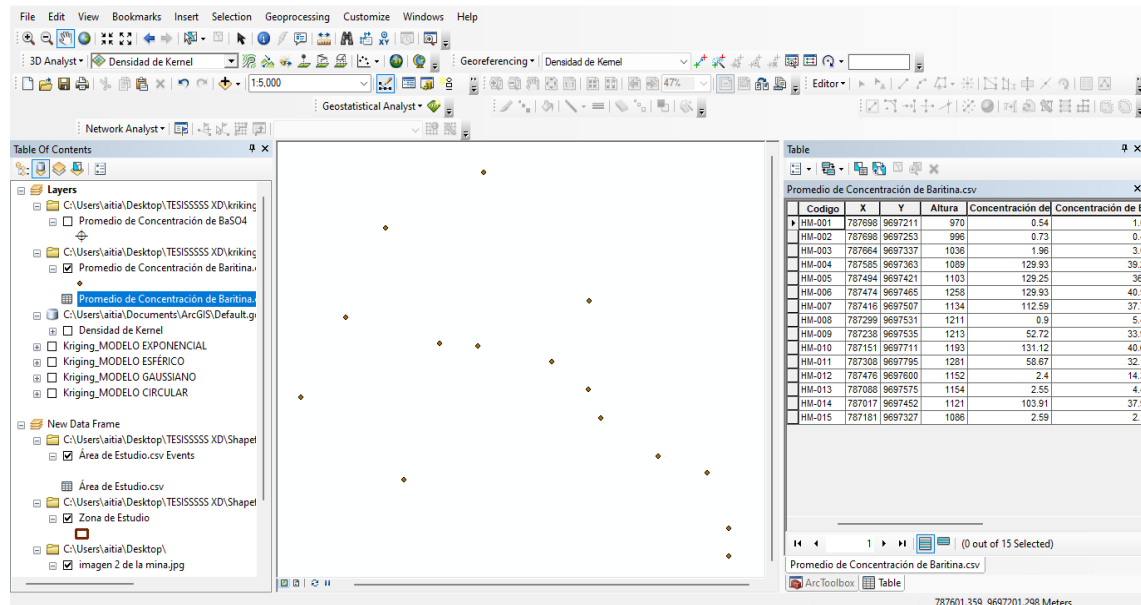


Ilustración 3-15: Procesamiento de la información en el Software ArcGIS.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

3.7.4.4 Mapas de Predicción

Este proceso se desarrolló con el objetivo de evaluar cualitativa y cuantitativamente los datos de cada modelo predictivo y luego seleccionar el modelo que mejor se ajuste a los datos, dando como resultado valores con el menor error. Para ello utilizamos los siguientes métodos:

Métodos geoestadísticos

En el primer paso seleccionamos la base de datos creada con los valores obtenidos en campo y laboratorio y a su vez el campo de datos a analizar en el archivo. Cabe destacar que para esta estimación se colocaron los valores del promedio de concentración de Baritina obtenidos debido a que se necesita tener el menor error posible en los cálculos (ilustración 3-16).

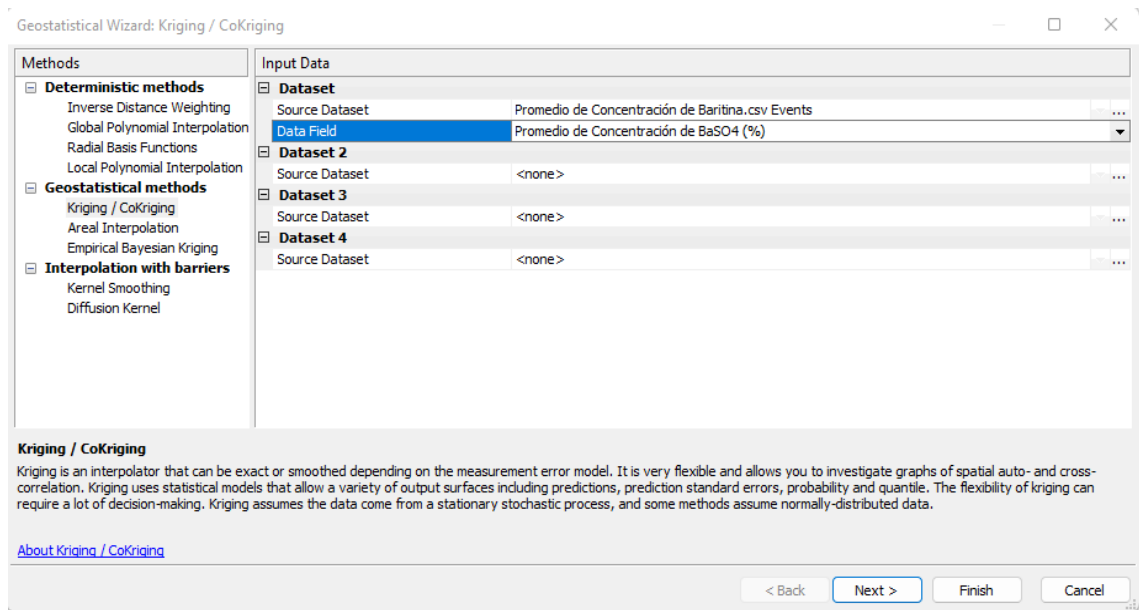


Ilustración 3-16: Primer paso para la estimación del Kriging.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Para el segundo paso de seis, se requiere establecer el tipo de transformación, en este caso logarítmica debido a que se necesita tener el menor error posible en los cálculos, y a su vez el orden de tendencia el cual se estableció en el análisis de tendencia (ilustración 3-17).

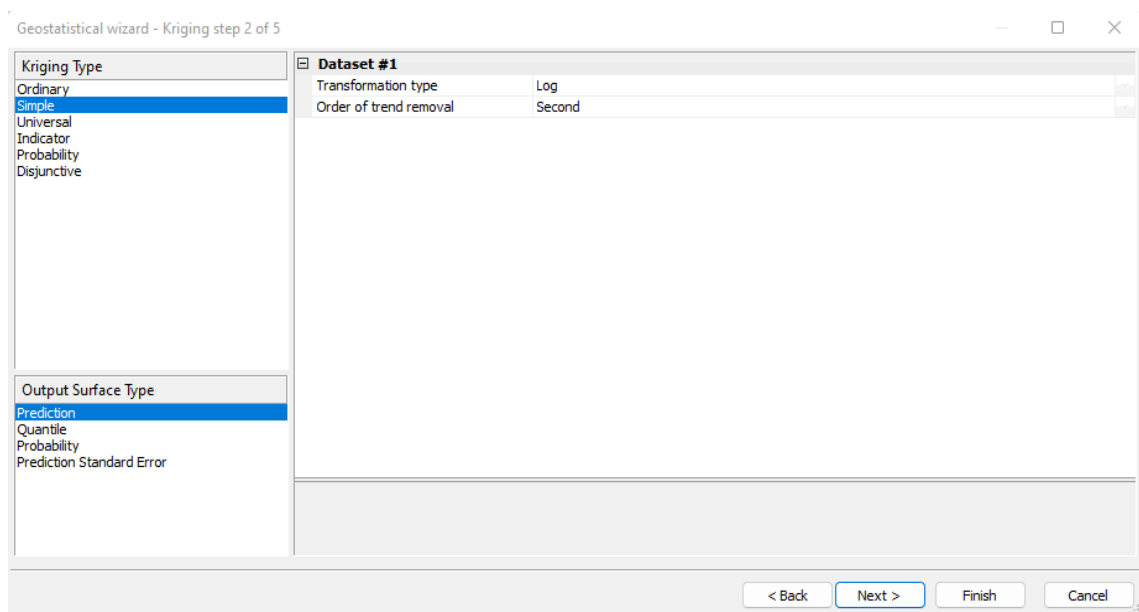


Ilustración 3-17: Segundo paso para la estimación del Kriging.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

El tercer paso, nos muestra un poco ya la estimación de nuestros puntos, es solo una vista de aquello (ilustración 3-18).

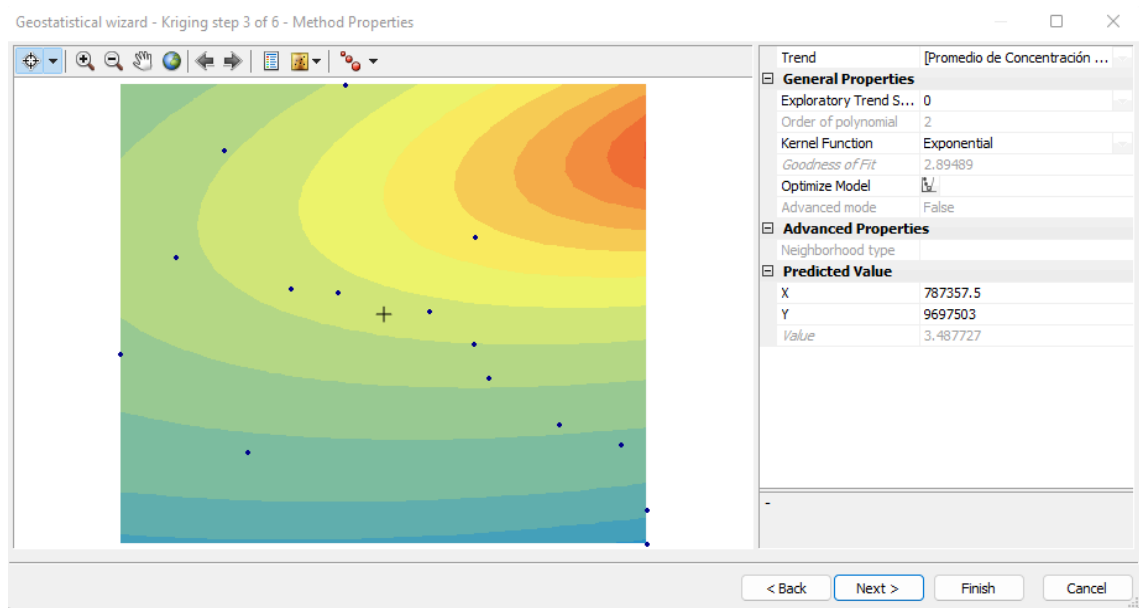


Ilustración 3-18: Tercer paso de la estimación del Kriging.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Cabe recalcar que el ArcGIS en el análisis del Kriging cuenta con un optimizador el cual automáticamente ajusta de manera mecánica cada uno de los parámetros, sin embargo, es recomendable ir cambiando manualmente cada una de las opciones en cada parámetro para generar los diferentes modelos.

En el cuarto paso, se espera que los datos se ajusten al semivariograma, es decir, que los valores cercanos tengan varianzas pequeñas y no varíen tanto, pero conforme se aleje llegue a un punto donde los datos se estabilicen y sus varianzas se queden constante. También se puede cambiar parámetros de acuerdo con el análisis que hemos ido realizando, en este paso también se establece el modelo con el que se desea ajustar la predicción Kriging (ilustración 3-19).

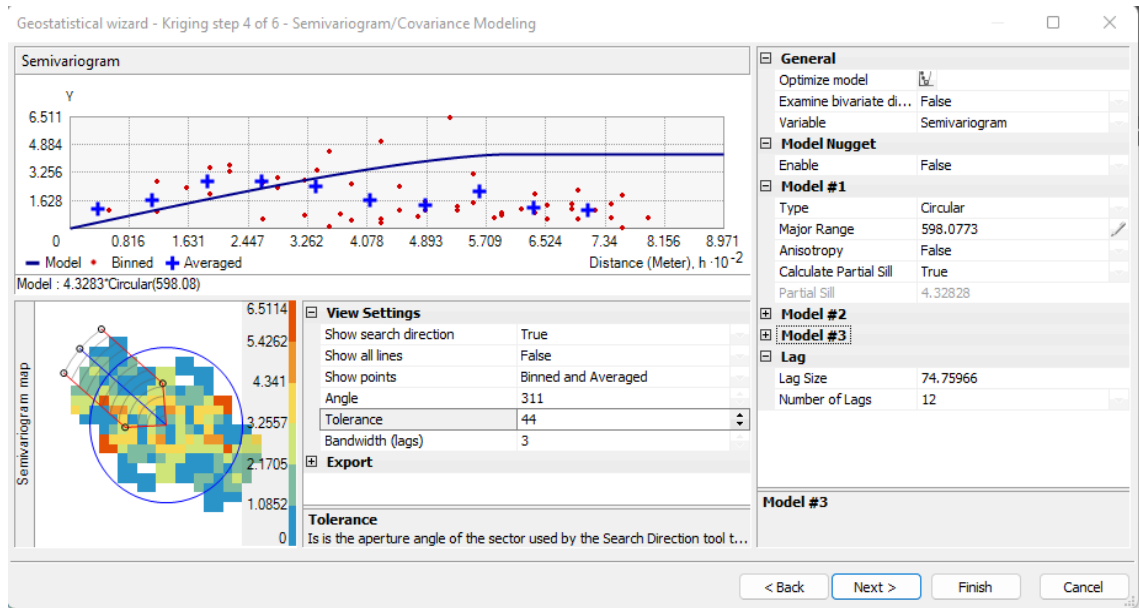


Ilustración 3-19: Cuarto paso de la estimación del Kriging.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

El paso cinco de seis nos muestra una aproximación de la estimación que se generará, pero podemos seguir observando que se habilitan diversos parámetros como la dirección de búsqueda y ángulo respecto al modelo que se va a generar, para seguir adaptándolos a nuestros análisis (ilustración 3-20).

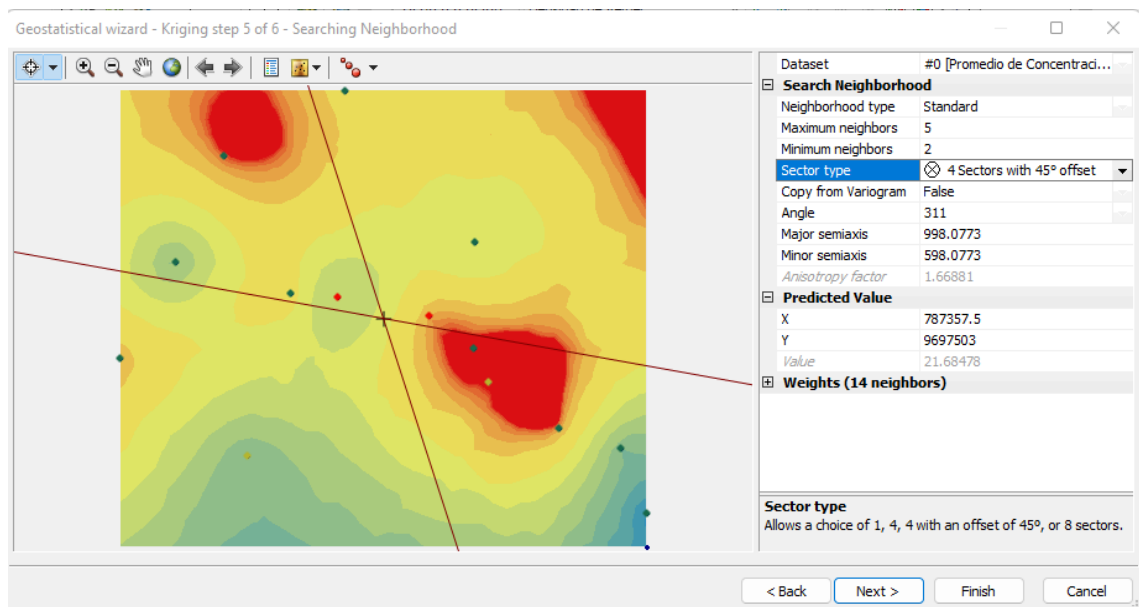


Ilustración 3-20: Quinto paso de la estimación del Kriging.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Por último, el sexto paso nos muestra una predicción de los errores que se estableció de aquel modelo, lo cual se analizará de manera cuantitativa con el índice de error obtenido en la aplicación

de métodos geostatísticos de interpolación. Por otro lado, también se evaluará de manera cualitativa para poder establecer el modelo más conveniente a nuestro análisis (ilustración 3-21; 22; 23; 24).

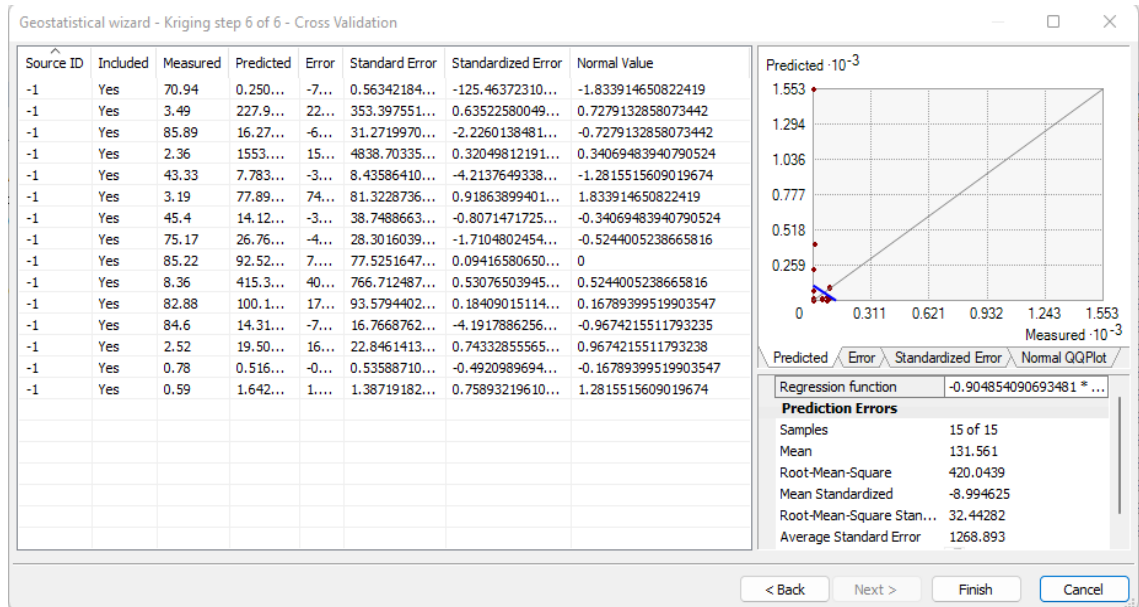


Ilustración 3-21: Sexto paso de la estimación del Kriging del Modelo Circular.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

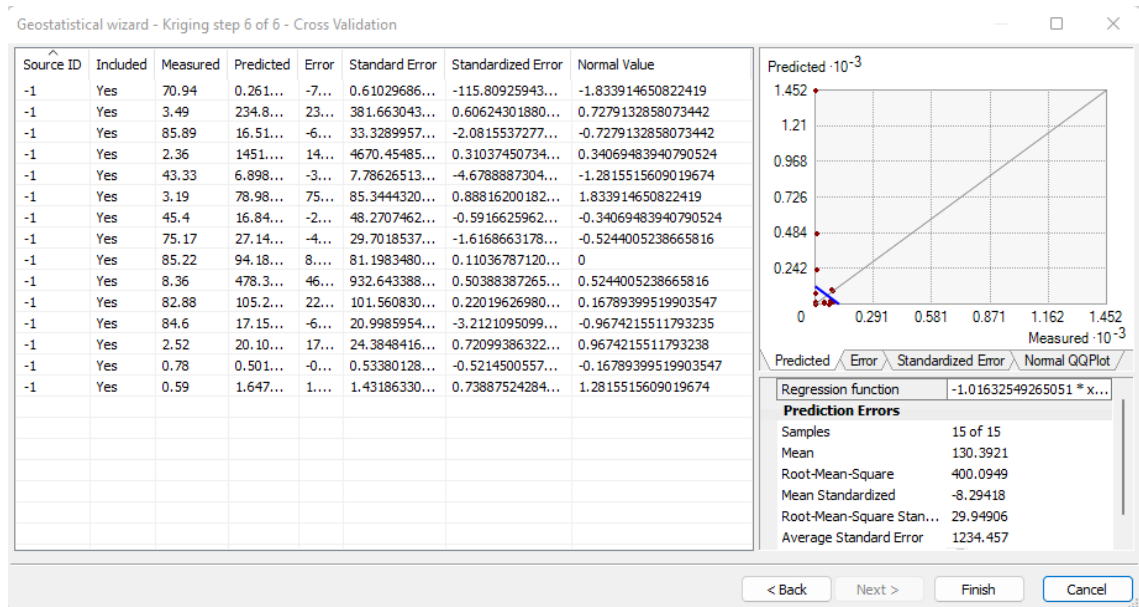


Ilustración 3-22: Sexto paso de la estimación del Kriging del Modelo Esférico.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

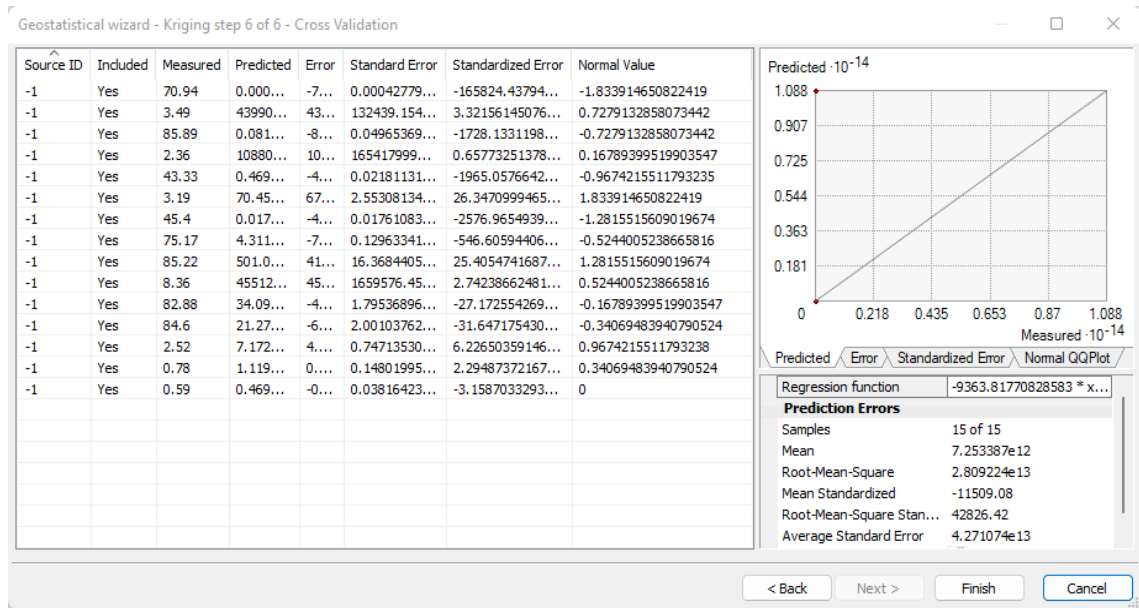


Ilustración 3-23: Sexto paso de la estimación del Kriging del Modelo Gaussiano.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

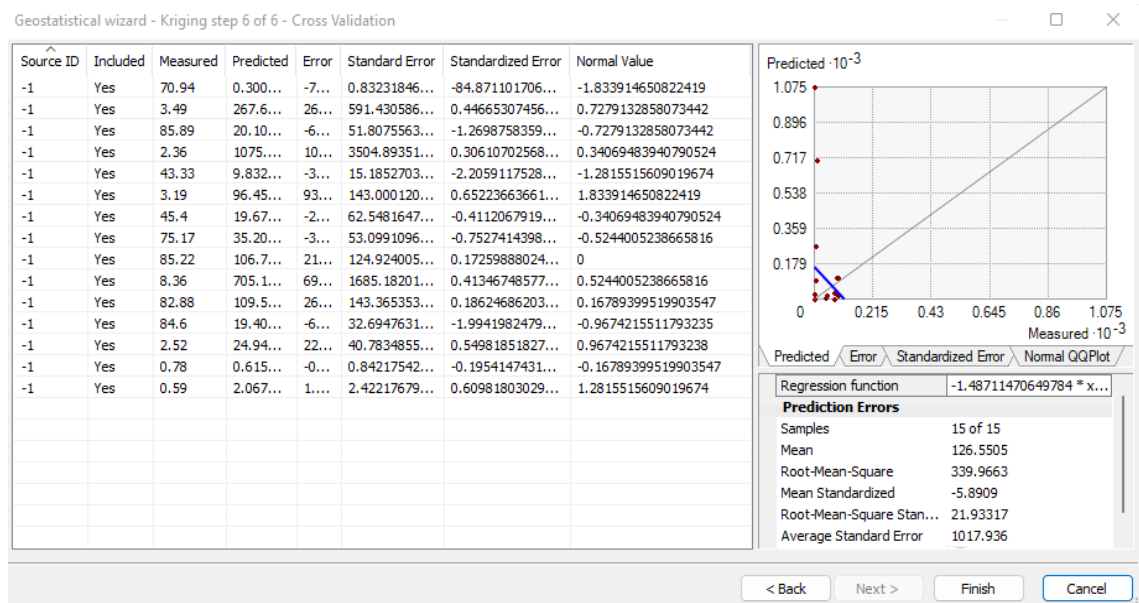


Ilustración 3-24: Sexto paso de la estimación del Kriging del Modelo Exponencial.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

3.7.4.5 Modelo Geoestadístico Teórico

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

en la tabla 4-21 con la tabla de índices de error obtenidos en la aplicación de métodos geoestadísticos de interpolación de la tabla 3-2.

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

MODELO	Mean	RMS	MS	RMSS	ASE
Circular	131.561	420.0439	-8.994625	32.4482	1268.893
Esférico	130.3921	400.0949	-8.29418	29.94906	1234.457
Gaussiano	7.253387e12	2.80922e13	-11509.08	42826.42	4.27107e13
Exponencial	126.5505	339.9663	-5.8909	21.93317	1017.936

Fuente: (ARCMAP, 2016).

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Después de haber analizado los distintos modelos de la estimación de kriging se observa que el modelo Exponencial es el más favorable cuantitativamente para la predicción de concentraciones de la Baritina ($BaSO_4$).

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Mapa de Distribución de Muestras

Se realizó la recolección de muestras a lo largo de nuestra zona de estudio, dando como resultado 15 muestras recolectadas, distribuidas en la zona de estudio como lo muestra el mapa de la ilustración 4-1.

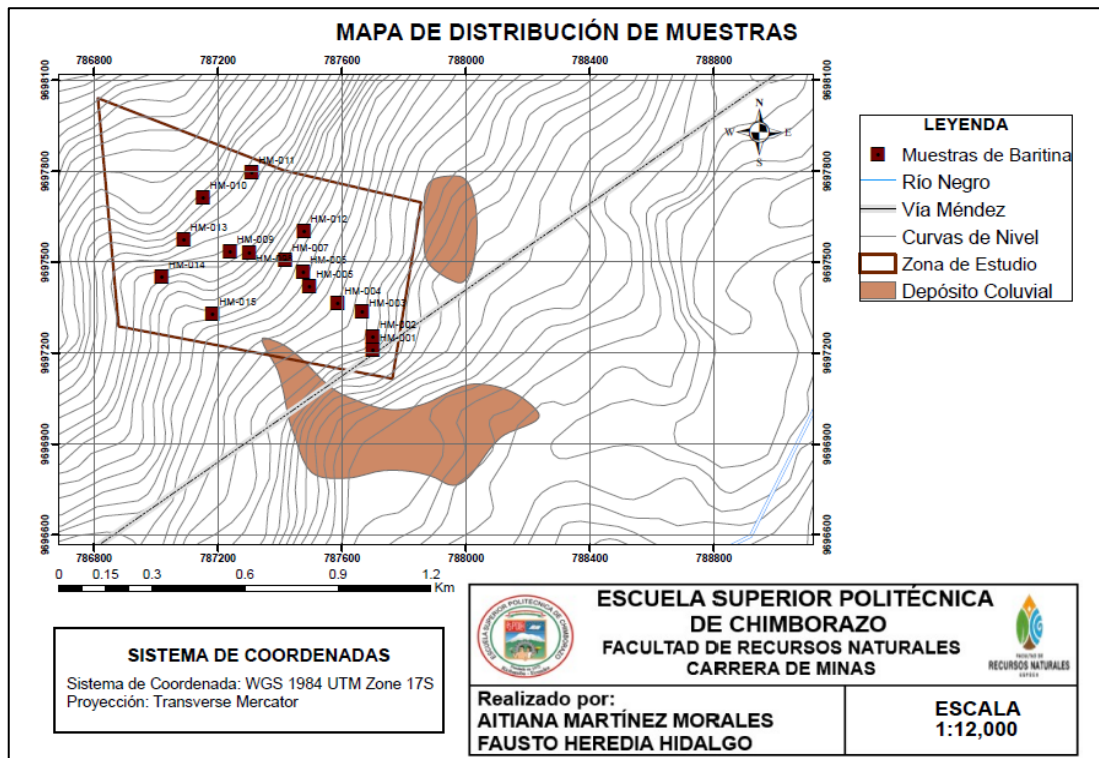


Ilustración 4-1: Mapa de Distribución de las Muestras.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.2 Mapa Geológico-Estructural

4.2.1 Descripción de afloramientos para el mapa Geológico-Estructural

Para la realización del mapa Geológico-estructural obtuvimos los siguientes datos tomados y calculados con la brújula y el GPS, donde se redactó a través de fichas lo observado en campo, las cuales se pueden observar en el Anexo J.

Tabla 4-1: Ubicación de afloramientos.

Muestras	Código	X	Y	Altura	Dimensiones	Tipo de afloramiento	Descripción
1	HM-001	787698	9697211	970	Longitud: 6 m Altura: 4m	Artificial	-Veta de baritina. -Se visualizo esquistos verdosos. -Presencia de oxidación.
2	HM-002	787698	9697253	996	Longitud: 10 m Altura: 6m	Artificial	-Veta de baritina. -Depósito coluvial parte del afloramiento.
3	HM-003	787664	9697337	1036	Longitud: 200 m Altura: 8m	Natural	-Falla inversa los datos de Rumbo N55O° con Buzamiento 65°SO. -Veta de baritina -Se visualizo esquistos verdosos. -Oxidación existente.
4	HM-004	787585	9697363	1089	Longitud: 15 m Altura: 8m	Natural	-Veta de baritina.
5	HM-005	787494	9697421	1103	Longitud:10 m Altura: 7m	Natural	-Contacto de roca ígnea y roca metamórfica. -Veta de baritina. -Presencia de oxidación.
6	HM-006	787474	9697465	1258	Longitud:10 m Altura: 25m	Natural	-Presencia de litología ígnea. -Veta de baritina
7	HM-007	787416	9697507	1134	Longitud:15 m Altura: 9m	Natural	-Identificación de un depósito coluvial. -Presencia rocas metamórficas e ígneas. -Veta de baritina. -Leve grado de oxidación se observó.
8	HM-008	787299	9697531	1211	Longitud:15 m Altura: 20m	Natural	-Visualización de roca cuarcita. -Veta de baritina.
9	HM-009	787238	9697535	1213	Longitud:15 m Altura: 30m	Artificial	-Ubicación de la boca mina para actividad minera subterránea. -Presencia de depósito coluvial. -Contacto de litologías metamórfica-ígnea.

							-Veta de baritina,
10	HM-010	787151	9697711	1193	Longitud:25 m Altura: 15m	Artificial	-Veta de baritina. -Pequeño deposito coluvial.
11	HM-011	787308	9697795	1281	Longitud:20 m Altura: 9m	Natural	-Se visualiza litología metamórfica. Y de igual manera litología ígnea. -Veta de Baritina.
12	HM-012	787476	9697600	1152	Longitud:15 m Altura: 10m	Artificial	-Se presencia meteorización biológica, de grado II (Levemente meteorizada). -Presenta litología metamórfica. -Veta de baritina.
13	HM-013	787088	9697575	1154	Longitud:20 m Altura: 15m	Artificial	-Bloques meteorizados. -Existe oxidación en la zona, y se lo visualiza en los arroyos que bajan por la mina, la presencia de aguas negras y rocas con oxidación (colores rojizos y cafés oscuros). -Veta de baritina
14	HM-014	787017	9697452	1121	Longitud:30 m Altura: 20m	Natural	-Presente litología ígnea. -Meteorización presente. -Veta de baritina.
15	HM-015	787181	9697327	1086	Longitud:30 m Altura: 50m	Natural	-Se presenta un depósito coluvial. -Veta de baritina.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.2.2 Descripción de las muestras de Baritina




Las muestras se recolectaron a través de un muestreo aleatorio con un total de 15; cada una de las muestras presentan características propias que se refieren a la baritina, el mineral objeto de estudio; es importante indicar que de acuerdo con los resultados obtenidos a través de la técnica de fluorescencia de rayos x revelan la presencia de muestras con contenido alto y bajo de baritina. Además, algunas de estas muestras se encuentran asociadas con otros elementos, lo cual provoca que el equipo detecte valores extremadamente bajos o incluso que las muestras no sean exclusivamente de baritina, el laboratorio indica que el equipo no detecta los elementos de óxido de sodio y carbono.

Tabla 4-2: Ubicación de las muestras para la realización de las fichas.

Muestras	Código	X	Y	Altura
4	HM-004	787585	9697363	1089
5	HM-005	787494	9697421	1103
6	HM-006	787474	9697465	1258
7	HM-007	787416	9697507	1134
10	HM-010	787151	9697711	1193
14	HM-014	787017	9697452	1121




Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Tabla 4-3: Ficha de muestra 1.

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO 						
SEDE MORONA SANTIAGO						
FICHA DE MUESTRA						
Número de Ficha	01	Fecha	25/11/2022	Responsable	Heredia Fausto; Martínez Aitiana	
Código de muestra	HM-004	Coordenadas UTM WGS 84 ZONA 17 M	X	787585	Cota	1089 m
Tipo de Muestreo	Muestreo aleatorio estratificado		Y	9697363		
Ubicación	Mina “el paraíso”, perteneciente a la parroquia copal, cantón Santiago de Méndez – provincia de Morona Santiago.					
Fotografía			Descripción			
			<p>Color: Blanco, Gris</p> <p>Brillo: Vitreo</p> <p>Raya: blanca</p> <p>Dureza: 4 a 4,5</p> <p>Habito: Masivo</p> <p>Otras características:</p> <p>La muestra corresponde al mineral de estudio baritina.</p>			

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Tabla 4-4: Ficha de muestra 2.

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE MORONA SANTIAGO					
FICHA DE MUESTRA					
Número de Ficha	02	Fecha	29/11/2022	Responsable	Heredia Fausto; Martínez Aitiana
Código de muestra	HM-005	Coordenadas UTM WGS 84 ZONA 17 M	X	787494	Cota 1103m
Tipo de Muestreo	Muestreo aleatorio estratificado		Y	9697421	
Ubicación	Mina “el paraíso”, perteneciente a la parroquia copal, cantón Santiago de Méndez – provincia de Morona Santiago.				
Fotografía			Descripción		
			<p>Color: Blanco, Gris</p> <p>Brillo: Vitreo</p> <p>Raya: Plomo a gris</p> <p>Dureza: 4 a 4,5</p> <p>Habito: Masivo</p> <p>Otras características:</p> <p>La muestra fue hallada en una zona con meteorización, se pudo observar el alto contenido del mineral de interés baritina y presenta pocas impurezas, ya que la muestra hallada se encontró entre rocas cuarcitas.</p>		




Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Tabla 4-5: Ficha de muestra 3.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE MORONA SANTIAGO </div>  </div>						
FICHA DE MUESTRA						
Número de Ficha	03	Fecha	29/11/2022	Responsable	Heredia Fausto; Martínez Aitiana	
Código de muestra	HM-006	Coordenadas UTM WGS 84mZONA 17 M	X	787474	Cota	1258 m
Tipo de Muestreo	Muestreo aleatorio estratificado		Y	9697465		
Ubicación	Mina “el paraíso”, perteneciente a la parroquia copal, cantón Santiago de Méndez – provincia de Morona Santiago.					
Fotografía			Descripción			
			<p>Color: Gris, Blanco</p> <p>Brillo: sedoso</p> <p>Raya: Plomo a Gris</p> <p>Dureza: 4 a 4,5</p> <p>Habito: Granular</p> <p>Otras características:</p> <p>La muestra fue tomada en una zona que la que se observó meteorización alta y baja en partes específicas y con una gran cantidad de material suelto, la muestra tiene el mineral de interés baritina en forma de lentes.</p> <p>La muestra tiene bajo contenido de cuarzo.</p>			




Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Tabla 4-6: Ficha de muestra 4.

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE MORONA SANTIAGO					
FICHA DE MUESTRA					
Número de Ficha	04	Fecha	25/11/2022	Responsable	Heredia Fausto; Martínez Aitiana
Código de muestra	HM-007	Coordenadas UTM WGS 84 ZONA 17 M	X	787416	Cota 1134 m
Tipo de Muestreo	Muestreo aleatorio estratificado		Y	9697507	
Ubicación	Mina “el paraíso”, perteneciente a la parroquia copal, cantón Santiago de Méndez – provincia de Morona Santiago.				
Fotografía			Descripción		
			<p>Color: Blanco, Gris, Rojo y Amarillo</p> <p>Brillo: Vitreo</p> <p>Raya: blanca</p> <p>Dureza: 4 a 4,5</p> <p>Habito: Masivo</p> <p>Otras características:</p> <p>La muestra hallada es una baritina. A su vez se puede ver detalles rojizos con amarillo en la muestra la cual puede ser debido a la existencia de óxidos formados por una meteorización que se pudo dar en la zona.</p>		




Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Tabla 4-7: Ficha de muestra 5.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE MORONA SANTIAGO </div>  </div>						
FICHA DE MUESTRA						
Número de Ficha	05	Fecha	30/11/2022	Responsable	Heredia Fausto; Martínez Aitiana	
Código de muestra	HM-010	Coordenadas UTM WGS 84 ZONA 17 M	X	787151	Cota	1193 m
Tipo de Muestreo	Muestreo aleatorio estratificado		Y	9697711		
Ubicación	Mina “el paraíso”, perteneciente a la parroquia copal, cantón Santiago de Méndez – provincia de Morona Santiago.					
Fotografía			Descripción			
			<p>Color: Blanco, Gris</p> <p>Brillo: Vitreo</p> <p>Raya: Blanca</p> <p>Dureza: 4 a 1,5</p> <p>Habito: Masivo</p> <p>Otras características:</p> <p>La roca hallada tiene un alto contenido de baritina y presenta impurezas.</p>			

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Tabla 4-8: Ficha de muestra 6.

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO SEDE MORONA SANTIAGO						
FICHA DE MUESTRA						
Número de Ficha	06	Fecha	29/11/2022	Responsable	Heredia Fausto; Martínez Aitiana	
Código de muestra	HM-014	Coordenadas UTM WGS 84 ZONA 17 M	X	787017	Cota	1211m
Tipo de Muestreo	Muestreo aleatorio estratificado		Y	9697452		
Ubicación	Mina “el paraíso”, perteneciente a la parroquia copal, cantón Santiago de Méndez – provincia de Morona Santiago.					
Fotografía			Descripción			
			<p>Color: Blanco, Gris, Marrón, Amarillenta, Tonalidades negras.</p> <p>Brillo: Vitreo</p> <p>Raya: Plomo a gris</p> <p>Dureza: 4 a 4,5</p> <p>Habito: Masivo</p> <p>Otras características:</p> <p>La muestra de baritina fue hallada en una superficie meteorizada.</p> <p>En partes de la roca se presenta un color oscuro y muy amarillento que nos indica una oxidación.</p>			

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.2.3 Mapa Geológico-Estructural de la Zona

4.2.3.1 Zona de Estudio

La zona Copal se encuentra en un área de transición entre la Cordillera de los Andes y la cuenca amazónica. Esto da lugar a una mezcla de rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas en su composición geológica. En las partes altas de la parroquia, es posible encontrar depósitos de rocas sedimentarias como areniscas y conglomerados, que evidencian antiguos procesos de sedimentación.

Es importante destacar que la región está atravesada por una importante red de ríos, como el río Copal, que han jugado un papel fundamental en la configuración geológica de la parroquia. La erosión fluvial ha modelado el paisaje a lo largo de millones de años, creando valles profundos y terrazas aluviales; la presencia de volcanes en la región ha dejado su huella en Copal. Existen vestigios de antiguas erupciones volcánicas, que se manifiestan en la presencia de rocas volcánicas como la andesita y la riolita.

En resumen, la parroquia de Copal en el cantón Morona Santiago presenta una geología diversa y fascinante, resultado de la combinación de procesos geológicos como sedimentación, actividad volcánica y erosión fluvial, el área de estudio podría incluir metamorfismo regional asociado con la formación de las montañas de los Andes, así como también metamorfismo de contacto o metamorfismo hidrotermal relacionado con la actividad volcánica y la presencia de fluidos calientes. Su ubicación privilegiada en la región amazónica la convierte en un lugar de gran interés geológico.

Obtenidos los datos estructurales y descripciones de afloramientos se identificaron los siguientes grupos litológicos (Ilustración 4-2):

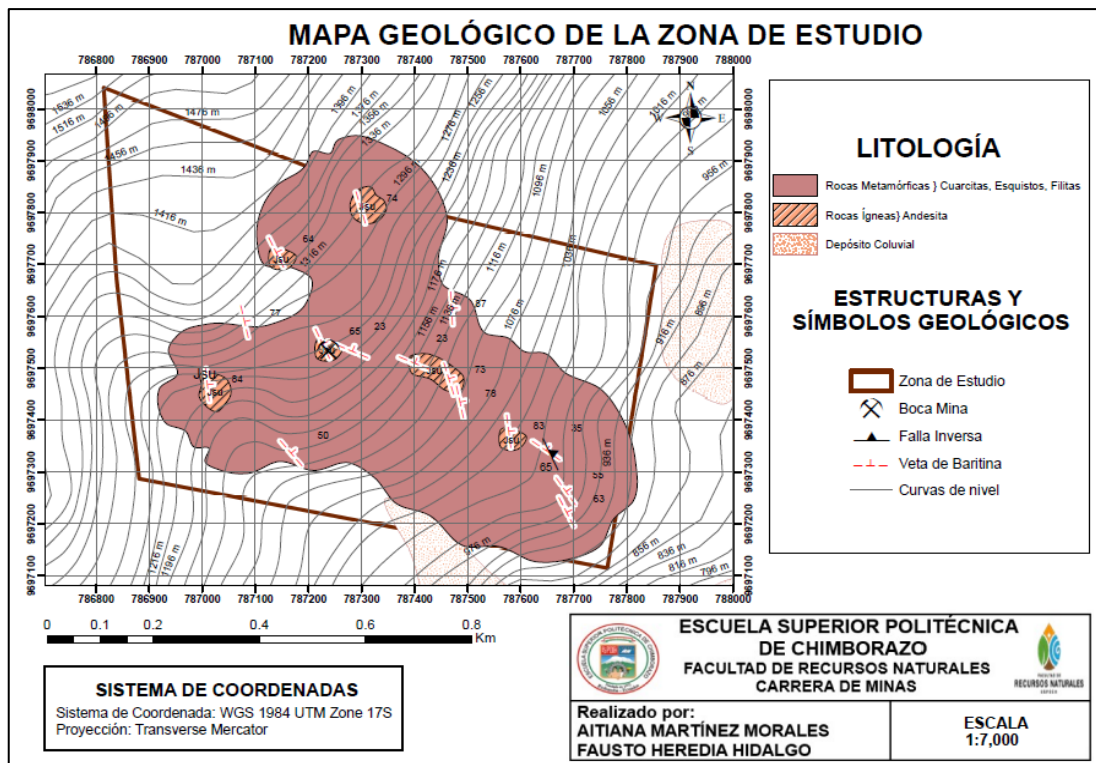


Ilustración 4-2: Mapa de la Geología de la Zona de Estudio.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.2.4 Litología de la zona de estudio

4.2.4.1 Rocas andesitas

Las andesitas de Copal presentan una textura porfídica, lo que significa que contienen cristales grandes y visibles llamados fenocristales dispersos en una matriz fina. Estos fenocristales suelen ser de plagioclasa, biotita y piroxeno.

En cuanto a su color, las andesitas de Copal pueden variar desde tonos grisáceos hasta verdosos, dependiendo de la cantidad de minerales oscuros presentes en la roca. También pueden exhibir variaciones de coloración debido a la oxidación de los minerales de hierro presentes.

En términos de composición mineralógica, las andesitas de Copal están compuestas principalmente por plagioclasa, un feldespato de color claro, junto con minerales oscuros como biotita y piroxeno. También contiene pequeñas cantidades de minerales accesorios como cuarzo, hornblenda y apatita.

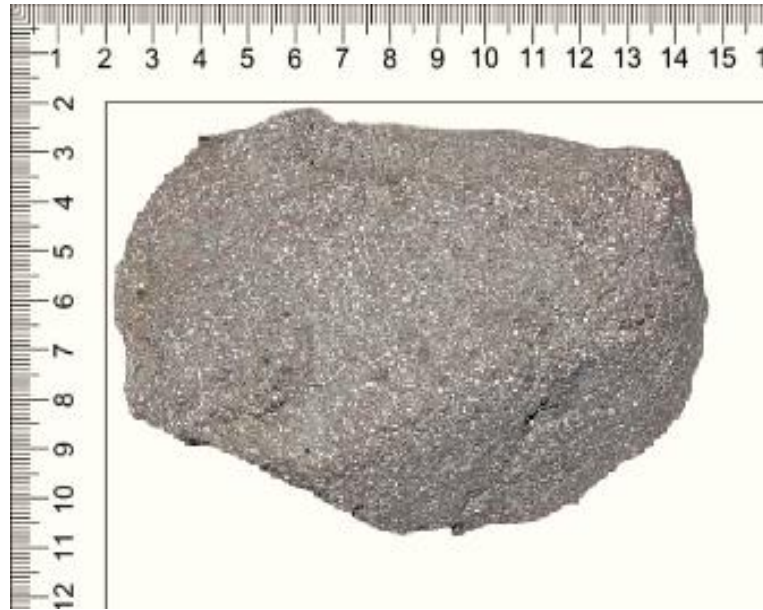


Ilustración 4-3: Roca andesita.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

En el afloramiento 14 del (Anexo I) se encontró este tipo de roca ígnea volcánica, con contenido de cristales de mineral de cuarzo, tiene una textura cristalina fanerítica, el grado de meteorización es intermedio, se encuentra dentro de la zona de estudio, lo que indica que las rocas de tipo ígneo que se encuentran en la zona son aquellas que están en estado de meteorización debido a los factores ambientales, de erosión, actividad agrícola y ganadera, algunos bloques de este tipo de roca se los encontró en tamaños entre 2 a 3 metros, con fracturas de 20cm.

4.2.4.2 Rocas metamórficas

Las muestras encontradas dentro de la zona de estudio se las puede observar en la (Tabla 4-9), algunos de los bloques observados se encuentran meteorizados y fracturados, la exposición más amplia se encuentra a una altitud de 1036 msnm, mismo que pertenece al afloramiento 3 del (Anexo I).

Algunas rocas de este tipo que se encontraron dentro de la zona de estudio son las que se describen a continuación:

a) *Cuarcitas*

Se hallaron cuarcitas (Ilustración 4-4) que contenían alto grado de oxidación por las fuertes lluvias que se presentan en la zona, este tipo de roca se encuentra en la zona baja de la montaña con

presencia de micas, y en la zona alta se encuentran con un grado de oxidación elevado, algunos ejemplares eran de color negruzco debido a la presencia de grafito.



Ilustración 4-4: Cuarcita.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

b) Esquistos

La muestra de roca esquisto de la parroquia Copal, tomada en la mina “El Paraíso”, es un ejemplar metamórfico que presenta una textura laminada y compacta. A simple vista, se observan bandas con tonalidades que van desde el gris oscuro hasta el negro, y bandas más claras, que pueden variar entre grises claros (Ilustración 4-6) o verdosos (Ilustración 4-5). Al tacto, la roca esquisto se siente suave debido a la presencia de minerales planares como la mica y la clorita, que se disponen formando láminas distintivas. Estas láminas son delgadas y se separan fácilmente, lo que le da a la roca una apariencia hojosa.

Desde el punto de vista geológico, la presencia de esquistos en Copal sugiere que esta área ha experimentado un proceso de metamorfismo.

La mayoría de los esquistos muestran una estructura laminar bien desarrollada.

En términos de usos y aplicaciones de acuerdo con (Maldonado 2021), los esquistos pueden ser utilizados como rocas ornamentales debido a su textura laminar y su variedad de colores. Además,

los esquistos también pueden ser utilizados en construcción para revestimientos de paredes, pisos e incluso como piedras de chimenea debido a su resistencia y durabilidad.



Ilustración 4-5: Esquisto verde.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.



Ilustración 4-6: Esquisto rojo.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

c) *Filita*

La filita (Ilustración 5-7) de Copal se caracteriza por su color oscuro, que varía del gris al negro. Presenta una textura foliada.

Este tipo de roca presenta una variación de colores desde gris hasta negro, con una textura foliada y un brillo sedoso; su composición mineralógica predominante es el cuarzo.



Ilustración 4-7: Filita.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.2.4.3 *Coluviales Copal*

En el caso específico de los coluviales de Copal, se trata de una zona con relieves abruptos y escarpados, lo que favorece la generación de grandes cantidades de sedimentos. La presencia de lluvias intensas y la presión ejercida por la gravedad contribuyen a la movilización y acumulación de estos materiales en las áreas bajas.

Los coluviales son generalmente compuestos por fragmentos de roca de diferentes tamaños, desde pequeñas partículas hasta bloques más grandes. El tipo de roca presente en esta zona puede variar, pero comúnmente se encuentran rocas sedimentarias y volcánicas debido a la ubicación geográfica de Copal.

4.2.4.4 Falla geológica

Fue localizada en el afloramiento 3 se puede apreciar en el (Anexo J), se observó una abertura de 0.5cm, se trata de una falla inversa que afecta a la roca de tipo metamórfico a 1036 msnm, con una inclinación hacia el sureste, la falla tiene un Rumbo de N55°O con buzamiento 65°SO.

4.2.4.5 Vetas de Baritina

Se presenciaron las vetas en los afloramientos descritos en el (Anexo J), los datos de ubicación de las vetas se pueden observar en la (Tabla 4-10), el mineral secundario que se presentó en las vetas identificadas es el cuarzo y puntualmente grafito, además las vetas se encuentran emplazadas en esquistos y cuarcitas-

Tabla 4-9: Datos de ubicación de las muestras tomadas en la zona de estudio.

Muestras	Código	X	Y	Altura
1	HM-001	787698	9697211	970
2	HM-002	787698	9697253	996
3	HM-003	787664	9697337	1036
4	HM-004	787585	9697363	1089
5	HM-005	787494	9697421	1103
6	HM-006	787474	9697465	1258
7	HM-007	787416	9697507	1134
8	HM-008	787299	9697531	1211
9	HM-009	787238	9697535	1213
10	HM-010	787151	9697711	1193
11	HM-011	787308	9697795	1281
12	HM-012	787476	9697600	1152
13	HM-013	787088	9697575	1154
14	HM-014	787017	9697452	1121
15	HM-015	787181	9697327	1086

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Tabla 4-10: Datos estructurales de la zona de Estudio.

Muestras	Código	X	Y	Altura	Azimut de Buzamiento	Buzamiento	Estructuras
1	HM-001	787698	9697211	970	243°	63°	Veta de Baritina
2	HM-002	787698	9697253	996	235°	55°	Veta de Baritina
3	HM-003	787664	9697337	1036	215°	35°	Veta de Baritina Falla: 215°/65° Rumbo: N55°O Buzamiento: 65°SO
4	HM-004	787585	9697363	1089	263°	83°	Veta de Baritina

5	HM-005	787494	9697421	1103	251°	78°	Veta de Baritina
6	HM-006	787474	9697465	1258	253°	73°	Veta de Baritina
7	HM-007	787416	9697507	1134	203°	23°	Veta de Baritina
8	HM-008	787299	9697531	1211	203°	23°	Veta de Baritina
9	HM-009	787238	9697535	1213	245°	65°	Veta de Baritina (Boca mina)
10	HM-010	787151	9697711	1193	247°	64°	Veta de Baritina
11	HM-011	787308	9697795	1281	254°	74°	Veta de Baritina
12	HM-012	787476	9697600	1152	272°	87°	Veta de Baritina
13	HM-013	787088	9697575	1154	257°	77°	Veta de Baritina
14	HM-014	787017	9697452	1121	262°	84°	Veta de Baritina
15	HM-015	787181	9697327	1086	310°	50°	Veta de Baritina

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.3 Análisis de datos geológicos mediante el software Dips

4.3.1 Análisis de datos geológicos estructurales de las vetas

Con el uso del software Dips y los datos geológicos estructurales de las vetas (tabla 4-10), haciendo uso del azimut de buzamientos y buzamiento, podemos ubicarlo dentro de un plano geográfico circular, el cual nos permitirá observar la tendencia principal u orientación entre las vetas (ilustración 4-9), de esta manera nos daremos una idea de la orientación que tienen las vetas en la zona de estudio.

Además de ello se observó los sets de familias que viene conformado por un grupo de puntos que forman parte de una concentración, cada concentración viene contorneada o delimitada para obtener la línea promedio de polos que se encuentran encerrados en el contorneado, cada contorneado viene formado por un set de familias (ilustración 4-8).

La familia principal tiene los siguientes datos estructurales *Dip: 73; Dip Direction: 253 (253/73)*, N17°W/73°SW, estos datos están dentro de la leyenda de la (ilustración 4-8), y se le considera como la familia principal puesto que posee una densidad máxima de 28.13%.

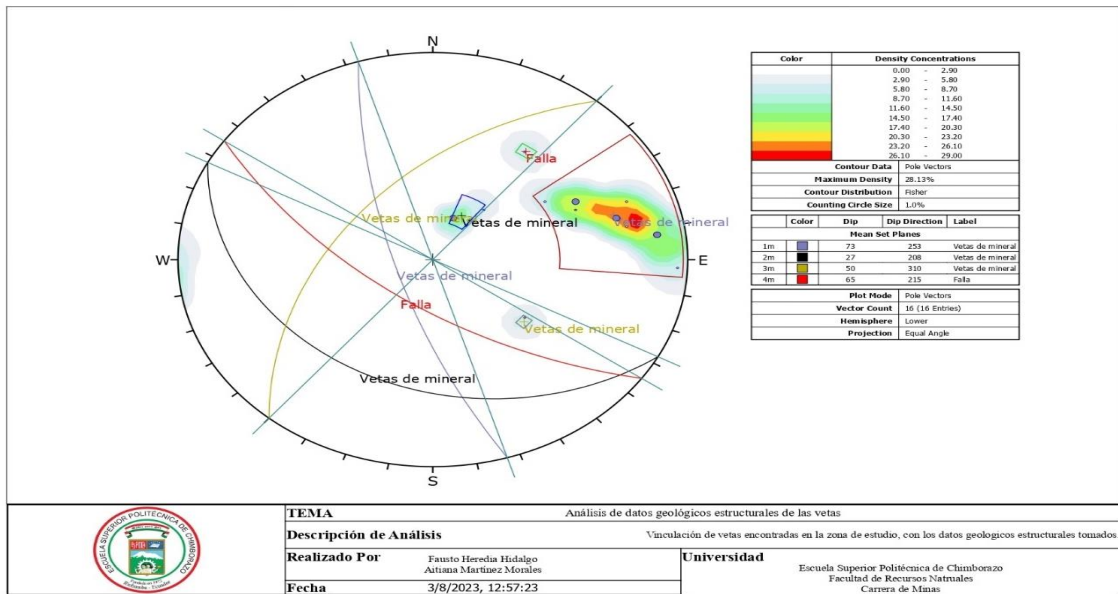


Ilustración 4-8: Análisis de datos geológicos estructurales de las vetas.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.3.2 Vinculación de datos geológicos estructurales de las vetas

La opción de la Roseta (Rosette Preset) es la herramienta que DIPS ofrece para obtener la información de orientación de las vetas o datos geológicos estructurales, de esta manera podemos tener una idea de la dirección que sigue cada veta (ilustración 4-9).

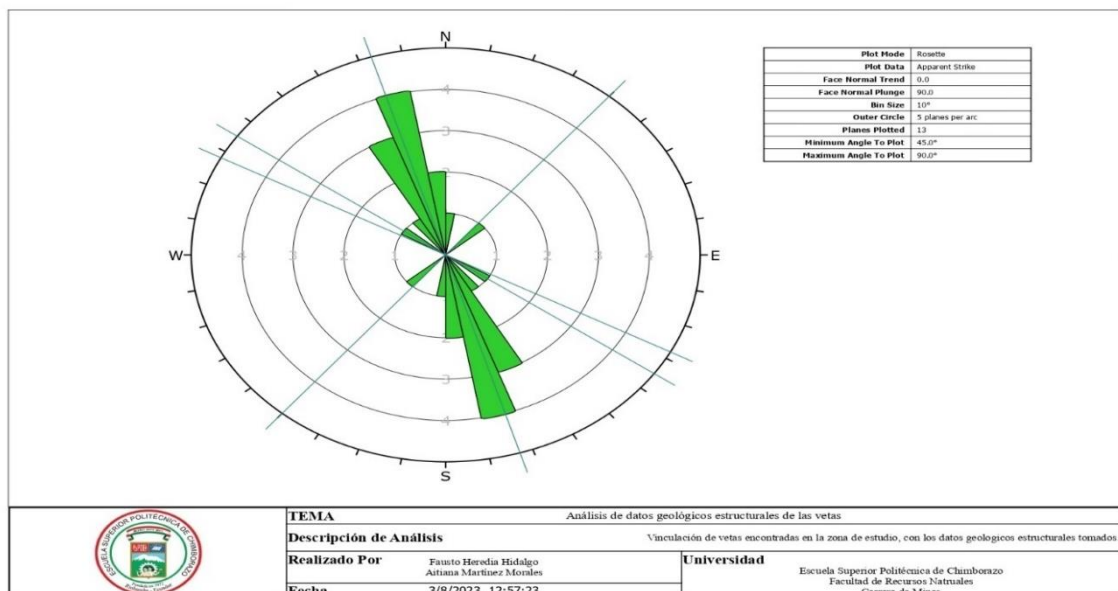


Ilustración 4-9: Análisis de datos geológicos estructurales de las vetas.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

En el caso de nuestra zona de estudio de la mina “El Paraíso”, el software DIPS nos ayuda a entender de mejor manera la interacción que tienen los datos geológicos estructurales y la orientación que tiene cada una de las vetas, generando un mapa que hace referencia a que tenemos una vinculación entre vetas, además de ello encontramos que el punto de falla geológica hallada ha inferido en la dirección de las vetas y ha provocado una ligera desviación hacia el noroeste – sureste, afectando principalmente a la veta 3 que fue hallada junto a la falla geológica presente en el afloramiento 3 (anexo J).

4.4 Análisis cuantitativo mediante Kriging

4.4.1 Resultado de laboratorio

Los resultados del Laboratorio de Geoquímica Analítica y Laboratorio de Beneficio de Minerales de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), se presentan en la tabla 4-12 que sintetiza los valores obtenidos del análisis químico realizado por Fluorescencia de Rayos X (FXR) de las muestras correspondientes, empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil marca Bruker S1 Turbo SD.

Para comprender el uso del equipo Bruker S1 Turbo SD tomamos como referencia a Alvarado (2015) que nos menciona que pueden ser analizadas trazas (> 1 gramo) de muestra mediante el uso de la bomba de vacío de 3V llegándose a obtener los siguientes límites de detección (tabla 4-11) valores de más del 80% hasta un máximo de 93% es importante indicar que los resultados que se obtienen a través del equipo vienen influenciados por la configuración que se le dé al mismo, ya que, si aumentamos o disminuimos la sensibilidad, tendremos resultados con pequeñas alteraciones. (2015, pp. 33, 34).

Tabla 4-11: Límites de detección para el Ba y S.

	Bario (Ba)		Azufre (S)	
	g/Kg	%	g/Kg	%
L.D. Mínimo	0,010	0,001	0,05	0,005
L.D. Máximo	930	93	930	93

Fuente: (Citius 2010).

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

El informe de laboratorio nos indica el siguiente aspecto “el Na₂O y Carbono no son analizados por FRX, pero la muestra los puede contener”; “estos resultados corresponden a la composición

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

Tabla 4-12: Resultados de las muestras en porcentaje

MUESTRA	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)
HM-001	5.03	87.9	0.14	0.16	1.18	0.32
HM-002	16.5	54.9	0.06	0.24	7.02	0.43
HM-003	8.82	77.1	0.42	1.71	1.76	1.15
HM-004	ND	2.51	5.38	0.005	0.005	76.4
HM-005	ND	3.76	5	ND	0.008	76.0
HM-006	ND	5.48	5.55	0.0096	0.006	76.4
HM-007	1.97	12.9	5.17	0.165	0.017	66.2
HM-008	12.2	81.6	0.75	1.37	0.61	0.53
HM-009	4.28	37.2	4.65	0.86	0.036	31.0
HM-010	ND	5.43	5.57	0.025	ND	77.1
HM-011	4.69	37.5	4.4	0.755	0.16	34.5
HM-012	4.39	86.2	1.96	0.27	0.46	1.41
HM-013	ND	88.2	0.605	0.229	0.60	1.5
HM-014	1.42	19.6	5.2	0.166	0.031	61.1
HM-015	19.6	69.2	0.29	1.15	3.81	1.52

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.4.2 Resultado de la metodología de campo y laboratorio

Con los resultados de laboratorio se realizó el cálculo para la estimación del porcentaje de BaSO₄ (Baritina) existente en cada una de las muestras enviadas para el análisis de FRX (Fluorescencia de rayos X), ya que los datos recibidos por parte del laboratorio no permiten obtener el cálculo de manera directa de los resultados para la representación en el presente trabajo, por tal motivo se realiza análisis estequiométrico (tabla 4-13):

Tabla 4-13 Ejercicios de estequiometría para estimación de BaSO₄ (Baritina).

MUESTRA HM – 001	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327	Ba = $\frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$
S = 32.065 * 1 = 32.065	
O = 15.999 * 4 = 63.96	S = $\frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$
TOTAL = 233.388g/mol	

	$O = \frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{0.32\%}{58.8\%} * 100 = 0.54\% (\text{BaSO}_4)$	$\frac{0.14\%}{13.7\%} * 100 = 1.02\% (\text{BaSO}_4)$
MUESTRA HM – 002	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/mol	Ba = $\frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ S = $\frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ O = $\frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{0.43\%}{58.8\%} * 100 = 0.73\% (\text{BaSO}_4)$	$\frac{0.06\%}{13.7\%} * 100 = 0.44\% (\text{BaSO}_4)$
MUESTRA HM – 003	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/mol	Ba = $\frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ S = $\frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ O = $\frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{1.15\%}{58.8\%} * 100 = 1.96\% (\text{BaSO}_4)$	$\frac{0.42\%}{13.7\%} * 100 = 3.07\% (\text{BaSO}_4)$
MUESTRA HM – 004	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/mol	Ba = $\frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ S = $\frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ O = $\frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	

Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{76.4\%}{58.8\%} * 100 = 129.93\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$	$\frac{5.38\%}{13.7\%} * 100 = 39.27\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$
MUESTRA HM – 005	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/mol	Ba = $\frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ S = $\frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ O = $\frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{76\%}{58.8\%} * 100 = 129.25\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$	$\frac{5\%}{13.7\%} * 100 = 36.50\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$
MUESTRA HM – 006	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/mol	Ba = $\frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ S = $\frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ O = $\frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{76.4\%}{58.8\%} * 100 = 129.93\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$	$\frac{5.55\%}{13.7\%} * 100 = 40.51\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$
MUESTRA HM – 007	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/mol	Ba = $\frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ S = $\frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ O = $\frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{66.2\%}{58.8\%} * 100 = 112.59\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$	$\frac{5.17\%}{13.7\%} * 100 = 37.74\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$
MUESTRA HM – 008	

Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/ol	$\text{Ba} = \frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ $\text{S} = \frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ $\text{O} = \frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{0.53\%}{58.8\%} * 100 = 0.90\% (\text{BaSO}_4)$	$\frac{0.75\%}{13.7\%} * 100 = 5.47\% (\text{BaSO}_4)$
MUESTRA HM – 009	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/mol	$\text{Ba} = \frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ $\text{S} = \frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ $\text{O} = \frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{31\%}{58.8\%} * 100 = 52.72\% (\text{BaSO}_4)$	$\frac{4.65\%}{13.7\%} * 100 = 33.94\% (\text{BaSO}_4)$
MUESTRA HM – 010	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/mol	$\text{Ba} = \frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ $\text{S} = \frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ $\text{O} = \frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{77.1\%}{58.8\%} * 100 = 131.12\% (\text{BaSO}_4)$	$\frac{5.57\%}{13.7\%} * 100 = 40.66\% (\text{BaSO}_4)$
MUESTRA HM – 011	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96	$\text{Ba} = \frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$

$TOTAL = 233.388g/mol$	$S = \frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ $O = \frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{34.5\%}{58.8\%} * 100 = 58.67\% (BaSO_4)$	$\frac{4.4\%}{13.7\%} * 100 = 32.12\% (BaSO_4)$
MUESTRA HM – 012	
Peso molecular	Compuesto porcentual
$Ba = 137.327 * 1 = 137.327$ $S = 32.065 * 1 = 32.065$ $O = 15.999 * 4 = 63.96$ $TOTAL = 233.388g/mol$	$Ba = \frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ $S = \frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ $O = \frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{1.41\%}{58.8\%} * 100 = 2.4\% (BaSO_4)$	$\frac{1.96\%}{13.7\%} * 100 = 14.31\% (BaSO_4)$
MUESTRA HM – 013	
Peso molecular	Compuesto porcentual
$Ba = 137.327 * 1 = 137.327$ $S = 32.065 * 1 = 32.065$ $O = 15.999 * 4 = 63.96$ $TOTAL = 233.388g/mol$	$Ba = \frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ $S = \frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ $O = \frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO₄
$\frac{1.5\%}{58.8\%} * 100 = 2.55\% (BaSO_4)$	$\frac{0.605\%}{13.7\%} * 100 = 4.42\% (BaSO_4)$
MUESTRA HM – 014	
Peso molecular	Compuesto porcentual
$Ba = 137.327 * 1 = 137.327$ $S = 32.065 * 1 = 32.065$ $O = 15.999 * 4 = 63.96$ $TOTAL = 233.388g/mol$	$Ba = \frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ $S = \frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ $O = \frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$

Porcentaje promedio de BaSO ₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO ₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO ₄
$\frac{61.1\%}{58.8\%} * 100 = 103.91\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$	$\frac{5.2\%}{13.7\%} * 100 = 37.96\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$
MUESTRA HM – 015	
Peso molecular	Compuesto porcentual
Ba = 137.327 * 1 = 137.327 S = 32.065 * 1 = 32.065 O = 15.999 * 4 = 63.96 TOTAL = 233.388g/mol	Ba = $\frac{137.327}{233.388} * 100 = 58.8\%$ S = $\frac{32.065}{233.388} * 100 = 13.7\%$ O = $\frac{63.966}{233.388} * 100 = 27.5\%$
Porcentaje promedio de BaSO ₄ (Baritina)	
Promedio de Ba (Bario) >BaSO ₄	Promedio de S (Azufre)>BaSO ₄
$\frac{1.52\%}{58.8\%} * 100 = 2.59\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$	$\frac{0.29\%}{13.7\%} * 100 = 2.12\% \text{ (BaSO}_4\text{)}$

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Para trabajar con valores representativos, se calcula la concentración de BaSO₄ (Baritina) en base a Ba (Bario) y S (Azufre) para obtener un promedio de BaSO₄(%) que será usado en el Kriging (tabla 4-13).

Tabla 4-14: Porcentaje promedio de la Baritina (BaSO₄).

PORCENTAJE DE BARIO DE LAS MUESTRAS DE LABORATORIO MEDIANTE ESTEQUIOMETRÍA			
MUESTRAS	CONCENTRACIÓN de BaSO ₄ en base al Ba (%)	CONCENTRACIÓN de BaSO ₄ en base al S (%)	PROMEDIO DE CONCENTRACIÓN de BaSO ₄ (%)
HM-001	0.54	1.02	0.78
HM-002	0.73	0.44	0.59
HM-003	1.96	3.07	2.52
HM-004	129.93	39.27	84.60
HM-005	129.25	36.50	82.88
HM-006	129.93	40.51	85.22
HM-007	112.59	37.74	75.17
HM-008	0.90	5.47	3.19
HM-009	52.72	33.94	43.44

HM-010	131.12	40.66	85.89
HM-011	58.67	32.12	45.40
HM-012	2.40	14.31	8.36
HM-013	2.55	4.42	3.49
HM-014	103.91	37.96	70.94
HM-015	2.59	2.12	2.36

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

En la tabla 4-15, se muestra la ubicación y el resultado del porcentaje del promedio de concentración de la Baritina (BaSO_4) de las muestras analizadas en el laboratorio.

Tabla 4-15: Ubicación de las muestras y porcentaje del promedio de concentración de la Baritina (BaSO_4).

MUESTRAS	X	Y	Z	PROMEDIO DE CONCENTRACIÓN DE BaSO_4(%)
HM-001	787698	9697211	970	0.78
HM-002	787698	9697253	996	0.59
HM-003	787664	9697337	1036	2.52
HM-004	787585	9697363	1089	84.60
HM-005	787494	9697421	1103	82.88
HM-006	787474	9697465	1258	85.22
HM-007	787416	9697507	1134	75.17
HM-008	787299	9697531	1211	3.19
HM-009	787238	9697535	1213	43.33
HM-010	787151	9697711	1193	85.89
HM-011	787308	9697795	1281	45.40
HM-012	787476	9697600	1152	8.36
HM-013	787088	9697575	1154	3.49
HM-014	787017	9697452	1121	70.94
HM-015	787181	9697327	1086	2.36

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Los valores obtenidos por estequiometria reflejan valores mayores al 100% en algunas muestras, exclusivamente cuando se estima el porcentaje de baritina a partir de los resultados de Ba detectados en las muestras. Esto se debe a que, al aumentar la sensibilidad del equipo, este puede detectar elementos de similitud con el mineral analizado (baritina) que está compuesto por BaSO_4 (Bario; Azufre y Oxigeno), aumentando, disminuyendo o a su vez combinando el porcentaje de elementos encontrados.

Otra de las causas que influye en los porcentajes superiores al 100% podría ser la presencia de otros minerales asociados como la witherita (BaCO_3) que tiene 69.59 % de Ba, 6.09 % de C y 24.32% de O. (Barthelmy 1990).

La baritina pertenece a la clase de sulfatos, teniendo como composición predominante el sulfato de bario, la composición química de la baritina (BaSO_4) es; $\text{BaO} = 65.7\%$ y $\text{SO}_3 = 34.3\%$, las rocas asociadas a este mineral son calizas, dolomías y areniscas, de igual manera los minerales asociados son calcita (CaCO_3), cuarzo (SiO_2), pirita (FeS_2), calcopirita (CuFeS_2), witherita (BaCO_3), siderita (FeCO_3) y fluorita (CaF_2), entre otros elementos metálicos como zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), plata (Ag), níquel (Ni), cobalto (Co), manganeso (Mn) y otros.

La Secretaria de Economía (2014) de México menciona lo siguiente, “los compuestos de bario muestran estrechas relaciones con los compuestos de los otros metales alcalinotérreos, calcio y estroncio...”. Debido a estos aspectos característicos, hace que se obtengan resultados de laboratorio que disciernen de un dato exacto de las muestras del elemento analizado Bario (Ba).

En resumen, los resultados obtenidos mediante ensayo del laboratorio por Fluorescencia de Rayos X con el equipo BRUKER S1 TURBO SD, nos demuestra que existen muestras con un contenido alto de baritina, por otro lado, figuran valores que se disparan con el cálculo estequiométrico, esto debido a la calibración, elementos y rocas asociados a este mineral o configuración del equipo para aumentar su sensibilidad, lo que provoca la disminución o aumento de los resultados obtenidos.

Además, se considera al mineral de Witherita (BaCO_3) en la alteración de las concentraciones de los elementos, ya que este mineral posee una composición química similar al de la Baritina (BaSO_4), lo que alteraría el porcentaje de Ba (Bario).

4.4.3 Análisis geoestadístico

4.4.3.1 Análisis exploratorio de datos

El procedimiento de los datos obtenidos en el análisis químico fluorescencia de rayos x (FRX) del laboratorio, se lo realizó mediante el paquete de Office específicamente Excel, donde se analizaron las concentraciones del sulfato de bario expresado en porcentaje, se realizaron los siguientes cálculos estadísticos para el análisis (tabla 4-16):

Tabla 4-16: Datos geoestadísticos del porcentaje de bario.

DATOS ESTADÍSTICOS PREVIOS	
NÚMERO DE DATOS	15
VALOR MÍNIMO	0.59
VALOR MÁXIMO	85.89
MEDIA ARÍTMETICA	39.65
MEDIANA	43.33
VARIANZA DE LA MUESTRA (s^2)	1415.22
DESVIACION ESTANDAR (s)	37.62
COEFICIENTE DE VARIACION	94.88

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Los datos obtenidos en la tabla 4-16, serán comparados posteriormente con la estimación del Kriging y así comprobar si existe o no homogeneidad entre los resultados dados.

En la ilustración 4-10, se representa un histograma con las concentraciones de bario por el código de las muestras. Se puede observar que, dentro de los quince datos analizados en el laboratorio, menos de la mitad de ellos (6 de 15) poseen un potencial de baritina superior a los 60%, así mismo otro porcentaje bajo de las muestras (2 de 15) se encuentran en un valor entre el 40% al 50 %, y por último algunas muestras poseen un valor debajo del 10% de lo estimado (7 de 15), siendo 0.59% el más bajo.

Concentración del Promedio de Porcentaje de Baritina (%) por el código de las muestras

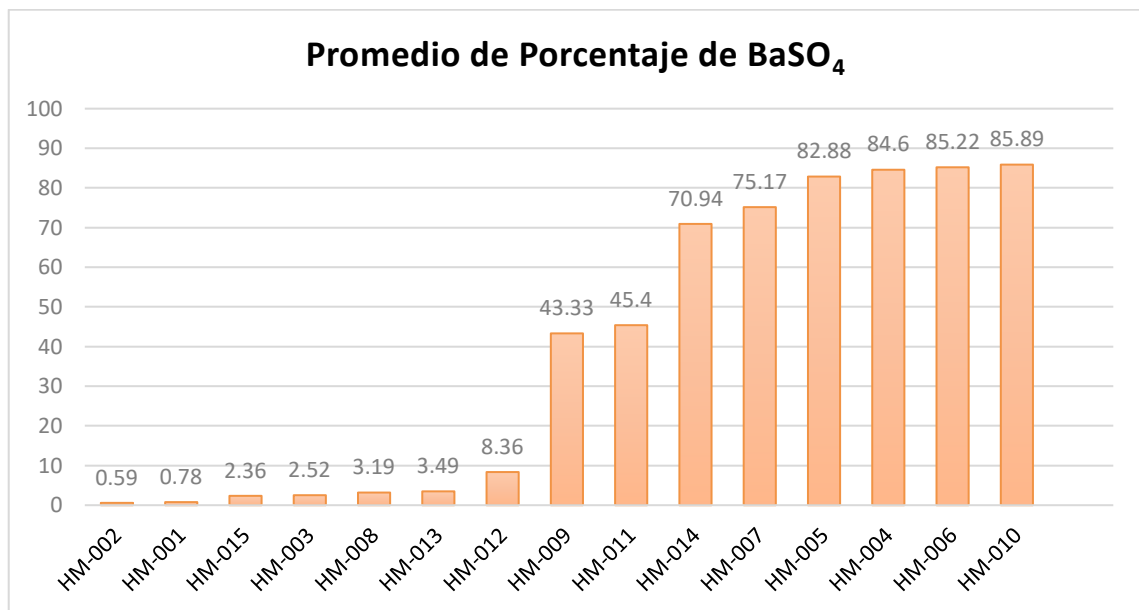


Ilustración 4-10: Concentración de Baritina (%) por el código de las muestras.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.4.3.2 Estimación con Kriging

En esta etapa se ingresó la tabla de datos del software Excel, donde está calculado el porcentaje de Baritina (%) al programa de ArcGIS, el cual sirvió para hacer una comparación entre los resultados del análisis exploratorio y los valores proporcionados por la herramienta Geostatistical Analyst. Donde se pudo observar que tanto en la parte inicial como final del muestreo se obtuvo un porcentaje de Bario en algunos casos más altos que otros.

En la tabla 4-17 se presentan los resultados del laboratorio y la preparación de los datos mediante el cálculo del logaritmo de la concentración promedio de la baritina, con esa tabla se trabajará como base de datos para el análisis en ArcGIS.

Tabla 4-17: Base de datos para Kriging.

Muestra	Código	X	Y	Altura	Concentración de BaSO ₄ en base al Ba (%)	Concentración de BaSO ₄ en base al S (%)	Promedio de Concentración de BaSO ₄ (%)	Log BaSO ₄
1	HM-001	787698	9697211	970	0.54	1.02	0.78	-0.1079054
2	HM-002	787698	9697253	996	0.73	0.44	0.59	-0.23284413
3	HM-003	787664	9697337	1036	1.96	3.07	2.52	0.40053799
4	HM-004	787585	9697363	1089	129.93	39.27	84.60	1.92737036
5	HM-005	787494	9697421	1103	129.25	36.5	82.88	1.91842354
6	HM-006	787474	9697465	1258	129.93	40.51	85.22	1.93054153
7	HM-007	787416	9697507	1134	112.59	37.74	75.17	1.87601566
8	HM-008	787299	9697531	1211	0.9	5.47	3.19	0.50310944
9	HM-009	787238	9697535	1213	52.72	33.94	43.33	1.63678869
10	HM-010	787151	9697711	1193	131.12	40.66	85.89	1.9339426
11	HM-011	787308	9697795	1281	58.67	32.12	45.40	1.65700802
12	HM-012	787476	9697600	1152	2.4	14.31	8.36	0.92194645
13	HM-013	787088	9697575	1154	2.55	4.42	3.49	0.54220278
14	HM-014	787017	9697452	1121	103.91	37.96	70.94	1.85086057
15	HM-015	787181	9697327	1086	2.59	2.12	2.36	0.37199091

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.5 Mapas de densidad

4.5.1 Densidad de Kernel

Los mapas de densidad se realizan para poder determinar las zonas donde se concentran más nuestros datos obtenidos del % de Ba, ya que al observar la ilustración 4-11 podemos ver que este método donde se pinta de azul más fuerte es donde se concentra un poco más los datos y así mismo nos da los valores de la densidad donde se puede observar que se concentra en porcentajes de 32 a 36%.

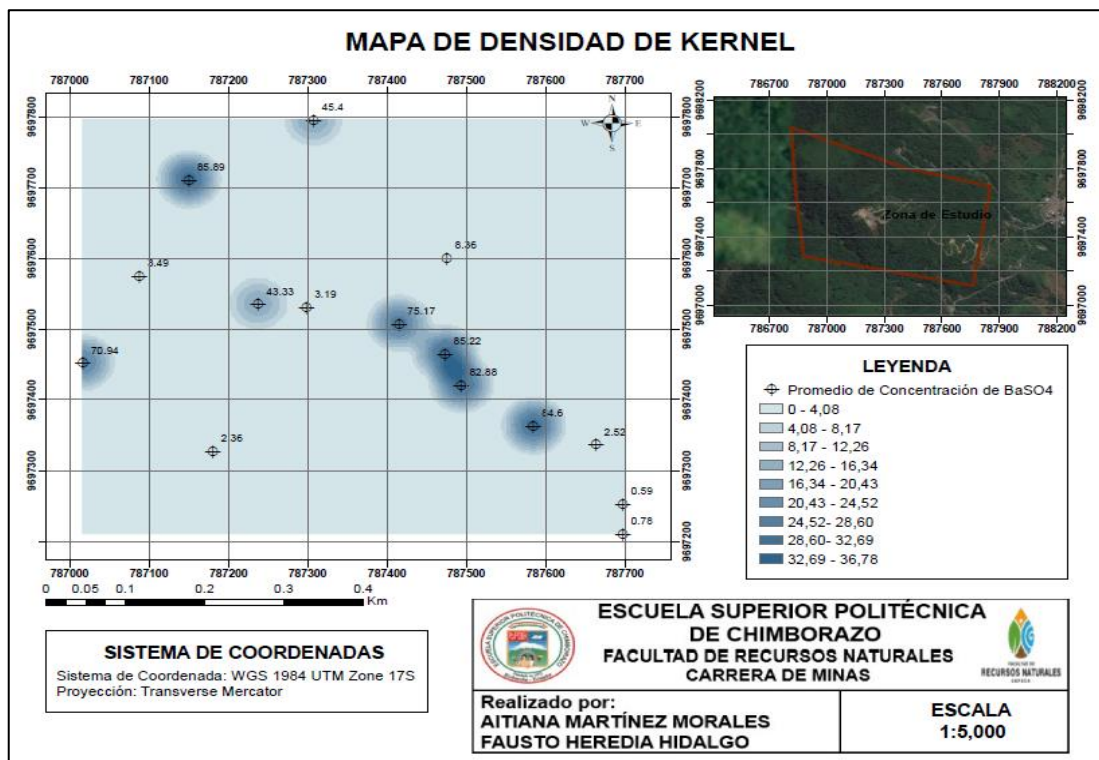


Ilustración 4-11: Mapa de Densidad de Kernel.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.5.2 Análisis de Patrones

Esta herramienta calcula un índice de vecino más cercano basado en la distancia promedio de cada valor a su valor vecino más cercano. Teniendo como resultados:

Tabla 4-18: Resumen promedio del vecino más cercano.

Distancia media observada	97.9826 metros
Distancia media esperada:	73.8200 metros
Proporción del vecino más cercano:	1.327317
Puntuación z:	2.425189
Valor p:	0.015300

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Donde con esos resultados dado y la imagen observada (Ilustración 4-12) podemos ver que nuestros datos se encuentran de manera dispersos, pero de manera ordenada, ya que, aunque se encuentren separados tienen cierta distancia constante entre todos los puntos.

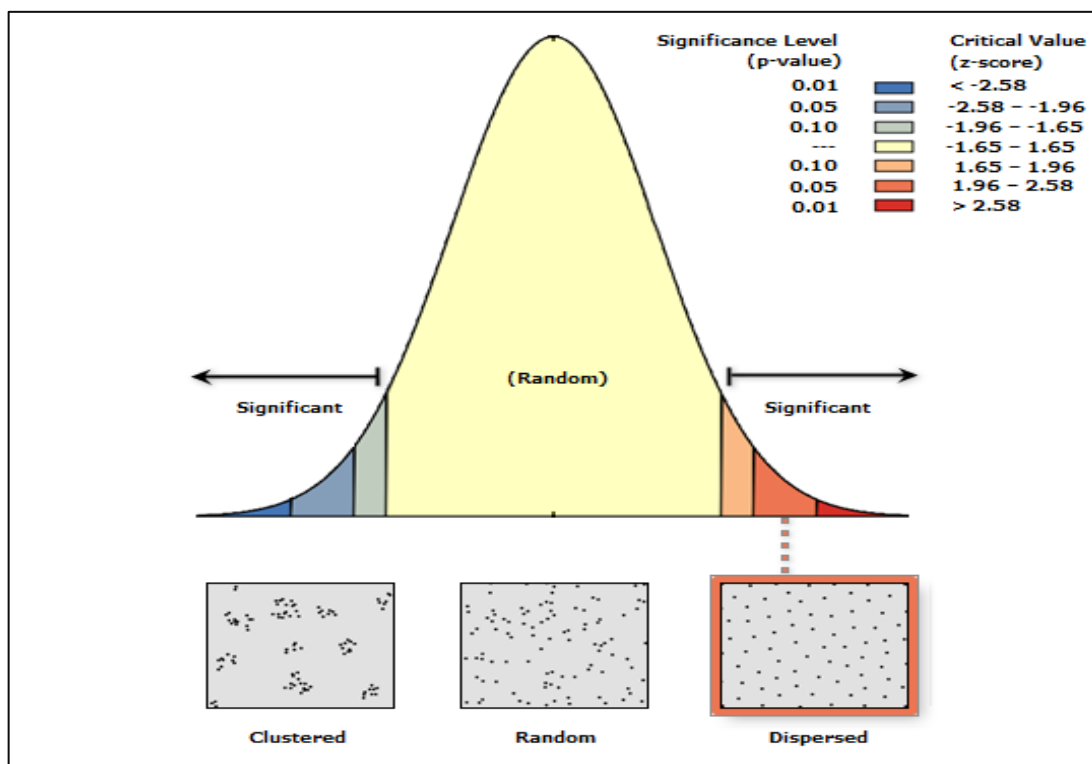


Ilustración 4-12: Resumen promedio del vecino más cercano.

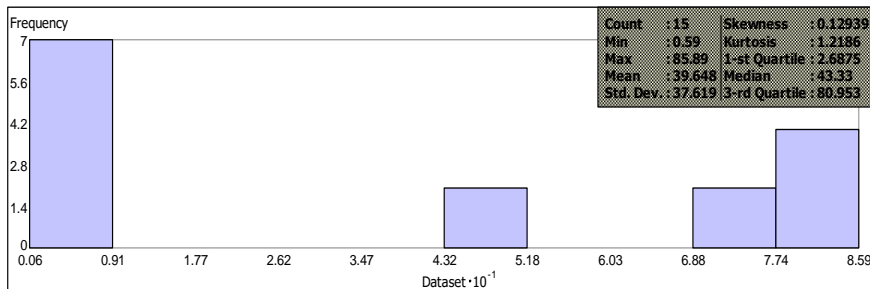
Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

4.5.3 Modelo de distribución

Histograma: Se realizó una comparativa entre la transformación logarítmica, normal y Box-Cox parameter 1, para determinar qué modelo posee una mejor distribución de los datos.

- Para poder trabajar con Kriging se debe ajustar la distribución de los datos a la campana de Gauss, en el caso de la transformación Logarítmica es la que presenta valores continuos y una distribución más homogénea.
- Los valores de la media y de la mediana en la transformación logarítmica son casi valores semejantes y tienen muy poca diferencia entre sus valores.

Histogram
Transformation: None

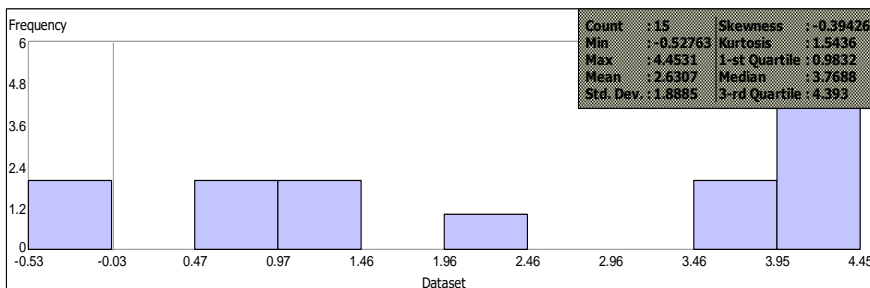


Dataset : Promedio_de_concentración_de_BaSO4 Attribute: Promedio_c

Ilustración 4-13: Histograma concentración de baritina transformación: Ninguna.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Histogram
Transformation: Log

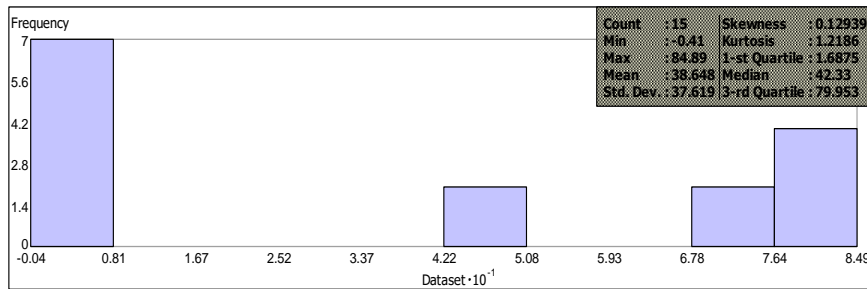


Dataset : Promedio_de_concentración_de_BaSO4 Attribute: Promedio_c

Ilustración 4-14: Histograma concentración de baritina transformación: Log.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Histogram Transformation: Box-Cox, Parameter: 1



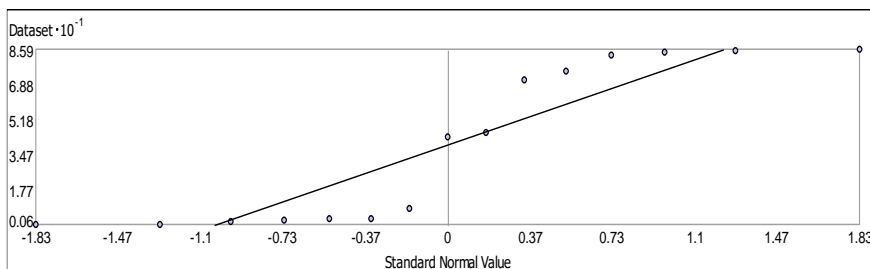
Dataset : Promedio_de_concentración_de_BaSO4 Attribute: Promedio_c

Ilustración 4-15: Histograma concentración de baritina transformación: Box-Cox.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

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, donde se puede observar que el gráfico con la transformación logarítmica es donde sus puntos se acercan más a la diagonal formada.

Normal QQPlot Transformation: None

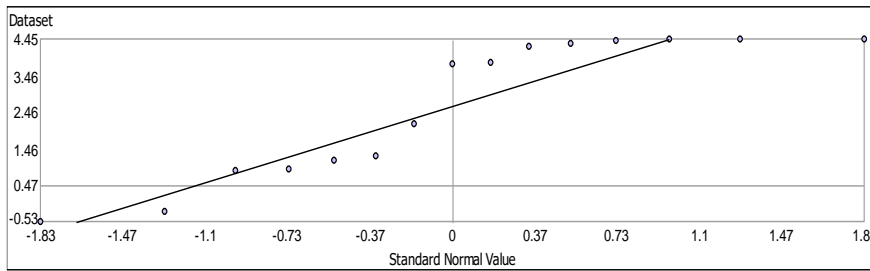


Dataset : Promedio_de_concentración_de_BaSO4 Attribute: Promedio_c

Ilustración 4-16: Gráfico Q-Q Normal Transformación: Ninguna.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Normal QQPlot Transformation: Log

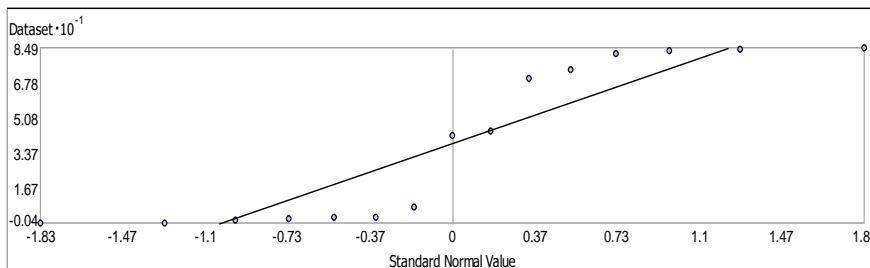


Dataset : Promedio_de_concentración_de_BaSO4 Attribute: Promedio_c

Ilustración 4-17: Gráfico Q-Q Normal Transformación: Log.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023

Normal QQPlot Transformation: Box-Cox, Parameter: 1



Dataset : Promedio_de_concentración_de_BaSO4 Attribute: Promedio_c

Ilustración 4-18: Gráfico Q-Q Normal Transformación: Box-Cox.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023

Diagrama de Voronoi: Consiste en asignar un polígono de influencia a todos los puntos, y se traza en cada una de las muestras, luego una mediatriz para cada línea, y esta mediatriz se intercepta con las otras muestras lo que forman varios polígonos, si se tienen 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.

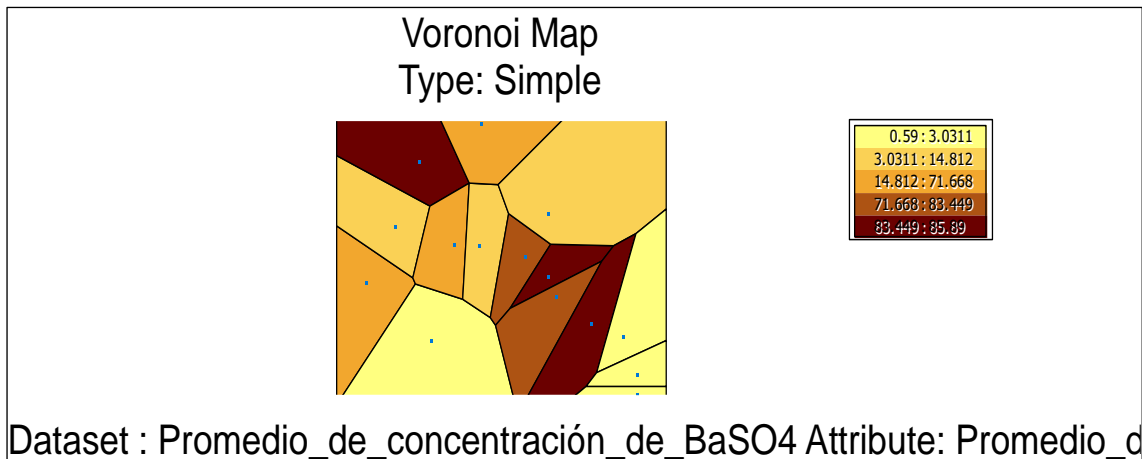
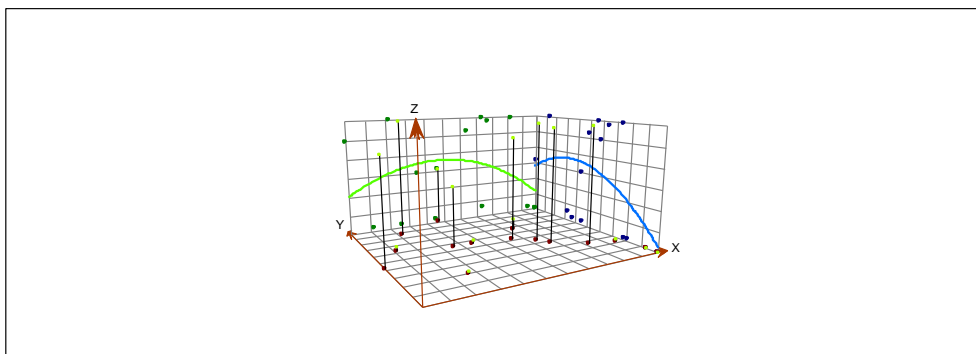


Ilustración 4-19: Diagrama de Veronoi de la concentración del % de Baritina.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023

Análisis de tendencia: Es importante realizar este análisis antes de la interpolación de los datos, debido a que nos puede indicar como se distribuyen los valores con base en las concentraciones de las muestras, donde se puede ver hacia que parte se tiene mayores elementos sean estos hacia el norte o este. Donde la distribución en el plano X-Z ese representa con la línea verde y muestra la tendencia de Oeste-Este de manera que podríamos concluir que nuestras concentraciones van aumentando hasta el centro del área de estudio y por último disminuyen hacia los extremos Oeste a Este. En el plano Y-Z podemos observar que la tendencia de nuestros datos del eje Norte-Sur, en este caso las concentraciones van disminuyendo mientras nos desplazamos hacia el sur, donde podemos resaltar que las mayores concentraciones se producen en el eje Norte y Este, donde el orden polinomial de tendencia de segundo grado ya que es la tendencia que más se acopla a la distribución de las muestras.

Trend Analysis

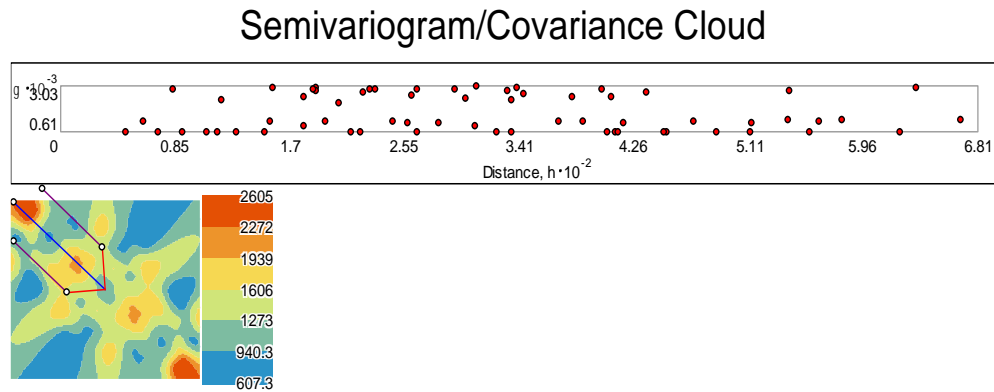


Dataset : Promedio_de_concentración_de_BaSO4 Attribute: Promedio_c

Ilustración 4-20: Análisis de tendencia de la concentración del % de baritina.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Semivariograma: Una vez aplicada la información de tendencias, observamos que nuestros datos presentan una mejor distribución del semivariograma hacia el noreste con un ancho de banda de 3 tamaño 6.81.



Dataset : Promedio_de_concentración_de_BaSO4 Attribute: Promedio_d

Ilustración 4-21: Semivariograma de la concentración del % de baritina.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023

4.6 Mapas de Predicción

4.6.1 Métodos geoestadísticos

Validación del Kriging: La validación del método se realizó mediante la evaluación de los modelos circular, esférico, gaussiano y exponencial. Para determinar cada uno de los modelos establecidos se realizaron los siguientes pasos, explicados en las ilustraciones. La herramienta base para aplicar los métodos de predicción es *Geostatistical Analyst*, luego el comando *Geostatistical Wizard* y la realización de los 6 pasos para la estimación de los modelos para el Kriging, con el modelo de intervalos iguales de la clasificación de rangos.

Por lo cual el modelo más factible cuantitativamente mediante el Índice de error en la aplicación geoestadística de interpolación para la predicción de promedio de concentraciones de la Baritina (BaSO₄) es el Modelo Exponencial, como se muestra en la Ilustración 4-22.

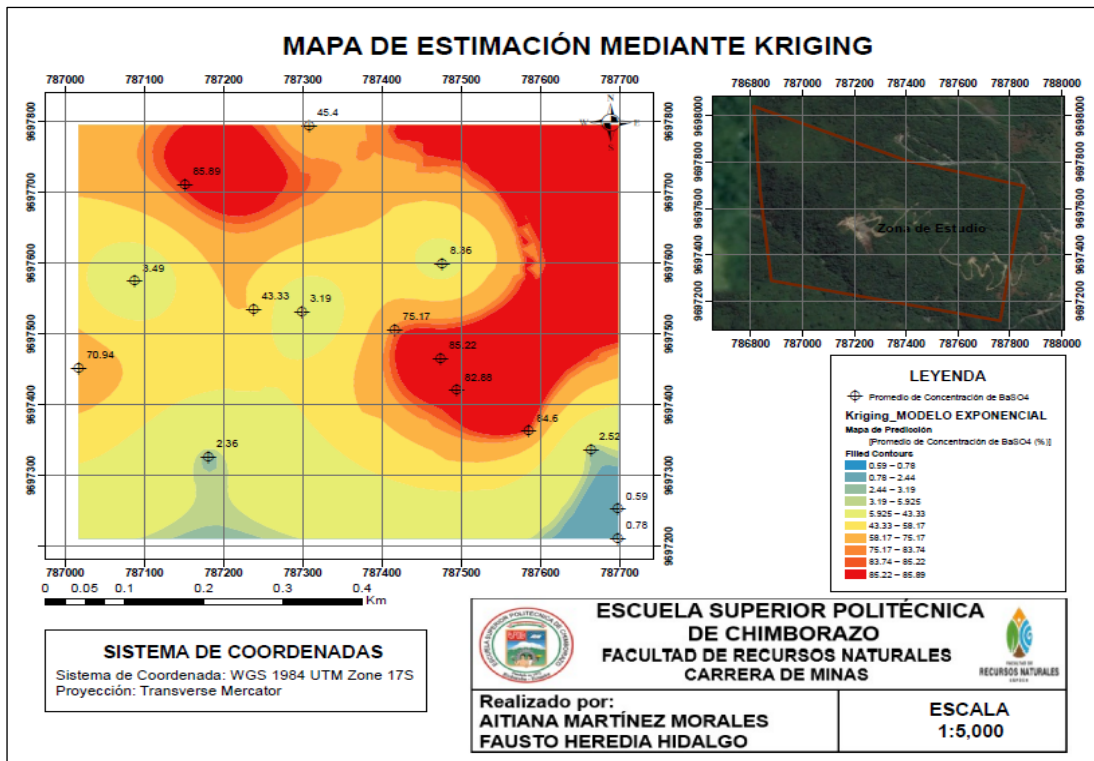


Ilustración 4-22: Mapa de estimación mediante Kriging modelo Exponencial.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Cabe señalar que las predicciones del modelo esférico (Ilustración 4-23) y del modelo circular (Ilustración 4-24) visualmente poseen una buena validación de los datos y algunos de sus valores también se encuentran aceptables dentro de la tabla 3-3, por lo cual el método más factible cualitativamente es el modelo circular a causa de que las anomalías se extienden principalmente en determinadas áreas donde se tienen los datos. Sin embargo, analizando detalladamente se puede observar algunas anomalías con formas angulosas que son favorables para el estudio que obtuvimos debido al evidente control estructural de la mineralización (vetas de baritina). Por tal motivo, se debe realizar un estudio estructural a detalle de la zona con orientación de norte a este ya que fue la tendencia que se analizó dentro del área, dando como resultado dos anomalías con concentraciones favorables para el estudio.

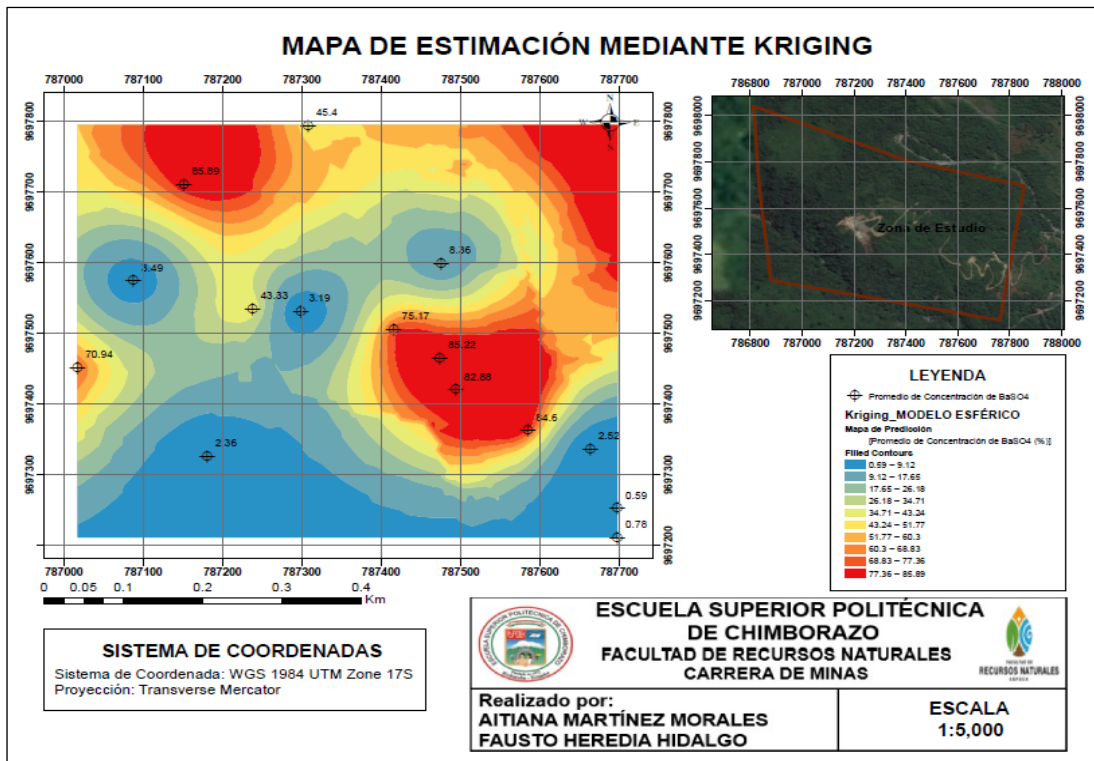


Ilustración 4-23: Mapa de estimación mediante Kriging modelo Esférico.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

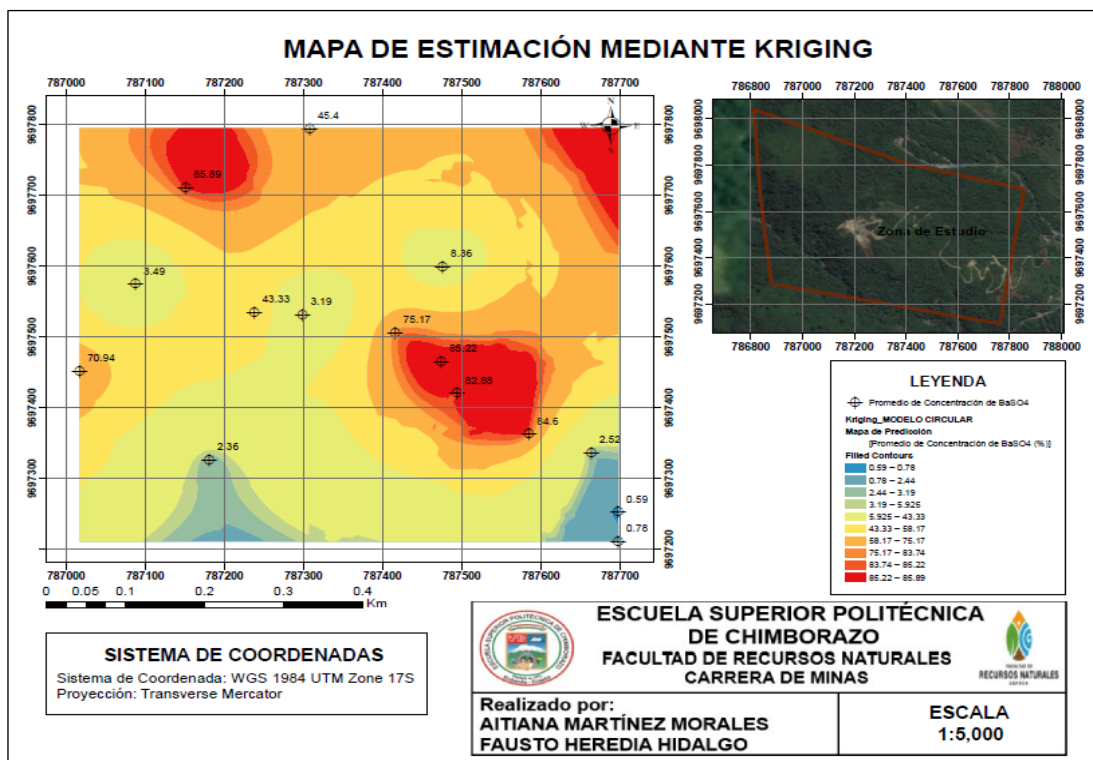


Ilustración 4-24: Mapa de estimación mediante Kriging modelo Circular.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

Así mismo, el modelo Gaussiano (Ilustración 4-25), tanto visualmente no poseen una mejor validación de los datos y sus valores observados en la tabla 3-3 tampoco son aceptables.

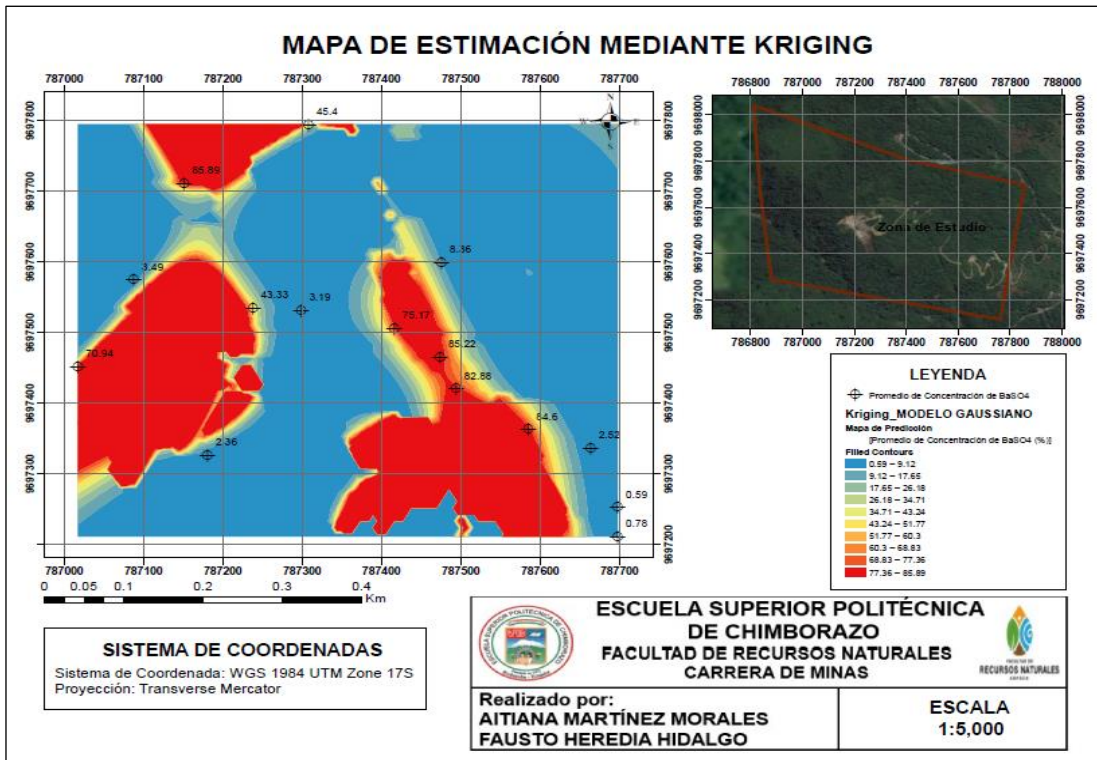


Ilustración 4-25: Mapa de estimación mediante Kriging modelo Gaussiano.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

El mapa de estimación geostatística que se utilizó para el análisis de los datos fue mediante el modelo Circular debido a que luego de realizar el análisis cuantitativo y cualitativo a su vez, se pudo observar que presenta mejor resultados para trabajar en vista de que las anomalías se extienden principalmente donde se encuentran los datos, como se observa en la ilustración 4-26, donde se refleja el resultado de la estimación y se determinó que:

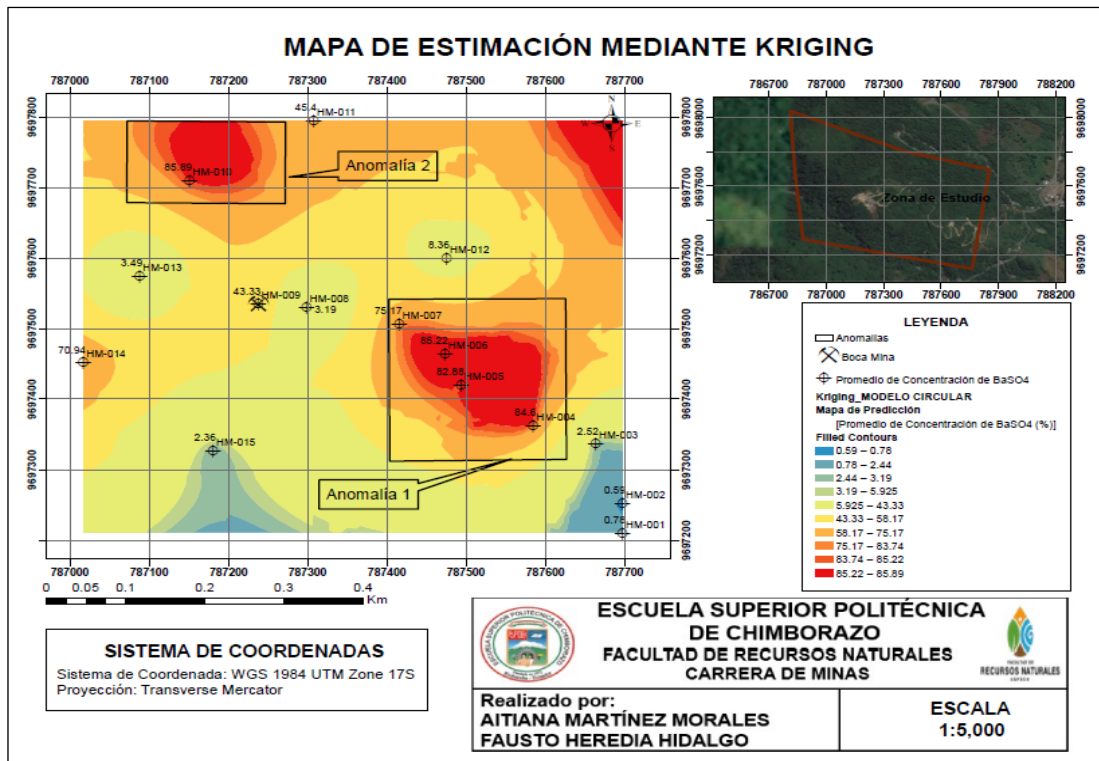


Ilustración 4-26: Estimación Geoestadística mediante el Modelo Circular.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

- Existen valores con un máximo porcentaje de baritina de aproximadamente 85.89% (HM-010) y menor porcentaje 0.59% (HM-002), cuya distribución se observa en el mapa de estimación mediante Kriging modelo Circular (Ilustración 4-26) referente a la ubicación y posible concentración de sulfato de bario de las muestras analizadas.
- Es posible que los valores mínimos observados en el mapa pudieron haber sido por la presencia de otros elementos en las muestras recolectadas. Teniendo en cuenta que durante el proceso de muestreo es inevitable obtener muestras que contengan otras vetas distintas a la baritina. Los análisis de laboratorio han mostrado un alto porcentaje mayor a 50% de óxido de Silicio (SiO_2) como se observa en la ilustración 4-27 donde se puede notar en algunas muestras un alto porcentaje de (SiO_2) y bajo porcentaje de Ba y viceversa. Además de pequeñas cantidades menores de 4% de óxidos de hierro (Fe_2O_3), también cantidades menores al 2% de óxido de potasio (K_2O) y menos del 20% de óxidos de aluminio (Al_2O_3) en algunas muestras. Estos altos porcentajes de otros elementos pueden ser resultado de la meteorización que ha experimentado la muestra en su lugar de origen, debido a factores ambientales como la humedad, las raíces de las plantas y los materiales orgánicos presentes en el afloramiento.

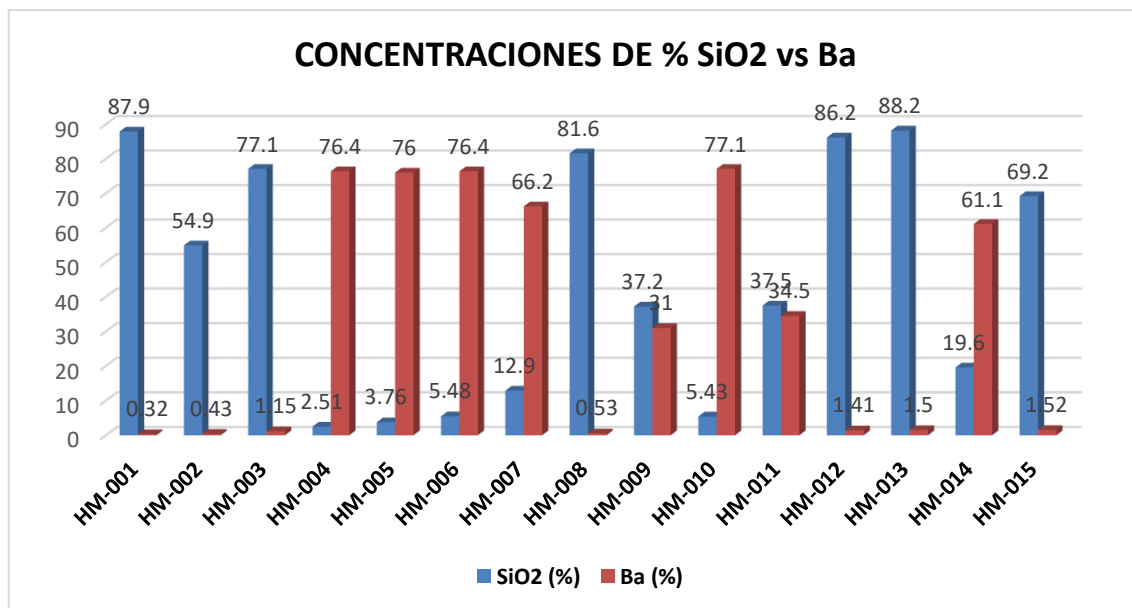


Ilustración 4-27: Concentraciones de % SiO₂ vs Ba.

Realizado por: Martínez, Aitiana; Heredia, Fausto; 2023.

- Las anomalías observadas (Ilustración 4-26) destacan dos áreas con concentraciones más altas de baritina. En la primera anomalía cubre un área de 0.06 km² (6 ha), se puede identificar cuatro concentraciones principales del mineral en estudio, cada una correspondiente a un porcentaje y código específico: 84.6%(HM-004), 82.88%/(HM-005), 85.22(HM-006) y 75.17(HM-007). Por otro lado, la segunda anomalía muestra una distribución en un área de 0.02 km², pero con un alto porcentaje y código de 85.89 (HM-010).
- La diferencia de concentración de baritina se pudo atribuir a la dirección de las vetas presentadas en la zona. En la primera anomalía, las vetas parecen estar distribuidas de forma que se interceptan entre sí, lo que podría explicar las concentraciones más altas de baritina en esas áreas específicas. Por otro lado, en la segunda anomalía, las vetas están más cercanas a la boca mina. Además, la tendencia de estas vetas pudo haber sido afectada debido a una falla ubicada en la zona, lo cual pudo haber generado una ruptura o deformación de las vetas, pudiendo influir en la distribución y concentración de la baritina en esas áreas.

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 0.759 abarcando toda el área de estudio como se observa en la ilustración 4-28.

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 a 0.176 siendo favorable debido a que mientras más cercano al cero existe un menor error, sin embargo, se observan áreas

5. CONCLUSIONES

Al noroeste del área de estudio predominan rocas metamórficas, como cuarcitas, esquistos y filitas; a su vez se aprecian rocas ígneas como andesitas al sureste. Referente a la parte estructural, se evidenció la presencia de una falla (N55°O/65°SO) y fracturas que actúan como vías de circulación para que las soluciones acuosas ricas en baritina se depositen en vetas de familia principal N17°O/ 73° SO.

Mediante el análisis estequiométrico se observan valores que sobreestiman el porcentaje de BaSO₄ calculado a partir de los resultados de Bario. Sin embargo, al considerar los valores de S se infraestima el potencial de BaSO₄. Por tal motivo, se trabajó con un promedio entre ambos resultados obteniendo una aparente máxima concentración de 85.89% en la muestra HM-010 y la mínima HM- 002 con una concentración de 0.59%.

Para los resultados que superan el 100% de BaSO₄ en 6 de 15 muestras: HM - 004 (129.93%); 005 (129.25%); 006 (129.93%); 007 (112.59%); 010 (131.12%); 014 (103.91%), se llegó a la conclusión de que existen posibles factores que alteraron los resultados como son minerales asociados que contienen elementos similares en su composición química como la witherita (BaCO₃) que podría estar causando los elevados valores calculados de baritina. Adicionalmente, tampoco se descartan que existan problemas de sensibilidad del equipo con el cual se realizó el ensayo (BRUKER S1 TURBO SD) según la información detallada en el análisis de resultados del capítulo IV.

El análisis geoestadístico realizado mediante Kriging con el software ArcGIS Pro permitió evaluar cuatro modelos (Circular, Esférico, Gaussiano y Exponencial) de los cuales cuantitativamente el modelo Exponencial presentó menor error. Sin embargo, el modelo Circular fue el más adecuado cualitativamente para el estudio debido a que las zonas con alta concentración se restringen principalmente a las áreas donde se realizó el muestreo; brindando un mejor ajuste a los datos medidos.

Se identificaron dos zonas con alto potencial de concentración de Baritina que cubren áreas menores al 0.1 km² con valores que varían entre el 70% y el 90% de BaSO₄; por este motivo, la diferencia de concentración de baritina se pudo atribuir a la dirección de las vetas presentes en la zona (noroeste- sureste).

En la primera anomalía, las vetas parecen estar interceptadas entre sí, lo que podría explicar las concentraciones más altas de baritina en esas áreas específicas. Por otro lado, en la segunda

anomalía, las vetas están más cercanas a la boca mina. Además, la tendencia de las vetas en la anomalía uno se vio alterada debido a la presencia de una falla en la zona, que pudo haber generado un desplazamiento, lo que influiría en la distribución y concentración de la baritina en esas áreas.

El mapa de predicción de error muestra que los datos más cercanos entre sí generan índices de error más bajos, con valores que van desde 0 hasta 0.176, sin embargo, hay áreas que presentan un error más alto, alcanzando un valor máximo de 0.759. Esto se debe a la falta de datos directos en esas áreas, lo cual afecta a la precisión de las estimaciones interpoladas en esos lugares.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un muestreo más extenso del mineral de baritina para obtener una caracterización más completa, por lo que se sugiere realizar pruebas adicionales en el laboratorio, como análisis de densidad, estudio de tamaño de partícula, pruebas de resistencia química y pruebas de calidad, etc., para determinar la pureza del mineral.

Se sugiere explorar en sentido noroeste-sureste puesto que los resultados obtenidos mediante laboratorio y posición geográfica sitúan a las muestras con contenido más alto de BaSO_4 (Baritina) hacia esa orientación, para esto se necesita la recolección de un mayor número de muestras de baritina con el fin de verificar con mayor exactitud el potencial de sulfato de bario en el sector Copal cantón Santiago de Méndez.

Profundizar el análisis de las muestras de baritina y considerar otros métodos de caracterización que pueden ser la Difracción de rayos X, Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Análisis petrográficos mediante la técnica de sección delgada (TS), entre otros, las cuales ayudarán a obtener una visión más completa del contenido y composición de la baritina en estudio.

GLOSARIO

ARCERNNR: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

Metagrauvas: Estas rocas corresponden al Complejo Esquisto Grauváquico y han sufrido metamorfismo de grado bajo.

MLE: Método de Elementos Pequeños

SE: Secretaria de Economía

SENPLADES: Secretaria Nacional de Planificación

UTPL: Universidad Técnica Particular de Loja

XRF: Fluorescencia de rayos X

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, Victoria, 2015. *Caracterización de los materiales del distrito minero Chinapintza por Fluorescencia de Rayos-X* [en línea]. Loja. Recuperado a partir de : https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/13529/1/Alvarado_Sisalima_Victoria_Elizabeth.pdf [consultado 10 julio 2023].

BALDOCK, J. W., 1982. *GEOLOGÍA DEL ECUADOR*. . Quito.

BARTHELMY, D, 1990. Witherite Mineral Data. *Webmineral.com* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://www.webmineral.com/data/Witherite.shtml> [consultado 22 agosto 2023].

BLÁZQUEZ, María, 2016. *Modelo Geológico de la Arenisca Tena Basal en la Cuenca Oriente* [en línea]. Quito. Recuperado a partir de : <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2441/1/CD-0142.pdf> [consultado 8 febrero 2023].

CITIUS, 2010. *Cálculo de incertidumbre, límite de detección y de cuantificación de los métodos de medidas mediante FRX* [en línea]. España. Recuperado a partir de : https://investigacion.us.es/docs/web/files/ag10_err_ld_lc_frx.pdf [consultado 23 julio 2023].

CUESTA, Marcelino y HERRERO, Fco, 2009. *TEMA : INTRODUCCIÓN AL MUESTREO* [en línea]. España. Recuperado a partir de : <http://www.editorialkamar.com/et/archivo04.pdf> [consultado 30 noviembre 2022].

DZUL ESCAMILLA, Marisela, 2018. *“DISEÑO NO-EXPERIMENTAL”* [en línea]. México. Recuperado a partir de : https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES38.pdf [consultado 29 noviembre 2022].

EGÜEZ, Arturo, GAONA, Miguel y ALBÁN, Andrea, 2017. *MAPA GEOLÓGICO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. Ministerio de Minería.*

GADMCS, 2014. *GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN SANTIAGO DIAGNOSTICO PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL* [en línea]. Méndez. Recuperado a partir de : https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/DIAGNOSTICO_15-11-2014.pdf [consultado 18 diciembre 2022].

GADPR COPAL, 2022a. Minería. *GAD Parroquial Copal* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://copal.gob.ec/index.php/ct-menu-item-33/ct-menu-item-45> [consultado 18 diciembre 2022].

GADPR COPAL, 2022b. Artesanal. *GAD Parroquial Copal* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://copal.gob.ec/index.php/ct-menu-item-33/ct-menu-item-47> [consultado 18 diciembre 2022].

GARCÍA, Andrea, VILLAVICENCIO, Ana y VITERI, Francisco, 2016. *Metodología para la determinación de lugares de interés geológico: Caso “Trayecto: Baeza-San Víctor-El Chaco”* [en línea]. Quito. Recuperado a partir de : [https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/download/46/63/239#:~:text=Geolog%C3%ADa%20local&text=Unidad%20Upa%20\(JUp\)%3A%20Corresponde,de%20la%20ca%20retera%20Baeza%2DTena](https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/download/46/63/239#:~:text=Geolog%C3%ADa%20local&text=Unidad%20Upa%20(JUp)%3A%20Corresponde,de%20la%20ca%20retera%20Baeza%2DTena). [consultado 10 julio 2023].

GARCÍA CABRERO, Benilde, CISNEROS COHERNOUR, Edith y DÍAZ CAMACHO, Enrique, 2011. Técnicas de Recolección de Datos. *Entorno Virtual para el Desarrollo de Competencias en Evaluación* [en línea]. octubre 2011. Recuperado a partir de : <http://entornovirtualparaeldesarrollode.weebly.com/4teacutecnicas-de-recoleccionacuten-de-datos.html> [consultado 30 noviembre 2022].

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar, 2014. *Metodología de la Investigación* [en línea]. Sexta. México : McGRAW-HILL Education. ISBN 978-1-4562-2396-0. Recuperado a partir de : <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf> [consultado 30 noviembre 2022].

LITHERLAND, M., ASPDEN, J. A. y JEMIELITA, R. A., 1994. *Los cinturones metamórficos del Ecuador* [en línea]. Ecuador. Recuperado a partir de : https://ia804504.us.archive.org/19/items/1994-litherland-los-cinturones-metamorficos-del-ecuador-sp/1994_LITHERLAND_LOS_CINTURONES_METAMORFICOS_DEL_ECUADOR_SP.pdf [consultado 11 julio 2023].

MALDONADO, Yandry, 2021. Esquisto: Propiedades, características y usos. *GEOLOGIAWEB* [en línea]. Recuperado a partir de : <https://geologiaweb.com/rocas/esquisto/> [consultado 9 febrero 2023].

MORALES, Leiva y KARLA, Alejandra, 2016. Repositorio Digital - EPN_Muestras de Baritina. *Escuela Politécnica Nacional* [en línea]. Recuperado a partir de :

https://bibdigital.epn.edu.ec/browse?type=author&sort_by=1&order=ASC&rpp=20&etal=-1&value=Morales+Leiva%2C+Karla+Alejandra&starts_with=B [consultado 16 junio 2023].

MTOP, 2015. *PROYECTO DE INVERSIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN EL RÍO NAMANGOZA NAMANGOZA, PUENTE SOBRE CANTON SANTIAGO DE MENDEZ, PROVINCIA DE CANTON SANTIAGO DE MENDEZ, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO* [en línea]. Recuperado a partir de : https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/LITERAL_K_PROYECTO_175200000.0000.372198.pdf [consultado 13 diciembre 2022].

PALACIOS, Jonatan, 2016. *ESTUDIOS GEOLÓGICOS PARA DETERMINAR LAS CAUSAS DE LOS DESLIZAMIENTOS JUNTO A LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN EN EL “PROYECTO HIDROELÉCTRICO SAN BARTOLO”* [en línea]. Macas. Recuperado a partir de : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4924/1/53T00013%20.pdf> [consultado 13 diciembre 2022].

PALELLA, Santa y MARTINS, Feliberto, 2004. *Metodología de la Investigación Cuantitativa* [en línea]. Primera. Venezuela : FEDUPEL. ISBN 980-273-445-4. Recuperado a partir de : <https://issuu.pdf-downloader.com/print.php?documentId=170929161133-db6fde7a5ceb056f666a7530311bd362&count=279> [consultado 30 noviembre 2022].

ROCSCIENCE, 1996. DIPS. [en línea]. Recuperado a partir de : <https://www.rocscience.com/software/dips> [consultado 2 agosto 2023].

SARMIENTO, Jhonatan, 2021. *“ESTUDIO GEOLÓGICO PARA DETERMINAR LAS CAUSAS DEL MOVIMIENTO DE MASAS, QUE AFECTA LA INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR LA DOLOROSA Y SAN BARTOLO, DE LA PARROQUIA COPAL.”* [en línea]. Macas. Recuperado a partir de : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15370/1/53T00047.pdf> [consultado 13 diciembre 2022].

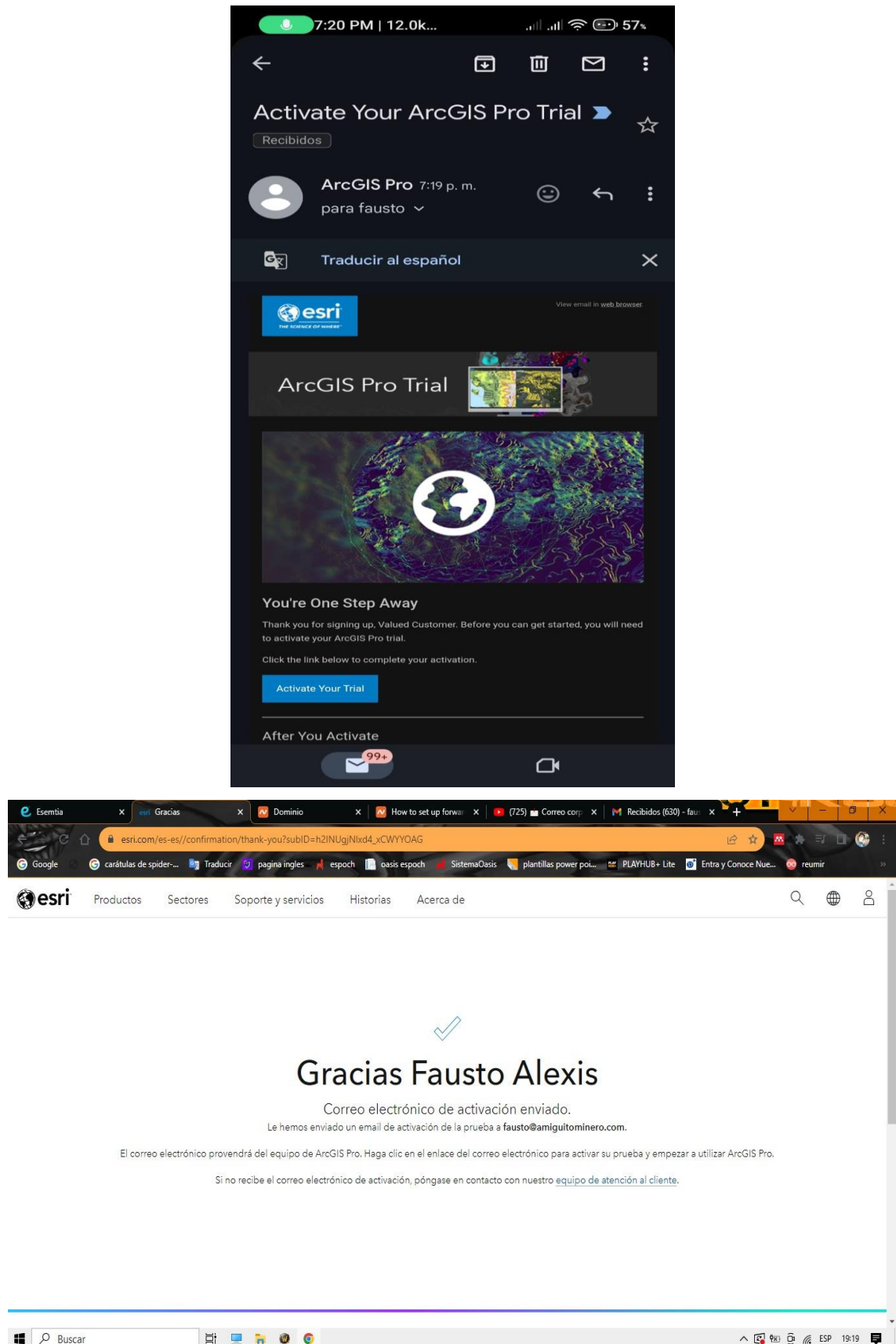
SECRETARIA DE ECONOMÍA, 2014. *BARITA* [en línea]. México. Recuperado a partir de : https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_barita_2014.pdf [consultado 10 julio 2023].

TAMAYO, Carla y SILVA, Irene, 2010. *TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS* [en línea]. Perú. Recuperado a partir de : <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/23.pdf> [consultado 30 noviembre 2022].

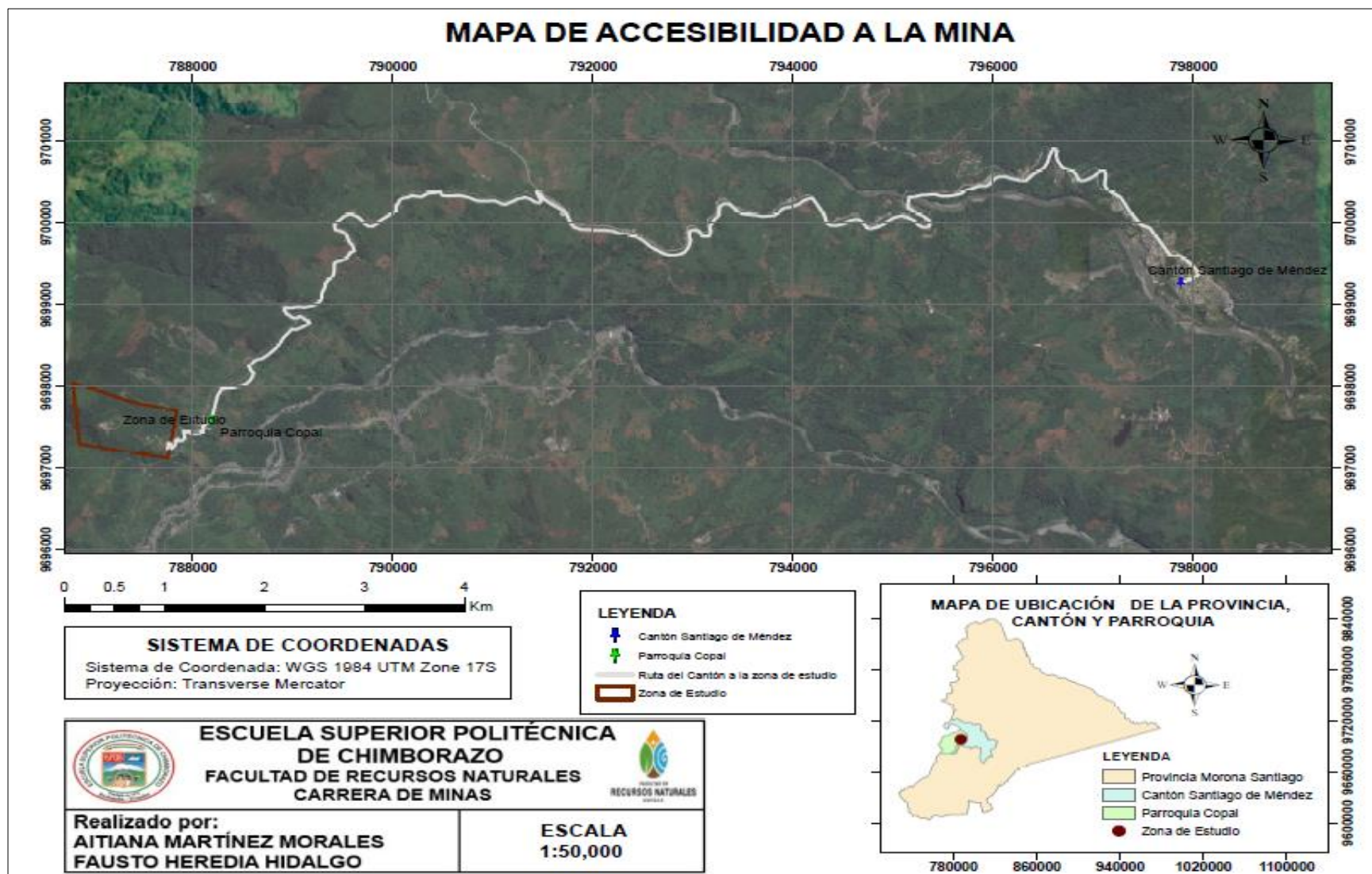
TAMAYO TAMAYO, Mario, 2003. *El Proceso de la Investigación Científica* [en línea]. Cuarta. México : LIMUSA. ISBN 96818·5872·7. Recuperado a partir de : www.noriega.com.mx

ANEXOS

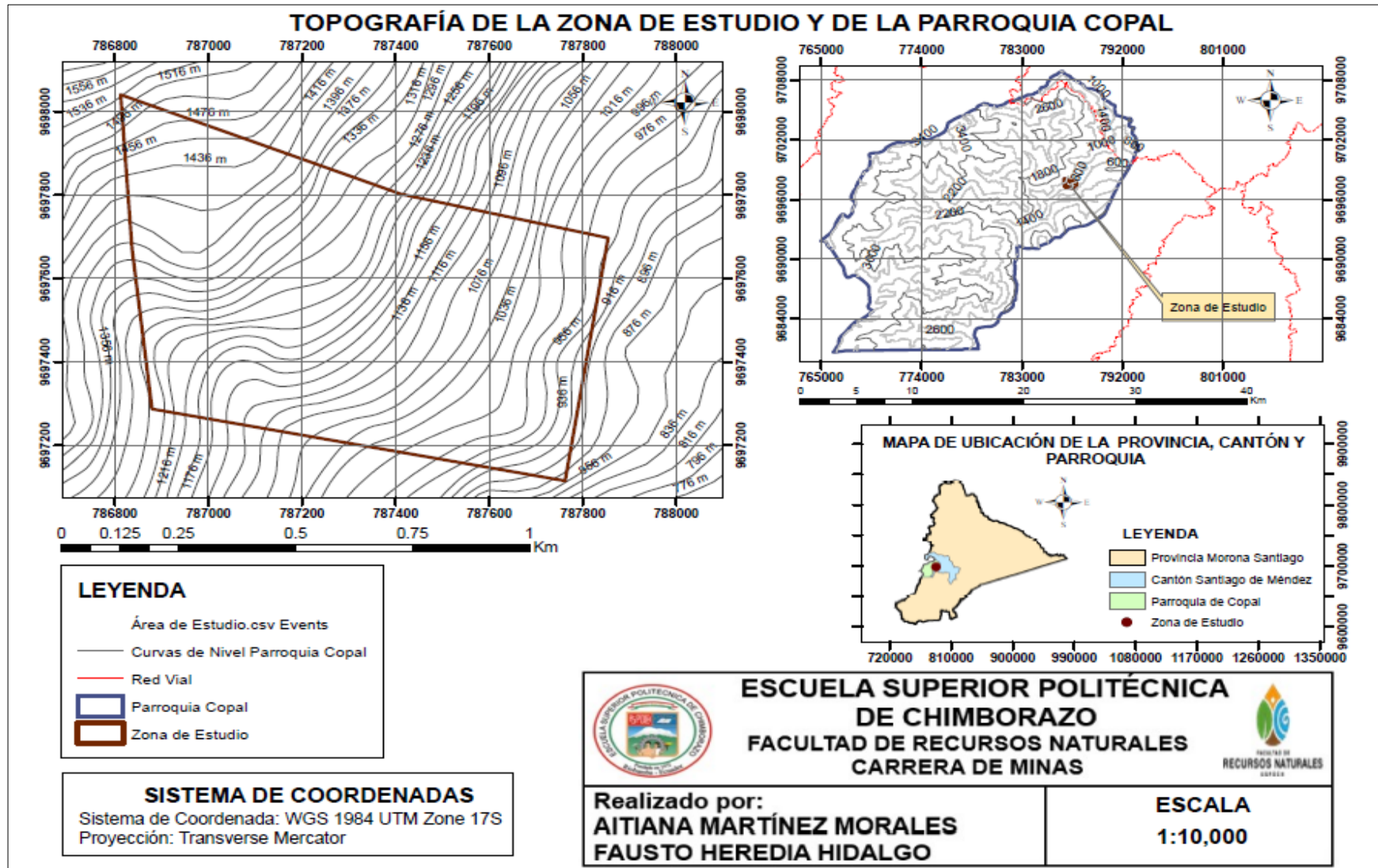
ANEXO A: LICENCIA DE ARCGIS PRO



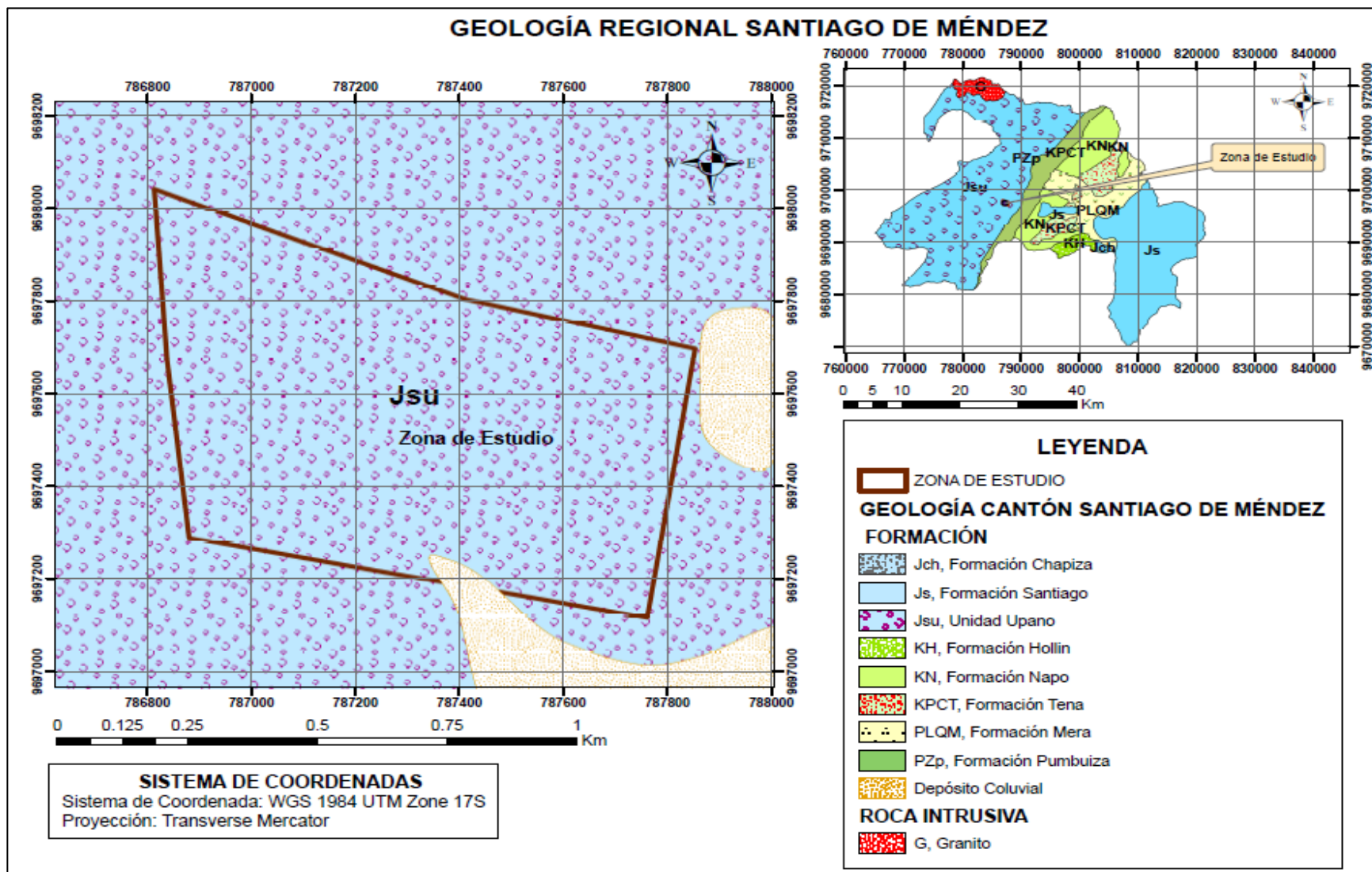
ANEXO B: MAPA DE ACCESIBILIDAD A LA MINA



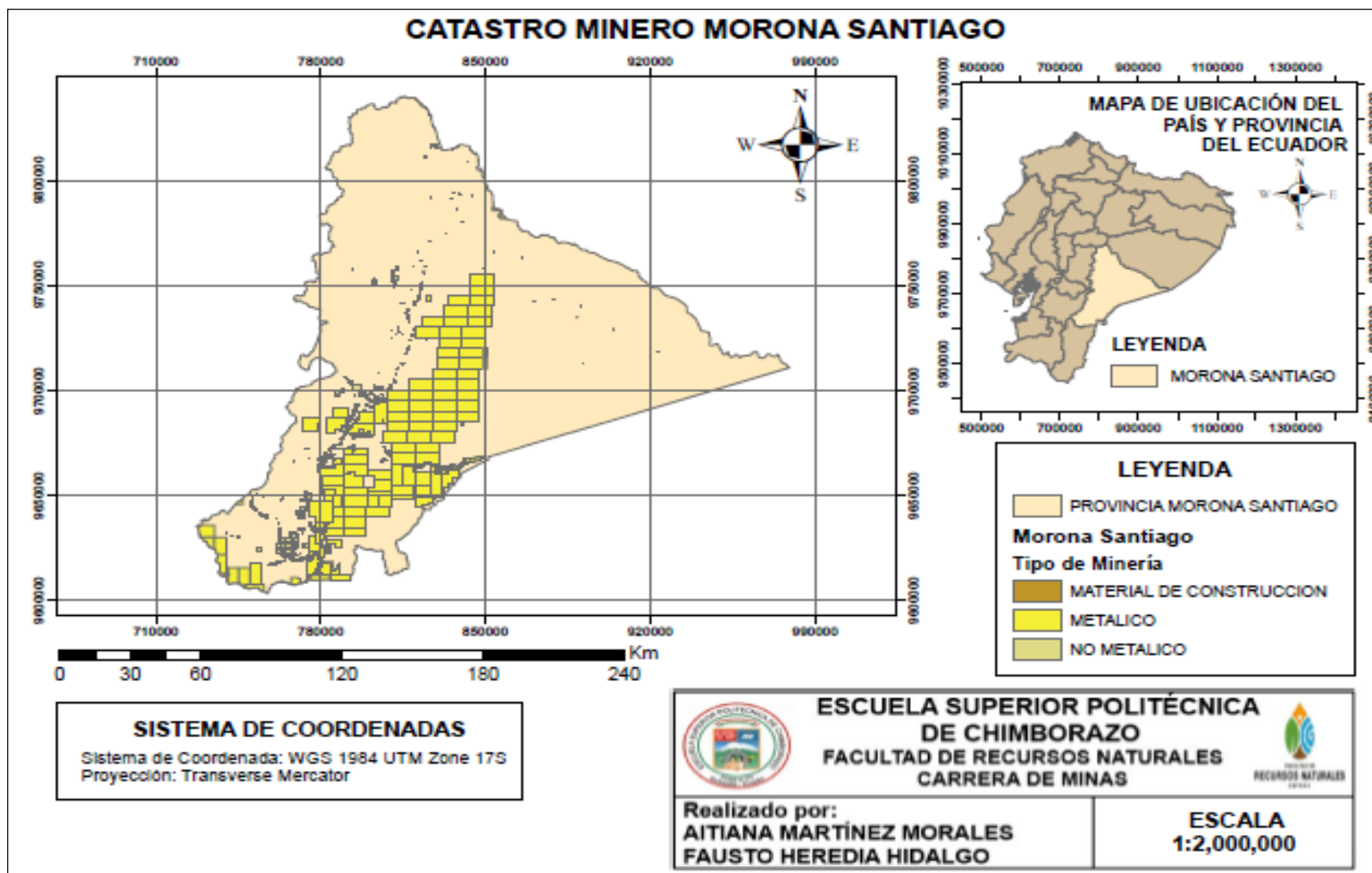
ANEXO C: TOPOGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO Y DE LA PARROQUIA COPAL



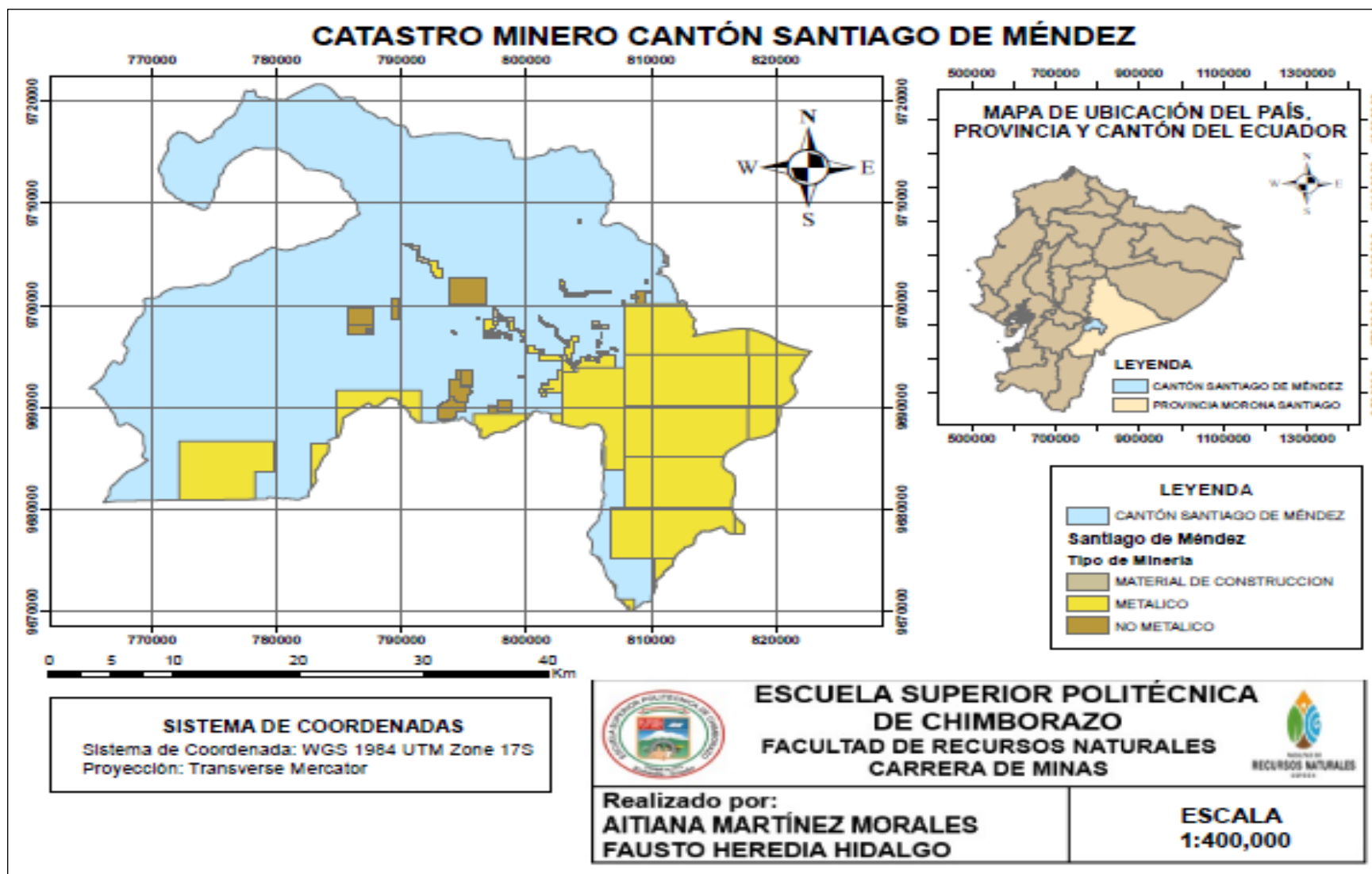
ANEXO D: MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DE SANTIAGO DE MÉNDEZ



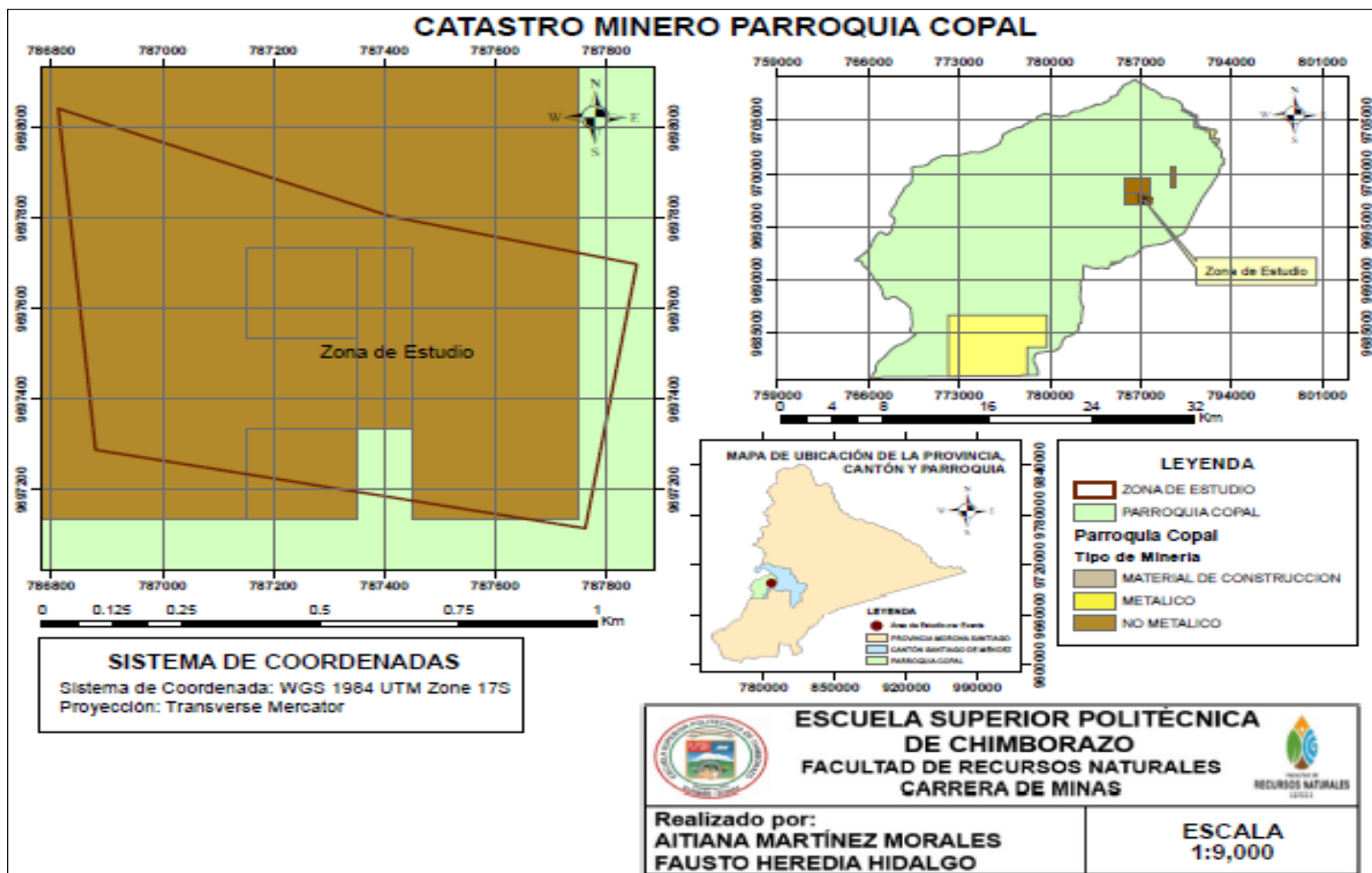
ANEXO E: MAPA DEL CATRASTO MINERO EN MORONA SANTIAGO



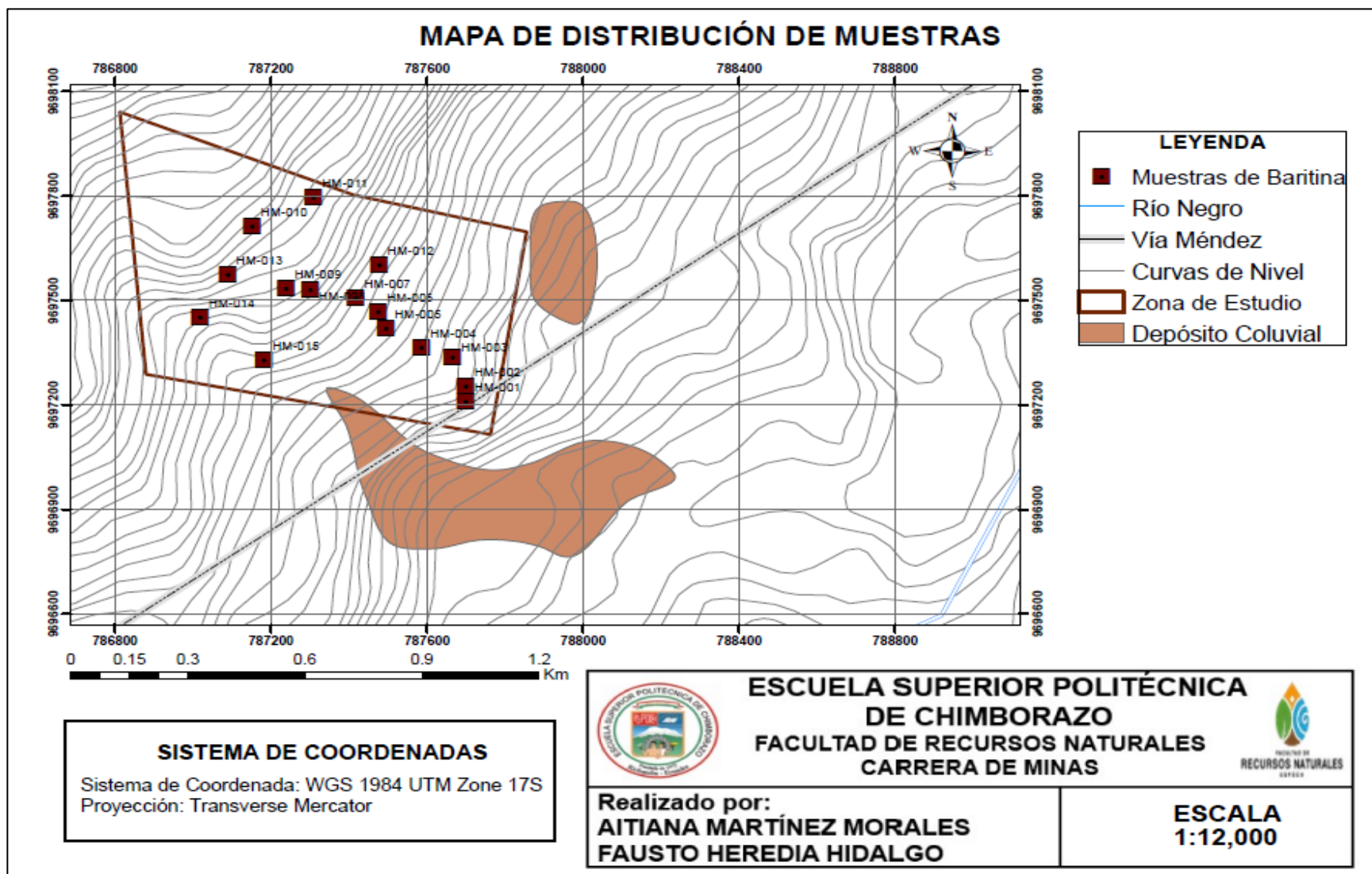
ANEXO F: MAPA DEL CATRASTO MINERO DEL CANTÓN SANTIAGO DE MÉNDEZ



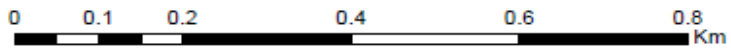
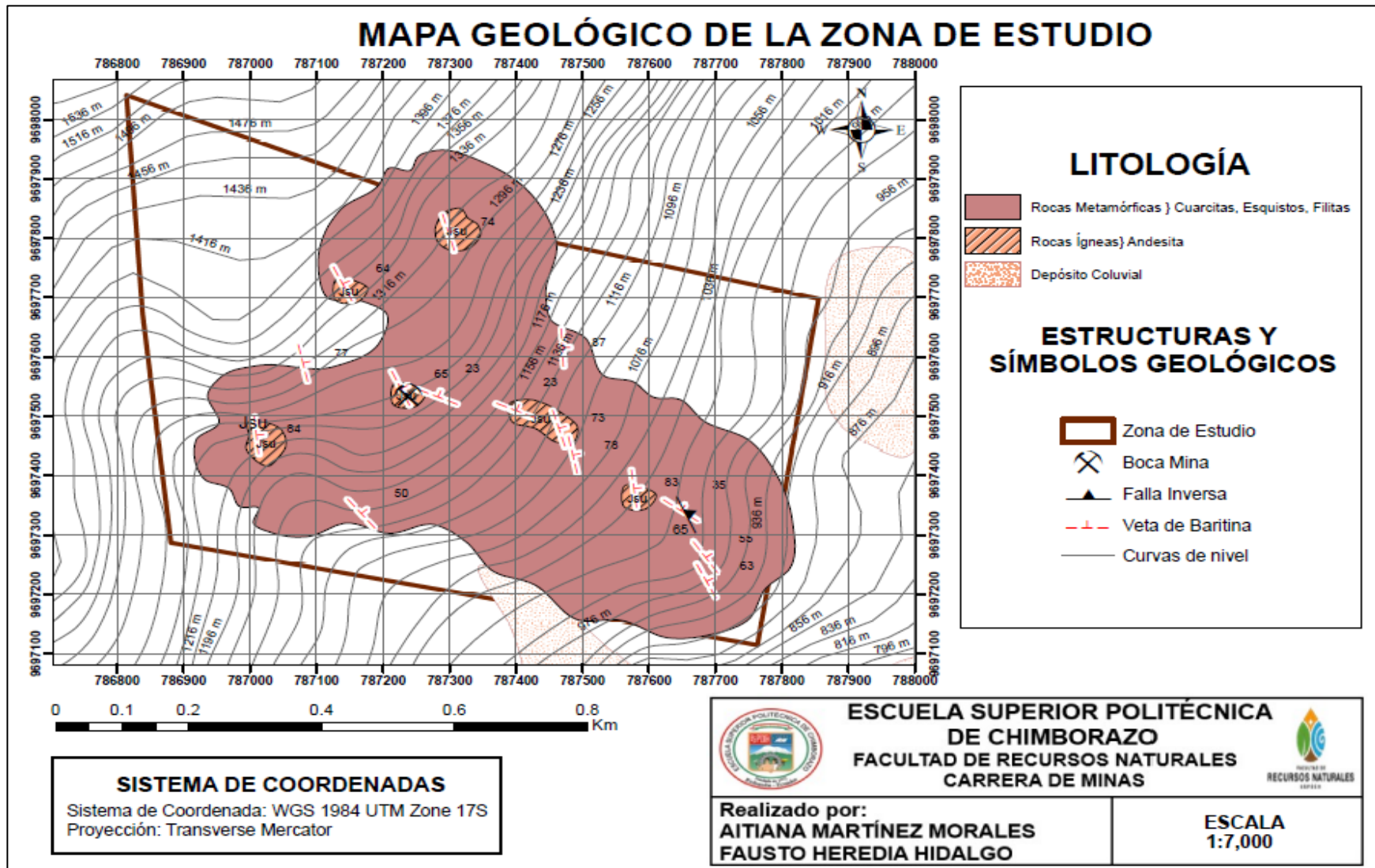
ANEXO G: MAPA DEL CATRASTO MINERO EN LA PARROQUIA COPAL



ANEXO H: MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE LA ZONA DE ESTUDIO



ANEXO I: MAPA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO



ESCUOLA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA DE MINAS

Realizado por:
AITIANA MARTÍNEZ MORALES
FAUSTO HEREDIA HIDALGO

ESCALA
1:7,000

ANEXO J: DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

AFLORAMIENTO N. 1		FOTOGRAFÍA
Fecha	25/11/2022	
Coordenadas	X: 787698	
DATUM	Y: 9697211	
WGS84	Z: 970	
Dimensiones	Longitud: 6m Altura: 4m	
Tipo de afloramiento	Artificial	
Dato estructural	243°/63°	
Formación	Unidad Upano	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>La litología presente consta de abajo hacia arriba de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Se presencia ondulaciones marcadas por la deformación de que se presenta en el afloramiento. 2) Se observa la veta de la baritina de aproximadamente 5cm a lo largo del afloramiento. 3) Esquistos verdosos cerca de la veta de baritina, con una potencia no mayor a 15cm. 4) Presencia de oxidación en el afloramiento, debido a la precipitación de aguas lluvias y el paso de pequeñas vertientes distribuida por toda la zona. 		

AFLORAMIENTO N. 2		FOTOGRAFÍA
Fecha	25/11/2022	
Coordenadas	X: 787698	
DATUM	Y: 9697253	
WGS84	Z: 996	
Dimensiones	Longitud: 10m Altura: 6m	
Tipo de afloramiento	Artificial	
Dato estructural	235°/55°	
Formación	Unidad Upano	

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de abajo hacia arriba de:

- 1) Se visualiza bloques parte del depósito coluvial desprendido del afloramiento, bloques no mayores a 65cm de longitud y 70cm de ancho.
- 2) Depósito coluvial parte del afloramiento, colapsó debido a la presencia de meteorización en el lugar, aproximadamente 4m.
- 3) Se presencia raíces que sobresalen del lugar donde se desprendió el depósito coluvial.

AFLORAMIENTO N. 3		FOTOGRAFÍA	
Fecha	25/11/2022	<p>Debido a la vegetación espesa y presencia de árboles, se tomaron dos fotos referentes del sitio para una mejor visualización, ya que el captar una imagen clara del sitio fue difícil.</p>	
Coordenadas DATUM WGS84	X: 787664 Y: 9697337 Z: 1036		
Dimensiones	Longitud: 200m Altura: 8m		
Tipo de afloramiento	Natural		
Dato estructural	215°/65°		
Formación	Unidad Upano		

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de abajo hacia arriba de:

- 1) Se observa una falla inversa, del lado izquierdo se encuentra el piso y del lado derecho el techo de la falla, la falla tiene una extensión de 15m aproximadamente, los datos del Rumbo N55°O de la falla con buzamiento 65°SO.
- 2) Se visualiza esquistos verdosos en el lado izquierdo del afloramiento.
- 3) Existe oxidación en la parte derecha del afloramiento, a causa de afluentes que cruzan por el interior del afloramiento, además de las intensas lloviznas del lugar.
- 4) La vegetación de lugar y el contacto con el agua ha provocado que se forme moho y musgo en las paredes del afloramiento del piso.

AFLORAMIENTO N. 4		FOTOGRAFÍA
Fecha	25/11/2022	
Coordenadas	X: 787585	
DATUM	Y: 9697363	
WGS84	Z: 1089	
Dimensiones	Longitud: 15m Altura: 8m	
Tipo de afloramiento	Natural	
Dato estructural	263°/83°	
Formación	Unidad Upano	

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de abajo hacia arriba de:

- 1) Existen bloques desprendidos del afloramiento en la imagen superior se puede apreciar el bloque con la veta de baritina, estos bloques no superan los 80cm de ancho y con 1m de largo.
- 2) Se aprecia la continuidad del estrato como referencia base la vegetación llega a su límite y continuidad sin vegetación, la división esta dado de arriba 9m hacia abajo 2m.
- 3) El afloramiento presenta un colapso de material, dando origen a un depósito coluvial, con una potencia de 10m aproximadamente.
- 4) La vegetación del lugar es el límite entre el estrato superior e inferior.

AFLORAMIENTO N. 5		FOTOGRAFÍA
Fecha	27/11/2022	
Coordenadas DATUM WGS84	X: 787494 Y: 9697421 Z: 1103	
Dimensiones	Longitud: 10m Altura: 7m	
Tipo de afloramiento	Natural	
Dato estructural	251°/78°	
Formación	Unidad Upano	

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de derecha hacia la izquierda de:

- 1) Existe una separación entre la roca ígnea intacta y la roca metamórfica, posiblemente debido a un contacto geológico de litologías, a causa de la meteorización que se dio por un movimiento telúrico y el paso constante de agua por el lugar, la extensión de la roca es de 5m de longitud por 2m ancho.
- 2) Existe un bloque grande (1.5m x 2.5m) en el cual se puede apreciar que se ha desprendido de su matriz y aún restan una clara muestra de veta de baritina, aunque este bloque aun presenta una consistencia alta, se visualiza un inicio del proceso de meteorización.
- 3) Además, se encontró en el lugar una vegetación que está cubriendo el lugar, de tal forma que se encontró impregnado en los bloques sueltos moho.
- 4) Se visualiza que existe oxidación presente en los bloques, por el paso de la lluvia y la vegetación que contamina el lugar.

AFLORAMIENTO N. 6		FOTOGRAFÍA
Fecha	27/11/2022	
Coordenadas	X: 787474	
DATUM	Y: 9697465	
WGS84	Z: 1258	
Dimensiones	Longitud: 10m Altura: 25m	
Tipo de afloramiento	Natural	
Dato estructural	253°/73°	
Formación	Unidad Upano	

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de abajo hacia arriba de:

- 1) El colapso de material puede definirse como un depósito aluvial, que se ha formado por la meteorización que ha incurrido en el afloramiento, se estima 10m ancho x 5m largo.
- 2) En la parte superior del afloramiento aún existe presencia de litología ígnea, aunque esa en un proceso de cambio, además se presencia que en este lugar ha existido una afluyente posiblemente un riachuelo, la potencia de esta zona es de 7m ancho x 3m largo.
- 3) La vegetación del lugar consta de pequeñas plantas y con muy poca población, se presume que el afloramiento no ha colapsado por los árboles que están en el lugar.

AFLORAMIENTO N. 7		FOTOGRAFÍA
Fecha	27/11/2022	
Coordenadas DATUM WGS84	X: 787416 Y: 9697507 Z: 1134	
Dimensiones	Longitud: 15m Altura: 9m	
Tipo de afloramiento	Natural	
Dato estructural	203°/23°	
Formación	Unidad Upano	

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de derecha hacia izquierda de:

- 1) Se identifica un depósito coluvial, recubierto de vegetación se presume haya colapsado por el constante contacto con el agua, se aproxima a 2m ancho x 1.5m largo.
- 2) Se aprecia un río de piedras a consecuencia que antes hubo un afluyente en el lugar, por tanto, son restos de este, dentro de la cuneta formada por el río se visualiza rocas metamórficas e ígneas, su extensión es de más o menos 15m hacia adentro.
- 3) Se visualiza un bloque con alto contenido en baritina, además se observa un grado de oxidación leve por las fuertes lluvias que hay en el lugar, el bloque tiene unas dimensiones aproximadas de 75cm ancho x 65cm largo.
- 4) La vegetación que existe en el lugar esconde el límite del afloramiento por ende la línea amarilla representa el límite y dirección del afloramiento.

AFLORAMIENTO N. 8		FOTOGRAFÍA
Fecha	29/11/2022	
Coordenadas	X: 787299	
DATUM	Y: 9697531	
WGS84	Z: 1211	
Dimensiones	Longitud: 15m Altura: 20m	
Tipo de afloramiento	Natural	
Dato estructural	203°/23°	
Formación	Unidad Upano	

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de abajo hacia arriba de:

- 1) Se visualiza un depósito coluvial producto de un metamorfismo de roca cuarcita, este tiene unas dimensiones de 3m ancho x 5m largo.
- 2) Se observa un afluente pequeño que cruza por este afloramiento, aproximadamente tiene una dimensión de 10m hacia arriba.
- 3) Además, se observa un segundo depósito coluvial que se encuentra del lado izquierdo del riachuelo, con una potencia de 4m ancho x 10m largo.
- 4) La litología considerada ígnea está en estado de metamorfismo a causa del río y los constantes cambios climáticos.

AFLORAMIENTO N. 9		FOTOGRAFÍA
Fecha	29/11/2022	
Coordenadas	X: 787238	
DATUM	Y: 9697535	
WGS84	Z: 1213	
Dimensiones	Longitud: 15m Altura: 30m	
Tipo de afloramiento	Artificial	
Dato estructural	245°/65°	
Formación	Unidad Upano	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>La litología presente consta de abajo hacia arriba de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Se visualiza la boca mina que iniciaría la actividad minera subterránea en el lugar para la extracción de baritina, la dimensión de la entrada es de 1.5m ancho x 2.5m alto. 2) Además, se presencia un depósito coluvial esto a consecuencia del colapso del material del afloramiento, el depósito coluvial mencionado antes posee dimensiones de 8m ancho x 10m alto. 3) En la parte superior del afloramiento existe una litología metamórfica – ígnea puesto que se nota metamorfismo en la roca, la dimensión de la litología es 5m ancho x 3m largo. 		

AFLORAMIENTO N. 10		FOTOGRAFÍA
Fecha	30/11/2022	
Coordenadas	X: 787151	
DATUM	Y: 9697711	
WGS84	Z: 1193	
Dimensiones	Longitud: 25m Altura: 15m	
Tipo de afloramiento	Artificial	
Dato estructural	247°/64°	
Formación	Unidad Upano	

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de abajo hacia arriba de:

- 1) Se identifica un pequeño deposito coluvial, que se ha formado por el metamorfismo del afloramiento, la dimensión de este es 3m ancho x 2m largo.
- 2) El afloramiento presenta un desgaste por el paso de maquinaria pesada por el lugar, de este modo ha sido modificado por fuerzas externas, las dimensiones son de 20m ancho x 12m largo.
- 3) Se aprecia una capa delgada que cubre el afloramiento, además se visualiza poca vegetación en la pared del afloramiento.


AFLORAMIENTO N. 11		FOTOGRAFÍA	
Fecha	30/11/2022		
Coordenadas DATUM WGS84	X: 787308 Y: 9697795 Z: 1281		
Dimensiones	Longitud: 20m Altura: 9m		
Tipo de afloramiento	Natural		
Dato estructural	254°/74°		
Formación	Unidad Upano		
DESCRIPCIÓN:			
<p>La litología presente consta de derecha hacia la izquierda de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Se visualiza que la litología metamórfica está en un proceso de meteorización, la potencia de este es de 4.5m ancho y 3m largo. 2) Se visualiza de igual manera una litología ígnea en situación de destrucción, las dimensiones de este es 4m ancho x 6 largo. 3) El afloramiento presenta una vegetación espesa y parte de ella sostiene la parte metamórfica. 			

AFLORAMIENTO N. 12		FOTOGRAFÍA
Fecha	30/11/2022	
Coordenadas DATUM WGS84	X: 787476 Y: 9697600 Z: 1152	
Dimensiones	Longitud: 15m Altura: 10m	
Tipo de afloramiento	Artificial	
Dato estructural	272°/87°	
Formación	Unidad Upano	

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de derecha hacia la izquierda de:

- 1) Se presenta una zona erosiva producto del paso de maquinaria pesada, animales, y el cambio climático, esta zona está cerca de una vía de tercer orden la cual es usada para dirigirse a las fincas, esta vía es de acceso privado sin embargo la gente invade espacio público para acortar su camino, su dimensión es 3m ancho x 1.5m largo.
- 2) La litología metamórfica del lugar está completamente invadida de vegetación, pero se puede observar pequeños bloques que están impregnados en las paredes del afloramiento.
- 3) Se observa una vía de tercer orden usada por los dueños e hijos, la vía ha sido trabajada recientemente por que aún se presencia las marcas de las cintas de la retro excavadora.


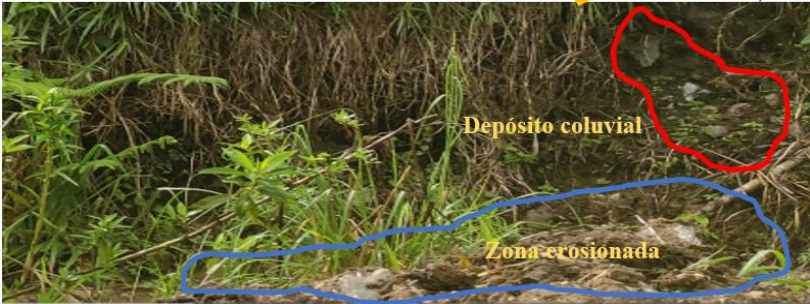
AFLORAMIENTO N. 13		FOTOGRAFÍA
Fecha	01/12/2022	
Coordenadas	X: 787088	
DATUM	Y: 9697575	
WGS84	Z: 1154	
Dimensiones	Longitud: 20m Altura: 15m	
Tipo de afloramiento	Artificial	
Dato estructural	257°/77°	
Formación	Unidad Upano	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>La litología presente consta de abajo hacia arriba de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Se visualizan bloques meteorizados en la zona, la vegetación, las lluvias y el paso de animales hacen que esta zona este en constante deformación. 2) Los bloques meteorizados se encuentran separadas a 1.5m una de otra. 3) Además, se presenció que corría agua por la zona lo que indica un afluente cercano. 		

AFLORAMIENTO N. 14		FOTOGRAFÍA
Fecha	01/12/2022	
Coordenadas DATUM WGS84	X: 787017 Y: 9697452 Z: 1121	
Dimensiones	Longitud: 30m Altura: 20m	
Tipo de afloramiento	Natural	
Dato estructural	262°/84°	
Formación	Unidad Upano	

DESCRIPCIÓN:

La litología presente consta de derecha hacia la izquierda de:

- 1) La litología ígnea presente en el lugar muestra rasgos de deterioro por el paso del río que está en el lugar, además los bloques que están en el sitio presentan oxidación leve.
- 2) Existe una fuerte meteorización en el lugar y se aprecia que el sitio contiene bloques completamente destruidos, ciertos bloques aún permanecen compactos, pero muestran rasgo de deterioro.
- 3) Además de lo mencionado antes se visualiza que existe erosión en algunos bloques, tomando colores rojizos.

AFLORAMIENTO N. 15		FOTOGRAFÍA	
Fecha	01/12/2022	<p>Al ser demasiado grande el afloramiento se prevé analizar la parte que presenta mayor deterioro y a su vez describir lo que se aprecia visualmente.</p> 	
Coordenadas DATUM WGS84	X: 787476 Y: 9697327 Z: 1086		
Dimensiones	Longitud: 30m Altura: 50m		
Tipo de afloramiento	Natural		
Dato estructural	310°/50°		
Formación	Unidad Upano		
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>La litología presente consta de abajo hacia arriba de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Se observo que el afloramiento presenta una zona erosionada por el paso de animales y las constantes lluvias, además de verificar que existe vegetación en el lugar. 2) La zona presenta un depósito coluvial en el que se puede encontrar rocas con baritina, algunos esquistos rojizos producto del metamorfismo de la zona. 3) La zona en general está completamente llena de vegetación, se verifico que es usado para mudar el ganado, por ello existe mucha deformidad en el terreno. 			

**ANEXO K: INFORME DE LABORATORIO DEL ANÁLISIS QUÍMICO REALIZADO
POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)**



**DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
LABORATORIO DE GEOQUÍMICA ANALÍTICA**

Asunto: Informe de Fluorescencia de Rayos X
Método: Mining Light Elements (MLE)
Solicitante: Fausto Alexis Heredia Hidalgo
Fecha de entrega: 2 de febrero de 2023

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos del análisis químico realizado por Fluorescencia de Rayos X (FRX) de las muestras correspondientes al **PED-0006**, empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil marca Bruker S1 Turbo SD.

MUESTRA	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)
HM-001	5.03	87.9	0.14	0.16	1.18	0.32
HM-002	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)
	16.5	54.9	0.06	0.24	7.02	0.43
HM-003	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)
	8.82	77.1	0.42	1.71	1.76	1.15
HM-004	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)
	ND	2.51	5.38	0.005	0.005	76.4
HM-005	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)
	ND	3.76	5	ND	0.008	76.0
HM-006	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)
	ND	5.48	5.55	0.0096	0.006	76.4
HM-007	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)
	1.97	12.9	5.17	0.165	0.017	66.2
HM-008	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)
	12.2	81.6	0.75	1.37	0.61	0.53
HM-009	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (%)

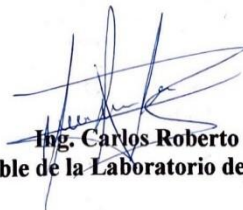
	4.28	37.2	4.65	0.86	0.036	31.0
HM-010	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	S (%)	K₂O (%)	Fe₂O₃ (%)	Ba (%)
	ND	5.43	5.57	0.025	ND	77.1
HM-011	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	S (%)	K₂O (%)	Fe₂O₃ (%)	Ba (%)
	4.69	37.5	4.4	0.755	0.16	34.5
HM-012	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	S (%)	K₂O (%)	Fe₂O₃ (%)	Ba (%)
	4.39	86.2	1.96	0.27	0.46	1.41
HM-013	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	S (%)	K₂O (%)	Fe₂O₃ (%)	Ba (%)
	ND	88.2	0.605	0.229	0.60	1.5
HM-014	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	S (%)	K₂O (%)	Fe₂O₃ (%)	Ba (%)
	1.42	19.6	5.2	0.166	0.031	61.1
HM-015	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	S (%)	K₂O (%)	Fe₂O₃ (%)	Ba (%)
	19.6	69.2	0.29	1.15	3.81	1.52

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

ND: No Detectó.

Observaciones: El Na₂O y Carbono no es analizado por FRX, pero la muestra los puede contener.

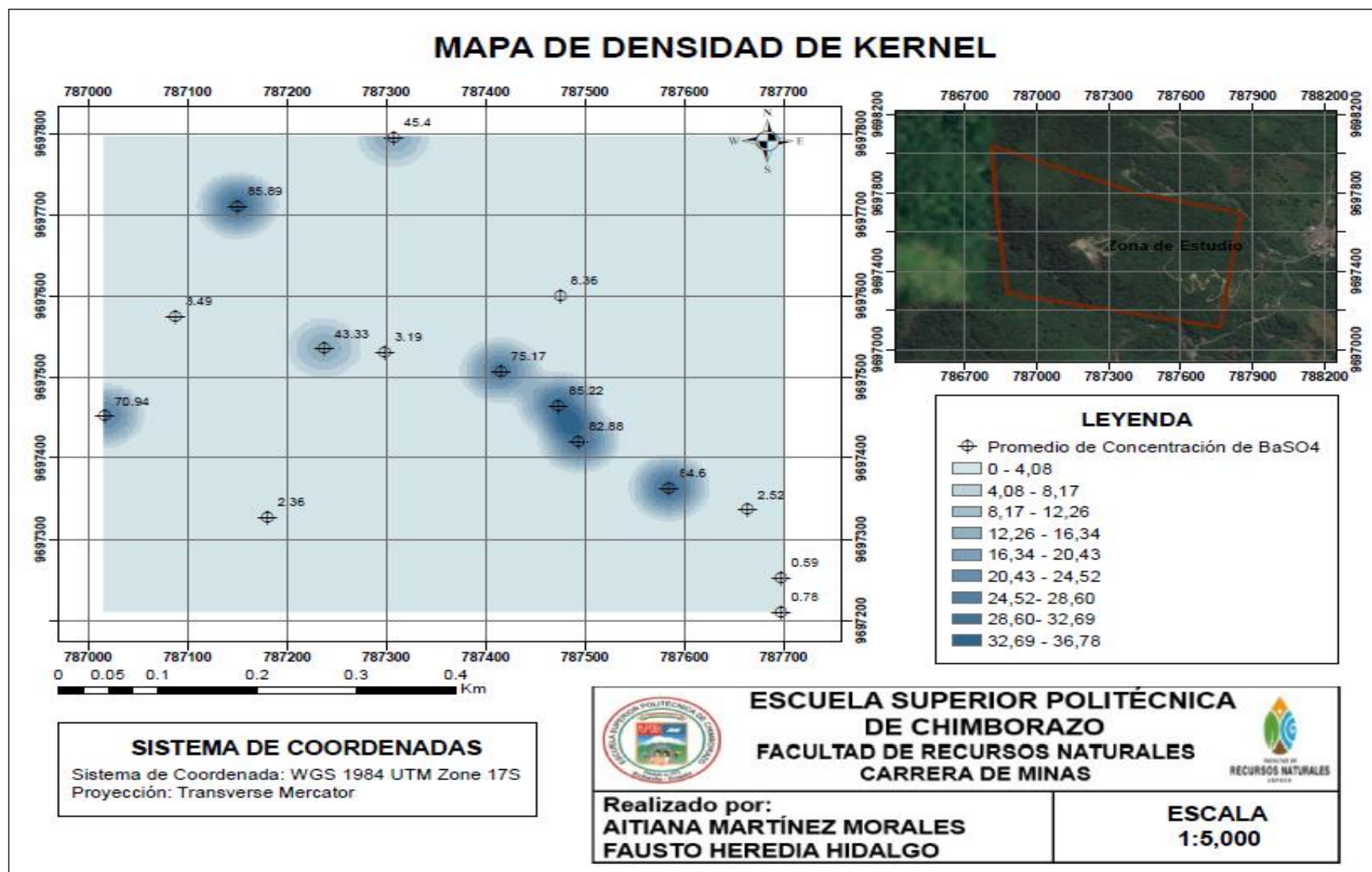
Universidad Técnica Particular de Loja (U.T.P.L.) y Laboratorio de Beneficio de Minerales se deslindan de toda responsabilidad civil, laboral y penal, derivado del protocolo de muestreo de las alicuotas ingresadas al laboratorio que puedan alterar los resultados del análisis, puesto que en este caso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



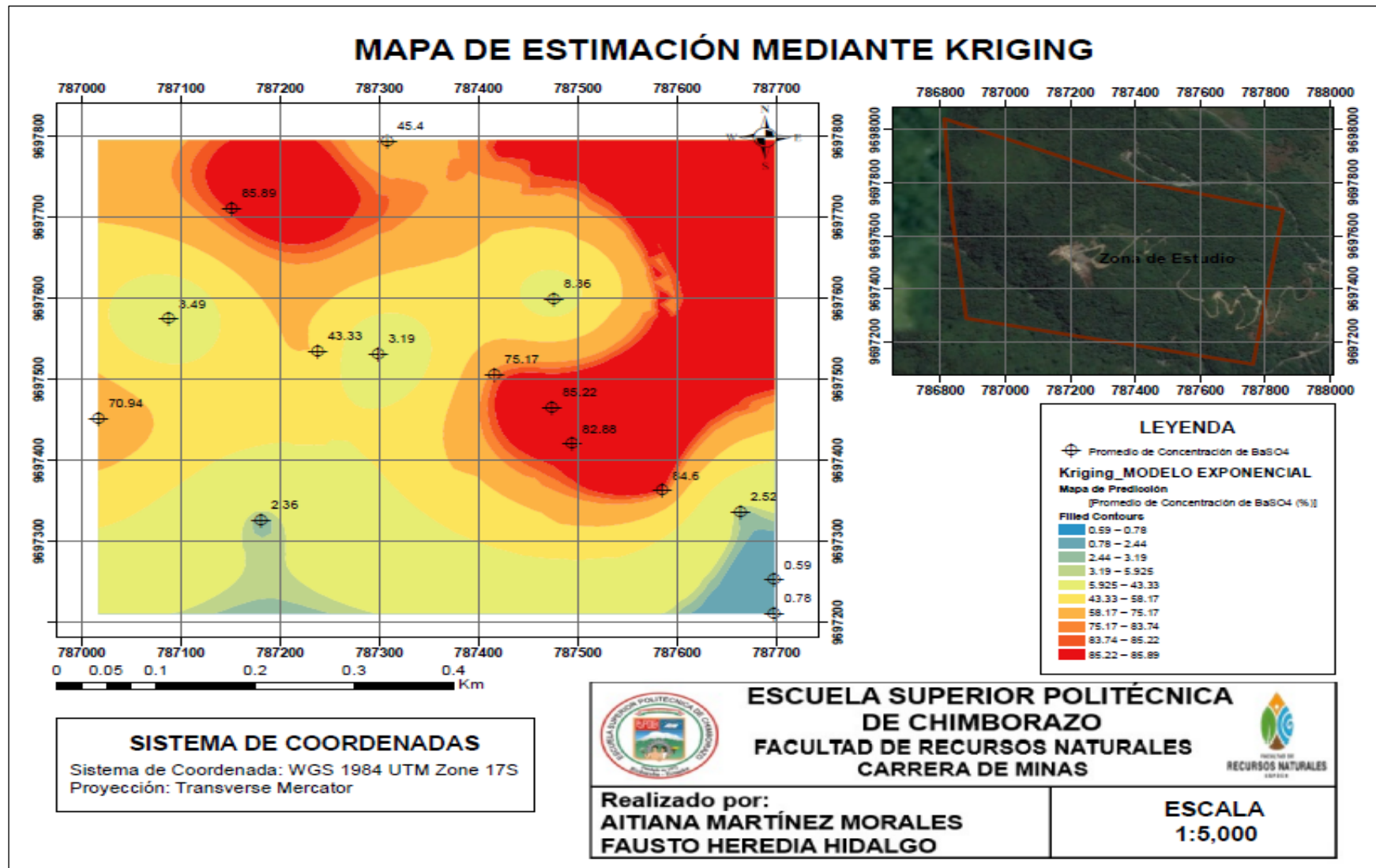
Ing. Carlos Roberto Correa J.
Responsable de la Laboratorio de Geoquímica Analítica

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

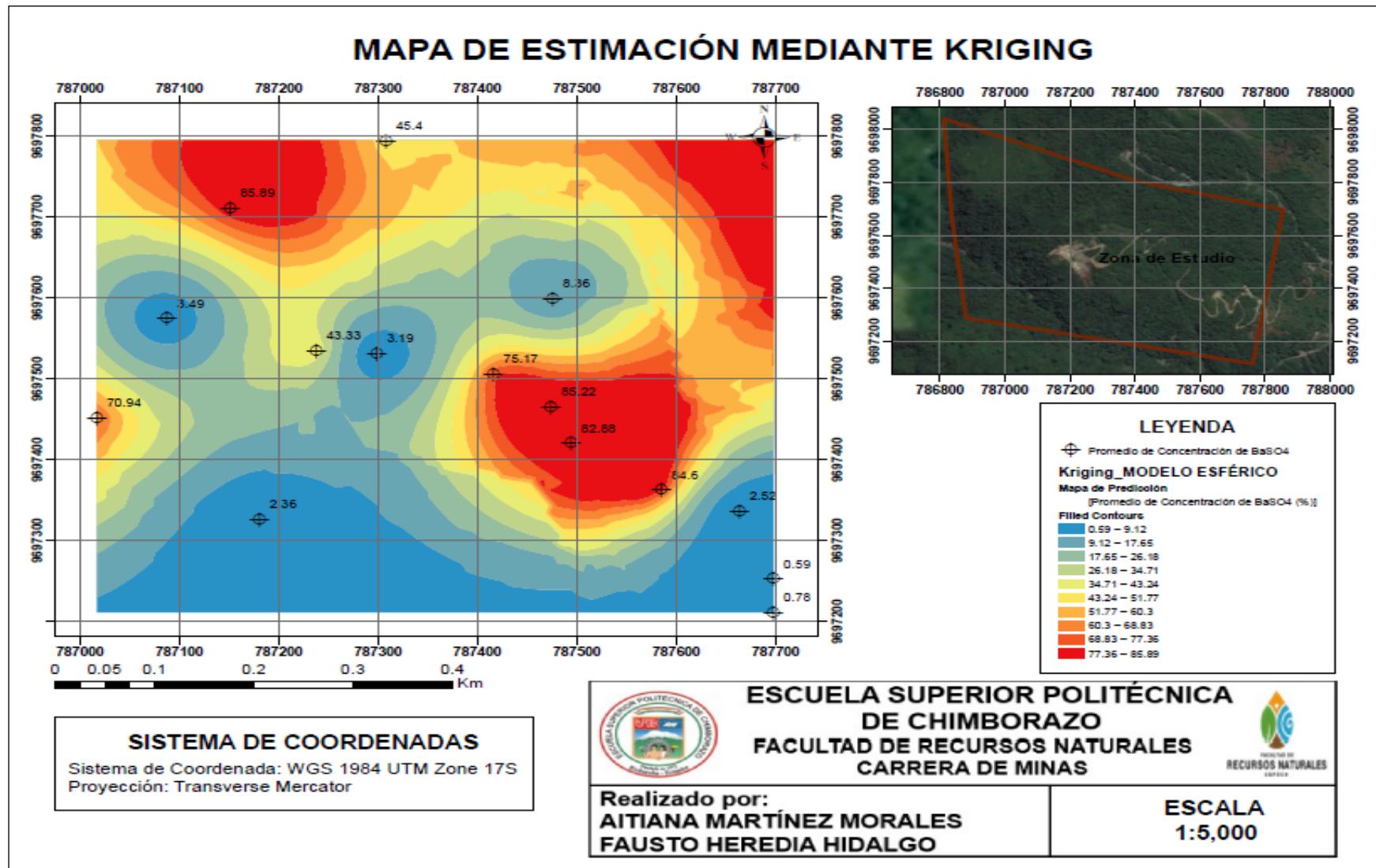
ANEXO L: MAPA DE DENSIDAD DE KERNEL



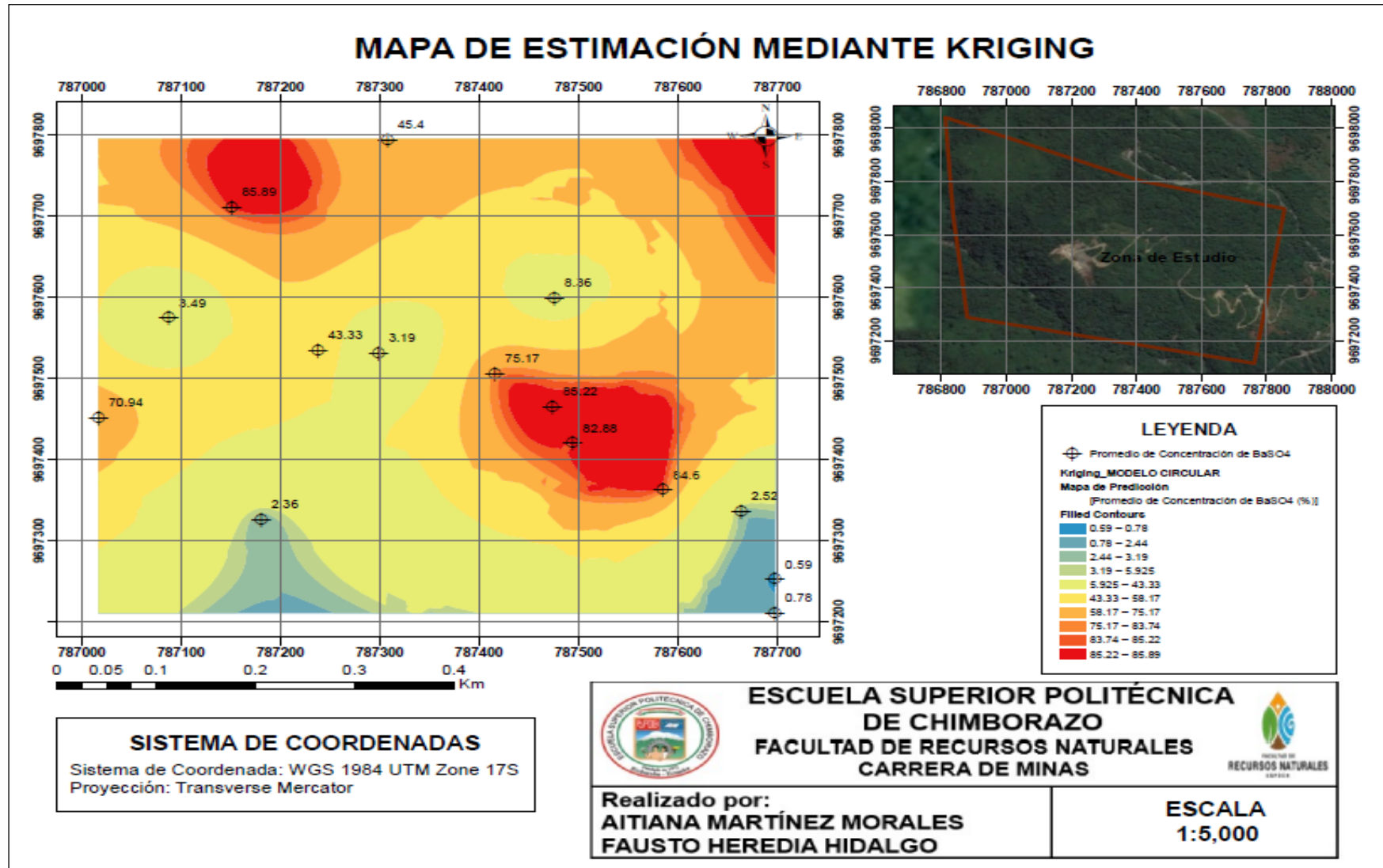
ANEXO M: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO EXPONENCIAL



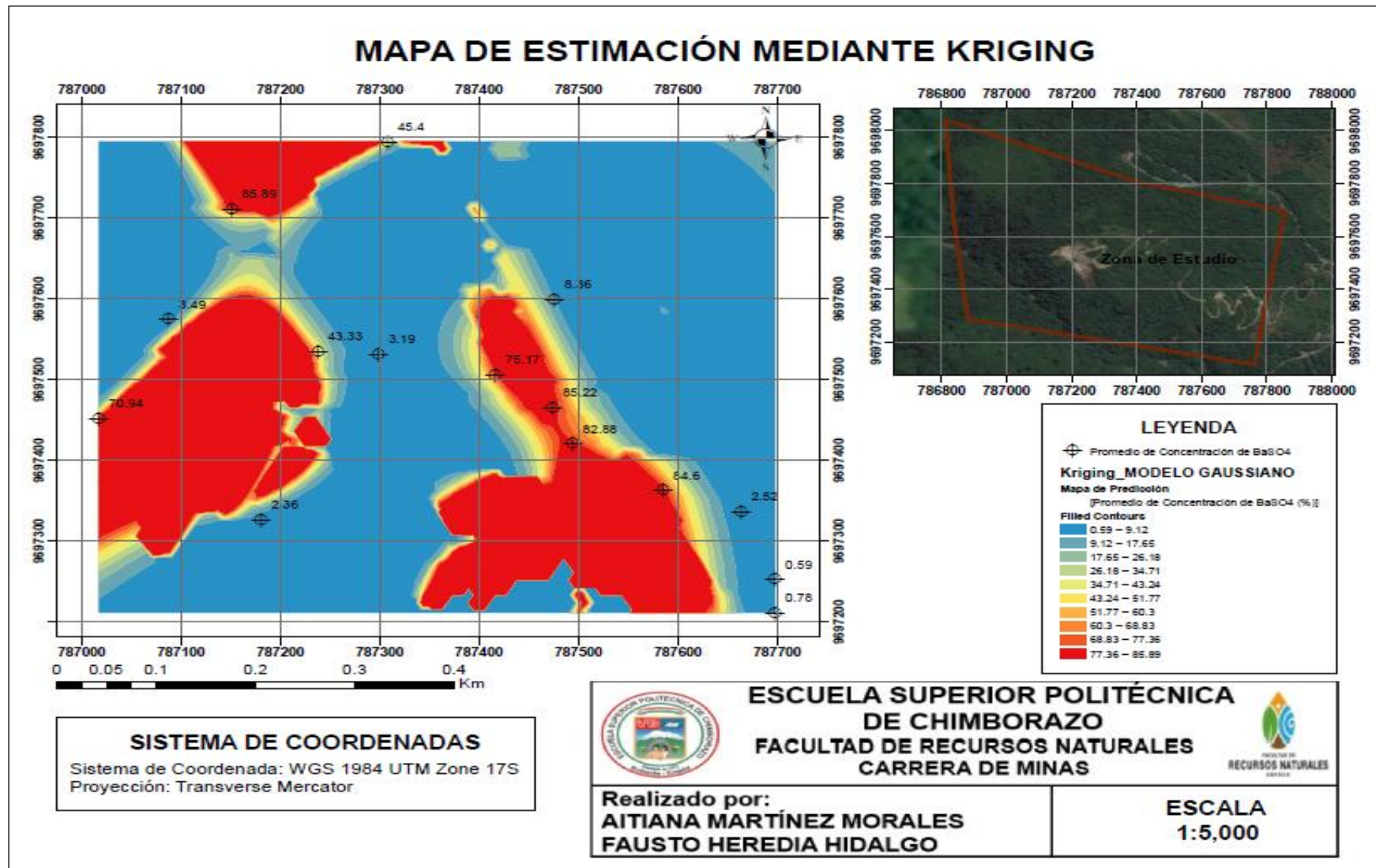
ANEXO N: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO ESFÉRICO



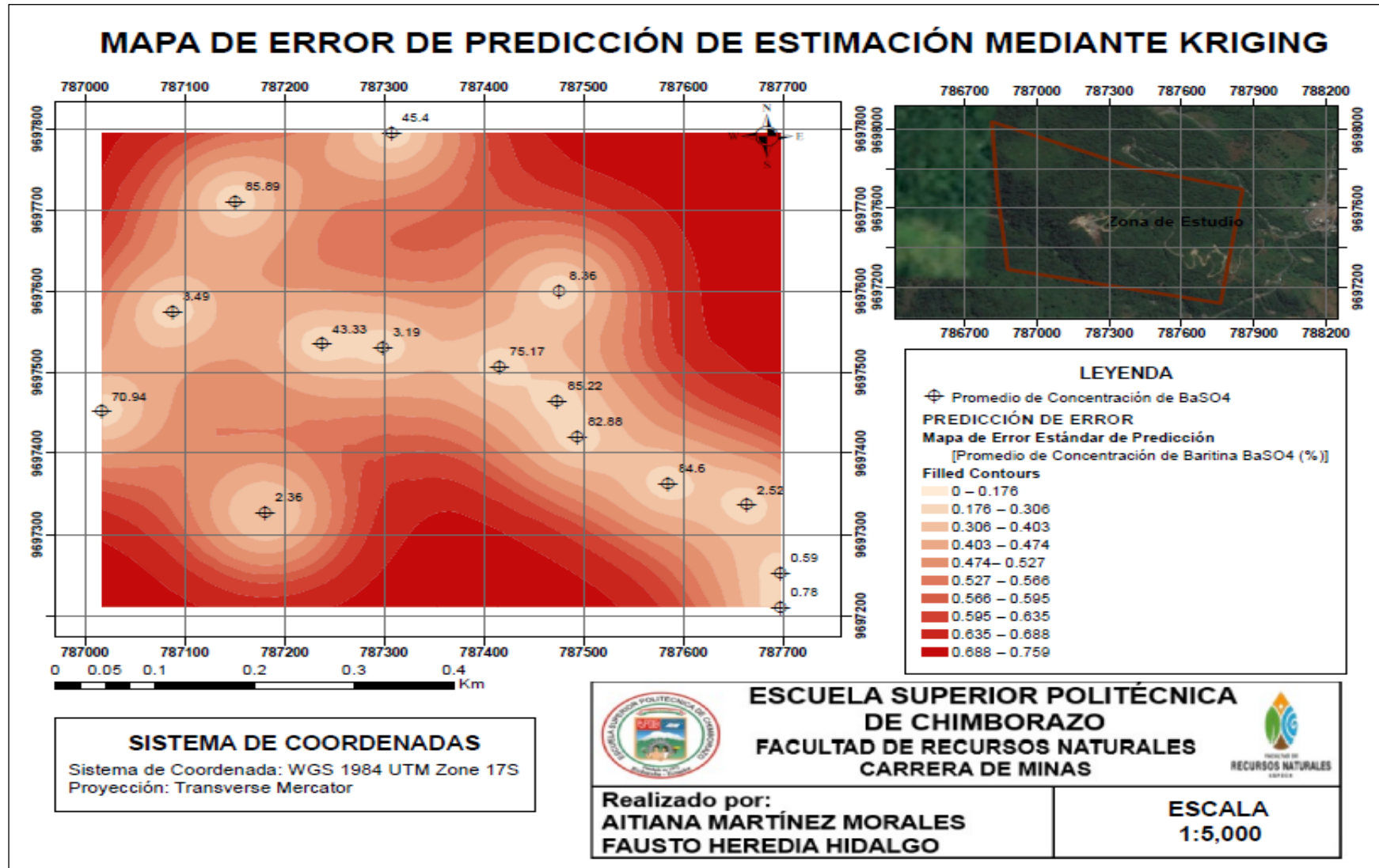
ANEXO O: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO CIRCULAR



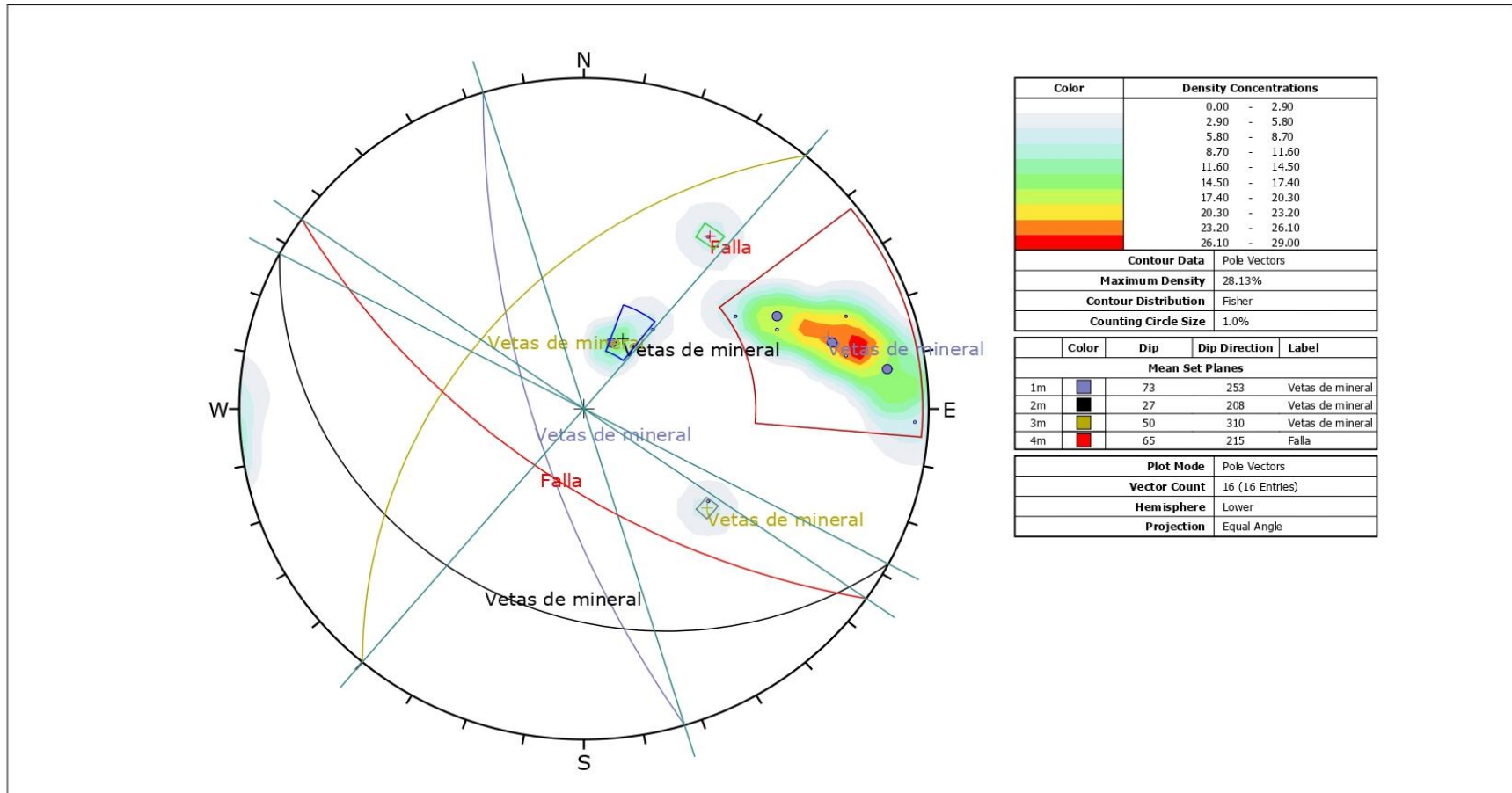
ANEXO P: MAPA DE ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING MODELO GAUSSIANO



ANEXO Q: MAPA DE ERROR DE PREDICCIÓN DE LA ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA MEDIANTE KRIGING




ANEXO R: MAPA CIRCULAR GEOGRÁFICO, REPRESENTACIÓN DE SET DE FAMILIAS Y CONCENTRACIONES (DIPS)



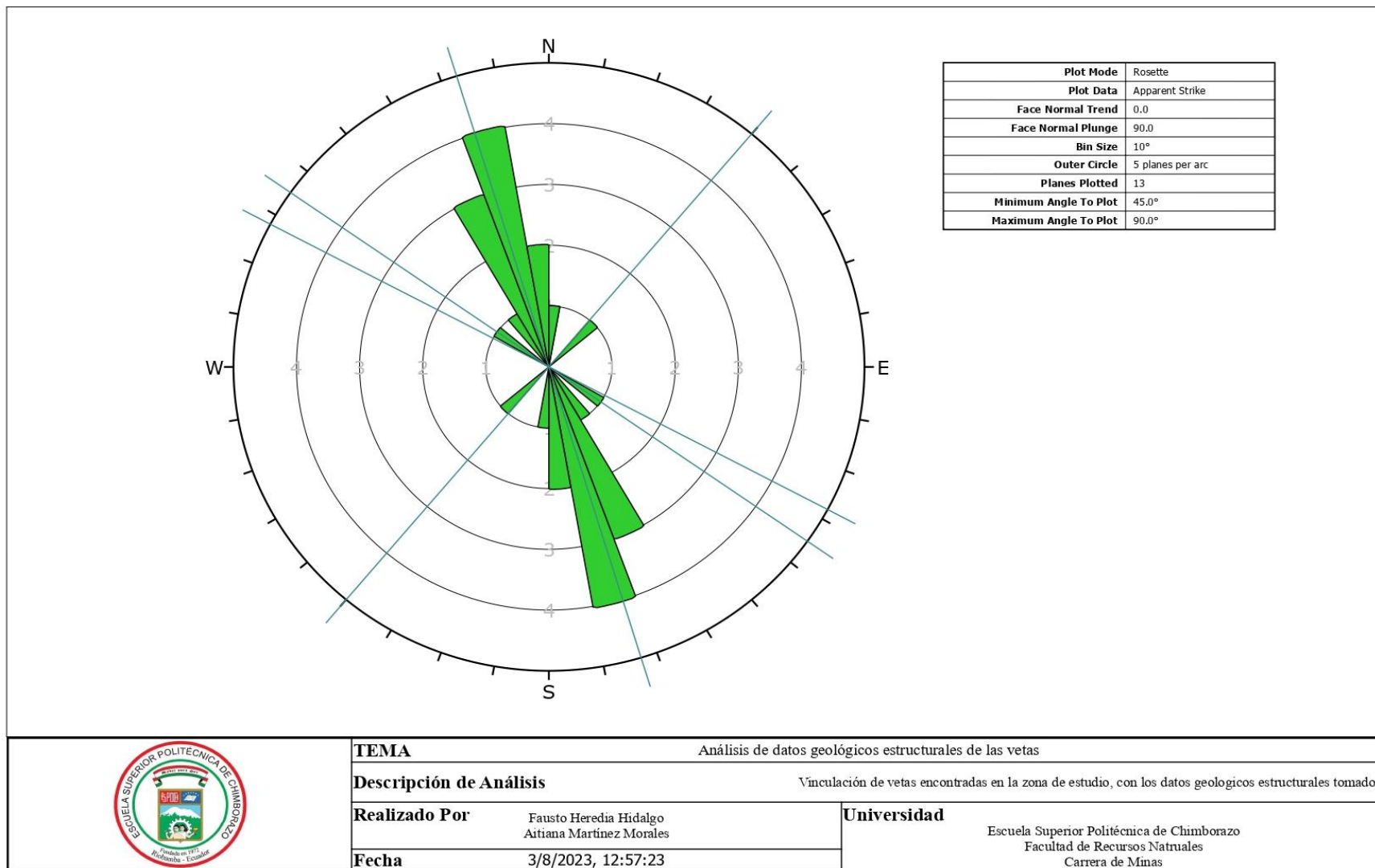
Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.90
	2.90 - 5.80
	5.80 - 8.70
	8.70 - 11.60
	11.60 - 14.50
	14.50 - 17.40
	17.40 - 20.30
	20.30 - 23.20
	23.20 - 26.10
	26.10 - 29.00
Contour Data Pole Vectors	
Maximum Density 28.13%	
Contour Distribution Fisher	
Counting Circle Size 1.0%	

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1m	73	253	Vetas de mineral
2m	27	208	Vetas de mineral
3m	50	310	Vetas de mineral
4m	65	215	Falla

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	16 (16 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

	TEMA	Análisis de datos geológicos estructurales de las vetas
	Descripción de Análisis	Vinculación de vetas encontradas en la zona de estudio, con los datos geológicos estructurales tomados.
	Realizado Por	Fausto Heredia Hidalgo Aitiana Martínez Morales
	Fecha	3/8/2023, 12:57:23
	Universidad	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Recursos Naturales Carrera de Minas

ANEXO S: MAPA CIRCULAR GEOGRÁFICO, REPRESENTACIÓN DE ORIENTACION DE VETAS






ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 17/01/2024

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: FAUSTO ALEXIS HEREDIA HIDALGO AITIANA NICOLE MARTÍNEZ MORALES
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: RECURSOS NATURALES
Carrera: MINAS
Título a optar: INGENIERO/A EN MINAS
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Fernanda Arévalo M.  2200-DBRA-UPT-2023